



HAL
open science

Approche technologique des meules rotatives de l'Age du Fer et d'époque Romaine : les productions d'Orvieto (Italie) dans leur contexte entre Ebre et Rhin

Alain Chartrain

► To cite this version:

Alain Chartrain. Approche technologique des meules rotatives de l'Age du Fer et d'époque Romaine : les productions d'Orvieto (Italie) dans leur contexte entre Ebre et Rhin. Sciences de l'Homme et Société. Université de Paris Nanterre, 2021. Français. NNT : . tel-04017138

HAL Id: tel-04017138

<https://hal.science/tel-04017138v1>

Submitted on 6 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Membre de l'université Paris Lumières

Alain Chartrain

Approche technologique des meules rotatives de l'Age du Fer et d'époque Romaine

*les productions d'Orvieto (Italie) dans leur contexte
entre Ebre et Rhin*

Thèse présentée et soutenue publiquement le 29/01/2021
en vue de l'obtention du doctorat de Archéologie-Ethnologie
de l'Université Paris Nanterre

sous la direction de Mme Isabelle SIDÉRA (Université Paris Nanterre)
et de Mme Hara PROCOUPIOU (co-encadrante, Université de Paris I)

Jury :

Rapporteure :	Mme BASSO Patrizia	Professeure, Università di Verona (Italie)
Rapporteure :	Mme KRAUSZ Sophie	Professeure, Université de Bordeaux Montaigne
Membre du jury :	M. GONZALEZ VILLAESCUSA Ricardo	Professeur, Université Paris Nanterre
Membre du jury :	Mme ALONSO MARTINEZ Natalia	Professeure , Université de LLeida (Espagne)
Directrice de thèse :	Mme SIDÉRA Isabelle	Directrice de recherche au CNRS, Université Paris Nanterre
Co-encadrante	Mme PROCOPIOU Hara	Professeure, Université Paris I

à Anna, mon Italie

à Margaux et Livia, nos soleils

**à mes parents,
ai Nonni**

**à ma sœur Marie-Claire
qui aurait tant aimé être ici**

Université Paris Nanterre

Ce mémoire, présenté en vue de l'obtention du Doctorat à l'Université de Paris Nanterre, a été élaboré dans le cadre du Laboratoire de technologie archéologique PRÉTECH UMR 70 55 du CNRS à la MAE de Nanterre (devenue MSH).

Je remercie vivement les directeurs successifs de ce laboratoire, Isabelle Sidéra puis Pierre Allard pour avoir accueilli un antiquisant au pays du silex, de la céramique en plaque ou de l'industrie osseuse et pour avoir financé plusieurs missions de terrain à Orvieto.

Ma gratitude va au Prof. Augustin Holl pour avoir accepté la direction de ma thèse puis à Isabelle Sidéra pour avoir pris le relai, à Hara Procopiou pour avoir assuré mon tutorat.

Je remercie très sincèrement Jacques Pèlerin pour nos conversations et son inégalable capacité d'accueil envers les jeunes (et moins jeunes) étudiants. j'espère qu'il ne m'en voudra pas de n'avoir pas constitué de référentiel expérimental meulier de style pompéien.

Je remercie également Liliana (et la Colombie) qui m'ont accompagné avec accent et efficacité au cours de ces années. Ma reconnaissance va aussi à Sophie Bugnon pour l'accueil et la précieuse disponibilité dont elle honorait l'Ecole Doctorale 395.



UMR 7055 PRETECH
MSH Mondes - 21 Allée de l'Université
92 023 Nanterre cedex
tel. + 33 1 46 69 24 48



Avoir pour métier la passion de ses 18 ans est un privilège rare, et l'une des dettes les plus joyeuses à vivre.

Au moment de refermer ces pages que vous vous apprêtez à ouvrir, il m'est naturel et agréable d'exprimer ma sincère gratitude et ma reconnaissance envers tous celles et ceux à qui mon travail et moi-même sommes redevables.

Je pense d'abord à ceux qui m'ont appris l'archéologie et souvent un peu plus, le préhistorien François Carré en Auvergne et aux Eyzies, Dominique Joly à Chartres, Pierre-Jean Trombetta à Maubuisson, à Chevreuse et dans ses cours du soir à Orléans, au Louvre, enfin un peu partout, Bernard Dedet dans les garrigues, Alain Ferdière souvent.

Mon archéologie, ma motivation ou ma persévérance dans cette entreprise doivent beaucoup à l'amitié et la bienveillance d'une série de personnes à qui ma reconnaissance se dirige tout naturellement : Jacques Delépine, Raphael De Filippo, Philippe Marquis, Anne Speller, Philippe Lanos, Armelle Bonis, Eric Henry, Pascal Flotté, Christophe Toupet, Philippe Soulier, Jean-Pierre Legendre, Franck Suméra, Pascal Amelin, Dave Evans, Didier Perrugot, Marie-Pierre Ruas.

Mon travail sur les meules d'Orvieto et de l'Antiquité est aussi redevable à des degrés divers à des profs ou à des collègues parmi lesquels je souhaite citer Françoise Dumasy, Yves De Kisch, Jean Chapelot, Riccardo Francovich et feu David Peacock pour ses encouragements et ses photos. Ma profonde reconnaissance va aussi à mes collègues sinon amis italiens Maurizio Gualtieri, Alfredo Buonopane, Walter Dragoni, Angelo Peccerillo, Paola Zanovello.

Je suis par ailleurs très reconnaissant aux jeunes ingénieurs Quentin Danel (formé au CNAM) et Federico Belloni (formé à l'Istituto di Ingegneria di Padova), nos échanges ont été réellement importants et j'espère qu'ils se prolongeront dans de prochaines collaborations pour mettre de la science dans les moulins.

Je suis profondément reconnaissant à tous les archéologues qui m'ont aidé, fourni des données ou transmis sans contrepartie leur travail et j'ai plaisir à faire ici une place à la culture de coopération qu'ils ont su manifester et dont notre société a tant besoin. Je pense en particulier à Virgine Farget, Aurèle Gaultier, Emilie Thomas, Natalia Alonso Martinez ou Florent Jodry mais aussi à Arturo Zara, Jacopo Bonetto, Tim Anderson, Bruno Robert, Yann Deberge, Mathieu Poux, Stefan Wenzel, Steffi Wefers, Gilles Fronteau, Pierre Caussade, Laura Zannol, Sibeht Renière, Alexandre Polinski, Luca Facchinetti, Caroline Hamon, Chloé Chaigneau, Vincent Guichard, S. Nielloud-Muller, Marie-Pierre Jézégou, Jean Chausserie-Laprée, Nuria Nin, Sandrine Riquier, Florence Parot, Jan Theo Bakker et ses amis Klaus Heese et J.Chr. Meyer, le personnel du parc archéologie d'Ostia Antica, ceux du Museo alle Terme à Rome, à la Surintendance archéologique dell'Umbria : Mario Pagano, Paolo Bruschetti e M.C. De Angelis, à Pompéi L. Buffone, également M. Pallara, Elena Poletti du Civico Museo di Mergozzo, Giuliana Sarà (Museo Salinas di Palermo), Denis Francisci et Magdalena Donner en Venétie, Prof. Paolo Ferla, Giulia Baratta, Michele Bueno de la Surintendance de Florence Pistoia et Prato, Sophie Coadic, Pierre-Arnaud De Labriffe, Vianney Forest, Michel Feugère. Mes remerciements particuliers à Gabriele Archetti de l'Università Cattolica pour m'avoir accueilli au colloque de Brescia et dans la publication des actes,

ainsi qu'à D. Orliac et plus largement tous les personnels des dépôts ou musées archéologiques qui comme lui m'ont accueilli et aidé notamment ceux d'Ensérune, de Peyriac-de-Mer, de Carcassonne, d'Agde ou de S. Casciano.

J'ai plaisir enfin mais aussi depuis le début à exprimer ma sincère gratitude aux habitants d'Orvieto qui m'ont si gentiment accueilli pendant des heures, parfois plusieurs jours dans leur jardins en observant curieusement ce français à l'accent un peu *veneto* qui accordait autant d'intérêt aux *sassi*. Sur place j'ai eu la chance de bénéficier de l'aide et de la gentillesse du jeune étrusologue Paolo Binaco que je ne remercierai jamais assez, ainsi que de Claudio Bizzarri avec lesquels le courant est rapidement passé.

Mon travail n'aurait pas été (du tout) le même sans l'aide si précieuse de Mme et MM. les initiateurs et mainteneurs des plateformes universitaires ou professionnelles qui mettent à disposition des textes, ouvrages anciens ou bases de données, en particulier les sites *Remacle* (www.remacle.org), *Hydraulica* de Grenoble (<http://hydraulica.grenet.fr/>) et nos amis Belges de *Itinera Electronica* (<http://agoraclass.fltr.ucl.ac.be/concordances/intro.htm>) ou encore *AncientsPorts* (<http://www.ancientportsantiques.com/the-catalogue/adriatique/>). Pour l'accès direct et instantané à la bibliographie au format PDF bien entendu Academia.Edu sans lequel notre travail n'aurait pas été possible, mais aussi Persée et Revues.org, pour l'Espagne DialNet (<https://dialnet.unirioja.es/>) et pour la Grande Bretagne Ads (<http://archaeologydataservice.ac.uk/>) d'autant plus précieux que c'est si rare dans le monde anglo-saxon. A la bibliothèque de la MAE de Nanterre je remercie très sincèrement Sophie Kielwasser et son collègue pour leur disponibilité sans faille.

Mes remerciements vont également au Ministère de la Culture pour la précieuse disponibilité qu'il a su m'accorder.

Enfin je souhaite remercier très sincèrement les membres du jury qui ont accepté, en période de fêtes de Noël et de Janus post-confinementales, de lire, d'examiner et de rapporter mon travail, se promettant sans le savoir à d'intenses tortures : pensez-vous, des pieds, des doigts et tant de tableaux pour d'insignifiantes et oubliées *running stones*.

Le fait d'être cité dans ces remerciements ou cette thèse n'implique aucunement l'adhésion de la personne aux faits, interprétations ou analyses qui y sont présentés ou développés. Il traduit simplement ma lecture ou ma reconnaissance. Il va sans dire que toutes les insuffisances ou âneries que ce mémoire ne manquera pas de contenir sont entièrement à ma charge.

résumés de la thèse (FR., IT., EN.)

FR- Mots-clés : meules rotatives basses, meules de style pompéien, conicité, doigt, moulin à rodet, gabarit

Cette première étude détaillée des Meules Rotatives Basses inédites fabriquées à Orvieto (Italie) dans l'Antiquité privilégie l'approche de leur géométrie génératrice. Elle précise les paramètres configurants, invariables ou soumis à usure, ainsi que ceux, plus indirects, qui en résultent. L'accent est mis sur la notion nouvelle de Hauteur Utile d'une meule, épaisseur de pierre consommable qui définit la longévité. Une attention particulière est dévolue aux dimensions de l'œil et à la conicité, notamment à travers la divisibilité de dimensions telles que le diamètre et la hauteur ou leurs rapports. Une approche métrologique montre l'utilisation de la partition en seizièmes et permet de définir le gabarit des meules même lorsque leur dimension en cm est différente. Ce travail de caractérisation conduit à rapprocher les meules d'Orvieto du foyer originel catalan au détriment de l'éventualité d'un transfert de modèle depuis les ateliers de l'Hérault (Agde). Les fabrications d'Orvieto sont systématiquement comparées avec un corpus de 2.000 MRB issues de 17 ateliers et 65 sites d'utilisation des meules. La notion de Hauteur Utile introduit au système de conception et souligne l'importance du rapport entre Diamètre et Hauteur. Les meules de l'Antiquité privilégient les diamètres valant 2 hauteurs et semblent ignorer la pression qui, faible, baisse rapidement avec l'usure. Toutefois, les modèles Quasi-Pompéiens (de type Morgantina ou Mont Faulat) ou ceux de Style Pompéien d'un gabarit de 2 à 3 pieds semblent avoir cerné, empiriquement ou par calcul, la pression constante qui sera celle des meules médiévales et modernes. Les meules de l'Antiquité ont cependant été dans l'incapacité d'atteindre le gabarit de 3 pieds (ca. 90 cm) sans doute en raison de l'augmentation vertigineuse du poids due à la conicité. L'adoption, généralisée à l'époque carolingienne, de la Meule Plate qui identifie hauteur totale et hauteur utile, va permettre la libération des diamètres. Dès lors sera pratiqué un amincissement relatif qui, diminuant la hauteur à mesure que croît l'envergure de la meule, permettra de stabiliser la pression.

Engl- Mots-clés : rotary querns, pompeian-style millstones, slope, *digitus*, norse-mill, gauge

This PhD dissertation deals with the unstudied small Low Rotary Querns hewn at Orvieto during Antiquity. Stress is set on the generative geometry by defining the configuring parameters, either invariant or submitted to wear, and the indirect and derived other ones. Usable Height is proposed as a concept referring to the erodible part of thickness i.e. the quern lifespan. Special focus is set on dimensions such as height and width of the eye, quern diameter, height and cone height after conversion into *digitus* measurement and in the key of divisibility. A metrological approach shows permanent use of the sixteenth partition and consent to define the size module of the stones even though their cm length is different. The orvietan querns are systematically compared within a corpus of nearly 2.000 items of Low Rotary Querns from 17 workshops and 65 use-sites. Closest similarity is shown with the Catalan originating area of rotary low mill, at the expense of a possible model transfert from the volcanic quern production area of Agde near Montpellier. The concept of Usable Height introduces to the designing system, highlighting the Classical preference for 2 heights wide diameters (2H module). Millstone pressure, small and quickly decreasing with use wear, seems to have been uncontrolled or ignored. However, Quasi-Pompeian models (as the Morgantina or Mt. Faulat types) or main Pompeian Style ones, large 2 or 3 ft, seem to have either empirically or through calculation, reached the stable level of millstone pressure proper to the Medieval and Modern period. Still, for querns manufacture in Classical times, the 3 ft gauge remained out of reach, probably due to the vertiginous growth in weight linked with diameter increase caused by quern angulation. Only the adoption, generalized during carolingian times, of the Flat Millstone Model which fuses Usable Height with total one will liberate the diameter for an almost infinite growth opened to

power development. Millstone fabrication will then practice a relative height-reducing rule (3 to 6 H module) in order to lower the weight and reach the fixed pressure norm.

IT- Mots-clés : macine rotatorie basse, macine di stile pompeiano, conicità, *digitus*, mulino a ritrecine, modulo

Questo primo studio delle Macine Rotatorie Basse, inedite, fabbricate ad Orvieto nell'Antichità, privilegia l'approccio della loro geometria generatrice, precisando i parametri configuranti, invariabili o sottoposti al consumo e quelli, indiretti, che ne derivano. Viene proposto il concetto di Altezza Utile (HU), cioè lo spessore di pietra che si consuma durante l'uso e quindi la durabilità. Un'attenzione particolare è rivolta alle dimensioni dell'occhio e alla conicità percepite attraverso la divisibilità delle dimensioni trascritte in *digiti*, quali diametro e altezza o i rapporti tra loro. Un approccio metrologico evidenzia l'uso della suddivisione in sedicesimi e consente di definire la misura delle macine anche nel caso in cui le loro dimensioni in centimetri siano differenti. Le macine di Orvieto vengono sistematicamente paragonate con ben 2.000 MRB provenienti da 17 officine e 65 siti di utilizzo. Risultano più simili a quelle del focolare originario catalano, a scapito dell'eventualità di un transfert di modelli dalle officine dell'Hérault (Agde). Il concetto di Altezza Utile fa intravedere il sistema di concezione e sottolinea la preferenza dell'Antichità per i diametri che valevano 2 altezze. Sembra ignorata la pressione che, già debole, diminuisce rapidamente con l'usura. Tuttavia, i modelli Quasi-Pompeiani (tipo Morgantina o Mont Faulat) o quelli di Stile Pompeiano grandi 2 o 3 piedi sembrano aver colto, empiricamente o tramite calcolo, la pressione costante che risulterà essere quella delle macine medievali e moderne. Ciononostante, le macine dell'Antichità non sono riuscite a raggiungere questa misura di 3 piedi, probabilmente per il vertiginoso aumento di peso che risultava dalla conicità. Generalizzata in epoca Carolingia, l'adozione della Macina Piatta, che unifica Altezza Utile e Altezza totale, permetterà la libera crescita del diametro. Verrà applicata una diminuzione relativa dello spessore, che diminuirà rispetto all'aumento del diametro della macina, consentendo di raggiungere il valore costante della pressione.

Approche technologique des meules rotatives de l'Age du Fer et d'époque Romaine : les productions d'Orvieto (Italie) dans leur contexte entre Ebre et Rhin.

Note technique

Chronologie & Datations

- . Les indications de chronologie sont généralement notées ainsi :
 - II^e s. aC** (pour BC, BCE, av. J.-C. ou autres a.C.)
 - II^e s. pC** (pour AD, CE, apr. J.-C. ou autres d.C.)
 - XVII^e s.** (pour les périodes historiques récentes, sous-entendu pC)
- . certaines notations de type BC/AD ou av. J.-C. peuvent persister sur des figures ou tableaux élaborés ou publiés antérieurement au présent mémoire
- . LT – D vaut pour La Tène D
- . LT – C/D signifie datant ou attribuable à l'intervalle La Tène C et D ou LT-C ou D
- . II^e-I^{er} aC correspond à l'intervalle couvrant ces 2 siècles, de même naturellement pour XVI-XVII^e s.
- . H.E signifie Haut Empire (romain)
- . H.M.A correspond à Haut Moyen Age (périodes Mérovingienne et Carolingienne en chronologie dynastique)
- . période Romaine ou Carolingienne : on a choisi la majuscule pour une identification visuelle améliorée de la chronologie, donc également Age du Fer, Antiquité Tardive, période/époque Impériale, période Médiévale et Moderne

Abréviations, Majuscules & Quantités ou Mesures

. on a choisi de figurer les quantités sous forme chiffrée et non littérale afin de faciliter leur brièveté et leur comparaison. Ainsi on lira « de 2 à 4 dgt » ou « entre 6 et 11% » ou encore « 8 exemplaires sur les 15 »

. **dgt** est une unité de mesure, cette abréviation vaut pour *digitus*, *digiti* ou doigt, **doigts**

. nous avons trouvé parfois préférable, notamment lors de la définition de notions et l'expression de leur formule de calcul, ou pour indiquer qu'il s'agit d'un paramètre (Diamètre) et non d'une longueur donnée, d'utiliser des Majuscules telles par exemple que **Hauteur Utile** (abréviation **HU** et indication chiffrée **HU.8 cm** ou **HU.8 dgt**). La liste des abréviations a plusieurs fois été précisée en note infrapaginale.

La surabondance à laquelle a parfois donné lieu ce principe lors des premières rédactions n'a pas toujours pu être corrigée dans certains chapitres, nous nous en excusons par avance.

. les paramètres tels que Diamètre, Hauteur, Hauteur Utile etc. sont régulièrement abrégés en D., H., HU. etc. en correspondance avec les abréviations rendues nécessaires par les tableaux

. la valeur des paramètres est toujours spécifiée en cm (par ex. D.36) sauf indication différente ; les angles sont mesurés en degrés (°) mais sur le simulateur de calcul de HCo ou de l'Angle, la formule de la tangente est en Radians convertis ensuite en degrés

. la valeur des gabarits est spécifiée en dgt ou en pieds

. dans les tableaux, par souci de minimiser la largeur des colonnes on utilise couramment des abréviations telles que **NR** pour Nombre de restes ou **Q.** pour Quantité ainsi que **Val.** pour Valeur de la variable.

. L'abréviation **col.** désigne la colonne d'un tableau

. enfin nous avons retenu la majuscule pour les deux genres de meules antiques que sont le *Catillus* et la *Meta* et conservé les formes du pluriel *Catilli* et *Metae*, nos collègues italiens (et quelques autres) supportant difficilement de lire des choses du genre « les catillus », « les metas » ou autres « les métras » ; ces deux termes sont parfois abrégés (tableaux obligent) en CAT et MET.

. pour ceux qui ne sont pas familiers de ces deux termes désignant la meule tournante (*Catillus*) et la meule dormante (*Meta*), nous proposons la formule mnémotechnique suivante :

CATILLUS = CT comme **Ça Tourne**

Vocabulaire

généralement dans le souci d'éviter des répétitions et de varier le vocabulaire, des expressions telles que les suivantes sont de sens similaire :

- . module et modèle
- . dimension, envergure, diamètre de la meule
- . hauteur et épaisseur
- . gamme, registre (des hauteurs, des diamètres, des pentes)
- . conicité, angle, angulation, pente (de la meule ou du cône)

pendant Diamètre et Gabarit peuvent être explicitement distincts lorsque sortant du sens général et commun ils désignent une longueur mesurée en cm (Diamètre) ou en dgt (Gabarit)

Particularités ou manies

. le logiciel Word ignore non seulement le latin mais également de nombreux mots du français, on ne nous tiendra pas rigueur du fait que nous n'avons pas pu rétablir le mot **évidement** chaque fois qu'il l'a automatiquement corrigé en *évidemment*

. en molinologie, le pluriel d'un œil s'écrit **des œils** (voir CHAUSSAT 2011, p. 359) comme celui d'un œil-de-bœuf en architecture classique ou des œils d'une voile)

. on nous pardonnera nous l'espérons un certain attrait pour les néologismes, parmi lesquels notamment **rectangularité**, **archéomolinologique**, **compositionnel** (utilisé en sémantique mais absent du TLFi comme de la base de données TermSciences qui semble de plus en plus en échec), **calculatoire** (présent au Littré mais curieusement non retenu au TLFi-CNrtL) ou **fabricats** (formé dans l'acception « sous-produits de » ou « résultant de » sur la lancée de isolat, nébulisat, lyophilisat et autres exsudat ou broyat ce dernier utilisé dans Thomas 2006 tandis que fabricat l'est dans Wilmouth 2014)

Excuses

Je souhaite présenter mes sincères excuses aux rapporteurs et au jury pour l'insuffisante relecture, correction et homogénéisation du présent mémoire, certains spécialistes du temps gèrent parfois bien mal leurs délais...

SOMMAIRE

Dedicace, Remerciements
Note Technique
Résumés FR., IT., EN.

INTRODUCTION p. 10

PARTIE I : ETAT DE LA QUESTION, PROBLÉMATIQUES, CORPUS p. 15

CHAPITRE 1. Historiographie p. 16

CHAPITRE 2. Problématiques des meules et du moulin p. 49

CHAPITRE 3. Contexte technique et social de développement de la
technologie du moulin rotatif p. 58

CHAPITRE 4. ORVIETO : un centre producteur pluriel ? une
large diffusion ? p. 86

CHAPITRE 5. Le matériau : la Leucitite et la Province Magmatique
Romaine p. 109

CHAPITRE 6. Corpus meulier d'Orvieto et Corpus de comparaison p. 124

**PARTIE I : GÉOMÉTRIE, COMPARAISONS, USURE des MEULES ROTATIVES
BASSES** p. 159

INTRODUCTION : sur les Meules, sur la Métrologie p. 160

CHAPITRE 7. FAÇONNAGE des Meules, Orvieto et les Ateliers
Primaires ou Secondaires p. 179

CHAPITRE 8. Le FORAGE des Meules p. 210

CHAPITRE 9. GÉOMÉTRIE et PARAMÈTRES des Meules p. 233

CHAPITRE 10. Le DIAMÈTRE p. 283

CHAPITRE 11. La HAUTEUR p. 337

CHAPITRE 12. La CONICITÉ p. 359

CHAPITRE 13. L'ŒIL & L'ŒILLARD p. 370

CHAPITRE 14. La LONGÉVITÉ : Réduction & Potentialisation p. 407

CHAPITRE 15. L'ASSISE des *Metae* & la Typologie des Bases p. 440

CHAPITRE 16. L'EVIDEMENT interne des *Metae* à ORVIETO p. 455

CHAPITRE 17. La HAUTEUR UTILE des MRB d'ORVIETO p. 461

CHAPITRE 18. Le DEGRÉ d'USURE, l'Indice de Rectangularité
& le passage au Modèle Médiéval des meules p. 536

CHAPITRE 19. Origine & Déploiement du MOULIN PLAT	p. 573
CHAPITRE 20. Les Meules de Très GRAND FORMAT	p. 597
CHAPITRE 21. Quelles Meules pour le Moulin de Petite Hydraulique ?	p. 626
SYNTHÈSE	p. 645
ORVIETO et la production de Meules Rotatives Basses	p. 646
Orientations privilégiées, Acquis et Perspectives	p. 658
Meules de l'Antiquité et vraie Révolution du Moyen Age	p. 662
BIBLIOGRAPHIE	p. 672
GLOSSAIRE	11 p.
Table des MATIÈRES	9 p.
VOLUME 2 - ANNEXES	186 p.

INTRODUCTION

Le présent mémoire de thèse caractérise les meules fabriquées dans l'Antiquité à Orvieto, au pied des épaisses coulées de lave grise à cristaux blancs qu'on appelle leucitite. Afin de saisir ces objets manufacturés en série, dans le contexte de la culture technique meulière et plus largement rotative de l'Age du Fer et de la période Romaine, nous avons confronté les meules orviétanes à un corpus de comparaison réparti entre l'Ebre (aire d'origine des meules rotatives communes) et le Rhin, frontière de l'Empire romain et future zone de formation d'un nouveau modèle de meule avant l'An Mil.

Une des particularités des meules d'Orvieto est que l'on ne dispose à leur sujet d'aucune indication de chronologie ni de données sur leur aire de diffusion. Néanmoins, sur base comparative, nous proposons une datation à titre d'hypothèse de travail pour les recherches futures.

Malgré l'important travail que nous avons développé sur les meules de Style Pompéien d'Orvieto –celles biconiques en forme de sablier dont 9 ont été publiées par Peacock en 1986 – nous nous sommes finalement concentré sur la production, totalement inconnue à ce jour, des petites meules courantes généralement et à tort dites « manuelles » que nous proposons d'appeler Meules Rotatives Basses. Nous en avons enregistré 75 exemplaires chez l'habitant dont 55 offrent suffisamment de paramètres renseignés et mesures fiables pour former un corpus exploitable en profondeur. La raison de ce choix tient au fait que l'on a pu réunir pour ces Meules Rotatives Basses un corpus de comparaison consistant. Ce corpus regroupe 82 assemblages meuliers dont 17 ateliers et 65 ensembles issus de sites d'utilisation des meules. Une quinzaine d'autres ensembles sont à l'occasion sollicités sur des aspects ponctuels. Ce corpus comprend environ 2.100 meules dont 1.500 assez régulièrement exploitables sur la plupart des paramètres, notamment pour la Gaule mais aussi le Nord de l'Espagne et l'Allemagne (la Grande Bretagne, riches d'études dues notamment à R. Shaffrey, constitue cependant un domaine meulier particulier).

La constitution de cette base de données nous a conduit à enregistrer plusieurs collections meulières, non inventoriées ou parfois inconnues, ce qui a constitué une expérience d'observation et d'enregistrement irremplaçable en plus d'être utile à la comparaison avec les meules d'Orvieto. Ces prises de données ont notamment concerné le Languedoc où un enjeu important se noue - à peine peut-être un siècle après l'apparition du Moulin Rotatif Bas vers 500 aC en Catalogne- autour d'Agde et des productions du Complexe Volcanique Héraultais. En effet ce pôle semble avoir joué un rôle de relai et de centre important dans la diffusion de cette nouvelle machine. L'une des questions soulevées est par exemple de savoir si la production d'Orvieto a pu emprunter à l'aire catalane ou bien à l'aire héraultaise. Malgré nos efforts, nous n'avons pu enregistrer (ni même localiser) les collections de Narbonne ou de Ruscino et notre corpus général comprend deux lacunes géographiques notoires : tout d'abord un grand Sud-Ouest allant de Nantes au triangle Garonne/Pyrénées (ce dernier faisant cependant l'objet d'une thèse en cours par Pierre Caussade), manque ensuite le couloir rhodanien et Lyon. Par ailleurs nous avons pu accéder à très peu de références en Italie du Nord.

Un tel corpus de comparaison est un réel privilège pour comprendre les fabrications d'Orvieto et les situer dans leur contexte technique et social. Or rien de comparable n'est disponible pour les Modèles de Style Pompéien. Il aurait en effet fallu pour cela aller enregistrer les collections de Carthage et de Sicile ainsi que conduire des prospections sur la région de Mulargia en Sardaigne (ce que nous nous proposons de faire à l'issue de cette thèse). Aussi passionnante que soit (et plus difficile sur les *Catilli*) l'étude que nous avons développée sur les

MSP, nous aurions alors produit un premier savoir qui, en raison du vide comparatif, aurait surtout formé un stock d'attente en vue d'un éventuel avenir. Néanmoins la production de Style Pompéien d'Orvieto fera très prochainement l'objet de plus de 14 pages parmi les 42 pages d'un article assez détaillé¹.

La constitution du corpus des Meules Rotatives Basses a reposé sur une intense phase de dépouillement et de traitement des données, ce dernier ayant atteint un degré variable de développement. Ont d'abord été privilégiés les paramètres de base que sont le diamètre, la hauteur, l'angle, le diamètre de l'œil et sa hauteur (DOE et HOE) ainsi que son caractère traversant ou non, enfin roche et datation ont été enregistrées bien que plus faiblement renseignées. Le profil des diamètres, celui des hauteurs, le spectre des matériaux ont été systématiquement établis ainsi que certains rapports tels que H/D (remplacé ensuite par D/H), DOE/D ou HOE/H. Sur certains assemblages, notamment les ateliers, on a approfondi le traitement dans les domaines du volume et du poids, de la pression, du caractère achevé ou non de la réalisation ainsi que de la métrologie des dimensions.

Malgré une première orientation axée sur la chaîne opératoire de fabrication, nous avons réorienté notre travail sur d'autres aspects. Les raisons en sont d'ordre divers, d'abord le fait que faute de la fouille d'aires de travail la « séquence de fabrication » (DJINDJIAN 2013) aurait été entièrement reconstituée et donc hypothétique même si les ébauches permettent d'éliminer certaines possibilités (elles montrent par exemple que pour les *Catilli*, le percement central intervient toujours après le façonnage, même partiel, des deux cônes, celui de travail et celui de la trémie supérieure). En second lieu bien que nous ayons sélectionné sur place des blocs et trouvé, à Padoue, un tailleur de pierre expérimenté en travail des laves, les problèmes de transport n'ont pu être résolus. Le corpus expérimental que nous voulions, portant sur les étapes, les traçages, les techniques de contrôle d'avancement et d'adéquation des angles, la typologie et le volume des éclats, les déchets produits, les temps de réalisation des différentes opérations, l'enregistrement des empreintes de taille ainsi que les manipulations de retournement de l'ébauche ou à l'inverse les changements de position de travail de l'opérant etc., n'a pu être engagé. En troisième lieu, il est apparu à mesure du développement de notre travail comparatif, qu'une approche technique des meules notamment rotatives basses trouverait plus de répondant avec le corpus de comparaison et probablement plus de portée si notre recherche investissait plutôt la géométrie des meules et tentait d'approcher leur conception à partir de l'articulation et du système des paramètres qui configurent ces objets.

Aussi, non que la séquence technique fabrication soit dénuée d'intérêt ni n'offre matière à une thèse, avons-nous en définitive réorienté notre travail non sur la manière dont a été réalisée la forme des meules mais sur le pourquoi d'une telle forme, les paramètres qui la configurent et les éléments sur lesquels ont porté les changements fondamentaux intervenus dans les formes meulières à travers le temps sinon l'espace.

A cet égard la primauté jusqu'ici donnée à la typologie morphologique nous a semblé devoir être remise en cause avec urgence : sommes-nous en effet bien sûrs que la forme d'une meule ou l'inclinaison de son flanc reflètent la machine et son fonctionnement plus que ne le fait par exemple le rapport entre hauteur et diamètre, plus que la distance entre le plan sommital et celui de la base du creusement de l'œil ou que le diamètre de ce dernier ? L'oscillation, tendance propre à tout solide en révolution autour de son axe, et dont nous archéologues ne parlons jamais, n'est-elle pas une donnée (et un problème technique) déterminant susceptible d'expliquer des formes, des dispositifs tels que l'anille, des stigmates tels que le festonnage d'éclats périphériques, voire la conicité antique elle-même ?

¹ BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI – *Orvieto, centre producteur de meules dans l'Antiquité : premières données issues du programme ORViAMM*. article de 42 p. éditeur, à paraître début 2021 aux éditions Mergoïl dans un volume d'hommages.

Nous avons en conséquence à de telles interrogations, mis l'accent tout d'abord sur la décomposition géométrique du *Catillus* et de la *Meta* : définition des plans, mobiles et fixes, paramètres configurants, paramètres invariables ou soumis à l'usure (au premier rang desquels la Hauteur). Nous avons pressenti qu'un progrès dans l'étude des meules pouvait provenir de la libération du regard archéologique à l'égard d'une certaine prégnance du diamètre, autant que d'une attention accrue qui serait accordée à d'autres dimensions. Parmi celles-ci nous avons en particulier privilégié la conicité, parfois à peine mentionnée dans les publications archéologiques, au motif qu'elle semblait pouvoir départir les meules hydrauliques des autres ou bien revêtir une signification chronologique (les deux à tort comme on le verra).

Cette entrée dans une certaine profondeur de la géométrie des meules nous a conduit à proposer la notion nouvelle de Hauteur Utile. Ce paramètre indirect résulte des dimensions configurantes que sont le diamètre, la hauteur et la pente (en fait la hauteur du cône). Il est non immédiat et invisible, tout comme peut l'être la pression ou le mordant d'une meule. Cependant, pour peu qu'on y prenne garde, il s'inscrit dans la forme de la meule et offre ainsi un angle d'observation sur l'univers de la conception des fabricats. En effet, non seulement la Hauteur Utile permet d'apprécier le degré d'usure d'une meule et d'ainsi analyser la composition d'âge des assemblages, mais elle ouvre aussi en direction de la compréhension des paramètres privilégiés et de ceux qui étaient, ou non, maîtrisés par les meuliers. Ainsi, les fabricants déterminaient-ils la hauteur d'une meule en fonction des épaisseurs que délivrait le détachement du banc en carrière ? ou en proportion des diamètres qu'ils pratiquaient ? ou bien par exemple offraient-ils une gamme de meules aux durées différentes, et en ce cas étaient-ils en mesure de calibrer cette durée par calcul ou par approximation ?

Le second accent particulier que nous avons, cette fois d'emblée, donné à notre travail concerne l'approche métrologique. Cette orientation s'est imposée à nous sur la base de l'expérience acquise dans le domaine de l'analyse des parcelles² ou dans celui du petit appareil d'Argentomagus³. Il s'agissait simplement, naïvement, au départ d'identifier le pied générateur d'un ensemble de meules afin d'établir s'il correspondait à la métrologie régionale, s'il permettait de tracer un transfert technique ou de modèle, si enfin existait une série de pieds meuliers spécifiques ou si au contraire ces derniers empruntaient à l'éventail des pieds couramment utilisés dans le monde laténien ou romain. En fait, cette approche permet une réelle comparabilité des meules, parce que deux meules différentes mesurant l'une 41,25 cm et l'autre 46,65 cm sont en réalité la même, la première étant d'un gabarit de 24 doigts (1 pied 1/2) dans un pied osco-italique de 27,5 cm tandis que la seconde est de même gabarit réalisé dans un pied ibérique de 31,1.

Mais plus encore que d'assurer la comparabilité des meules et des assemblages, ou d'esquisser une éventuelle zonation des différents pieds meuliers voire de tracer de possibles transferts, l'approche métrologique semble permettre -malgré son caractère ardu, ses incertitudes ou les limites dues à une insuffisante mathématisation- de percevoir certains éléments du système meule. C'est ainsi que nous avons pu comparer, en doigts, la hauteur utile des meules d'Orvieto avec celle des plus anciennes, comme à Els Vilars d'Arbeca en Catalogne, celles ensuite, laténiennes et romaines, du Chaudry non loin de Châteaumeillant dans le Centre de la France, ou encore celles des Fossottes et de Bad Nauheim les unes à l'Est du Rhin les dernières en rive Est de ce fleuve. Pour découvrir, sans parvenir à l'expliquer, que la durabilité des *Catilli* semble toujours inférieure à celle des meules fixes que sont les *Metae*.

² Approche que nous avons presque systématiquement développée dans nos travaux de conception des fouilles et opérations d'archéologie préventive au cours de notre période montpelliéraine (1994- 2009) et dont on trouvera deux exemples représentatifs, l'un publié dans *Agri Centuriati*, 6, 2009, l'autre inédit : CHARTRAIN 2010 – *Analyse archéogéographique préliminaire du Parc Appert à Castelnaudary* (FR, 11), article remis à G. Chouquer et téléchargeable *online* sur notre page Acamedia.edu.

³ Voir CHARTRAIN (A.), FLOTTE (P.), HENRY (E.) – Tempo, tecnica, approvvigionamenti : un tentativo di analisi archeologica dell'uso dei materiali lapidei nella cittadina gallo-romana di Argentomagus (Francia), *Archeologia dell'Architettura*, XVIII, 2013 (2014), p. 173-191.

Dans un premier développement (Partie I) nous établirons un état de la question relatif aux différents types de moulins (Olynthe, Rotatif Bas, Pompéien), à leur aires respectives de distribution ainsi qu'au phénomène de diffusion du modèle rotatif. Après avoir retracé sur base bibliographique l'historiographie de la question molinologique en archéologie, avec notamment la sous-estimation relative au moulin de petite hydraulique (rodet), nous présenterons la production de meules à Orvieto, ses lieux et son matériau, son intensité sans doute toute relative. Nous exposerons ensuite de manière assez précise le corpus et le degré de renseignement des différents paramètres, nous en profiterons pour brosser le tableau de certains aspects sur lesquels nous ne reviendrons pas au moyen de chapitres spécifiques, parfois à regret : ainsi des cuves à pétrin, du taux de conservation des meules sur les sites de consommation-rejet, du marché des meules ou du taux d'équipement d'établissements ruraux comme Le Pâtural ou Blois La Croupe ou d'une agglomération comme Nages. Nous avons également rapidement esquissé la question du marquage et de l'épigraphie des modèles de Style Pompéien pourtant riche d'enseignements et de pistes de recherche.

Le second développement (Partie II) sera consacré à la géométrie des Meules communes que nous proposons de dénommer Meules Rotatives Basses (MRB), en commençant par l'exposé des paramètres configurants tels que le Diamètre, la Hauteur, la Conicité et les dimensions de l'Œil. Nous poursuivrons par la définition des paramètres dérivés ou indirects, non immédiats parmi lesquels nous proposons la notion de Hauteur Utile ou épaisseur de pierre consommable qui définit la longévité ou le capital horaire d'une meule. Nous exposerons à cette occasion les dispositions qui permettent de majorer la durabilité d'une meule ou au contraire de la diminuer, comme c'est le cas de la Conicité ou de l'existence d'une trémie (cuvette supérieure supposée recueillir et diriger le grain vers l'œillard). Nous aborderons également la spécificité d'Orvieto qui se manifeste dans l'importance de l'évidement pratiqué dans l'assise des *Metae*, caractère inédit partout ailleurs. Un chapitre est consacré à l'usure des meules et à l'appréciation du degré de cette usure. Chaque étape de l'étude présente systématiquement les données d'Orvieto en opérant leur confrontation avec le corpus de comparaison, en premier lieu avec sa composante ateliers.

La définition et le traitement de chacun de ces paramètres (au minimum le Diamètre, la Hauteur, la Conicité, la Hauteur Utile et l'Usure) nous a conduit ou imposé de proposer 3 typologies.

En premier lieu la définition d'une séquence de fabrication en 5 stades successifs (éventuellement permutable pour le stade IV du percement central) permet de définir le profil des sites d'atelier, incluant ou non la présence des phases de travail en carrière (extraction des cylindres et premier dressage) ou celle des phases finales (IV percement et V finition). Les ateliers ou aires de façonnage apparaissent ainsi catégorisables selon la proximité des phases de fabrication entre elles, comme c'est le cas à Orvieto, ou selon leur intervention plus distante voire sur des ateliers éloignés à l'instar de la segmentation technico-spatiale mise en évidence pour la métallurgie du fer (PAGES 2009). La question se pose particulièrement pour les opérations de percement central, susceptibles d'intervenir à l'extérieur, sur des ateliers éventuellement spécialisés en forage rotatif et pas obligatoirement celui des meules.

Cette définition des 5 principales étapes du façonnage permet de proposer un classement des ateliers en 4 catégories : les ateliers ou aires caractérisés uniquement par les premières phases de façonnage centrées sur l'extraction, les ateliers alliant extraction et façonnage, les aires ou ateliers distants de l'extraction, enfin les ateliers secondaires consacrés uniquement aux phases finales du process de fabrication (percement et finition). Le cas emblématique est celui d'Obernai en Alsace (FELIU, JODRY 2017) : itinérant et probablement provisoire, cet atelier secondaire daté LT-D est consacré au percement et à la finition de meules de deux roches différentes (rhyolite et grès) provenant de deux carrières distinctes et distantes l'une de l'autre.

L'un des apports de cette approche est la mise en évidence, malheureusement appuyée sur peu de cas et sans examen direct, de la fréquence insoupçonnée du forage avec ses deux techniques (tubulaire avec carotte centrale résiduelle ou au trépan avec élimination du poussier), ce semble-t-il dès l'apparition des meules rotatives.

La seconde typologie proposée est celle du traitement de l'Assise des *Metae*. Elle trouve son origine dans la particularité présentée à Orvieto d'un important évidement interne. Mais elle permet également de statuer sur les différences, ou non, entre assises observables en atelier et sur sites de consommation. Elle permet de conclure que la base des *Metae* est entièrement configurée sur les ateliers et qu'elle n'est que marginalement concernée par les éventuelles phases de façonnage intervenant après que les meules aient quitté les lieux de production primaires. Cela semble toutefois être le cas de certaines d'entre elles à œil traversant dont un double percement (par le dessus et par dessous) semble être proposé quitte à ce qu'il ne soit pas achevé lors de l'installation du moulin. De même la base correspondant à certains œils traversants est susceptible d'avoir été réalisée au stade de la mise en service de la machine.

Une troisième typologie proposée concerne la position des Mortaises d'Emmanchement sur la hauteur des *Catilli*, et plus particulièrement par rapport au plan d'ouverture de l'œillard. En effet, selon cette position plus ou moins basse, les mortaises peuvent avoir un impact minorant sur la longévité du *Catillus*.

Enfin nous aborderons au-delà d'Orvieto trois questions qui fâchent : d'abord celle de l'originalité et de la géographie des Meules Plates que nous considérons correspondre, au moins potentiellement, à un type particulier de moulin et dont on aimerait savoir s'il a existé en Italie durant l'Antiquité ; celle ensuite des Très Grands Formats (près de 3 pieds) qui est notamment liée à la question de l'entraînement hydraulique ; pour finir nous tenterons de savoir s'il est possible d'identifier les meules du moulin de petite hydraulique (moulin à rodet⁴).

La synthèse conclusive finale opère en deux temps. Tout d'abord elle saisit les acquis et questions concernant la production des Meules Rotatives Basses d'Orvieto et propose, sur une base comparative, un placement chronologique. Par leur fonction piédestal et leur registre de gabarits faibles, les fabrications orviétanes de MRB semblent en effet se localiser à la charnière entre les modèles rotatifs de la période molinologique ancienne (Vè-IVè s. aC, foyer catalan) et la mise au point du Modèle Continental qui, principalement traçable sur les *Catilli*, va se généraliser entre l'Ebre et le Rhin durant l'intervalle III-IIè s. aC. Il est également proposé que les Meules Rotatives Basses d'Orvieto tirent leur origine d'un transfert technologique vraisemblablement opéré par voie maritime.

Dans un second temps, cette synthèse propose une vue technique d'ensemble qui souligne la spécificité des Meules Rotatives Basses de l'Antiquité, en particulier une culture méditerranéenne de la conicité. Elle propose de voir dans l'abandon de cette dernière les raisons de la vraie révolution médiévale, celle de la libération de la croissance du diamètre par l'adoption combinée de la Meule Plate, de l'Amincissement Relatif et de l'Anille, processus dont la chronospatialité et l'origine, empirique ou « calculatoire », restent entièrement à enquêter.

⁴ En Italien : *Molino a ritrecine* – en Espagnol : *molino de rodezno* – en Anglais : *Norse* ou *Greek Mill*.

PARTIE .I

ETAT de LA QUESTION

PROBLEMATIQUES

CORPUS

CHAPITRE .1

Le Moulin, une machine de l'Antiquité : acquis et questions

Aperçu historiographique sur l'archéologie des Meules et du Moulin

L'histoire de l'archéologie du moulin et des meules a été retracée à plusieurs occasions ces dernières années, ainsi pour le domaine de l'hydraulique par J.-P. Brun en 2007¹ : « *Il est désormais peu utile de revenir sur l'historiographie de l'utilisation de l'énergie hydraulique dans l'Antiquité. Les travaux d'O. Wikander, de M. Cl. Amouretti et plus récemment d'A. Wilson entre autres ont mis à bas la théorie établie dans les années 1930 consistant à minimiser l'impact de l'utilisation des moulins hydrauliques sous l'Empire romain et magnifier l'apport de la technologie médiévale. Après une relecture des sources écrites, l'archéologie a donné le coup de grâce, asséné par la nouvelle chronologie de la meunerie de Barbegal due aux fouilles de Ph. Leveau et par la multiplication des découvertes de moulins, principalement dans les provinces occidentales où les archéologues accordent une plus grande attention à ces questions.* ». Un panorama analogue est dressé par l'italien Di Pasquale en 2012², une mise à jour en italien est plus récemment due à L. Zannol (2016)³.



2. Dix ans après l'article de 2007, la contribution de J.-P. Brun sur la question du moulin, notamment hydraulique, apparaît essentielle et a fait en 2016 l'objet d'une mise à jour⁴. Elle est issue de la recherche qu'il a conduite sur les techniques de pressage des olives et du vin (par ex. BRUN 2005)⁵ et, au milieu des années 90, des fouilles qu'il a réalisées sur plusieurs moulins hydrauliques de Provence (BRUN *et al.* 1993)⁶. Ces recherches qui ont sans nul doute dynamisé l'archéologie du moulin en France, prennent place dans le cadre de toute une tradition de l'histoire et de l'archéologie envers les « forces productives », tradition souvent accompagnée pour le domaine francophone d'une culture ou d'un regard anthropologique (en particulier à travers des auteurs comme Amouretti, Sigaut, Raepsaet) et, pour le domaine italien, dès 1975

¹ Introduction de BRUN 2007 – *Les moulins hydrauliques en Italie romaine*.

² DI PASQUALE 2012– *Le strade della tecnica. Tecnologia e pratica della scienza nel mondo antico*. (moulin p.21-22 et 83-89).

³ ZANNOL 2016 - *Le macine tra Antichità e Medioevo : evoluzione tecnologica, produzioni e commercio*. Tesi di laurea, Università di Pisa, anno 2015-2016, 255 p.

⁴ BRUN 2016 – Les moulins hydrauliques dans l'Antiquité. In : JACCOTTEY, ROLLIER eds. 2016 – *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent*. Actes du colloque de Lons-le-Saunier (novembre 2011), p. 21-50.

⁵ BRUN 2005 – Archéologie du vin et de l'huile en Gaule romaine.

⁶ BRUN, CONGES, PASQUALINI 1993 – *Les fouilles de Taradeau (Var)*.

par G. Sébesta.

La question molinologique a été posée de manière bien souvent clairvoyante et avanguardiste entre 1985 et 1995 par M-Cl. Amouretti. Cette dernière réinstalla la question du moulin hydraulique (AMOURETTI 1987)⁷, cadra l'antériorité du moulin rotatif manuel, souligna que sa géographie se différenciait de celle de la Trémie d'Olympe et interrogea de manière plus critique qu'auparavant la chronologie et la place du modèle pompéien (AMOURETTI 1985, 1986, 1992, 1995 ; AMOURETTI, COMET 1995)⁸. Une vingtaine d'années plus tard, la leçon inaugurale de J-P. Brun au Collège de France (BRUN 2012)⁹ brosse un panorama précis et articulé par domaines (vin, huile, énergies, moulins, productions manufacturière, ports etc.) des recherches et de leurs acquis depuis à la fois le paradigme Marc Bloch (BLOCH 1935)¹⁰ qui faisait du moulin un acquis médiéval et le primitivisme de Finley (FINLEY 1978)¹¹ qui minorait à la fois la préoccupation technique et l'équipement d'une Antiquité par ailleurs perçue de manière géographiquement et chronologiquement très globale.

3. Un faisceau d'origines :

L'approche archéologique du moulin et celle des meules -qui n'est pas tout à fait la même chose puisque cette dernière s'applique uniquement à des objets et constitue ainsi une démarche restreinte et spécifiquement archéologique- emprunte à plusieurs domaines de l'histoire (antique et médiévale), de l'histoire des techniques (énergie, mécanique, hydraulique, charpenterie, métallurgie), de l'anthropologie des techniques (le moulin dans le système technique et social, sa charge symbolique) et de l'archéologie (production des sources, étude des séries de meules, distributions spatiales et chronologiques). Par l'archéométrie elle rejoint également la minéralogie géochimique (caractérisation et provenance des matériaux notamment les meules volcaniques) voire la physique des matériaux (qualités de la pierre meulière, rotation et mouture) sinon la nutrition¹². Enfin elle finira par rencontrer, nous l'espérons, l'ingénierie mécanique et par développer avec son aide la compréhension de la machine antique qu'est le moulin, épaulé en cela par une démarche d'archéologie expérimentale.

4. Byzance, Bloch, Finley :

Pour schématiser nous dirons que l'archéomolinologie¹³ part d'une tradition où tout progrès technique vient bien souvent de l'Orient et où l'histoire du moulin s'amorce dans la prégnance des textes grecs ou latins (le moulin de Vitruve, les mentions d'Apulée ou de Caton et, plus tard, à l'orée de Byzance, celles d'Ammien Marcellin et du Digeste ou auparavant l'Edit du Maximum fixant les prix sous Dioclétien...)¹⁴. Ce champ de la recherche a dû par ailleurs s'affranchir d'une double étroitesse qui le voyait enserré entre le paradigme de Marc Bloch (le moulin, cette conquête médiévale) et le paradigme primitiviste de Finley (1-il n'y a pas d'économie dans l'Antiquité 2- les Anciens ne s'intéressaient pas à la technique). Ces deux points de crispation générateurs de dogme ont largement affecté l'approche du moulin dans l'Antiquité¹⁵. La dynamique propulsive de cette dernière nous paraît

⁷ AMOURETTI 1987 - La diffusion du moulin à eau dans l'Antiquité, un problème mal posé.

⁸ AMOURETTI 1985 - La transformation des céréales dans les villes, un indicateur méconnu de la personnalité urbaine. L'exemple d'Athènes à l'époque classique ; AMOURETTI 1986 - *Le pain et l'huile dans la Grèce ancienne, de l'aire au moulin* ; AMOURETTI 1992 - Barbegal. De l'histoire des fouilles à l'histoire des moulins ; AMOURETTI 1995 - La mouture des céréales : du mouvement alternatif au mouvement rotatif ; AMOURETTI, COMET 1995 - *La transmission des connaissances techniques*.

⁹ BRUN 2012 - *Techniques et économies de la Méditerranée antique. Leçon inaugurale*.

¹⁰ BLOCH 1935 - Avènement et conquêtes du moulin à eau. *Les Annales*.

¹¹ FINLEY 1978 FINLEY - *L'économie antique*. (1973)

¹² Voir l'intéressant exemple GELINAS *et al.* 2004 - Stones adjustment and the quality of stone-ground wheat flour, *Int. Journ. Food Sci. Technol.*

¹³ Il ne s'agit naturellement pas d'une archéologie de plus mais simplement d'un vocable qui nous paraît commode pour désigner le champ particulier qu'est l'« archéologie des moulins et des meules ».

¹⁴ Nombre d'entre les textes antiques sont par ailleurs accessibles de manière souvent bilingue sur le site du projet ORViAMM : <http://www.orviamm.com/pagine/testi-antiqui-testes-antiquite/testi-sui-mulini.html>.

¹⁵ Un parallèle peut d'ailleurs être opéré avec l'histoire et l'anthropologie de l'attelage (Lefebvre Des Nöettes 1924) déverrouillée par le travail déconstructeur convergent de RAEPSAET et AMOURETTI (AMOURETTI 1991 - *L'attelage dans l'Antiquité. Le prestige d'une erreur scientifique*).

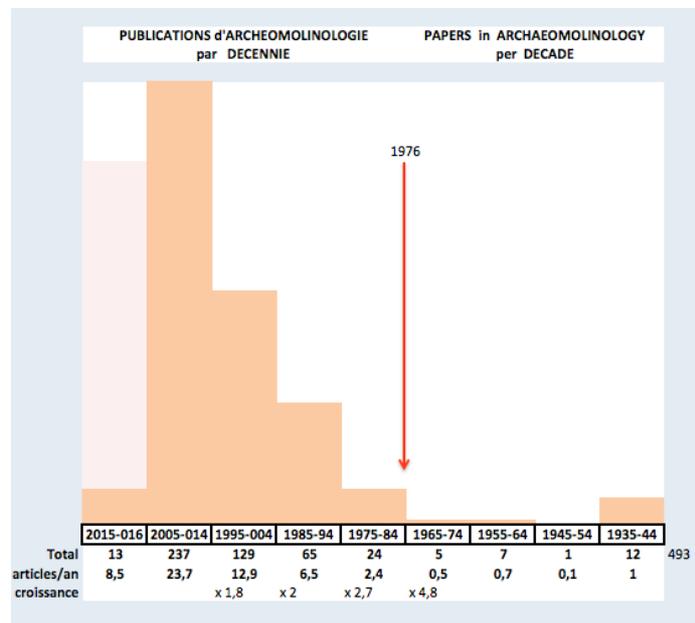
d'une part due à la force de la culture ATP dans les années 60/70 qui a convergé avec le marxisme (les « forces productives ») et avec l'anthropologie (Leroi-Gourhan) ou l'histoire (Amouretti) des techniques. Elle doit probablement aussi à une certaine passion critique de l'archéologie qui aime (et y réussit parfois) produire en propre¹⁶ et se singulariser par rapport à sa respectable mais souvent ombrogène grande sœur qu'est l'Histoire.

5. Un objet archéologique peu immédiat :

L'archéologie du moulin appellerait croyons-nous une analyse de détail, d'autant que -on y reviendra à divers reprises- le moulin n'est pas un objet archéologique immédiat. Il réclame en effet pour exister, des clés d'identification et des déverrouillages dont la construction, l'origine disciplinaire ou nationale ainsi que la durée de gestation mériteraient examen. A cet égard l'archéologie des meules observe un cheminement relativement distinct : l'intérêt ou l'enregistrement des meules apparaît dès le XIX^e s. mais les archéologues n'en font pas grand chose jusqu'à Curwen (années 40)¹⁷, épisode fondateur cependant suivi (voir encart **FIG. A et Z**) d'une longue stagnation.

FIG. A

Nous dirions volontiers que la période actuelle de forte activité « archéo-meulière » est caractérisée par une certaine déconnexion : tendanciellement en effet, on étudie d'une part les meules et d'autre part les moulins, les deux domaines montrant des difficultés pour se rejoindre. L'explication pourrait tenir à l'existence d'une part d'un fort déficit d'approche mécanique (cf. *infra* § 16) et, d'autre part à un certain cantonnement de l'étude des meules à une sorte d'objectologie redondante, liée au fait qu'elles ne sont pas interrogées du point de vue de la machine moulin.



Quelques POINTS suggérés par la BIBLIOGRAPHIE

6. Ce tableau général une fois brossé, nous avons choisi de nous arrêter un instant sur quelques points précis tels que nous les suggère une rapide exploitation de la bibliographie sous forme d'un tableau chronologique quantifié (**FIG.Z**). Nous aborderons également *passim* quelques aspects (par exemple l'approche mécanique ou la critique d'une « meularisation » excessive de l'archéologie du moulin), anticipant en cela sur des développements qui interviendront ultérieurement dans le corps de thèse mais qui manqueraient à cet état de la question alors-même que leur abord critique a parfois motivé certains choix ou angles d'attaque du présent travail¹⁸.

Cet examen est basé sur quelques 500 titres (liste arrêtée en 2017) qui comprennent les thèses et mémoires d'université inédits ainsi que des rapports de fouilles documentant des ensembles de meules recueillies en fouille. Ce corpus bibliographique trouve certes ses limites

¹⁶ L'archéologie du fer pour l'Antiquité et le Haut Moyen Age en est un remarquable exemple.

¹⁷ Voir à ce sujet l'intéressante note historiographique et l'hommage à Eliot Cecil Curwen publiée par D. WILLIAMS et D.P.S. PEACOCK (2011) en préface de *Bread for the People*.

¹⁸ Je fais ici référence, pour le moulin rotatif, à certaine « diamétrieologie » excessive ou à la faible attention portée à la conicité.

dans le fait que, centré sur la bibliographie française et italienne, il ne recense pas la totalité des titres espagnols et catalans¹⁹, anglais²⁰ ou allemands²¹. Par ailleurs ont été écartées presque toutes les références sur les moulins ou les meules médiévales et modernes ainsi que les ouvrages trans-chronologiques sur le moulin ou par exemple les publications sur l'eau et les roues élévatrices dans l'Empire romain, secteurs qui auraient inutilement « noyé » la bibliographie propre à la partie molinologique de notre sujet et à ses périphéries immédiates, déjà amples. En revanche ont été systématiquement prises en compte les publications d'ensembles de meules, visant l'exhaustivité en ce qui concerne les modèles pompéiens ou similaires (Morgantina, ring-catillus etc.).

FIG. Z Chronohistogramme des 509 publications concernant meules & moulins (en rouge les repères décennaux 2010, 2000, 1990 ... à 1930)



¹⁹ Pour l'Espagne, nous avons, comme pour la France d'ailleurs, écarté de la bibliographie la littérature consacrée aux sites eux-mêmes où ont été découverts meules ou moulins, sauf cas de publication de grandes quantités ou de parution unique ; géographiquement nous nous sommes limité au Nord-Est, foyer d'origine actuellement défini pour le moulin rotatif, complété par la thèse d'Anderson (grand tiers Sud de l'Espagne).

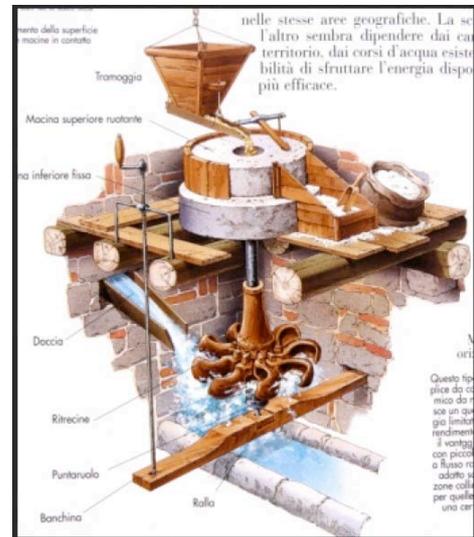
²⁰ Pour les îles Britanniques, riches en archéo-molinologie (cette activité y est née), nous nous sommes limités à quelques corpus meuliers régionaux qui fournissent des points de référence suffisants pour opérer des comparaisons avec les moulins rotatifs d'Orvieto ou pour concourir à la géographie ou la chronologie de certains traits culturels (tels que le moulin plat par exemple).

²¹ A notre grand dam nous ne lisons pas l'Allemand, langue dans laquelle ont été publiées quelques contributions essentielles (meules romaines de l'Eifel, épaves meulières dans le Rhin, transport fluvial Rhin, Sambre, Meuse, moulins de Saalburg et de Zugmantel etc.) moins encore le Tchèque ce qui nous prive d'un accès précis aux productions de Bohême (Lovosice Oparno).

7. **L'essor :** L'archéomolinologie prend son envol en 1976. A compter de cette date en effet, la production de publications entame sa croissance après avoir cessé, en 1973, d'être discontinuée. Les parutions sont désormais non seulement régulières mais en continuelle augmentation, avec un doublement chaque décennie (FIG. A). Sur les 40 ans qui nous séparent de 1976, la moyenne s'établit à 12 publications par an, archéométrie comprise.

FIG. Z-2 Moulin à rodet (www.museisantagata.it)

8. **Le moulin à rodet :** L'intérêt pour le petit moulin à roue horizontale (*Fr.* Rodet ou Rouet²², *Engl.* Norse mill, *It.* Ritrecine, *Esp.* Rodezno) est quasiment aussi ancien (GOUDIE 1886 Ecosse, LUCAS 1953 Irlande) que celui pour la roue verticale, bien que le rodet n'ait pas bénéficié de textes antiques pour appuyer sa fortune. Cet intérêt pour un moulin populaire passé largement inaperçu des archéologues non britanniques (à l'exception de AMOURETTI 1987, 14) provient essentiellement des milieux ATP ou liés aux traditions régionales (ex. Irlande ou Corse avec Orsatelli). Le principal archéologue du moulin à rodet est RYNNE dont les publications débutent en 1989 dans la sphère altomédiévale.



Dans la décennie 2010 ce moulin, dont l'importance est rappelée en 2013 par le médiéviste et techno-historien P. BENOIT²³, fait l'objet d'études techniques (rendement, orientation et forme des pales) de la part des milieux de l'ingénierie (par ex. PUJOL *et al.* 2015, VASHISHT 2012), ceci en rapport avec le Développement Durable et la disparition rapide de ce moulin encore traditionnel en Inde et au Népal. Nous avons abordé dans les actes du colloque de Brescia la probable sous-estimation archéologique de ce petit moulin populaire, déjà évoquée par J.-P. BRUN (2012)²⁴. Nous pensons en effet que ses pierres se fondent actuellement dans la masse des meules courantes et qu'il conviendrait de chercher à les identifier (pour commencer, leur meule dormante, la *meta*, est forcément perforée, caractéristique en nette augmentation à partir de l'époque Augustéenne, autour du changement d'ère - CHARTRAIN 2015)²⁵.

FIG.Z-3 Chrono-histogramme des publications sur le moulin hydraulique (arrêté à 2015)



9. **La primauté hydraulique :** Le moulin hydraulique, le plus souvent à roue verticale, apparaît comme une constante forte de l'archéo-molinologie et suscite une production régulière sur la base des textes antiques ou des éternels cas connus (en général des fouilles anciennes : Rome, Chemtou, Barbegal). La période de creux publicatif a vécu (FIG.Z-3) de contributions sur le moulin hydraulique (pour l'archéologie : CURWEN 1944²⁶, le moulin de Vitruve : MORITZ 1956²⁷ et MORITZ 1958²⁸) complétées par de régulières parutions sur la tradition régionale des moulins à eau ou sur l'enregistrement des vocabulaires techniques (ex. MAGNANTI 1970²⁹). Il en ressort une sur-visibilité du grand moulin hydraulique à roue verticale qui constitue une sorte de

²² C'est la forme, plus septentrionale sans doute, qu'emploie l'ingénieur hydraulicien Alain SCHRAMBACH (2009), toutefois nous éviterons ce terme pour le réserver à la roue d'engrenage pour laquelle « rouet » a été consacré par l'usage courant.

²³ BENOIT 2013 – *Remarques sur les fouilles de moulins à eau médiévaux en Europe.*

²⁴ BRUN 2012 – *Techniques et économies de la Méditerranée antique. Leçon inaugurale* (en ligne, § 71).

²⁵ CHARTRAIN 2015 – Il mulino, una macchina dell' Antichità. In : ARCHETTI 2015 ed. – *La Civiltà del Pane.*

²⁶ CURWEN 1944 – The problem of early water mills, *Antiquity.*

²⁷ MORITZ 1956 – Vitruvius' Water-Mill, *The Classical review.*

²⁸ MORITZ 1958 – *Grain-mills and flour in Classical Antiquity.*

²⁹ MAGNANTI 1970 – *Nomenclatura dei mulini ad acqua del Po, Lingua Nostra.*

moulin *princeps*. Il est heureux que depuis peu (CHARTRAIN 2015, 438-440 ; BRUN 2016, 39) la petite hydraulique commence à être abordée à la mesure des interrogations qu'elle soulève. Bien plus que le grand moulin hydraulique qui truste la vedette, elle constitue en effet un enjeu essentiel dans l'appréciation de l'intensité de l'équipement hydraulique antique.

10. **La production archéologique de moulins** : J.-P. Brun a bien fait le point sur les effets de source concernant la rareté des attestations du moulin (hydraulique) et la montée en puissance de la nouvelle documentation (BRUN 2012)³⁰ à partir du déverrouillage paradigmatique opéré par WIKANDER (1979 sq.)³¹ et AMOURETTI (1986). La découverte archéologique de moulins *in situ*, amorcée en 1978 par celui des Martres-de-Veyre en Auvergne (ROMEUF)³² puis en 1984 par le moulin d'Ickham (Kent ; SPAIN)³³, s'accompagne d'une relecture ou d'une meilleure qualification de moulins plus anciens, notamment ceux de Rome (Palatin, Janicule, Thermes de Caracalla) mais aussi ceux d'Orient ou d'Afrique du Nord, terres de prédilection de l'archéologie classique. Un des moulins récemment publiés est celui de la villa gallo-romaine de Vareilles, découvert en 1999 sur les fouilles de l'A.75 à 50 km de Montpellier et dont nous avons prédit la présence en rédigeant le projet de la fouille ensuite confiée à la direction de St. Mauné. Ce dernier a également fouillé un autre moulin hydraulique du Haut-Empire sur la villa-agglomération de L'Auribelle Basse à Pézenas (MAUNE, PAILLET 2003 ; MAUNE *et al.* 2007)³⁴. La parution du colloque de Lons-le-Saunier est venue en 2016 allonger la liste (BRUN 2016).

FIG.Z-4 Chrono-histogramme des publications molinologiques antiques pour l'Italie



11. **La contribution italienne** : Dans ce survol historiographique nous avons naturellement regardé de plus près la situation de l'Italie, dont J.-P. BRUN (2007) dit qu'elle devrait normalement constituer une terre de prédilection pour le moulin hydraulique. Pas plus qu'ailleurs pensons-nous mais nous partageons l'essentiel de son analyse ainsi que la nécessité d'enquêtes sur les meules (un rayon régional ou tri-régional est préférable) à conduire dans les dépôts et musées (nous avons amorcée celle du Musée des Thermes de Caracalla, quelques étudiants y travaillent également tels que L. Zannol à partir de Pise et pour la période médiévale³⁵). En revanche nous attendrions moins du développement d'une improbable archéologie préventive italienne, surtout si comme en France on y survalorise le moulin à grande roue verticale, continuant à sous-estimer le moulin à rodet dont les vestiges sont plus ténus ou aisément plurivoques. Il convient indubitablement à propos du moulin à roue horizontale, d'emprunter aux savoirs-faire de nos confrères des îles britanniques et sans doute de consacrer un congrès au petit moulin.

Il est probable enfin que la turbine (rodet entièrement plongé dans l'eau) passe également largement inaperçue alors que nous l'avons repérée plusieurs fois greffée sur les bassins, aqueducs ou évacuations de grandes villas. Comme nous l'avons suggéré pour celle que nous avons identifiée à Vareilles (Hérault) cette machine a pu servir à animer des automates ou des mises en scène, mais la panoplie des utilisations est sans nul doute multiple et rien ne dit qu'elle ait servi toute l'année. On devrait regarder de plus près les équipements des villas italiennes et les débouchés des grandes citernes sur lesquelles, dans une autre optique, WILSON

³⁰ BRUN 2012 – *Techniques et économies de la Méditerranée antique. Leçon inaugurale*. (en ligne Chap. 4.3, § 38-39)

³¹ WIKANDER 1979 – *Water-mills in Ancient Rome, Opuscula Romana*, suivi de : WIKANDER 1981 – *The use of water-power in classical Antiquity, Opuscula romana*, ou encore de : WIKANDER 1984 – *Exploitation of water-power or technological stagnation? A reappraisal of the productive forces in the Roman Empire*.

³² ROMEUF 1978 – Un moulin à eau gallo-romain aux Martres-de-Veyre (Puy-de-Dôme), *Revue d'Auvergne*.

³³ SPAIN 1984 – The second century Romano-British watermill at Ickham, Kent, *The History of Technology*.

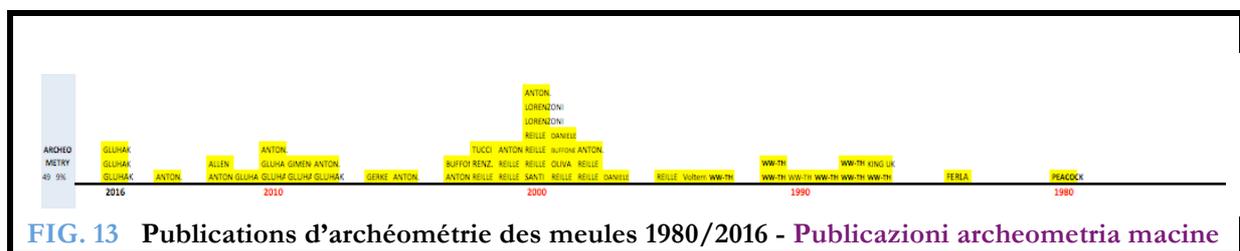
³⁴ MAUNE, BOURGAUT, PAILLET 2007 – *Un moulin hydraulique du II^e s. apr. J.-C. dans l'établissement de l'Auribelle-Basse (Pézenas, Hérault)* ainsi que MAUNE, PAILLET 2007 – *Stockage et transformation des céréales au sein d'un grand domaine rural de Gaule Narbonnaise (Ier-IIe s. ap. J.-C.) : l'exemple des moulins hydrauliques de Vareilles et de L'Auribelle-Basse (Hérault)*.

³⁵ Laura ZANNOL, tesi di laurea di specializzazione, Università di Pisa, dir. Prof. F. Cantini.

(2009) a attiré l'attention : ces citernes sont une réserve d'eau mais tout autant un stockage d'énergie en pays aride.

12. Singularités italiennes : L'activité archéo-molinologique italienne est présente dès l'origine (SEBESTA 1975 puis notamment DONNER et DAL RI autour de 1992) et apparaît assez constante. Elle est toutefois marquée par plusieurs phénomènes qui la différencient de son homologue française : la rareté des thèses de doctorat³⁶, la rareté des fouilles donc une faible probabilité de découvertes, un certain cantonnement de la molinologie dans le domaine moderno-médiéval (paradigme Bloch mêlé à l'impact de la préoccupation des "forces productives" et des « techniques productives » développée autour de FRANCOVICH³⁷ et de MANNONI³⁸), l'importance prise dans les publications par les catalogues d'exposition au détriment de la parution régulière de monographies et d'études de corpus régionaux tandis que la fouille de centres producteurs n'y paraît pas encore amorcée. La dynamique de recherche qui s'était instaurée lors de la période DONNER / DAL RI (1992-1994) s'est malheureusement rapidement tarie. L'étude régionale de qualité due à Maddalena DONNER (1992) a été menée à partir de l'Université de Padoue. Traitant un corpus de 124 meules elle n'a rien à envier aux travaux de l'essor français dont elle était strictement contemporaine (Levroux 1991, Lattes 1992), regrettamment elle n'a pas été publiée. Aujourd'hui l'Italie ne publie pratiquement aucun catalogue de meules (quelques cas, par exemple FRANCISCI 2011), qu'elles proviennent de musées ou soient issues de fouilles (néanmoins FACCHINETTI 2016). Souhaitons que le colloque de Brescia tenu en décembre 2014³⁹, initié par des médiévistes et modernistes et relatif au grain, à la farine, à la mouture ainsi qu'au moulin ait dans cette optique un impact positif.

13. L'archéométrie des meules : L'activité archéométrique apparaît (1980) quasiment au début de l'essor de l'archéo-molinologie (1976). La publication des analyses (FIG. 13) constitue une composante réduite mais régulière (48 titres sur 36 ans, soit une périodicité moyenne de 1,3 article par an). Elle intervient presque toujours dans des supports éditoriaux des sciences dures, à l'exception des articles de J. L. Reille sur le Midi de la France ou plus récemment de T. Gluhak. Cette activité présente 3 pics qui ne sont pas très bien coordonnés avec la courbe générale des publications archéo-molinologiques, montrant une certaine autonomie de l'archéométrie. Ces analyses portent presque en totalité sur le matériel effusif, impossible à discriminer à l'œil nu ou en pétrographie de lame mince mais qui a pu bénéficier de la révolution géochimique de la minéralogie intervenue dans les années 70 en accompagnement de la tectonique des plaques. En France, les études d'ateliers régionaux, d'ailleurs assez régulièrement accompagnées d'analyses pétrographiques, permettent un assez bon *provenancing* des meules archéologiques.



14. Périodisation de l'archéométrie meulière :

- pic 1 - 1987 / 1991 : partant des importations de moulins en lave attestés en Angleterre, il

³⁶ Noter celle, voisine, d'Arturo Zara (Univ. Padova) publiée en 2018 et portant sur l'extraction, l'emploi et la diffusion de la trachyte Euganéenne, qui traite des meules rotatives en tant que l'un des produits lapidaires de ce centre producteur à rayonnement de rang médian (200-300 km) .

³⁷ Par ex. FRANCOVICH ed. 1993 – *Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche. V Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia* (Certosa di Pontignano 1991).

³⁸ Par exemple MANNONI (T.) – *Archeologia delle tecniche produttive*. In : *Venticinque anni di archeologia globale*, 4, Genova 1994, p. 3-290.

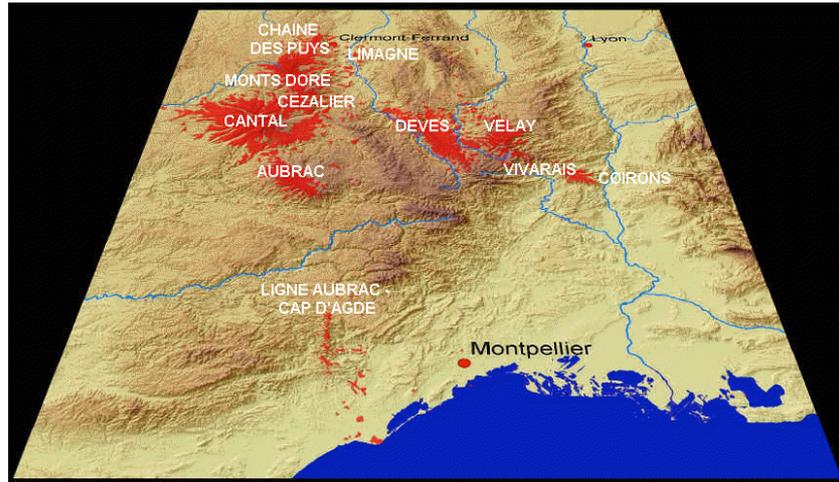
³⁹ ARCHETTI ed. 2015 – *La Civiltà del Pane*, 3 vol.

correspond essentiellement aux analyses de WILLIAM-THORPE et THORPE et embrasse d'emblée le volcanisme méditerranéen. Il se situe pleinement dans l'essor anglo-saxon du "Early Commerce" (PEACOCK 1977)⁴⁰. Cette première période apparaît relativement préalable au développement archéologique qu'elle va tendre à entraîner.

- **pic 2 - 1998 / 2003** : cette période ANTONELLI/LORENZONI - REILLE – BUFFONE, celle de plus grande intensité, est marquée par la variété. Elle cumule en effet diverses analyses, tant sur les meules antiques d'Italie ou de Pompéi que sur celles du Midi de la France ou de divers sites de l'Age du Fer méditerranéen. Intense et diversifiée, cette période archéométrique apparaît assez soucieuse de la dimension chronologique des phénomènes même si elle entend principalement montrer l'existence des échanges « large-scale ».

FIG. Z5

- **pic 3 - 2008 / 2016** : cette période ANTONELLI - GLUHAK apparaît dominée par l'activité de de cette dernière. Partant de la caractérisation des meules en basalte de l'Eifel, cette minéralogiste et géochimiste allemande développe l'exploration de la complexité de la signature géochimique des meules volcaniques du centre de la



Méditerranée (Sardaigne, Sicile, Pantelleria, îles Eoliennes, Etna, Monts Hybléens) posée initialement par les WILLIAM-THORPE. La composante archéologique et notamment chronologique apparaît toutefois secondaire dans cette approche qui semble plutôt soucieuse de caractérisation et de discrimination des matériaux volcaniques de la Sicile et de ses îles comme du domaine Egéen. Pendant cette biblio-période 3 centrée sur 2010 et toujours en cours, le laboratoire des matériaux historiques de Venise (IUAV, ANTONELLI) poursuit son intéressant travail de caractérisation-provenance (2012⁴¹ meules d'Aquileia, 2014⁴² meules DE VOS de Tunisie et Est algérien).

15. On notera en revanche, depuis l'article précoce de WILLIAM-THORPE (1993)⁴³, que l'analyse géochimique semble peu concerner les produits issus du volcanisme levantin (Golan et Nord Syrie), pourtant très étendu et producteur de mortiers et de meules (en particulier de nombreux modèles pompéiens), ceci bien que des référentiels soient amorcés avec l'étude des meules protohistoriques à va-et-vient (RUTTER *et al.* 2003)⁴⁴.

En France on relève une carence majeure : la rareté des prospections sur les ateliers meuliers du Massif Central et celle du référentiel géochimique de caractérisation des laves. Les notations sur les meules attribuées au massif ardéchois des Coirons (REILLE 2002)⁴⁵ comme les termes de la discussion portant sur les sources de provenance des meules volcaniques de Barbegal (LEVEAU 2007) illustrent à la fois le potentiel et le retard de la recherche concernant ce massif essentiel dont les matériaux (basaltes, trachytes, trachy-andésites, phonolites, rhyolites,

⁴⁰ PEACOCK ed. 1977 – *Pottery and Early Commerce. Characterization and Trade in Roman and Later Ceramics.*

⁴¹ ANTONELLI, LAZZARINI 2012 – The first archaeometric Characterization of roman Millstones found in the Aquileia archaeological site (Udine, Italy).

⁴² ANTONELLI, COLUMBU, DE VOS RAAIJMAKERS, ANDREOLI 2014 – An archaeometric contribution to the study of ancient millstones from the Mulargia area (Sardinia, Italy) through new analytical data on volcanic raw material and archaeological items from Hellenistic and Roman North Africa

⁴³ WILLIAMS-THORPE, THORPE 1993 – *Geochemistry and Trade of Eastern Mediterranean Millstones from the Neolithic to Roman Periods.*

⁴⁴ RUTTER, PEARSON, PHILIP, DAY, OTTLEY 2003 – *The use of ICP-MS in Provenancing igneous Stone Artefacts : examples from the southern Levant.*

⁴⁵ REILLE 2002 – *Meules à grain de provenance septentrionale (Coirons, Massif central) sur deux sites protohistoriques du Languedoc oriental ; Le Marduel (IVè-Ier s.) et Nages (IIIè-Ier s.).*

quelques laves à leucite également) sont diversifiés, parfois sans doute de discrimination délicate sans géochimie et d'attribution provenancielle difficile compte-tenu de la faiblesse des référentiels dans une région de l'ampleur du Massif Central (FIG.1 Z5).

16. **L'approche mécanique :** Si la préoccupation mécanique ou, à un moindre degré, fonctionnelle n'est pas absente chez les pionniers de l'archéo-molinologie (CURWEN 1944)⁴⁶, il faut après quelques jalons posés dans les années 1990 (FORBES 1993⁴⁷, CRESSWELL 1993⁴⁸, ARSEGUEL 1995⁴⁹ piloté par BUCHSENSCHUTZ 1998⁵⁰), attendre dix ans pour voir à partir des années 2004 se développer de véritables études d'ingénierie sur les moulins traditionnels hydrauliques. D'une certaine régularité, celles-ci concernent les propriétés mécaniques des moulins et de leurs composantes (roue, pales), leur rendement énergétique ainsi que les propriétés de la pierre, l'écartement ou l'humidité du grain ceci dans une perspective de qualité des farines. Ces études portent plus rarement voire jamais sur la transmission et la vitesse, sur l'inertie et la vibration ou le débrayage, jamais non plus sur l'oscillation ou les à-coups, sur la traction animale, l'échauffement etc. De même sont laissés de côté les types de moyeux ou d'anilles ou encore les modes d'actionnement et les formes de bielle ou manivelle. Ces études ne sont pas motivées par les préoccupations fonctionnelles ou structurelles soulevées par l'archéologie. La coupure est ainsi réelle entre ingénieurs et archéologues ou anthropologues des techniques alors qu'il s'agit pourtant d'une machine (cf. *infra* CHAP. 3).

17. **L'activité de publication des meules :** La publication d'ensembles de meules issues de fouilles ou de collections muséales, ou bien leur intégration dans des rapports archéologiques inédits jalonne l'activité archéo-molinologique depuis le XIX^e siècle (FIG. 16). Elle occupe 27% du volume total des références bibliographiques. Elle devient continue depuis 1986, reflétant en cela l'essor de l'archéologie préventive notamment en France, et contribue à configurer la courbe générale des publications. Le fait notable est la nette intensification de la mise à disposition des meules, notamment en France et en Espagne, à partir de 2005, moment charnière qui s'observe en effet sur plusieurs critères.

FIG. 16 (les comptages sont arrêtés à fin 2015, seul le diagramme a été complété pour 2016 et 2017)

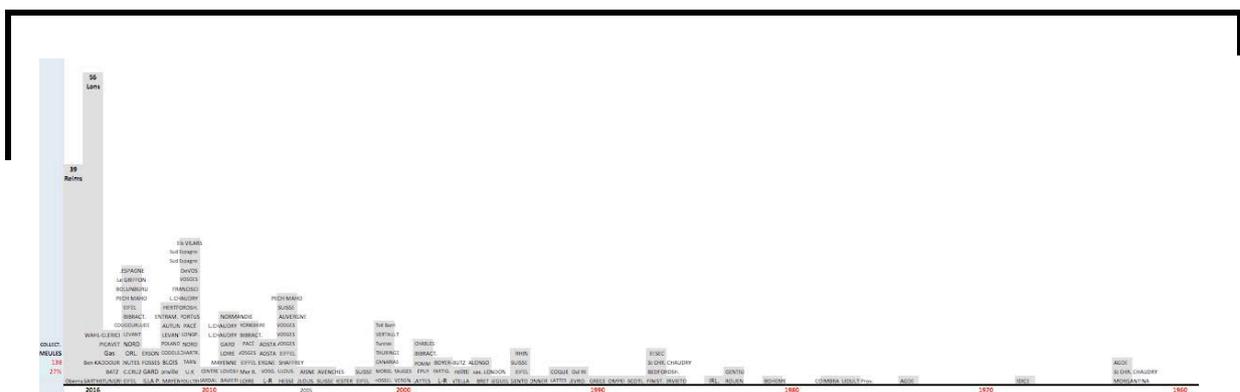


FIG. 16 Publication d'ensembles de meules 1960-2015 - Pubblicazione complessi macine

18. **Périodisation :** Sur les 30 dernières années (FIG. 16), 3 périodes de mise à disposition des corpus meuliers se dégagent :

⁴⁶ CURWEN (E. C.) – The problem of early water mills, *Antiquity*.

⁴⁷ FORBES 1993 – The Greek or Norse mill and the water-turbine. In : FORBES — *Studies in ancient technology*, II.

⁴⁸ CRESSWELL 1993 – Of mills and waterwheels. The hidden parameters of technological choice . In : LEMONNIER ed. – *Technological choices*.

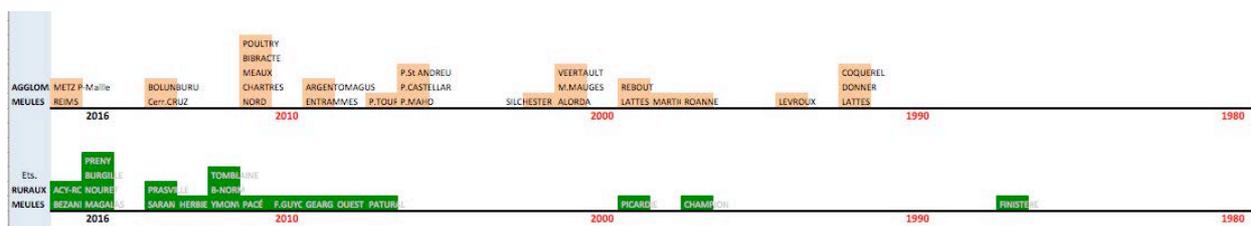
⁴⁹ ARSEGUEL, PETITJEAN 1995 – *Étude théorique et pratique de meules antiques*. Rapport de stage de l'École Centrale Paris

⁵⁰ BOYER, BUCHSENSCHUTZ 1998 – Les conditions d'une interprétation fonctionnelle des moulins "celtiques" rotatifs à mains sont-elles réunies ?

- 1 - un **petit pic** apparaît **sur 1983-1988**, il constitue l'amorce d'un développement avec 9 références soit 7% du total (146). Le rythme est de 1,5 publication par an. Il s'agit le plus souvent de quelques meules (épave de El Sec, Orvieto, St. Christophe le Chaudry).
- 2 - une **période d'intensification** est perceptible **entre 1994 et 2001**, 28 ensembles sont alors rendus accessibles sur 9 années soit une moyenne de 3 par an (28 sur 9 ans). 19% des références relèvent de cette période d'intensification documentaire.
- 3 - **à partir de 2006** on observe une **forte activité de mise à disposition d'ensembles de meules** archéologiques. La moyenne annuelle atteint 4 ensembles par an (44 sur 12 ans). 50% des références appartiennent à cette période 3 qui se sépare de la précédente par la flexure des années 2002-2005.

19. L'éventail des contextes archéologiques s'élargit : les meules proviennent de centres producteurs, du milieu urbain, mais aussi de nombreux établissements agricoles voire manufacturiers ainsi que plus rarement de milieux funéraires ou cultuels. Les collections urbaines débutent principalement par les sites agglomérés de l'Age du Fer (Lattes, Levroux, Roanne, Martigues) et ce pendant une quinzaine d'années. Les premières collections antiques des villes ne sont publiées qu'en 2009 (Argentomagus, Entrammes) et vont se multiplier avec le colloque de St. Julien qui paraît en 2011. L'impulsion de l'archéologie protohistorique est donc nette. On remarquera dans ce contexte que les premiers ensembles agglomérés sont plutôt alpins et méridionaux (Lattes, le Trentin italien, la Provence).

FIG. Z6 Chrono-histogramme de la publication des ensembles meuliers urbains (en orangé) et ruraux (en vert)



Les collections urbaines sont traitées une bonne dizaine d'années avant les ensembles ruraux. Initiés dans les années 90 par la publication de quelques ensembles régionaux (Finistère, Picardie de Cl. Pommepuy), ces derniers n'apparaissent pour l'essentiel qu'à partir de 2007 avec la publication du Pâtural en Auvergne⁵¹ et dès lors la publication des meules issus des établissements ruraux va devenir continue, souvent intégrée à des monographies⁵² et montrer une prédominance du Bassin Parisien. A compter de 2014 ces publications semblent remplacer celles antérieures, d'ensembles meuliers ruraux plus ou moins hétéroclites.

20. L'accroissement de la production documentaire due notamment en France à l'essor de l'archéologie préventive (1985 sq.) ne s'accompagne malheureusement pas d'une mise à disposition proportionnelle des ensembles de meules, l'accès aux rapports de fouille⁵³ restant en France très limité même 5 ou 10 ans après leur dépôt qui intervient fréquemment 2 à 4 ans

⁵¹ Noter l'exception constituée par la publication en 1997 au sein d'une monographie, des meules de la villa belge de Champion par P. Van Ossel, chercheur belge en poste en France et travaillant à la fois sur la Belgique et la France.

⁵² Par exemple celles publiées en supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France.

⁵³ En regard de l'activité productive majoritaire de l'Inrap le système documentaire Dolia aurait dû nous permettre l'accès à de nombreux ensembles, mais l'expérience s'est révélée très décevante malgré la bonne volonté du service; concernant les autres opérateurs en France, nous n'avons pas rencontré de système d'accès organisé mais des rapports sont régulièrement accessibles en ligne (sur Academia.Edu notamment); les contacts avec les archives de la Sous-Direction de l'Archéologie, qui conserve un exemplaire de chaque rapport (Inrap ou non) ont été infructueux : on nous a invité à faire une infaisable tournée des SRA ; le Groupe Meule nous a quant à lui refusé tout accès même partiel aux données qu'il maîtrise. Au total les rapports directs et personnels ont été la principale source d'accès à une documentation primaire censée être à disposition et publique et une nouvelle fois il convient de remercier chaleureusement les collègues qui privilégient l'accessibilité et le partage des données.

après la fouille. Pour notre part nous avons décidé que notre travail et les données qui le fondent seront à son issue rendu accessibles directement en ligne.

21. Cette activité de publication, essentielle au développement des études, s'accompagne d'un effort de normalisation⁵⁴ (FIG. D). Cette dernière n'est pas toujours suffisante dans le domaine des trous, emmanchements ou stigmates divers. Elle gagnerait par ailleurs à être complétée de la publication des tables de mesure. Ces dernières, plus nombreuses, sont souvent largement incomplètes en ce qui concerne les trémies d'Olymthe, également en retard sur le plan de la normalisation.

FIG. D Exemple de publication d'une planche normalisée de meules (JODRY 2011 in *Evolution typologique...*) Esempio di pubblicazione di macine secondo la normalizzazione francese

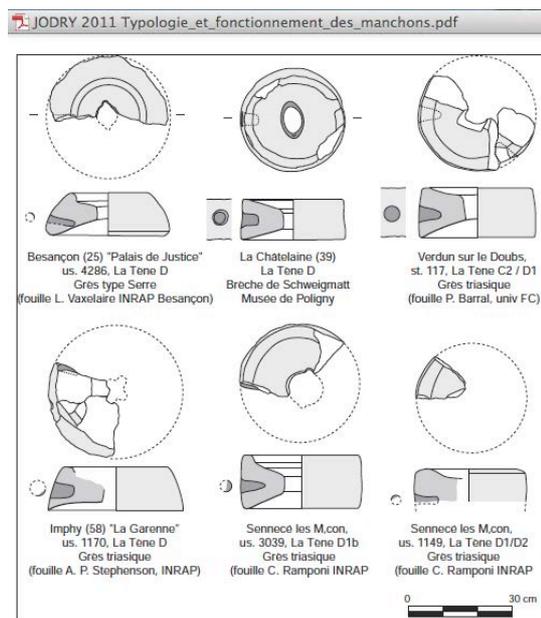


Fig. 7. Manchons de meules laténiennes en Franche-Comté et Bourgogne (Jaccottey).

22. Les centres producteurs :

On notera avec intérêt que la période 3 actuelle d'intensité publicationnelle définie plus haut s'accompagne de publications relatives à des centres producteurs (également appelés « meuliers »)⁵⁵ (FIG. E). Des zones d'extraction ou à défaut des aires de provenance d'échelle locale ou régionale sont régulièrement associées aux meules publiées. Après 2 brèves mentions en 1963 (LAVILLE et ARIS pour respectivement St. Christophe-le-Chaudry dans le Cher et Agde dans l'Hérault)⁵⁶, l'intérêt pour les carrières meuliers se développe lentement : une petite série voit le jour sur 1990-95 (par ex. AMOURIC 1991 sur la Provence ou DOSWALD 1994 sur l'Eifel)⁵⁷ mais la décennie 90 reste bien maigre malgré en 1995 la première publication de l'atelier de Els Vilars d'Arbeca qui n'est pas situé sur une carrière (ALONSO MARTINEZ, 1995) et qui à la fois sanctionne l'ancienneté des Meules Rotatives basses et installe le foyer d'origine en Espagne du N-Est.

23. L'affleurement documentaire de l'intérêt pour les carrières de meules et centres de production devient plus régulier à compter de 2000 avec la première publication de la carrière suisse de Châbles (ANDERSON, VILLET, SERNEELS 1999) suivie de la monographie en 2003, les travaux de J-L. Reille sur les meules d'Agde en relation avec Lattes (REILLE 2000). En dépit de sa richesse (y compris sur la métrologie et les mesures des meules) et de son impact, la publication du colloque de la Ferté-sous-Jouarre à l'initiative de M. Barboff et Fr. Sigaut (BARBOFF *et al.* 2006) est d'un apport limité dans le domaine des centres producteurs (principalement modernes ou transcrits à travers des photos s'agissant de l'Eifel antique à moderne). L'archéologie préventive ne présente aucune communication à La Ferté, mais pendant la décennie 90 éditorialement plutôt creuse pour les meuliers se développe néanmoins, initiée à partir des marbres d'Orient, toute une archéologie des carrières qui vient investir l'archéologie métropolitaine : on en donnera pour se limiter au domaine français deux exemples,

⁵⁴ Exemple sur FIG. D ci-après et voir notamment JACOTTEY, FARGET 2011 – *Les normes de dessin des meules rotatives*.

⁵⁵ Alain Belmont a d'ailleurs créé une utile base de données qui recense les carrières :

<http://meuliere.ish-lyon.cnrs.fr/presentation.html>

⁵⁶ LAVILLE 1963 – *Découverte d'une carrière gallo-romaine spécialisée dans la fabrication de meules à grains domestiques à Saint Christophe le Chaudry*. ; ARIS 1963 – *L'industrie du basalte dans l'Antiquité à Agde, les fabriques de meules, les carrières et la ville légendaire d'Embonne*.

⁵⁷ AMOURIC 1990 – *Carrières de meules et approvisionnement de la Provence, au Moyen Âge et à l'époque moderne*; DOSWALD 1994 – *Herkunft und Verbreitung der römischen Mühlsteine im Kanton Aargau. praktische Geologie in römischer Zeit*; CABEZUELO ET AL. 2000 : CABEZUELO, CONNIER, GAUTHIER – *Les carrières de meules de moulins dans la région de Vic-le-Comte : premier état de la recherche*.

celui de la fouille préventive de la carrière de Tendu dans l'Indre en 1995 (PICHON, rapport de fouille inédit) ou la publication par J.-Cl. BESSAC en 1996 et 2002 de la carrière du Bois des Lens puis celle du Pont du Gard)⁵⁸. Mais il faudra attendre les années 2005 pour voir des publications concernant de carrières de meules (Avrilly en basse-Normandie, les Fossottes dans le massif des Vosges ou La Marèze dans le Tarn) avec un net développement marqué en 2011 par la parution du colloque de St. Julien dont des exemples comme la meulière de Portus en Charolais (JACCOTTEY 2011). Le déficit principal en ce domaine est la zone des laves du Massif Central où la recherche s'amorcera seulement dans les années 2010⁵⁹. **FIG. E**

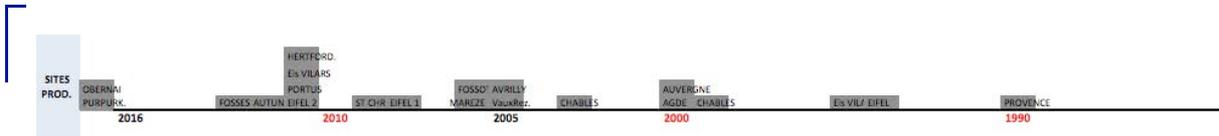


FIG. E Publication des ateliers producteurs de meules - Pubblicazione officine di lavorazione macine

Après la publication du site extractif et de façonnage Châbles (Suisse) en 1999 et 2003, 9 ateliers ont ainsi été concernés par une publication en 12 ans et durant la période 3, mais jamais encore par une monographie, Châbles demeurant un isolat méritoire (et exploitable).

FIG. 19 zones de provenance des MRB

24. **Contexte de notre corpus :** Sur ces bases récentes et assez régulières, relativement homogènes dans leur spatialité et présentation, il nous a été possible de réunir pour l'étude des meules d'Orvieto un corpus de comparaison de 2.877 meules qui, pour se limiter à sa composante Meules Rotatives Basses (MRB) moins aléatoire que celle des Modèles Pompéiens s'élève à 2.616 MRB et se répartit comme suit : 58 % des meules venant de France, 10 % d'Espagne, de Suisse et du Royaume Uni, 7% proviennent d'Italie, 4% d'Allemagne et 2% de Belgique (**FIG. 19**). De ce volume de comparaison, 23 % provient de matériel inédit⁶⁰, c'est à dire de rapports de fouille mais surtout de mémoires de master ou de doctorat disponibles sur internet ou que les auteurs ou les institutions ont bien voulu nous transmettre⁶¹.

CORPUS des MRB par ZONE Géographique					
	Nombre d'Assemblages		Nbre de MEULES		Total MEULES
	ATELIERS EPAVES	sites d' UTILISATION	ATELIERS EPAVES	sites d' UTILISATION	
Belgique		2		51	51 2%
UK	1	2	10	260	270 10%
SUISSE	1	2	106	140	246 9%
Allemagne	3		105		105 4%
Espagne	2	5	158	100	258 10%
Italie		3		174	174 7%
France	10	42	272	1240	1512 58%
			42%	63%	2616

Ce corpus de comparaison, qui sera présenté plus en détail au **CHAP.6-2** de cette première Partie, regroupe 75 ensembles et autorise une répartition assez régulière des points de documentation archéologique ce qui nous a permis, malgré quelques zones lacunaires, d'exploiter cartographiquement plusieurs paramètres meuliers (**CHAP.6-2, p.154-157**).

Les THÈSES (doctorat, PhD)⁶²

⁵⁸ PICHON 1995 : – *Le canal gallo-romain et les carrières du Pont de Tendu à Tendu (Indre)* ; BESSAC 1996 — *La Pierre en Gaule Narbonnaise et les carrières du Bois des Lens (Nîmes) : Histoire, Archéologie, ethnographie et techniques*. et BESSAC, VACCA-GOUTTOULLI – *La carrière romaine de l'Estel près du Pont du Gard. Gallia*.

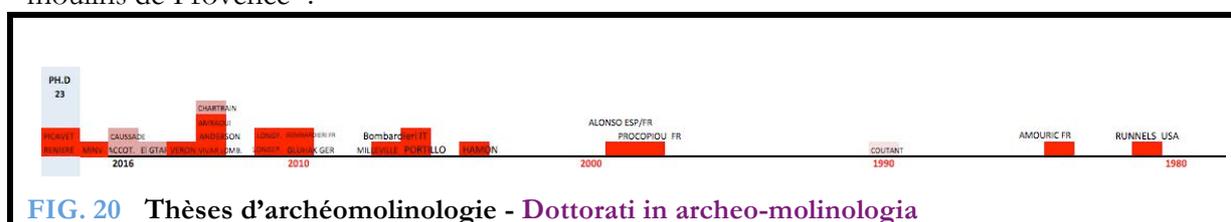
⁵⁹ Sur l'appareil volcanique du Kilian dans la zone du Puy de Dôme et de son temple à Mercure, notamment depuis 2010 autour de B. Douteysier, D. Miaillier et P. Boivin (MIALLIER *et al.* 2010).

⁶⁰ 615 MRB sur les sites n° 3-23-24-25-46-59-60-65-66-72-93-38-4 dont on trouvera les noms et détails au **CHAP. 6**.

⁶¹ Notamment pour les masters Maddalena DONNER pour la Vénétie-Trentin, Emilie THOMAS pour le Toulousain, Virginie FARGET pour les Fossottes, Aurèle GAULTIER pour St. Christophe-le-Chaudry ; pour les doctorats nous avons eu accès en ligne à ceux de Gustau VIVAR LOMBARTE, Timothy ANDERSON pour le Sud de l'Espagne, Maria PORTILLO pour la Catalogne et Pech Maho ; que tous soient ici vivement remerciés ainsi que Vincent Guichard pour la transmission du rapport sur les meules de Bibracte 2008 et St. Verger pour celui de COQUEREL 1992 sur les meules de Provence.

⁶² IL n'est pas aisé d'accéder à un recensement européen des thèses : il ne semble pas exister de site au nivrau de l'Europe et le portail Dart Europe, difficile à manier en l'absence de module de recherche avancée et dont on ignore le recrutement (universités adhérentes ? insertions indiuiduelles ? alimentation payante ?), ne précise pas s'il s'agit de PhD ou de « thèses »,

25. Chronologie : Concernant le champ moulins, meules et mouture⁶³ nous avons recensé 24 thèses (**Liste p. 33 et FIG.25 p. 34**)⁶⁴. L'une d'entre elle (2005) semble abandonnée et 4 sont entrées en préparation entre 2013 et 2016 dont la présente. Le mouvement est amorcé en 1981 par le doctorat de RUNNELS, soutenu aux USA et concernant la mouture en Argolide ancienne. Il est suivi, en 1984, de la thèse de Henri AMOURIC en histoire médiévale sur les moulins de Provence⁶⁵.



Après un creux de 14 ans correspondant pourtant à l'essor des études de molinologie archéologique, deux doctorats importants sont soutenus qui ouvrent une période 2 : en 1998 celui de Hara PROCOPIOU sur le broyage et la mouture dans le monde antique Egéen, en 1999 celui de Natalia ALONSO sur la mouture et l'alimentation à l'Age du Fer dans le monde ibérique. Ces deux contributions et les travaux suivants des deux auteurs participent d'une nouvelle et forte dynamique de la recherche, l'une en direction du moulin rotatif, l'autre dans le domaine proto-historique du broyage et de la mouture sur tables lithiques.

26. De la meule aux denrées : Cette dynamique s'accompagne d'études s'intéressant aux stigmates (*use-wear analysis*) et aux micro-restes organiques ou minéraux. L'objectif est d'identifier les produits broyés et parmi elles les denrées alimentaires et cultivées. Cette orientation touche encore peu les meules rotatives⁶⁶. Pourtant, la diversité des denrées ou farines répertoriées pour l'Antiquité (BUONOPANE 2015)⁶⁷ a dû se décliner de manière différentielle dans l'espace et le temps tandis que se pose également la question de la place des semoules (céréales concassées). Si la demi-décennie 2001-2005 reste pauvre en thèses à caractère archéo-molinologique, elle voit néanmoins soutenue celle de Caroline HAMON (2004) sur la mouture néolithique du Bassin Parisien qui nous semble marquer l'installation définitive de ces recherches dans le domaine de la préhistoire récente⁶⁸.

27. Histoire ou Archéologie : Trois filons peuvent être distingués dans la série des thèses. Un filon d'histoire médiévale se consacre aux moulins (moteurs) hydrauliques utilisés à la mouture mais aussi pour des usages industriels (marteaux-pilons, fouloir, marteau à tan etc.), ceci dans une perspective à la fois économique, sociale et technique qui se base sur les comptes

« dissertations » ou « mémoires » de niveau Master, la nomenclature variant selon les pays malgré l'unification LMD ; aussi nous sommes-nous appuyé sur le portail français www.theses.fr, le complétant avec nos connaissances du réseau des doctorants, ce qui laisse une (large ?) place à des lacunes.

⁶³ Nous n'avons pas pris en compte les doctorats concernant essentiellement les roues à eau, tel celui de KAMASH (Z.) 2006 – *Water Supply and Management in the Near East. 63 BC-AD 636*. soutenu à Oxford.

⁶⁴ Nous avons, en sus de notre bibliographie progressivement construite, exploité la base theses.fr, la base HAL ainsi que Google. Outre les précisions de titre, aire ou université, ces consultations nous ont principalement informé des thèses de Y. COUTANT et C. VERON en histoire médiévale.

⁶⁵ Parmi les sources récentes que nous avons pu dépouiller en PDF hypertexte, (thèse/these/doctorat/PhD/tesi) on relève les mentions de thèse molinologiques suivantes : aucune parmi la quinzaine de thèses citées par PORTILLO 2006, (alimentation, sites, phytolithes) ; ANDERSON 2013 cite RUNNELS 1981 ; BRUN 1998 (moulin des Mesclans) cite AMOURIC 1984 ; BRUN 2007 (Pont du Gard) n'en cite pas, BRUN 2012 (leçon inaugurale) cite le doctorat de M. FLOHR sur les foulonneries du Vésuve ; BRUN 2012 (cours Collège de France sur Energies antiques) cite la thèse de S. LONGEPIERRE sur les meules du Midi ; VIVAR LOMBARTE 2013 cite parmi 7 thèses celle de PORTILLO 2006 ; les thèses RENIERE 2018 et PICAVET 2019 n'étaient pas accessibles lors de la rédaction de cette note en juin 2019, il en est de même de la thèse espagnole de Maria Angeles PASCUAL SANCHEZ soutenue à Cadix en 2018 et portant sur la production de farines de poisson dans les *Cetariae* du Sud Andalousie (cf. BERNAL CASASOLA, SAEZ ROMERO 2018).

⁶⁶ Nous l'avons naturellement écartée de notre champ d'étude s'agissant pour Orvieto d'ébauches et de meules non utilisées.

⁶⁷ BUONOPANE 2015 – *I cereali nel mondo romano. Le fonti letterarie*. In : ARCHETTI ed. 2015 – *La Civiltà del Pane*.

⁶⁸ Suit en 2007 la thèse de A. MILLEVILLE sur le Néolithique de l'aire Rhin-Rhône tandis que C. Hamon entre au CNRS.

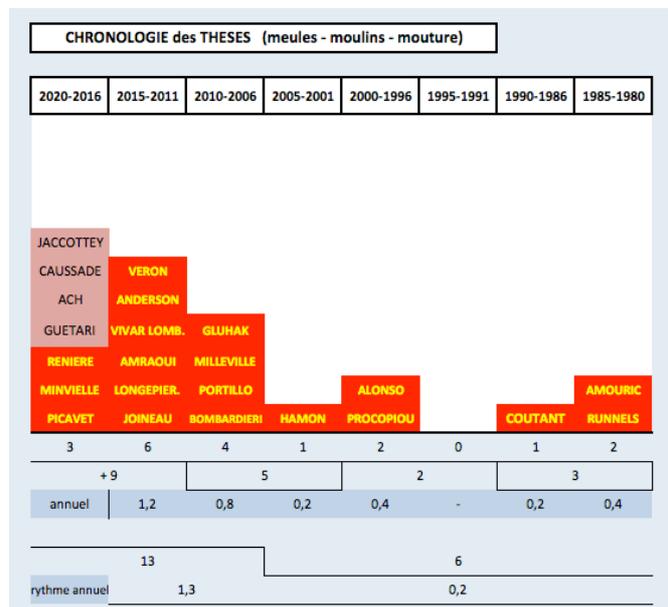
conservés par écrit. Comme le montre la carte (FIG. 23), les aires d'étude sont très réduites (échelle quasi départementale). Un second filon, archéologique, se consacre pour le Néolithique et l'Age du Bronze à l'activité de broyage et de mouture dans un cadre domestique ou éventuellement celui de première spécialisation du travail ou de la production (activité *household* vs spécialisation voire atelier). Il donne généralement (HAMON, MILLEVILLE, BOMBARDIERI) des aires d'étude larges. La troisième série de thèses est également archéologique et concerne essentiellement les meules rotatives.

28. Anthropologie ? : Entre 1980 et 2015, soit sur 35 ans, l'exploitation de notre bibliographie et la consultation de bases telles que *theses.fr* ne nous ont pas conduit à noter la réalisation de doctorats d'anthropologie sur le moulin ou la mouture (outils, positions, moments, groupes d'âge ou de sexe, symbolisme, emplacements, saisonnalité, dote etc.). Cette activité apparemment peu prise en compte pour la réalisation d'un doctorat anthropologique (sujet trop étroit ? affaiblissement de l'anthropologie des techniques ?) est néanmoins présente à travers un semis de missions et d'articles (par ex. HAMON, LE GALL 2011, Mali). Il existe par ailleurs toute une tradition de publications d'ethnologie traitant de moulin et mouture, en particulier sur l'Afrique du Nord. Importante parmi ces contributions est à nos yeux celle de J. VIGNET-ZUNZ (2014) sur le moulin à bielle-manivelle du Rif marocain⁶⁹. La fin de la production de moulins rotatifs dans le Sud tunisien motive la thèse entreprise en 2015 par H. GETARI, mais l'intitulé donne à penser que l'orientation est essentiellement historico-archéologique plus qu'anthropologique⁷⁰.

FIG. 21 Période d'intensification doctorale (2006-2019)

29. 2006, l'intensification doctorale :

L'examen de la chronologie des doctorats classés par demi-décennies (FIG. 21), met en évidence une césure en 2006 qui ouvre une période 3 des thèses en molinologie archéologique. A l'instar des publications ou de l'étude de corpus locaux, les doctorats se multiplient à compter de cette année 2006. Le nombre de thèses qui était de 6 pour les 25 ans de la période 1980-2005 passe à 13 doctorats soutenus et 4 en cours pour les 19 ans depuis 2006. Le rythme des thèses passe de 1 tous les 4 ans à presque 1 chaque année et demie. Il est assez probable que ce rythme soutenu se maintienne encore quelques années puisque rien que pour la France 4 doctorats sont en cours pour la demie-décennie 2015-2020 dont 2 initiés en 2016 (P. CAUSSADE à Bordeaux et L. JACCOTTEY à l'Université de Bourgogne-Franche Comté).



30. Intensification, diversification, primauté du rotatif : Jusque vers 2011 l'archéologie consacrait surtout ses thèses aux meules à va-et-vient du Néolithique au milieu de l'Age du Fer (6 sur 13) et celles portant sur les meules rotatives étaient épisodiques (3 sur 13) (Tableau des Thèses FIG. 24). Depuis 2013 l'effort doctoral porte intégralement sur les meules rotatives. Le parent pauvre est sans doute constitué par les meules à va-et-vient de type Olynthe (le spécialiste, R. FRANKEL (2003), Israël, a fait sa thèse (1984) sur les presses à olives),

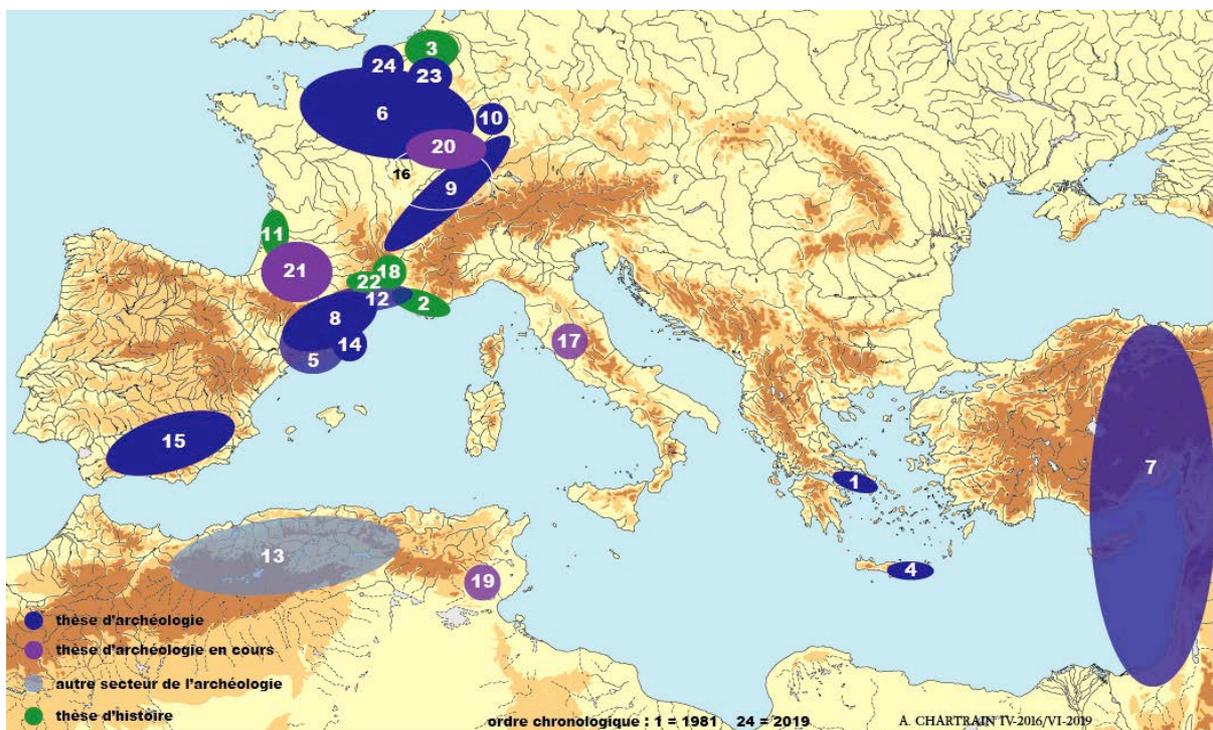
⁶⁹ Nous remercions chaleureusement l'auteur de nous l'avoir transmise par simple retour de mail.

⁷⁰ Le directeur de la thèse est Fr. Joannes, professeur d'histoire et archéologie des mondes anciens et médiévaux à Paris 1.

relativement rares il est vrai de l'Ebre au Rhin mis à part la zone Rhône/frontière italienne. L'évolution des thèses vers le domaine du moulin rotatif depuis 2011 s'accompagne d'une déféminisation (2 F / 12 PhD rotatif vs 5 F / 6 PhD va-et-vient soit 16% des femmes contre 83%) dans un ensemble où les thèses féminines représentent 37% du total depuis 1981.

L'actuelle période 3 d'intensification des travaux de thèse connaît également une diversification des thèmes doctoraux : aux sujets classiques (moulins médiévaux d'une région, mouture protohistorique à va-et-vient, Orient) viennent s'ajouter une thèse (ANDERSON 2013) à caractère diachronique et territorial, une autre proprement d'archéométrie des meules (GLUHAK 2010 -Allemagne rhéno-mosellane), une autre traite la cargaison d'une épave (VIVAR LOMBARTE 2013) tandis que non loin (PORTILLO 2006) on aborde la transition va-et-vient / rotatif dans l'aire d'influence du foyer de naissance de la machine rotative. La grande oubliée du travail doctoral semble être la meule rectangulaire à fente et va-et-vient dite Trémie d'Olymthe, une thèse annoncée en 2017 à Lille (S. Nodin) ne semble pas avoir été initiée. Espérons qu'une thèse sur ce sujet soit en cours dans le domaine que nous n'avons pas exploré (Allemagne, Grande Bretagne, Belgique, Suisse et Italie).

FIG. 23 Aires couvertes par les Thèses



31. Universités, aires géographiques et chronologiques :

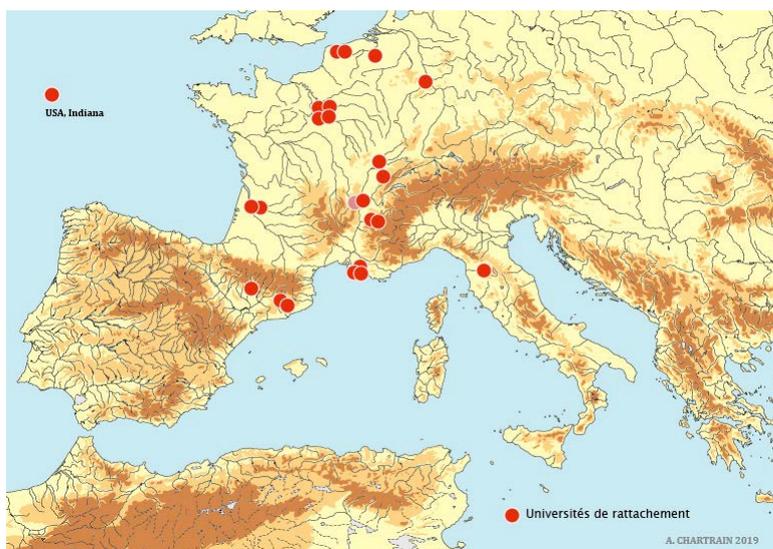
Il n'est pas aisé, voire pas spécialement intéressant, de tirer (FIG. 22) des enseignements à partir des Universités d'accueil des doctorats (dont aucun ne semble réalisé en co-tutelle). On se contentera ici de noter, hors l'habituelle force du pôle parisien (due à un mélange de démographie des chercheurs, de fort PIB Ile de France et de tradition archéologique) quelques points. L'intensité grenobloise (2 thèses sur 24) est due à l'activité de A. Belmont, spécialiste des meules et carrières meulières. On note par ailleurs 3 points chauds : 3 thèses en Catalogne (Uni. LLerida et Barcelona) qui se trouve être le foyer d'apparition du moulin rotatif bas, 3 thèses à Aix-Marseille dont 2 en Médiéval, enfin 3 sur l'arc Nord-Belgique (2 thèses à Lille et une à Ghent, les deux dernières étant récentes).

32. La géographie des aires couvertes par les thèses (FIG. 23), est peut-être plus indicative : on note la place importante prise par le Midi, de la Provence à la Catalogne, cette dernière en rapport avec le foyer d'apparition du moulin vers 500 BC, les deux autres en relation avec les

centres producteurs provençaux tels que La Courtine ou, en Languedoc, celui d'Agde et du Complexe volcanique Héraultais). L'Italie paraît absente de l'activité doctorale en molinologie ancienne et notre travail sur Orvieto représente sans doute une des toutes premières PhD de ce domaine. Il nous est difficile de dire si celle de l'Angleterre est due à notre exploration limitée du sujet Outremanche. L'Allemagne ne semble pas, au-delà du pôle Eifelien, très prolifique en matière de doctorats archéomolinologiques. Enfin en France, comme déjà noté à propos des corpus ou collections de meules, le Massif central reste un grand absent de même que tout un grand Ouest et le domaine alpin. En revanche on doit souligner l'intensité doctorale sur l'arc Nord-Belgique (3 thèses), activité bien venue s'agissant d'une zone dont RAEPSAET 1995 a dégagé l'importance pour les techniques agricoles (attelage, socs asymétrique, herse, avoine, faux, vallus) et, ajouterons-nous, région où s'est développé un moulin particulièrement prometteur, celui à meules plates (cf. Partie II).

Au plan de l'aboutissement éditorial on notera d'une part la récurrence de la non-publication des thèses molinologiques dans les années '90 (marginalité disciplinaire ? ou difficulté commune aux disciplines en cette époque de primo-informatisation ?), d'autre part l'apparition à compter de 2006 (PORTILLO, Espagne), voici donc 10 ans, de publications ou de mises à disposition en ligne (de type "archives ouvertes" / *open access*). Il est probable que l'édition papier devienne désormais rare voire un obstacle à la diffusion⁷¹.

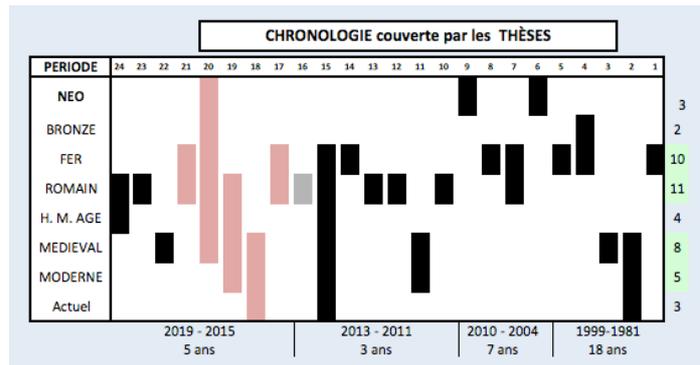
FIG. 22 Universités de rattachement des thèses en archéomolinologie



⁷¹ Lors de ce travail de doctorat les difficultés bibliographiques, somme toutes assez rares, ont concerné essentiellement des livres papier, en nombre limités, enfermés dans des bibliothèques non numérisées et assez peu accessibles et qui finalement introduisent une rupture dans l'archivage numérique sur notre ordinateur ou rendent difficile l'extraction ou la manipulation de plans, images et tableaux.

FIG. 24 Chronologie couverte par les thèses depuis 1980

32. Les aires chronologiques recouvertes par les différents doctorats (FIG. 24) montrent que l'intérêt principal se porte sur l'Age du Fer et l'Antiquité. La seconde place prise par la période Moyen Age/Moderne tient essentiellement aux thèses en Histoire et fait une place bien moins importante aux meules voire à la technique du moulin⁷². Le Néolithique n'a pas connu de doctorat depuis 2007, voilà 12 ans :



s'agit-il d'un essoufflement doctoral ou de la stabilité d'une question qui s'accompagne du traitement régulier des corpus régionaux générés par les fouilles ? Toutefois cette période devrait être en bonne place à travers les outils de mouture des Vosges au Morvan traités dans la thèse récemment entreprise par Luc Jaccottey.

⁷² Les meules médiévales ne font pas en effet l'objet d'études aussi détaillées et nombreuses (corpus régionaux), peut-être en raison de leur monotonie apparente (nous y reviendrons à propos des diamètres et de l'anneau, **CHAP. 10**) même si certains auteurs tendent à montrer une plus grande diversité qu'on ne pourrait croire (CHAUSSAT 2011), en revanche les articles des médiévistes livrent de précieuses données descriptives ou techniques (par ex. ROUILLARD 1996 ou BENOIT 2011).

LISTE des THÈSES

1. 1981

Runnels 1981 : RUNNELS (C.) – *A Diachronic Study and Economic Analysis of Millstones from the Argolid, Greece*. PHD dissertation, Indiana University, Bloomington, Ann Arbor.

2. 1984

Amouric 1984 : AMOURIC (Henri) – *Les moulins et meuneries en Basse-provence occidentale du Moyen Age à l'ère industrielle*. Thèse 3è cycle, Université d'Aix-en-Provence, 1984, 4 vol., 597 p. (+ 2 vol. Ill. et Pl.).

3. 1990

Coutant 1990 : COUTANT (Yves) – *Lexique et technique du moulin à vent destiné à la mouture du blé selon les comptes flamands des quatorzième et quinzième siècles*. Thèse de doctorat, université de Lille 3, dir. G. Sivéry (microfiches 420 images).

4. 1998

Procopiou 1998 : PROCOPIOU (H.) – *L'outillage de mouture et broyage en Crète minoenne*. Thèse de doctorat, université de Paris I, 1998.

5. 1999

Alonso Martinez 1999 : ALONSO MARTINEZ (N.). – *De la llavor a la Farina. Els processos agrícoles protohistòrics a la Catalunya occidental*, Monogr. d'Archéologie Méditerranéenne, 4, Lattes, 328 p.

6. 2004

Hamon 2006 : HAMON (C.) – *Broyage et abrasion au Néolithique Ancien : caractérisation technique et fonctionnelle des outillages en grès du Bassin Parisien*. Archaeopress, Oxford, 2006, 342 p. + 1 CD-ROM.

7. 2006

Bombardieri 2010 : BOMBARDIERI (LUCA.) – *Pietre da macina, macine per mulini. Definizione e sviluppo delle tecniche per la macinazione nell'area del Vicino Oriente e del Mediterraneo orientale antico*. Oxford, archeopress, BAR IS. 2055), 2010, 571 p.

8. 2006

Portillo 2006 : PORTILLO RAMIREZ Marta – *La mòlta i triturat d'aliments vegetals durant la Protohistòria a la Catalunya oriental*. Doctoral dissertation. Departament de Prehistòria,

Història Antiga i Arqueologia. Universitat de Barcelona.

9. 2007

Milleville 2007 : De la pierre à la meule durant le Néolithique, circulation et gestion des matières premières entre Rhin et Rhône. Thèse en Sciences de l'Homme et Société, Université de Franche-Comté, 2007.

10. 2010

Gluhak 2010 : GLUHAK (T.) – *Petrologisch-geochemische charakterisierung quartärer laven der Eifel als grundlage zur archäometrischen herkunftbestimmung Römischer Mühlsteine*. Doctorat de Sciences, Univ. Mainz, 2010, 253 p.

11. 2011

Joinéau 2011 : JOINEAU (VINCENT.) – *Etude technique et économique d'une activité industrielle rurale : les moulins de l'Entre-deux-mers bordelais de la fin du XIè siècle à la Révolution française*. Université de Bordeaux 3, Dir. Ph. Araguas, soutenue en 2011, 3 vol., 1297 p.

12. 2011

Longepierre 2011 : LONGEPIERRE Samuel – *Les meules à grains et les meulières dans le Sud-Est de la France du IVe siècle avant J.-C. au XIIe siècle après .-C.* Thèse de 3e cycle. Université de Provence, Aix-Marseille I, 2011. 3 vol., 812 p. : ill.

13. 2013

Amraoui 2013 : AMRAOUI (Touatia.). – *L'artisanat dans les cités antiques de l'Algérie*. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon II.

14. 2013

Vivar Lombarte 2013 : VIVAR LOMBARTE (Gustau.) – *El derelicté d'Illa Pedrosa. Comerç marítim i xarxes de redistribució en època tardorepublicana al mediterrani centre-occidental*. Thèse soutenue à l'Université de Barcelone (Roca Roumens (M.) et Nieto (X.). inédit, 408 p. (online)

15. 2013

Anderson 2013 : ANDERSON (T. J.) – *Les carrières de meules du sud de la péninsule ibérique, de la protohistoire à l'époque*

moderne. Thèse Université de Grenoble, dir. A. Belmont, soutenue 11. Dec. 2013

16. (2005)

Théolas 2005 : THEOLAS (Delphine.) – *La meunerie dans le Centre-Est de la France*. Mémoire de DEA en archéologie, Dir Béal Jean-Claude, Université Lumière Lyon 2.

17. 2013

Chartrain en cours depuis nov. 2013 : CHARTRAIN (A.) – *La fabrication de moulins à Orvieto (Italie) dans l'Antiquité : une approche technologique des meules en archéologie*. Université de Paris 10 - Nanterre, Dir. I. Sidéra.

18. 2015

VERON : VERON (COLETTE) – *Les moulins hydrauliques et leur approvisionnement en meules : technique, espace et société en Vivarais du Moyen Age au XIX^e siècle*. Université de Grenoble Alpes, Histoire, Dir. A. Belmont. <depuis sept. 2010, soutenue Juin 2015>

19. 2015

El Gtari en cours depuis nov. 2015 : GUETARI (HATEM) – *La meule à bras d'EL Guettar (Tunisie) : des carrières à l'utilisation, de l'Antiquité à nos jours*. Université de Paris 1, Dir. Fr. Joannes.

20. 2016

Jaccottey en cours depuis oct. 2016 : JACCOTTEY (LUC) – *Les outils de mouture entre Vosges et Morvan du Néolithique à l'époque médiévale*. Université de Bourgogne-Franche Comté, Dir. Ph. Barral et G. Fronteau, Histoire, Histoire de l'Art et Archéologie.

21. 2016

Caussade en cours depuis nov. 2016 : CAUSSADE (PIERRE) – *Les meules rotatives dans le Sud-Ouest de la Gaule de la fin du second Age du Fer à la fin de l'Antiquité (Sud de l'Aquitaine Augustéenne et Narbonnaise occidentale)*. Université de Bordeaux III, Dir. -

22. 2017

Minvielle 2017 : MINVIELLE (NICOLAS) – *Les ressources minières dans les Cévennes médiévales (X^e – XV^e siècles) : Gestion, commerce et territorialisation*. Soutenue en Décembre 2017 sous le titre – *L'Age de l'Argent : mines, sociétés et pouvoirs en Languedoc médiéval*. Université d'Aix-Marseille, Dir. M-Chr. Bailly-Maître et Ph. Allee.

23. 2018

Rénière 2018 : RENIERE (SIBRECHT) – *Sourcing the stone in Roman Northern Gaul : on the provenance, use, and socio-economics of stone tools in a stoneless landscape, the case of the northern civitas Menapiorum*. UGent, 2018, 514p. Université de Ghent, Belgique, Dir. W. De Clercq et . Cnudde

24. 2019

Picavet : PICAVET (PAUL) – *Les meules rotatives de la fin de l'Age du Fer au Haut Moyen Age entre Seine et Rhin*. Université de Lille 3, Dir. W. Van Andringa. <déc. 2014, soutenue Février 2019>



FIG. 25 TABLEAU des Thèses en archéologie du moulin, des meules et de la mouture

panorama des THÈSES en ARCHEO-MOLINOLOGIE								A.CHARTRAIN IV-2016						
N°	année	ARCHEO MEULES Rotatives	ARCHEO Olynthe	ARCHEO va-et-vient	ARCHEO autre	HISTOIRE	Anthropo	AIRE	CHRONO	Auteur	H/F	UNIVERSITÉ	Lue	Notes
25														
24	2019	1						NORD FR	ROM + HMA	PICAVET	H	Lille 3		initiée 2014
23	2018	1						BELG. Ménapiens	ROM	RENIERE	H	Ghent, B.		initiée ca. 2014
22	2017	1						FR, Sud Cévennes	MEDIEVAL	MINVIELLE	H	Aix-Marseille		initiée 2012
21	2016	1						FR, S-W	FER + ROM	CAUSSADE	H	Bordeaux 3		en cours
20	2016	1		1				FR, Vosges-Morvan	Néo à MED	JACCOTTEY	H	BOURGOGNE-FR.COMTÉ		
19	2015	1						TUNISIE	ROM à MOD	EI GTARI	H	Paris 1		
18	2015	1				1		FR, Sud Vivarais	MED + MOD	C. VERON	F	Grenoble		initiée 2010
17	2013	1						ITALIE + Medit. Occid.	FER + ROM	CHARTRAIN	H	Paris 10		en cours
16	(2005)	1						Centre Est FR	ROM	THEOLAS	F	(Lyon 2)		abandonnée ?
15	2013	1						Sud ESP	FER à Actuel	ANDERSON	H	Grenoble	1	en ligne
14	2013	1						Epave ESP	Age du FER	VIVAR LOMBARTE	H	Barcelone	1	en ligne
13	2013				artisanat			ALGÉRIE	ROM	AMRAOUI	F	Alger 2		-
12	2011	1						Midi FR	ROM	LONGEPIERRE	H	Aix	1	publiée 2012
11	2011					1		Bordelais	MED + MOD	JOINEAU	H	Bordeaux 3		publiée 2014
10	2010				archéométrie			Allemagne	ROM	GLUHAK	F	Mainz		en ligne
9	2007			1				RHIN-RHONE	NEO	MILLEVILLE	F	Besançon		en ligne HAL
8	2006	1		1				N-Est ESP	FER	PORTILLO	F	Barcelone		en ligne
7	2006			1				Orient	FER + ROM	BOMBARDIERI	H	Florence		publiée 2010
6	2004			1				Basin Parisien	NEO	HAMON	F	Paris 1		publiée 2006
5	1999	1		1	alimentation			Catalogne	FER	ALONSO	F	Lérida		publiée 1999
4	1998			1				EGÉEN	BRZ + FER	PROCOPIOU	F	Paris 1		non publiée
3	1990					1		FLANDRES	MEDIEVAL	COUTANT	H	Lille 3		publiée 2001
2	1984					1		Provence	MED + MOD + Actuel	AMOURIC	H	Aix		non publiée
1	1981			?				ARGOLIDE	FER	RUNNELS	H	Indiana USA		non publiée
total	24	58%	0%	29%	13%	17%	0%	9 femmes / 24 (37%)						
occurrences														

LES COLLOQUES :

Les colloques (TABL. FIG. 26), non systématiquement publiés, apportent par leurs lieux et dates, par leur volume et variété de contributions, ou par le champ géographique ou chronologique couvert, de précieuses informations diagnostiques.

33. Nous avons pu (TABLE FIG. 26) recenser 11 colloques sur la période 2003–2017 ouverte par le congrès très anthropologique de La Ferté-



sous-Jouarre⁷³. La fréquence des colloques d'archéomolnologie est donc de 1 congrès chaque année et demie, ce qui est soutenu. Si l'écart de 2 à 4 ans est plutôt conforme voire supérieur aux autres secteurs spécialisés de l'Archéologie, on note depuis 2009 la tenue de 2 voire 3 congrès la même année (2009 Rome et St. Julien, 2011 Lons et Bergen, enfin 2014 avec Almería, Reims et Murcia même si ce dernier était nettement plus général)⁷⁴.

Il existe une émulation entre un pôle espagnol, un pôle français et une tradition britannique venant de Curwen et poursuivie par feu le prof. D. Peacock. On peut également percevoir sans doute une certaine concurrence entre des groupes, le colloque d'Almería ayant une quarantaine de participants tandis que celui de Reims deux mois plus tard en avait 93 dont une bonne partie du précédent. Depuis 2015 s'est créé sur Israël⁷⁵ une Association (*Ground Stone Artifacts & Society* ou AGSTR) organisant chaque 2 ans un congrès à large spectre sur les outils de mouture où le matériel préhistorique est très représenté.

Le pôle espagnol lie beaucoup les meules à l'habitat notamment ibérique et aggloméré. Le pôle anglais est également très « meulier » avec, behaviourisme oblige, une forte tradition de l'approche technique ainsi qu'un accent sur le matériau (tradition PEACOCK/ WILLIAMS-THORPE oblige). Le pôle français, un peu plus large que le « groupe Meule » formé autour de BOYER/BUCHSENSCHUTZ/JACCOTTEY/HAMON, associe l'approche (antérieure dans le temps) des meules pré-historiques à celle du domaine rotatif. Il quitte la tradition anthropologique qui était celle des BARBOFF/SIGAUT et se concentre sur des approches d'archéologies (corpus, objet, typologie, contextes).

34. Délai de parution, Rythmes, Volume de Pages, édition Numérique

Des 10 colloques proprement archéologiques, 8 ont donné lieu à publication. Un dépouillement détaillé, par article, permet d'examiner contenus et évolution, sans écarté celui d'Haïfa pourtant largement consacré à du mobilier préhistorique et non européen mais témoin de l'entrée d'un nouveau groupe d'acteurs⁷⁶.

Le délai de publication moyen est très raisonnable, s'établissant à 2,25 ans et variant de 1 à 5 ans. Cependant, depuis le colloque de St. Julien en 2011, ce délai tend à s'allonger, pour les raisons probables de sur-sollicitation d'un groupe commun d'auteurs et de directeurs de publication.

L'édition numérique apparaît en 2014 avec la publication (gratuite) du colloque norvégien de Bergen (2011) complété fin 2016 par celui d'Haïfa. La France, qui publie beaucoup, en français et pas cher -du moins à la vente- (presque 2 fois moins cher que les éditions anglo-saxonnes) aurait peut-être avantage à la publication digitale⁷⁷.



⁷³ On pourrait allonger l'intervalle en prenant en compte la Table ronde tenue en 1995 à Clermont-Ferrand et publiée en 2002 par R. TREUIL et H. PROCOPIOU en 2 volumes intitulés *Moudre et broyer*, et que nous avons lu parmi les premiers titres ; il s'agit à bien des égards d'un acte pionnier et d'un ouvrage de référence ; on y trouve d'ailleurs fraîchement connues les plus anciennes meules rotatives de Els Vilars (ALONSO) et d'Alorda Park également relatives au foyer d'origine catalan, une orientation anthropologique, le broyage chez les primates, l'usage du pilon et mortier, le traitement des céréales, les molettes et les meules rotatives, les moulins, les contextes miniers ; le total réunit 475 pages et 33 contributions (moyenne 14,4 p.).

⁷⁴ Nous avons volontairement restreint l'éventail aux congrès faisant une place réelle conjointe à l'étude des meules, des moulins et des denrées boryées et écartés les grands symposium essentiellement consacrés aux moulins souvent modernes ou à vent, aux meules du XIX-XX^e s. et comportant généralement une fraction archéologique minime sinon inexistante, de ce genre nous n'avons retenu que celui de Murcia pour exemple et parce qu'il s'est tenu près d'Almería et la même année que ce dernier ou celui de Reims.

⁷⁵ Conduite par D. ROSENBERG et basée à l'Université d'Haïfa (celle de FRANKEL le spécialiste des trémies d'Olymthe), la publication des actes, numérique et gratuite, est cependant assez contraignante (format, délai, bibliographique) ; le premier congrès (Haïfa) est en téléchargeable par article sur le site du *Journal of Lithic Studies*, les actes du 2^e congrès (Mainz 2017) ne sont pas encore parus.

⁷⁶ Il est probable que le colloque d'Almería, affecté par le décès de D. PEACOCK et sans doute par l'édition de Lons-le-Saunier puis Reims, les trois partageant de nombreux auteurs, ne soit jamais publié, 5ans étant déjà écoulés <paru en date de 2019 dans le supplément Extra-4 de la *Revista Arqueologica de Ponent*, accessible online fin 2020>.

FIG. 26 Table des Colloques d'Archéomolnologie (Meules, Moulins, Mouture)

COLLOQUES sur MEULES & MOULINS 2019																	
N°	NOM	DATE	TITRE Congrès	organisateur	DATE EDITION	REF. BIBLIO	titre publication	délaï edition	support	prix	PAGES	€/ page	€/ papier	PAPERS	pag/ papier	comm.	
11	MAINZ	2017		GLUHAK, ROSENBERG													
10	REIMS	2014	Table ronde - Les meules à grain du Néolithique à l'an III. Technique, culture, diffusion	BUCHSENSCHUTZ et al. Groupe Meule	2017	BUCHSENSCHUTZ, LEPAREUX, COUTUBER, FRONTAU 2017	Les meules du Néolithique à l'époque médiévale : technique, culture, diffusion	3 ans	papier	35 €	526	0,07	1,03 €	34	15,47	39	
9	HAIFA	2015	Ground Stone. Artifacts & Society	ROSENBERG, GLUHAK	oct. 2016	ROSENBERG et al.		1 an		0	606	0 €	0 €	29	20,9	47	
8	MURCIA	2014	9 ^e congreso de Molinología	Huerta de Murcia				non paru									
7	ALMERIA	2014	Tilting at Mills	PEACOCK & ANDERSON				non paru	prévu papier							27	
6	BERGEN	2011	Seen through a Millstone: Geology and Archaeology	SELSING, OYSTEIN	2014	SELSING 2014	Seen through a Millstone, Ams-Scrifter 24, 2010 (2014)	3 ans	online musée	0	216	0 €	0 €	14	15,43	16	
5	LONS-LE-SAUNIER	2011	Archéologie des moulins, des origines au Moyen Age	BRUN,BENOIT, BELMONT, JACCOTTEY,	2016	JACCOTTEY, ROLLIER 2017	Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent	5 ans	papier	52 €	883	0,06	1,00 €	52	16,88	59	
4	St. JULIEN	2009	Evolution typologique et technique des meules en France	BUCHSENSCHUTZ & JACCOTTEY	2011	BUCHSENSCHUTZ et al. 2011	Evolution typologique et technique des meules en France	2 ans	papier	40 €	481	0,08 €	1,25 €	32	15,03	-	
3	ROME	2009	Archaeology of Mills and Milling	Brit. School	2011	WILLIAMS & PEACOCK 2011	Bread for the People	2 ans	papier	61 €	359	0,17 €	1,79 €	34	10,56	-	
2	GRENOBLE	2005	Extraction, façonnage, commerce et utilisation - une industrie dans la longue durée: le colloque international sur l'industrie Meulière	BELMONT & MANGARTZ	2006	BELMONT, MANGARTZ 2006	Multimétabolisme, Engraisier moulin - Les Meules, patrimoine industriel européen	1 an	papier	63 €	225	0,28 €	2,25 €	28	8,0	-	
1	La Ferté-sous-Jouarre	2002		BARBOUFF & SIGAUT	2003	BARBOUFF 2003	Meules & Grains.	1 an	papier	34 €	470	0,07 €	0,92 €	37	12,7	-	
										285 €	3766			260	14,48		
										moyenne =		41 €	538	0,08 €			

Le total des pages publiées s'élève à 3.766 soit en moyenne 538 pages par volume et des articles de 14,5 pages (les articles des congrès de Grenoble 2005 et Rome 2009 étaient d'une longueur de 8 et 10 pages, la moyenne de 15 étant atteinte ou dépassée par les colloques de St. Julien 2011, Bergen 2014 et Lons-le-Saunier 2017, ce qui paraît un standard plus raisonnable). La plus large place a été accordée par le congrès d'Haifa avec 21 pages par contribution. Au total 231 articles ont été publiés sur 15 ans, soit en moyenne 32,5 par volume et 17,3 par an (soit ½ volume annuel).

Le prix varie de 0€ (Bergen 2014 et Haifa 2016, éditions numériques) à plus de 60€ le volume (Grenoble et Rome), il s'établit en moyenne à 41€ par publication et tend à diminuer.

35. Auteurs

Si la très grande majorité des quelques 185 signataires des articles de ces colloques⁷⁸ sont auteurs de 1 à 3 contributions sur l'ensemble de la série, certains auteurs apparaissent comme nette-

ment plus fréquents (FIG. 27), avec 11 à 38 contributions, et totalisent en moyenne 3 à 6 signatures par ouvrage, une moyenne de 2 par colloque étant déjà élevée.

36. Orientation : Archéologie, Anthropologie ou Histoire ?

Il nous a paru intéressant (FIG. 28) d'examiner les orientations dominantes, ou variées, de l'ensemble de ces congrès en assignant chaque contribution à 5 catégories⁷⁹ selon que

⁷⁷ Eventuellement par paquets (sur le modèle RACF) et avec une certaine souplesse de mise en forme, il semble en effet que les auteurs soient assez chargés en manuscrits à remettre et que leur nombre lors de certains congrès ralentisse la publication (si Reims a mis 3 ans pour 39 contributions, Lons a mis 5 ans pour 56), les équipes éditoriales étant sans doute d'effectif et de disponibilité variables.

⁷⁸ Ce comptage ne prend pas en compte le congrès d'Haifa.

⁷⁹ Un même article peut naturellement être affecté à plusieurs catégories.

l'article exprimait une dominante Archéologie, Histoire, Anthropologie, Archéométrie ou Historiographie. On constate alors un double phénomène qui s'articule sur les années 2011 : celui d'abord d'une « archéologisation » des colloques et de l'affaiblissement de leur dimension anthropologique initialement forte (Clermont-ferrand 1995, La Ferté 2002 et Grenoble 2005). La composante historique s'affaiblit de même mais plus lentement.

FIG. 27 Auteurs principaux

AUTEUR	TOTAL Signatures	TOTAL Colloques	FRÉQUENCE par colloque	OBSERVATIONS
JACCOTTEY	38	7	5,4	9 s. St-Julien, 13 Lons, 11 Reims, éditeur Lons & St-Jul.
LEPAREUX-COUTURIER	20	5	4	4 signatures St. Julien, 11 Reims, éditeur Reims
FRONTEAU	19	3	6,3	11 signatures Reims, éditeur Reims
JODRY	18	6	3	6 sign. St. Julien, 8 Reims, éditeur St. Julien
ROBIN	16	4	4	7 signatures St. Julien, 7 Reims
BOYER	12	3	4	5 signatures St. Julien, 5 Reims
*HAMON C.	12	6	2	6 signatures Reims 2017
BUCHSENSCHUTZ	11	5	2,2	6 sign. & éditeur Reims 2017
*ANDERSON	11	7	1,6	3 signatures Romes, organisateur Almeria
*PICALET	11	3	3,7	8 signatures Reims
BELMONT	9	6	1,5	éditeur Grenoble 2005
*MILLEVILLE	8	4	2	4 signatures Reims
MONCHALON	7	2	3,5	6 signatures Reims
*MINVIELLE	7	5	1,4	
*GLUHAK	6	2	3	5 signatures Lons
*ALONSO	6	5	1,2	
ROLLIER	5	1	5	5 signatures Lons, éditeur Lons
MILLE P.	5	1	5	5 signatures Lons

* thèse sur meules, moulins, mouture

Parallèlement la composante archéométrique des congrès se développe. L'historiographie est régulière mais discontinue et de faible intensité (1 à 3 contributions). A cet égard, les congrès les plus variés (ou complets) sont ceux de Rome 2009 et Bergen 2011, celui de La Ferté-sous-Jouarre en 2002 était très orienté histoire et anthropologie avec finalement peu de mobilier meulier. Les colloques les plus uni-orientés,

et archéologiques, ont été ceux de St. Julien en 2009 et de Reims en 2014. En moyenne l'archéologie, seule orientation systématiquement présente, marque 65% des contributions, elle est suivie de l'Histoire avec 22%.

FIG. 28 Orientation disciplinaires des Colloques

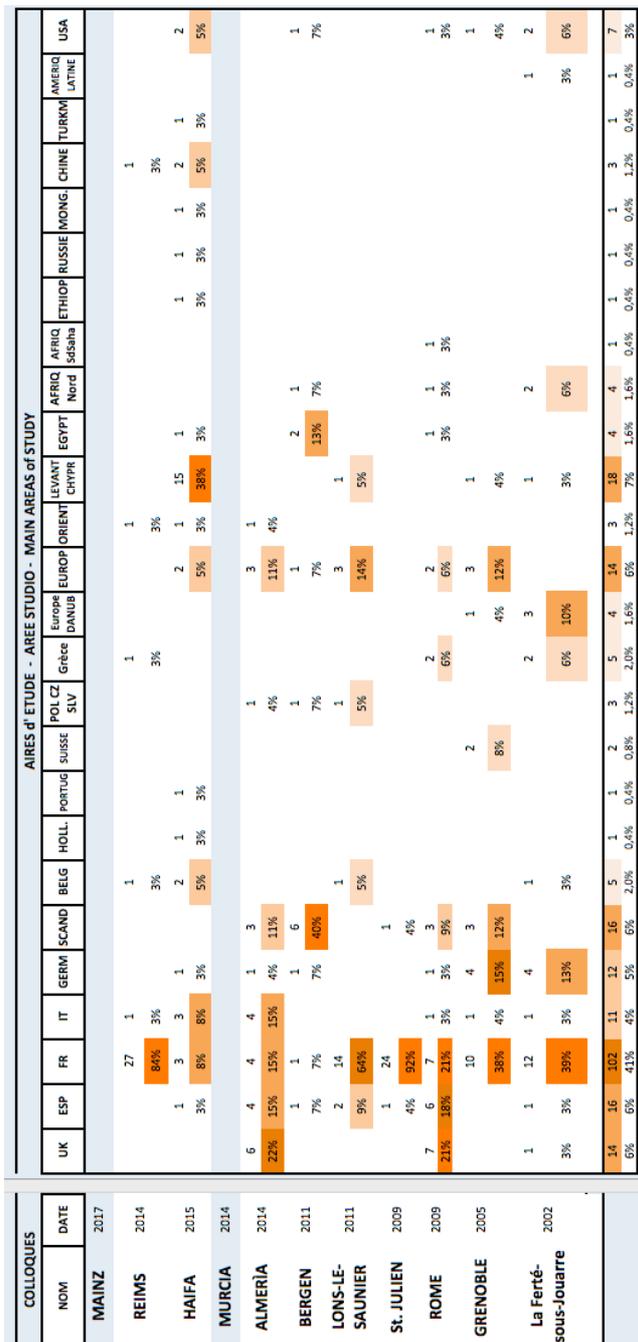
37. Aires d'étude

Si l'on regarde maintenant les aires concernées par les études archéomolnologiques (FIG.29), l'Europe est incontestablement la plus étudiée qui totalise 192 des 251 occurrences, soit 76%. Dans ce contexte, la France (41%) est suivie d'un groupe formé par le Royaume Uni, l'Espagne, l'Italie, l'Allemagne et la Scandinavie avec chacun autour de 5% des études. L'intensité apparaît notable pour les pays scandinaves (Norvège et Suède) en regard de leur poids démographique. L'un des 10 colloques s'est d'ailleurs tenu en Norvège en 2010 (Bergen). Pour cette aire septentrionale, la transition particulière Age du Fer / Moyen Age, avec une influence romaine à distance non négligeable et l'introduction des meules ainsi que du pain en contexte cultuel et aristocratique vers 200-400 pC (ZACHRISSON 2011), constitue un phénomène qui favorise sans doute l'intensité d'étude.

Le peloton de tête concerne l'Europe latine ainsi que la Grande Bretagne. Pour les îles Britanniques il est probable que jouent favorablement à la fois l'important développement de l'archéologie jusque dans les années 80-90 avec le stock documentaire alors accumulé, la tradition fonctionnaliste aussi, enfin l'intérêt ancien pour les moulins ruraux à rodet d'Ecosse (GOUDIE 1886) ou d'Irlande (RYNNE, par ex. 2011). Comme pour l'Europe du Sud, une certaine tradition molinologique orientale, principalement médiévisite et probablement en cours d'affaiblissement, y constitue également un ressort. Toutefois la présence anglaise est discontinue dans les colloques d'archéologie des moulins.

COLLOQUES	Orientation des Communications				
	Archeo	Histoire	Anthropologie	Archéométrie	Historiographie
REIMS 2017	34 100%		1 3%	1 3%	
HAÏFA 2016	42 88%		1 2%	5 10%	
ALMERIA 2014	23 70%	4 12%		5 15%	1 3%
BERGEN 2014	11 69%	3 19%	1 6%	2 13%	
LONS 2016	43 59%	17 23%		10 14%	3 4%
ST. JULIEN 2011	31 89%	2 6%		2 6%	
ROME 2011	23 68%	8 24%	2 6%		1 3%
GRENOBLE 2006	14 47%	13 43%	2 7%	1 3%	
La FERTÉ 2003	3 8%	28 72%	7 18%	1 3%	
moyenne	224 65%	75 22%	14 4%	27 8%	5 1,4%

FIG. 29 Pays étudiés dans les Colloques archéomolinologiques



Danubienne et Egéenne) la molinologie est quasiment absente, malgré les traditions vernaculaires et une présence non négligeable lors du colloque de 2002 à la Ferté initié par des anthropologues des techniques. C'est d'autant plus dommageable qu'il est nécessaire de dater et de cartographier les objets et les traits techniques afin de tracer les échanges entre Orient, Europe centrale et Europe latine ou Afrique du Nord. Par ailleurs cette zone de faiblesse nuit à la perception et à l'histoire du moulin grec ou trémie d'Olynthe qui, quasiment absente de tous les colloques, n'a à notre connaissance pratiquement pas avancé depuis la publication marquante FRANKEL 2003. Pourtant le signalement régulier de variétés et de groupes, qui tendent peut-être à faire éclater l'homogénéité apparente de cette famille inviterait à reprendre la question y compris au plan de son fonctionnement, qui soulève beaucoup d'interrogations. La trémie d'Olynthe (voir **CHAP.3.1**) mériterait certainement une thèse.

38. La présence de l'Allemagne devient discontinue à partir de 2005 et concerne quasi exclusivement sur les carrières meulières de l'Eifel, principalement développées à compter du Ier siècle pC. Un intérêt s'est toutefois manifesté pour les productions d'outre-Rhin mais il s'exprime en dehors des colloques molinologiques. Il concerne la Bohême où se trouve, en relation avec un important développement démographique et productif (MARION *et al.* 2017), une zone meulière de l'Age du Fer romain et pré-romain méconnue. Les meules locales ont été signalées en 1981 – ce qui était alors assez avant-gardiste – par le fouilleur du site celtique (WALDHAUSER 1981) puis l'atelier d'Oparno Lovosice et les meules laténiennes de Bohême et Moravie ont ensuite fait l'objet d'études régulières (HALAMA, ZEMAN 2009 ; DANIELISOVA, MANGEL, DRNOVSKY 2011, WEFERS 2012, 2014 ; SALAC 2017). Ces dernières, tout comme celles –intéressantes également– de Roumanie, restent malheureusement très peu accessibles et connues en Europe occidentale (elles sont publiées principalement en tchèque). Il y a pourtant un enjeu réel (polycentrisme ? cf. **CHAP. 3 § 12 à 16**) quant à la datation des plus vieilles meules de l'Europe Est-Rhénane et à l'origine de leurs traits techniques et typologiques⁸⁰.

39. Globalement on constate par ailleurs une ligne oblique Provence/Est du Rhin au Sud de laquelle (Europe

⁸⁰ Les meules plates n'y sont pas inexistantes mais semblent marginales ; les *catilli* sont souvent semblables à ceux de l'Europe continentale : coniques, épais, à trémie et l'œil « celtique » (-O-) y est connu.

La présence du Levant dans les colloques est essentiellement due au récent congrès de Haïfa (2015) et à l'état d'Israël. Elle concerne par ailleurs principalement la préhistoire récente et très peu la technologie rotative malgré la forte présence en contexte romain des moulins manuels et pompéiens (par ex. à Capharnaüm), une production régionale, sans doute largement diffusée, y étant plus que probable. La connexion européenne que représente le colloque d'Haïfa et l'existence de travaux réguliers sur les "ground stones" ou la vaisselle moulée des Ages du Bronze et du Fer moyen-orientaux pourraient venir dynamiser les études du matériel rotatif de cette zone.

40. La dernière faiblesse qui se remarque, sans doute à la mesure des difficultés financières ou des régressions universitaires régionales, concerne l'Afrique du Nord, de l'Égypte au Maroc atlantique. Elle est préoccupante en raison notamment du rôle précoce joué par le Maghreb dans le développement des techniques du moulin, par les relations maritimes entre les zones Levantine, Egéenne, Tripolitaine et Siculo-Sarde, comme en raison également du possible rôle de la sphère punique (voir **CHAP.3-2**), plus souvent évoquée que réellement enquêtée pour ce qui est de la révolution rotative et de la diffusion des modèles et produits (par ex. la contribution archéométrique de ANTONELLI *et al.* 2014). Il nous apparaît urgent de faire se développer inventaires et publications régionales tandis que seraient nécessaires une thèse sur les moulins antiques (Fer et Romain) sardes et le centre producteur de Mulargia, et une autre sur l'importante collection de Carthage. La recherche molinologique pourrait y être développée par une coopération avec l'Afrique du Nord qui se baserait par exemple sur l'activité régulière encore entretenue par des unités universitaires telles que Trente (M. De VOS) ou Sienna (E. PAPI et S. CAMPOREALE) ou sur des recherches récentes (par ex. le doctorat Lyonnais de T. AMRAOUI 2013 sur l'artisanat urbain et la boulangerie de l'Algérie antique).

FIG. 30 Périodes étudiées dans les Colloques

COLLOQUES			CHRONOLOGIE							
N°	NOM	DATE	Néo	BRZE	FER	ROM	HMA	MED	MOD	Actuel
11	MAINZ	2017	11	7	17	14	4	6		
			19%	12%	29%	24%	7%	10%		
10	REIMS	2014	14	5	2	5	1	1	1	
			48%	17%	7%	17%	3%	3%	3%	
9	HAÏFA	2015								
8	MURCIA	2014								
7	ALMERÍA	2014	2	3	13	13	5	13	7	
			4%	5%	23%	23%	9%	23%	13%	
6	BERGEN	2011	1		5	3	3	5	3	3
			4%		22%	13%	13%	22%	13%	13%
5	LONS-LE-SAUNIER	2011		4	4	8	5	9	4	1
				11%	11%	23%	14%	26%	11%	3%
4	St. JULIEN	2009	1	2	18	22	9	10	8	
			1%	3%	26%	31%	13%	14%	11%	
3	ROME	2009	2	3	7	8	1	10	6	4
			5%	7%	17%	20%	2%	24%	15%	10%
2	GRENOBLE	2005	2	2	7	12	8	13	11	10
			3%	3%	11%	18%	12%	20%	17%	15%
1	La Ferté-sous-Jouarre	2002	1			3		3	9	24
			3%			8%		8%	23%	60%
			34	26	73	88	36	70	49	42
			8%	6%	17%	21%	9%	17%	12%	10%
			Néo	BRZE	FER	ROM	HMA	MED	MOD	Actuel

41. Aires Chronologiques des colloques molinologiques

Les périodes chronologiques étudiées (**FIG. 30**) apparaissent de manière très contrastée selon les congrès, avec par exemple 60% de communications consacrées à l'actuel lors du congrès de La Ferté en 2002 et 48% consacrées au Néolithique au congrès d'Haïfa en 2015. Mais dans l'ensemble la chronologie abordée est largement variée puisque sur 9 colloques examinés en détail 7 présentent 7 ou 8 des 8 grandes périodes archéologiques, du Néolithique à l'actuel, et aucun congrès n'en concerne moins de 5 (les plus restreints sont La Ferté en 2002 avec 5 périodes et Reims en 2014 avec 6). Les colloques sont donc peu fermés chronologiquement et au contraire assez largement diachroniques.

Un regard plus détaillé montre que 3 grandes périodes archéologiques se taillent la part du lion (total de 55% des contributions) : la période Romaine, qui domine avec 21% des articles, suivie de l'Age du Fer et du Moyen Age (chacune 17%).

42. Si l'on réunit le Néolithique et l'Age du Bronze, qui globalement présentent de larges affinités voire sont contemporains entre l'Orient et l'Europe, cette large aire chronologique se rapproche des autres avec 14% mais on peut quand même dire que l'Age du Bronze apparaît sous-étudié avec son très modeste 6%. Cette période est d'ailleurs la seule, avec l'Actuel (5

présences) à ne pas être représentée à tous les colloques (7 sur 9) tandis que les autres le sont (8 congrès sur les 9 pour l'Age du Fer, le Haut Moyen Age et le Néolithique ; 9 congrès pour le Romain et le Médiéval).

La période Néolithique doit beaucoup aux récents congrès de Haïfa et de Reims mais elle est régulièrement présente même si ce n'est qu'à travers 1 ou 2 contributions. Cette relative faiblesse est sans doute en rapport avec le changement d'époque que l'on a observé à propos des doctorats : celui du passage d'une dominance de l'étude des tables de mouture et molettes dans les années 1980-2005 à une suprématie de l'étude du matériel rotatif à compter notamment de 2011.

43. Le Haut Moyen Age, période quasiment aussi longue que la période romaine du moins en France et en Europe non méditerranéenne (ca 500 à 1000 pC), apparaît comme un creux des études alors-même qu'elle connaît désormais de nombreuses fouilles et qu'elle correspond à une période d'importantes transformations molinologiques (abandon de la conicité, passage du diamètre au-delà de 2 pieds, présence d'un anneau péri-oculaire sur les meules tournantes, peut-être diminution des épaisseurs). Cette faiblesse du H.M.Age pourrait être due à une moindre fréquence des meules, pullulantes à l'Age du Fer et en période Romaine (voir ~~Partie III CHAP.2B.6~~).

FIG. 31 Principales Thématiques abordées dans les Colloques

44. Sujets et Thématiques de détail abordés dans les Colloques

Le dépouillement de détail des 9 congrès (tableau en FIG. 31) a fait ressortir 26 sujets ou thématiques récurrents qui présentent de 2 à 178 occurrences sur un total de 725. Certains thèmes ont été ciblés délibérément afin de voir s'ils apparaissaient (par ex. mortiers, transport, moulin à roue horizontale) ou quel est leur poids réel (moulin hydraulique, *use-wear*).

Le sujet de loin dominant (24,5% du total et 178 occurrences en 9 congrès) et qui se trouve abordé en moyenne 20 fois par colloque est celui des **Meules Rotatives**. Il faut lui ajouter le thème des Meules rotatives **Pompéiennes** (2,8%) qui avec 20 occurrences en 8 congrès sur 9 est présenté en moyenne 2 fois et demie par symposium.

Trois thématiques majeures se suivent avec une représentation identique : les **aspects techniques** des meules et moulins (10,5% avec 76 occurrences et 9 congrès sur 9), les **carrières** (*Quarry* : 10,3% pour 75 occurrences en 9 congrès) et le **moulin hydraulique** avec 10,6% du total. Si son score doit beaucoup au colloque de Lons-le-Saunier en 2011 (41 des 77 occurrences) ce thème *princeps* reste assez régulier (7 congrès et une fréquence moyenne de 11 fois par colloque). Toutefois il apparaît en nette baisse et même discontinu depuis les années 2010.

Principales THÉMATIQUES des COLLOQUES				
Total	THÈME	Congrès	Occurrences	
24,5%	ROTATIF	9 / 9	178	75%
10,6%	HYDRAULIQUE	7 / 9	77	
10,5%	Aspects TECHNIQUES	9 / 9	76	
10,3%	QUARRY	9 / 9	75	
6,8%	TYPOLOGIE	9 / 9	49	19%
6,5%	GROUND STONE	7 / 9	47	
5,8%	DIFFUSION, TRADE	9 / 9	42	
3,7%	ATELIERS	6 / 9	27	14%
3,2%	SURVEY, Mapping	7 / 9	23	
2,8%	Meules POMPÉIENNES	8 / 9	20	
2,3%	LIEUX d'UTILISATION	6 / 9	17	
2,2%	MOUTURE, ALIMENT.	5 / 9	16	89%
1,9%	OUTILLAGE Lithique	3 / 9	14	
1,1%	Travail, Juridique	3 / 9	8	
1,1%	Moteur, Marteau, Pilon	1 / 9	8	
0,96%	Moulin à VENT	3 / 9	7	
0,96%	Vaisselle de Pierre	2 / 9	7	
0,82%	USE WEAR	3 / 9	6	

COLLOQUES		THEMATIQUES																												
N°	NOM	DATE	Ground Stone	OUTILS	Vaisselle de Pierre	Meules Rotatives	Pomp éoliennes	Techniques	FUNER.	QUARRY	USE WEAR & PHOTO	DIFF. TRADE	EXPERIM.	LIEU UTILIS.	TYPO	SURVEY MAPPING	Travail Juridique Social	Ateliers Centres PROD	Mouture Aliment.	FORNAGE	Symbolisme	Trans port	moulin HYDRAU	Moteur, Moteurs, Pilon	moulin à VENT	RODET	moulins HUILE	PIECES & OUTILS		
11	MAINZ	2017	10	10	1	14	4	10	5	6	6	12	5	5	1	1	1	5	5	5			1							83
10	REIMS	2014	12%	12%	1%	17%	5%	12%	6%	7%	7%	14%	6%	6%	2	2	4	6%	6%	1			1						66	
9	HAIFA	2015	22	3	6	5	1	3	3	4	3	2	2	4	2	4	4	2	4	1										
8	MURCIA	2014	33%	5%	9%	8%	2%	5%	2%	5%	6%	5%	3%	3%	3%	6%	6%	3%	6%	2%									45	
7	ALMERIA	2014				21	4	1	10	1	3	2	1	2	1	2	2												37	
6	BERGEN	2011	3			47%		9%	22%	2%	7%	4%	2%	4%	1	2	2		1	1			1							
5	LONS-LE-SAUNIER	2011	8%			32%	3%	11%	19%	5%	5%	3%	5%	5%	3%	5%	4		3%	3%			3%						125	
4	St. JULIEN	2009	5	1		28	4	12	7	2	2	6%	6%	3%	6%	3%	4						41	8	2	3	2	2%	87	
3	ROME	2009	6%	1%		32%	5%	14%	8%	2%	2%	11%	5%	5%	11%	5%	4						7						77	
2	GRENOBLE	2005	3			26	3	3	11	9	1	1	1	1	9	5	2	1	1	1			2							
1	La Ferté-sous-Jouarre	2002	4%			34%	4%	4%	14%	12%	12%	1%	1%	12%	6%	6%	3	3%	1%	1%			3%						99	
			2			21	1	10	20	9	1	1	1	4	4	5	3	12					10							
			2%			21%	1%	10%	20%	9%	9%	1%	1%	1%	4%	5%	3%	12%					10%							
			2			29	3	9	11	7	7	1	1	3	1	1	1	2	5	5			15		4	1	2	4	106	
			2%			27%	3%	8%	10%	7%	7%	7%	3%	3%	1%	1%	1%	2%	5%	5%			14%		4%	1%	2%	4		
			47	14	7	178	20	76	2	42	6	17	49	23	8	27	16	2	2	2			3	3	77	8	7	4	2	725
			6%	1,9%	1,0%	25%	2,8%	10,5%	0,3%	6%	0,8%	2,3%	7%	3,2%	1,1%	3,7%	2%	0,3%	0,4%	0,4%			10,6%	1,1%	1,0%	0,6%	0,3%	0,8%	725	
			Total OCCURRENCES =																							725				

45. A ces thématiques principales qui accaparent 56% du total, s'ajoute un groupe de 3 sujets réguliers : la **typologie des meules** (6,8% du total, 49 occurrences en 9 congrès sur 9 soit 5,4 présentations par congrès), la **diffusion et le com-**

FIG. 32 Table des Thématiques abordées dans les Colloques

merce des meules (5,8% en 42 occurrences et 9 congrès) légèrement dépassée par la **thématique des outils de mouture anté-rotatifs** (*ground stones*), présents dans 7 des 9 colloques avec 6,5% des mentions et 47 occurrences, ils sont donc abordés près de 7 fois par congrès.

Viennent ensuite de **nombreux** sujets, généralement assez réguliers mais pas toujours, dont le volume représente pour chacun 2 à 3% du total. On citera ainsi les **meules pompéiennes** (2,8%), la **mouture et l'alimentation** (2,2%), les **lieux d'utilisation des meules** (2,3%) ou les **outils de mouture variés** (1,9%).

La thématique relative aux **ateliers et centres producteurs** vient coiffer ce groupe mineur avec 3,7% du total en 27 occurrences et 6 congrès soit 4,3 apparitions par congrès. Ainsi en 8^e position et avec près de moitié moins de mentions que le groupe médian (centré sur 6,5% et 46 occurrences), la thématique des ateliers se trouve loin des meules rotatives (25%) et des carrières (10,3%). L'archéomolnologie s'intéresse ainsi surtout aux collections et assemblages issus des sites d'utilisation et rejet, la fabrication s'avérant donc finalement abordée essentiellement dans le contexte des carrières.

46. Le dépouillement des moulins par familles principales permet de constater que le moulin hydraulique domine largement et que les autres technologies médiévales et modernes (à vent, moteurs hydrauliques divers, marteaux pilon ou foulon) dépassent 3,4%, cela en sus du score général du moulin à eau. En contraste, le petit moulin hydraulique à roue horizontale (rodet) est rarement abordé (0,6% du total en 4 occurrences lors de 2 congrès distants (2002 La

Ferté et 2011 Lons). Le petit moulin paysan reste donc un invisible de l'archéologie aussi bien en tant que moulin qu'au niveau des meules.

A notre surprise, les études de *Use-Wear*, qui constituent une des traditions des études d'archéomolnologie, liée à la constante anthropologique propre à l'archéologie Préhistorique et Néolithique ainsi qu'aux approches carpologiques et environnementales, apparaît comme un parent pauvre des colloques. Cela est sans doute à rapprocher de la relativement faible représentation de la période Néolithique/Bronze, de la modeste place occupée par la thématique Mouture/Alimentation ainsi que par la primauté prise dans les thèses par le matériel rotatif depuis une dizaine d'années. Peut-être les études de *Wear* sont-elles publiées essentiellement dans d'autres supports que les colloques d'archéomolnologie, lesquels s'avèrent en définitive centrés sur les meules, les carrières, la typologie des objets et leurs aspects techniques, enfin leur diffusion.

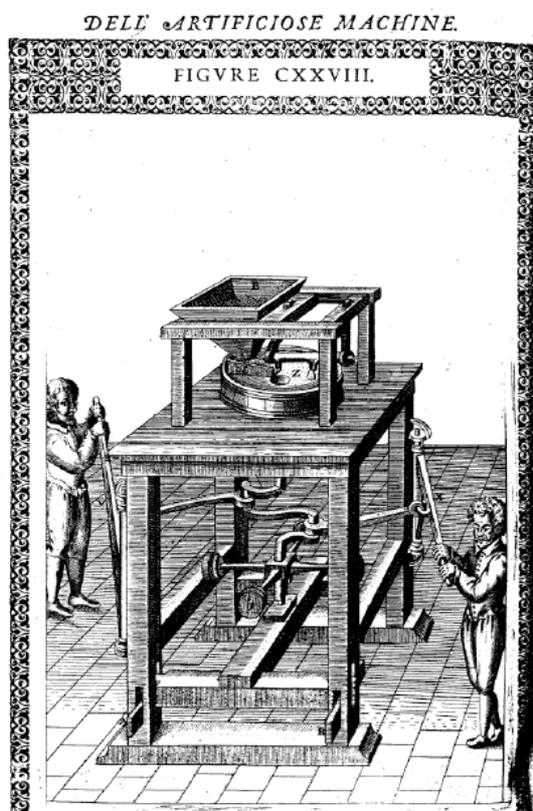
FIG.33 Planche 128 du *Traité de Ramelli 1588*

47. Les traités anciens :

On ne peut conclure cette installation du sujet sans dire deux mots des traités anciens de meunerie et moulins. Du Moyen Age on connaît les carnets de Villard de Honnecourt où figurent d'ailleurs le moulin et la scierie hydraulique⁸¹. La Renaissance et ses artistes-ingénieurs, des Brunelleschi aux Vinci en passant par les Palissy et autres Piccolpasso, nous a légué un série de traités qui comportent à la fois un appareil descriptif soutenu et des planches illustratives assez informatives et au dessin maîtrisé quoique généralement en une seule vue. L'Encyclopédie de d'Alembert, qui constitue une inégalable collection de machines et de métiers, restera marquée par ce modèle de la vue générale de trois quarts même si elle ajoute des figures de détail zoomant sur certaines parties des installations ou si elle utilise la technique de l'écorché en illustrant un équipement selon ses plans successifs⁸².

Selon les interrogations qu'on leur adresse, on peut sans doute trouver beaucoup d'informations dans ces traités de la Renaissance mais outre le fait qu'ils sont d'une langue déjà ancienne, il n'est pas toujours aisé d'y distinguer ce qui relève d'un appareil ou d'une technique réels et ce qui relève du projet voire de la rêverie de l'auteur, réalisable techniquement ou non. Les écrits de cette époque sont fortement empreints de la nouvelle culture du moi-signataire inauguré par des « auteurs » tels que B. Cellini. Il s'agit souvent, société de Cour oblige, de se faire remarquer du prince et des conseillers qui lisent et trient pour lui. En raison de cette auto-promotion mais aussi par esprit de l'époque, ces ouvrages s'incrivent dans la culture des dispositions et ingéniosités pouvant entraîner le progrès.

Ainsi du traité de RAMELLI édité en 1588, dédié au « très chrétien Roi de France et de Pologne ». Il s'intitule *Le diverse e artificiose machine* et précise qu'il est relatif à des *mouvements variés*



⁸¹ Voir le très pédagogique *Histoires de Géomètres ... et de Géométrie* de J-L. BRAHEM 2011, p. 138-213, ouvrage de géométrie pratique et historique à mettre dans les mains de tous les enfants et écoliers.

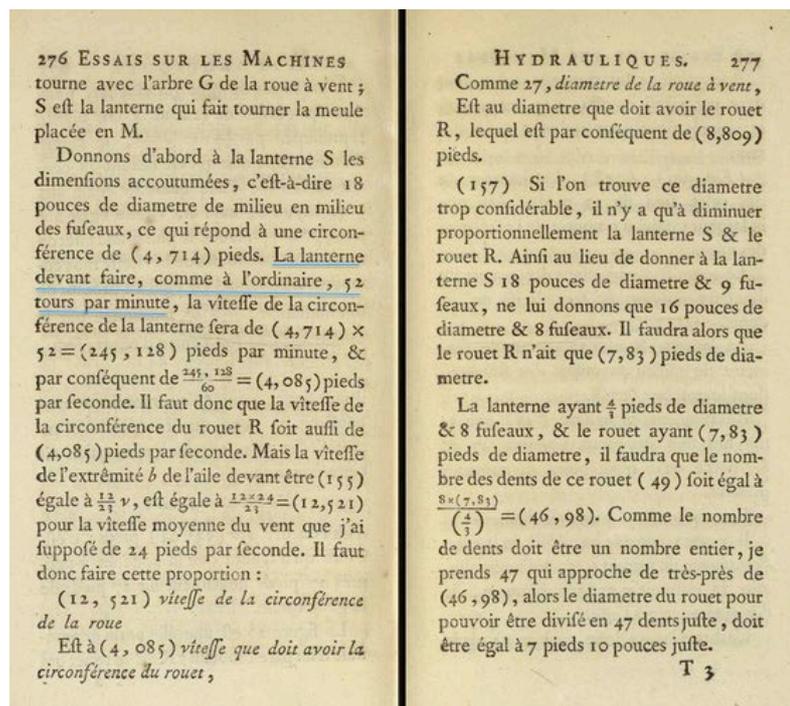
⁸² Ainsi des moulins à turbine du Bazacle ; i n'est pas toujours aisé de se repérer dabs le système Planches/Tables/Figures et la numérotation littérale, du moins dans les éditions modernes fractionnées par thèmes : nous avons utilisé le volume *L'Agricoltura, collezione dell'Enciclopedia*, Mazzotta editore, 1982, qui est tirée de l'édition de Livorno 1770-1779 promue par le Grand Duc de toscane et où figure le moulin ; l'autre limite de l'Encyclopédie tient ua fait qu'elle est surtout réglée sur les techniques de « pointe » ou du moins en vogue au XVIIIè s., donc par exemple sur le moulin à vent (ou la culture du tabac...) : le moulin du paysan sarde ou du village du languedoc ou d'Ecosse y est absent.

et ingénieux dignes de grande spéculation et destinés à en tirer des avantages infinis en toutes sortes d'opérations.⁸³ L'ouvrage rassemble des propositions, que Ramelli qualifie de « Demonstrations mathématiques et Mécaniques », au nombre de 195 et essentiellement destinées à l'amélioration des armées. Le traité est principalement consacré à diverses machines dont les pompes et élévatoires d'eau, le moulin n'apparaissant qu'au chapitre CXI et en p. 381 des 690 de l'édition numérique du CNAM⁸⁴.

Un tel ouvrage, comme celui de Di GIORGIO ca. 1501 *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*⁸⁵ qui par exemple illustre un régulateur à boules (LYNN WHITE 1974 (1962) PL.9), nécessitent que l'utilisateur dispose d'un réel bagage d'ordre exégétique concernant leur genèse, destination, structure et l'analyse de leur contenu faute de quoi on tombe aisément dans une lecture naïve ce qu'illustre bien le moulin de la planche CXXVIII qui d'ailleurs (FIG.33) est surtout centrée sur le mécanisme à vilbrequin et, semble-t-il, le régulateur à poids qui tous deux figurent sous la table. Ce dessin met aussi en évidence le système de hausse par cales logé dans des mortaises traversant la base des deux pieds du premier plan.

48. Les traités du XVIII^e et XIX^e siècles deviennent en revanche plus modernes selon nos critères : la teneur scientifique est acquise, le calcul, codifié, y est largement mis en œuvre et expliqué tout en cotoyant des développements qui font amplement appel à l'expérience des corps de métiers sinon à l'expérimentation. Cette dernière porte régulièrement sur les différences de mouture obtenues –par exemple– par différentes pierres, vitesses de rotation ou pressions. Tout en s'inscrivant eux aussi dans le mouvement voire le culte du progrès (celui de la nation ou de l'individu), ces ouvrages sont ainsi pétris d'une culture empirique et de savoir-faire qui sont d'autant plus précieux qu'on est alors à l'orée de l'aire industrielle (ca. 1850) qui va bientôt révolutionner la production et faire disparaître ce monde ancien du cumul empirique, monde à bien des égards en totale continuité avec l'Antiquité⁸⁶.

FIG.34 Deux pages du DUCREST 1777 : nombre de fuseaux, vitesse péricipérique et rapports entre Rouet et Lanterne (noter l'expression de la vitesse angulaire en rotations par minute : celle de la lanterne à 52 rpm est également celle des meules qu'elle entraîne directement)



⁸³ L'ouvrage est bilingue italien/Français mais le titre et la dédicace au Roy sont en italien : *vari et industriosi Movimenti, degni du grandissima Spéculazione, per cavarne beneficio infinito in ogni sorte d'operazione* (traduit par nos soins) .

⁸⁴ Accès libre et gratuit sur cnum.cnam.fr (le téléchargement n'est pas une opération très immédiate : il faut aller dans la rubrique « export ») .

⁸⁵ Milano, Il Polifilo, 1967, 2 vol., édition 1967

⁸⁶ Dans le domaine du moulin cette révolution industrielle va se traduire par l'apparition des engrenages en fer, celle de l'actionnement par la vapeur et le développement d'usines meunières (minoteries), changements qui ne constitueront pas une rupture mais des substitutions ou des amplifications ; la rupture sera en revanche bientôt manifestée par le remplacement des meules horizontales en pierre par les cylindres ; dans ce monde pré-industriel relativement continu la seule révolution que nous verrions dans le domaine molinologique serait l'abandon de la conicité et la libération des diamètres, intervenues vers 900 pC.

On donnera ici quelques exemples de certains des traités que nous avons consultés : ainsi l'*Essai sur les machines hydrauliques, contenant des recherches sur la manière de les calculer & de perfectionner en général leur construction* paru en 1777 à Paris et dû à Charles Louis DUCREST⁸⁷. Cet ouvrage totalisant 296 pages s'avère très accessible, équilibrant formules de calcul et texte de présentation ou explicatif. La typologie et les caractères sont de plus très agréables à l'œil.

49. Peu de temps après, en 1783, paraît l'ouvrage de Jean Antoine FABRE *Essai sur la manière la plus avantageuse de construire les machines hydrauliques et en particulier les moulins à bled*.⁸⁸ Cet ouvrage de 383 pages complété de 7 planches de type « dessin industriel » montre un caractère mathématique prononcé (FIG. 35) et consacre ses 184 premières pages au calcul de sections, débits, pentes etc. ainsi qu'à la géométrie des ouvrages. La partie consacrée aux moulins (p.185 à 383 soit la moitié) est de même très sensible aux « formules » et calculs.

FIG. 35 Exemple des renvois et de l'aspect mathématisé à outrance du FABRE 1783
—partie poids de l'équipage et des meules

FIG.36 FABRE 1783 : sommaire détaillé de la partie consacrée aux moulins

SECTION II.	
<i>Théorie générale des Moulins simples & composés.</i>	
§. I.	
<i>Des Moulins simples.</i>	
<p>Ce que c'est qu'un moulin simple, 184</p> <p>Formule générale pour le moulin de la fig. 46, <i>ibid.</i></p> <p>Formule simplifiée pour le même moulin, 186</p> <p>Formules simplifiées plus générales que la précédente, <i>ibid.</i></p> <p>Les poids des équipages des moulins simples, font comme les dépenses des courants par les chûtes, 187</p> <p>Les effets des moulins simples faivent aussi le même rapport, <i>ibid.</i></p> <p>Première question sur les moulins simples, <i>ibid.</i></p> <p>Seconde question sur les moulins simples, 188</p> <p>Dans les moulins simples, les rayons des</p>	<p>meules font comme les racines carrées des rectangles sous les dépenses & les chûtes des courants moteurs, 188</p> <p>Dans les moulins simples, les nombres de révolutions font en raison inverse des quantités précédentes, <i>ibid.</i></p> <p>Dans les moulins simples les rayons des roues font comme les chûtes par les racines carrées des dépenses des courants moteurs, 189</p> <p>Erreur de plusieurs Constructeurs, <i>ibid.</i></p> <p>Conséquence des principes établis, 190</p> <p>Quelle est la chute au dessous de laquelle il faut employer des moulins à engrenage, <i>ibid.</i></p> <p>Loi que suit cette chute, <i>ibid.</i></p> <p>La connoissance de cette chute ne suffit pas, 194</p>
§. II.	
<i>Des Moulins composés à simple & à double engrenage.</i>	
<p>En quoi consistent les moulins à simple engrenage, 191</p> <p>Formule général pour les moulins à un en-</p>	<p>grenage représentés par la fig. 28, 192</p> <p>Relation entre la vitesse du courant & les rayons des différentes pièces des mêmes</p> <p style="text-align: center;">D d d</p>

nécessaire») et entend « démontrer » : la science est au service de l'amélioration et du progrès que la raison impose à tous. Les meules (FIG.36) y sont abordées aux pages 335 à 346 (p. 364 sq. de l'édition en ligne) ainsi qu'auparavant à de multiples paragraphes (ceux-ci sont numérotés). Fabre préconise (p. 336) par exemple de compenser la perte de poids due à l'usure, la zone dite « couronne de pression » faisant l'objet d'une grande attention. Mais le langage impératif, les incessants renvois à des démonstrations précédentes et la mathématicité prononcée de l'ouvrage devaient en rendre bien difficile l'usage par des meuniers et constructeurs.

FIG. 37 Passage de l'Encyclopédie Méthodique de 1788 (ca. p.43) illustrant son style informatif :

DES MACHINES HYDRAULIQUES. 337

590. Le poids de l'équipage de la meule tournante peut être trop petit, & le moindre qu'on puisse employer ne doit pas être au-dessous de 1436 lb.

Voyez-en la démonstration aux n. 310 & 392.

591. Quand on connoit le poids de l'équipage d'une meule, pour trouver son rayon, on suivra cette règle : extrayez la racine quarrée du poids de l'équipage exprimé en livres, & multipliez-le par la fraction $\frac{11}{100}$. Le produit regardé comme des pieds, fera le rayon de la meule.

Cette règle est fondée sur la formule du n. 397.

Exemple. Si le poids de l'équipage est = 5640 lb, nous trouverons sa racine quarrée = $\frac{75}{10}$. Multiplions-le par $\frac{11}{100}$, & nous aurons le rayon cherché = $\frac{829}{100}$ pieds = 2 pieds 11 pouces 1 ligne $\frac{1}{2}$.

592. Lorsque le moulin est simple, c'est-à-dire sans engrenage, on peut trouver le rayon de la meule par la connoissance de la dépense & de la chute relative du courant qui meut le moulin. Pour cela on suivra cette règle : prenez le produit de la dépense par la chute relative ; extrayez-en la racine quarrée, & multipliez-la par la fraction $\frac{11}{100}$. Le résultat exprimé en pieds fera le rayon cherché.

Cette règle est la même que celle du n. 406.

Règle pour trouver le rayon de la meule.

Règle pour trouver la même quantité dans les moulins simples.

Fabre identifie et corrige les erreurs de la pratique ou des auteurs précédents. Il s'agit d'un ouvrage proprement d'ingénierie. Il est par ailleurs prescripteur (« on doit, il faut, il est

Les proportions entre la roue, le rouet, la lanterne & la meule courante, doivent être telles que 40 ou 48 dents du rouet & huit fuseaux de la lanterne opèrent cinq ou six tours de la lanterne & de la meule contre un tour de la roue. D'après cette règle, on doit préférer le nombre pair des dents du rouet & des fuseaux de la lanterne au nombre impair.

Il y a deux manières de faire la lanterne, savoir, à fuseaux droits, & à fuseaux inclinés. Celle à fuseaux inclinés se nomme *Lanterne à ferreine*.

On fait aussi les fuseaux en bois ou en fer : ceux de fer durent plus long-tems, & s'usent moins que ceux de bois ; mais ceux-ci ont le mouvement plus doux, & ceux de bois de gayac sur-tout sont préférables, parce que le frottement en est plus doux & plus solide.

Les dents du rouet & les fuseaux de la lanterne ayant la même inclinaison, le choc plein qu'ils se donnent en tournant est aussi vif que des coups de maillet ; & si les fuseaux sont de fer, ce choc cause au rouet un ébranlement qui occasionne son écartement, à moins qu'il ne soit étreffonné ou soutenu par derrière avec des pièces de bois qu'on nomme *étréffillons*, qui prennent dans le milieu des deux embrâtures, un bout à la roue & l'autre au rouet. Ce choc, faisant le même

F ij

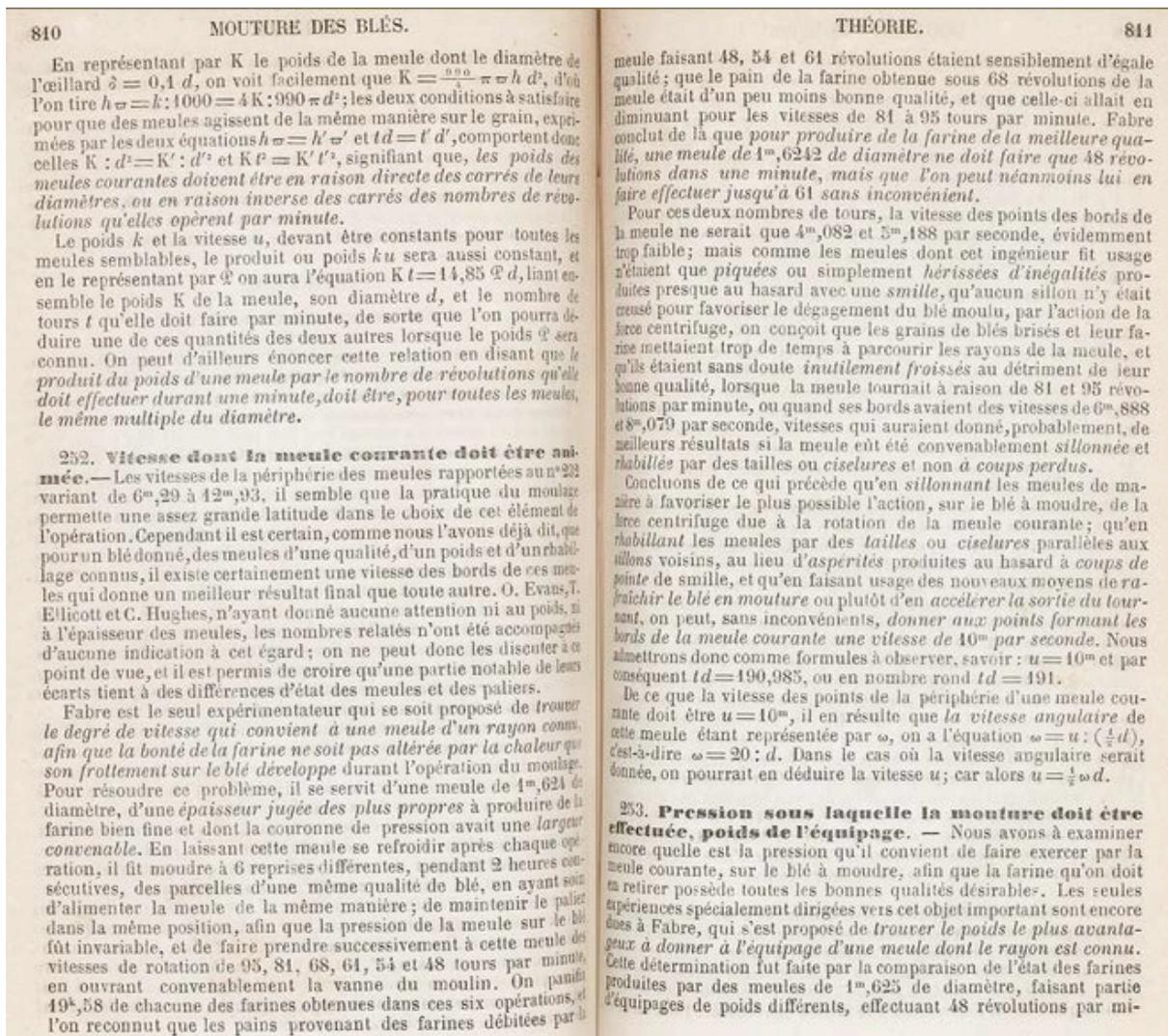
⁸⁷ Accès libre en ligne (nous sommes en France, on ne remerciera jamais assez les départements universitaires ou les bibliothèques qui le rendent possible) sur : <http://hydraulica.grenet.fr/viewer/show/27#page/n331/mode/2up>

⁸⁸ En libre accès sur https://archive.org/details/bub_gb_KrkjDXDpoYkC/page/n5

dépouillement mathématique, précision du vocabulaire et des agencements

50. Cet aspect compliqué n'est pas, malgré sa densité et sa richesse, le cas de l'*Encyclopédie Méthodique des Arts & Métiers Mécaniques*, parue en 1788 à Paris et à Liège, dite aussi Encyclopédie Panckouke et dont la partie du tome V placée sous la voix MEU (p.6 à 107) est consacrée aux moulins et à la mouture (Art du Meulier, Art du Meunier). Cet ouvrage très économe en formules de calcul se caractérise en revanche par son souci explicatif, il fourmille de vocabulaire (FIG. 37) et de définitions des différentes pièces, de leur dimension ainsi que de leur agencement. Cela en fait un outil précieux pour l'archéologue qui désire comprendre les points-clés concernant les meules et le fonctionnement du moulin. L'*Encyclopédie méthodique* de 1788 livre également beaucoup d'informations sur les différentes pierres ou les façons régionales. Elle donne une place non minorée au petit moulin à roue horizontale qu'elle dénomme « moulin à cuvette » en précisant qu'il s'agit (à l'époque) d'un type méridional et en renvoyant à un « mémoire imprimé » rédigé par un certain M. Bucquet. Cette encyclopédie devait être utilisable par les meuniers et constructeurs ou réparateurs. Elle comporte en outre un précieux et très riche glossaire (p. 86 à 107)⁸⁹.

FIG.38 Page assez représentative du BENOIT 1863



⁸⁹ Regrettablement cette *Encyclopédie* est difficile d'accès, le mieux que nous ayons trouvé pour le T.5 est sur Google Books (avec un accès par sections à partir d'un index erroné où cliquer sur Art du Meulier envoie 200 p. plus loin sur l'article Noyé ...), BnF/Gallica semble une fois n'est pas coutume offrir un accès libre online mais nous n'avons pas réussi à manipuler le défilement et le cadre de visionnage : le meilleur accès reste celui fourni pour les traités DUCREST 1777 et BENOIT 1863 (sur www.hydraulica.grenet.fr).

51. Le traité paru 80 ans plus tard, en 1863 (FIG.38), en 2 volumes totalisant 891 pages et XXII planches, dû à Philippe Martin Narcisse BENOÎT, *Le guide du meunier et du constructeur de moulins*⁹⁰, est sans doute parmi les plus complets et instructifs de ce genre d'ouvrages. On trouvera une illustration de ce caractère dans les FIG.38-39. Le second tome traite de la meunerie, des meules et des façons de mouture. Il renferme les 22 planches, qui s'ouvrent par une partie géométrique et mathématique (courbes et calculs) et s'avèrent très riches en dessins à caractère technique (plans et sections sinon dimensions). Ces dessins concernent autant des installations entières que de simples pièces (comme la tête de gros fer PL.XVII Fig. 12)⁹¹.

Ce traité comprend certes une bonne part de calculs et de formules, la partie hydraulique et mécanique ou résistance des matériaux y est très développée, non seulement dans le tome 1 mais aussi au long du volume 2 : tables, formules et calculs sont en effet abondants (FIG.39), il s'agit clairement d'un ouvrage d'ingénierie. Mais le propos reste toujours clair et accessible, le texte complétant la mathématique ou inversement. Nous y avons souvent trouvé de précieuses notions ou indications, en particulier sur la vitesse des engrenages et des meules, leurs poids ou zones. La préoccupation est très orientée sur la qualité des farines et de la mouture. L'ouvrage rend fréquemment compte d'expérimentations, sur les machines comme sur les procédés ou techniques de mouture. Il compare régulièrement les façons de moudre et les équipements à celles et ceux de l'Angleterre et des USA. Il présente en partie finale une série de moulins, en particulier ceux du Basacle à Toulouse ou encore les grands moulins de Paris. Les considérations de petite échelle ne sont pas rares, comme celle (Vol.2 § 258 p.816) relative à la durée et au trajet d'un grain de blé entre les meules. Les outils utilisés font également l'objet de notices de même que des techniques telles par exemples que le rhabillage et le rayonnement des meules auxquelles plusieurs pages sont consacrées avec des paragraphes sur le tracé, le nombre et la disposition des sillons⁹². L'ensemble constitue une mine pour des archéologues.

FIG.39 Une illustration de l'aspect mathématique du BENOIT 1863 (volume 1, partie Construction des Moulins – résistance et emploi des matériaux, p. 581)

Conclusions

48. Après un épisode fondateur intervenu (curieusement) dans les années 40, l'archéologie du moulin et des meules se développe à partir du milieu des années 70. Désormais régulières, les publications sont en constante progression et à partir de 1992 le volume augmente significativement, sous l'impact de l'archéo-

RÉSISTANCE ET EMPLOI DES MATÉRIAUX. 581

établies auront un excédant de force que la bonne entente des constructions oblige d'admettre, en ne donnant toutefois aux dents de bois, dont le remplacement est facile en cas de rupture, que les dimensions indispensables pour assurer la transmission de l'effort à la circonférence du cercle primitif de l'engrenage, c'est-à-dire par les points des dents placés à moitié de leur saillie s. Ces conditions seront remplies si dans l'équation générale (1125) qui se réduit à $\Pi = \frac{2}{3} R e^2$, en vertu de la proportion posée, on met pour R la valeur 700 000 kil. relative aux bois très-résistants que l'on choisit pour en faire les dents des roues d'engrenage. Alors $\Pi = 972222e^2$ et $e = 0,00101418 \sqrt{\Pi}$, ou en comptant par chevaux de 80 kilogrammètres par seconde, $e = 0,0090711 \sqrt{C}$. Cette formule, réduite en nombres ronds à $e = 0,009 \sqrt{C}$, et celles $t = 0,045 \sqrt{C}$ et $s = 0,0108 \sqrt{C}$, qui s'en déduisent, ont servi à calculer la table ci-après des dimensions à donner aux dents des roues d'engrenage, suivant l'effort et suivant le nombre de forces de cheval qu'elles ont à transmettre : ces dimensions y sont indiquées en millimètres.

Efforts transmis par toute vitesse.	Force transmise pour la vitesse de 1m.	Dimensions de la dent.			Pas de l'engrenage	Denture sur le diamètre.
		Épaisseur.	Saillie.	Largeur.		
kilogram.	chevaux.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
80	1	9,000	10,8	45,0	18,000	5,7207
160	2	12,728	15,3	63,6	25,456	8,1029
240	3	15,589	18,7	77,9	31,178	9,9262
320	4	18,000	21,6	90,0	36,000	11,4594
400	5	20,125	24,1	100,6	40,250	12,8122
480	6	22,046	26,4	110,2	44,092	14,0349
560	7	23,812	28,6	119,1	47,624	15,1595
640	8	25,456	30,5	127,3	50,912	16,2058
720	9	27,000	32,4	135,0	54,000	17,1891
800	10	28,561	34,2	142,3	56,922	18,1190
880	11	29,840	35,8	149,2	59,698	19,0030
960	12	31,177	37,4	155,9	62,354	19,8482
1040	13	32,450	38,9	162,3	64,990	20,6590
1120	14	33,675	40,4	168,4	66,450	21,4387

⁹⁰ Accessible librement en ligne sur <http://hydraulica.grenet.fr/items/show/285>, avec possibilité de télécharger (au moins le volume 1).

⁹¹ La même PL.XVII présente en Fig. 2 et 24 un moulin pompéien dont la section est conforme (mais non le plan du *catillus*), les oreilles montrant un profil présent en Gaule du Centre.

⁹² Chaque § est numéroté et affiche un titre en caractères gras, le volume 1 comporte 1132 § en 585 pages et le second 330 § pour 306 pages.

logie préventive. L'Italie marque le pas et peut-être aussi l'Angleterre, jusqu'alors motrice dans le champ de la molinologie et qui enracinait en Europe la question du moulin généralement posée uniquement à partir de l'Orient. La croissance soutenue de la production documentaire s'accompagne d'une régularité dans l'espace s'avérant précieuse pour des études régionalisées qui commencent à ouvrir sur des approches en terme de faciès, de chronologie différenciée et de spatialité des caractères. Les années 2005/2006 marquent une étape qui voit d'une part une forte augmentation du nombre et de la diversité des doctorats, d'autre part l'émergence de publications concernant les centres producteurs et non plus seulement les trouvailles en milieu d'utilisation, enfin la tenue régulière de colloques.

Le centre de gravité s'est désormais déplacé depuis la Préhistoire récente et ses moutures ou broyages sur table, vers l'Antiquité *lato sensu* (Age du Fer et période Romaine), les moulins rotatifs apparus vers 500 BC concentrent les efforts de la recherche. Démographie des objets archéologiques oblige, le moulin bas tient désormais la vedette au détriment du modèle pompéien, sans doute auparavant largement surestimé. Une des limites actuelles de l'archéologie des moulins et meules tient à la primauté accordée au grand moulin hydraulique dit « Vitruvien » à roue verticale et engrenage au détriment du petit moulin paysan à roue horizontale et entraînement direct, trop peu connu en dehors des îles Britanniques et que fouilles ou études de meules se soucient trop peu d'identifier.

L'archéométrie des roches meulières est apparue précocément au milieu des années 1980 dans le sillage de l'*early commerce* anglo-saxon, les pétrographes étant alors une des forces dynamiques de l'archéo-molinologie. Cette tradition précieuse pourrait cependant voir sa portée s'affaiblir ces prochaines années faute d'une meilleure articulation avec la chronologie et les problématiques archéologiques. Autre sujet méritant attention, le développement d'une archéologie molinologique -tendanciellement d'ailleurs plus souvent celle de la meule que du moulin- s'accompagne à mesure de sa remontée de la Préhistoire vers l'Histoire d'un évanouissement de sa composante anthropologique. Enfin nous voyons dans un travail commun entre archéologie et ingénierie mécanique⁹³ la promesse de futurs progrès essentiels, sinon une nécessité impérieuse.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO 1999 - AMOURETTI 1986 - AMOURIC 1984, 1990 - AMRAOUI 2013 - ANDERSON 2013 - ANTONELLI 2012, 2014 - ARCHETTI 2015 - ARIS 1963 - ARSEQUEL, PETITJEAN 1995 - BARBOFF, SIGAUT 2003 - BENOIT 1863 - BENOIT 1998, 2013 - BERNAL CASASOLA, SAEZ ROMERO 2018 - BESSAC 1996, 2002 - BLOCH 1935 - MIALLIER *ET AL.* 2010 - BOMBARDIERI 2010 - BRAHEM 2011 - BRUN *ET AL.* 1993, 1998 - BRUN 2005, 2007, 2012 - BUONOPANE 2015 - CABEZUELO *ET AL.* 2000 - CHARTRAIN 2015 - CHAUSSAT 2011 - COCQUEREL 1992 - COUTANT 1990 - CURWEN 1944 - DAL RI 1994 - DANIELISOVA, MANGEL, DRNOVSKY 2011 - DI GIORGIO CA. 1501 - DI PASQUALE 2012 - DONNER 1992 - DOSWALD 1994 - DUCREST 1777 - ENCYCLOPEDIE METHODOIQUE 1788 - FABRE 1783 - FINLEY 1978 - FLOHR 2012 - FRANCISCI 2011 - FRANCOVICH 1993 - FRANKEL 2003 - GELINAS *ET AL.* 2004 - GLUHAK 2010 - GOUDIE 1886 - GUETARI - HALAMA, ZEMAN 2009 - HAMON 2006 - HAMON, LEGALL 2011 - JACCOTTEY, FARGET 2011 - JOINEAU 2011 - KAMASH 2006 - LAVILLE 1963 - LEROI-GOURHAN - LEVEAU 2007 - LEFEBVRE DES NOETTES 1924 - LONGEPIERRE 2011 - LUCAS 1953 - MAGNANTI 1970 - MANNONI 1994 - MARION *ET AL.* 2017 - MAUNE, PAILLET 2003, - MAUNE 2007 - MILLEVILLE 2007 - MINVIELLE 2017 - MORITZ 1956, 1958 - ORSATELLI 1979 - PEACOCK 1977 - PICAVET 2019 - PICHON 1995 - PORTILLO 2006 - PROCOPIOU 1998 - PROCOPIOU, TREUIL 2002 - PUJOL *ET AL.* 2015 - RAEPSAET 1995 - REILLE 2002 - RAMELLI 1588 - RENIERE 2018 - ROMEUF 1978 - ROUILLARD 1996 - RUNNELS 1981 - RUTTER *ET AL.* 2003 - RYNNE 2011 - SALAC 2017 - SCHRAMBACH 2009 - SPAIN 1984 - VASHISHT 2012 - VERON 2015 - VIGNET-ZUNZ 2014 - VIVAR LOMBARTE 2013 - WALDHAUSER 1981 - WEFERS 2012 - LYNN WHITE 1974 - WIKANDER 1979, 1981, 1984 - WILLIAMS, PEACOCK 2011 - WILLIAM-THORPE 1993 - WILSON 2009 - ZACHRISSON 2011 - ZANNOL 2016 - ZARA 2018 - *AMMIEN MARCELLIN - APULEE - CATON - DIGESTE - VITRUVÉ - EDIT DU MAXIMUM -*

⁹³ Comme plusieurs autres aspects (taille expérimentale d'une meule, visite d'un atelier de production à Guettar en Tunisie) nous n'avons pu amorcer une telle collaboration dans le cadre même de ce doctorat pour lequel nous avons pu néanmoins bénéficier de conseils et croquis de la part de deux jeunes ingénieurs, l'un italien F. BELLONI, l'autre français Q. DANIEL. Ce rapprochement entre mécanique et archéologie sera en revanche pleinement développé lors de la mise en oeuvre du projet ORViAMM dans les composantes duquel il a été d'emblée inscrit.

CHAPITRE .2

Problématiques du Moulin & des Meules

On souhaite aborder ici le corpus problématique qui constitue l'horizon de cette thèse. L'exposé des aspects qui y seront développés, à des degrés divers, contribue à introduire à la matière meules & moulin ceux qui n'en sont pas familiers. La présentation est déclinée en 4 séries : les problématiques relatives au meules rotatives basses, celles relatives au moulin vertical (type pompéien ou quasi-pompéien), celles enfin ayant trait aux moulins hydrauliques. Viennent ensuite les problématiques plus spécifiquement attachées à la production d'Orvieto. On a retenu un degré de détail suffisant pour qu'il garde quelque substance et indique les enjeux, mais cependant assez limité pour qu'il puisse permettre une vision relativement globale, telle que livrée par une lecture consécutive des seuls titres des paragraphes. Ces problématiques ne seront pas systématiquement traitées, loin s'en faut, dans des chapitres spécifiques. Elles seront le plus souvent abordées ou éclairées dans des développements portant sur tel ou tel aspect (par exemple la géométrie des meules, l'usure, la conicité, le traitement de la base, la typologie des ateliers etc.).

1. Problématiques attachées aux Moulins Rotatifs Bas (MRB)

MRB-1 caractérisation morphologique des meules

Les principales questions posées aux ébauches d'Orvieto parvenues à des stades plus ou moins avancés ont trait à des problématiques de caractérisation : arc des diamètres et des hauteurs, relations de proportion ou groupes entre ces deux attributs, relations entretenues avec la longévité ou le fonctionnement. A cette base plutôt standard en archéologie nous avons ajouté deux développements plus inédits. en raison d'une tradition personnelle, l'étude de la conicité, rarement approfondie, *et celle de la métrologie, jamais abordée.*

MRB-2 conicité

En premier lieu, en raison d'une intuition liée au contraste entre la forte conicité des moulins pompéiens majoritairement présents à Orvieto et celle, faible, des petites meules communes, on a développé la problématique relative à l'angulation des moulins. Il s'agissait initialement de simplement placer les fabrications orviétanes

sur une échelle continue de conicité (de 0° à n) ou parmi des groupes si la pente des meules se révélait présenter des discontinuités et des pics. La préoccupation envers la conicité rejoignait également celle de l'identification des moulins hydrauliques par leurs meules, généralement proposée sur la base du seul diamètre.

MRB-3 approche métrologique En raison d'un intérêt antérieur porté aux parcellaires (CHARTRAIN 2007) ou aux aspects modulaires de la construction romaine (CHARTRAIN, FLOTTÉ, HENRY 2015) il nous a paru également intéressant de développer la question métrologique. Il s'agit dans un premier temps d'identifier le pied et l'unité génératrice du diamètre sinon d'autres dimensions constitutives de la meule, dans un second temps de déterminer si ce pied relève de la métrologie régionale en vigueur autour de l'atelier ou bien s'il est commun à d'autres ensembles meuliers et sur quelle géographie. Malgré la lourdeur du travail due à la nécessité de développer un référentiel jusqu'alors inexistant, malgré les difficultés liées au caractère empirique de notre étude par manque de collaboration avec un mathématicien, cette démarche nous semble positive et proposer des perspectives non inintéressantes pour un développement ultérieur des recherches.

MRB-4 assemblages d'ateliers : caractères à neuf des meules

Une seconde série problématique concerne naturellement la comparaison avec d'autres assemblages, en premier lieu ceux d'ateliers afin de situer les fabrications orviétanes dans un contexte méditerranéen à défaut d'italique et dans un système technique, homogène ou non, celui des moulins rotatifs bas apparus en Catalogne vers 500 aC. Ce travail de comparaison pouvait en outre fournir des données relatives à la chronologie, à ce jour inconnue, des meules basses ou pompéiennes produites à Orvieto.

MRB-5 assemblages de rejets : caractères acquis des meules

Un autre volet concerne la comparaison entre ensembles meuliers provenant de centres producteurs et d'assemblages issus de rejets d'utilisation, qu'il s'agisse de milieux urbains ou ruraux, de contextes domestiques ou industriels, de l'Age du Fer et de l'époque républicaine par opposition à la période Romaine impériale. Les premiers permettent d'établir les caractères à neuf des meules et les seconds les caractères acquis par l'usage ainsi que les stigmates d'usure. Une catégorie intermédiaire est occupée par les rares assemblages de meules provenant d'épaves pour lesquels il est nécessaire de chercher à mettre en évidence le caractère neuf ou usagé des meules.

MRB-6 usure des meules Les questions relatives à l'usure ont pris progressivement dans notre travail une importance initialement insoupçonnable. Il est en effet apparu indispensable de distinguer, pour la description et la typologie, les attributs intangibles de ceux soumis à usure, la valeur sur les meules usagées ne pouvant être prise en compte pour l'établissement des types. On dispose notamment pour la Gaule, d'une base quantitative suffisamment fournie en meules issues d'ateliers et de sites de rejet, pour développer entre caractères à neuf et caractères acquis une problématique de trajectoire de l'objet manufacturé meule depuis sa définition initiale jusqu'à son état de rejet plus ou moins ultime. Ces deux pôles de l'état objectal (CLARKE 1968/1978 ; TABACZYNSKI 1980) ont donc été constamment distingués, afin d'extraire les traits et normes techniques constitutifs des meules et ceux qui, soumis à l'utilisation, pouvaient se trouver révélateurs de la fonctionnalité ou de la destination éventuellement diversifiée des moulins. Contrairement à certains travaux récents (LONGEPIERRE 2012) notre travail n'intègre pas, aux typologies ou aux raisonnements techniques, les données acquises par les meules et leur usure.

L'intérêt pour l'usure nous a conduit à proposer d'analyser le reflet de la hauteur à neuf des meules au sein de l'histogramme des épaisseurs des meules dans un assemblage d'utilisation (**CHAP. 11-2**). L'usure nous a (guetté mais) conduit à des découvertes fondamentales. Celle par exemple de la **détermination fonctionnelle de l'éventail de la conicité meulière** et donc de la surdétermination de cette géométrie. Autre découverte, celle de la **notion de Capital Horaire des meules** et de la **nécessité d'une correction, par la notion de Puissance de travail meulier, de la composition brute des assemblages** dès lors que l'on veut raisonner sur l'équipement meulier, sur la nature domestique ou industrielle de l'activité ou encore sur l'importance des réseaux volcaniques dans l'économie des meules (**Partie VI-CHAP.13**).

MRB-7 croissance du coude romain L'une des raisons régulièrement évoquée pour expliquer la concentration des diamètres des meules sur l'intervalle 32-45 cm est **la longueur du levier** (en fait une bielle) **formé par le bras** (généralement enfantin ou/et féminin) qui actionne le moulin. Cependant le bras étant de longueur fixe, il devient difficile d'expliquer le phénomène de croissance des diamètres qui intervient à la charnière entre la fin de l'Age du Fer et l'époque Impériale **et se poursuit** au cours de cette dernière. On évoque alors **l'apparition du moulin hydraulique et une césure avec le diamètre des « moulins manuels »**. Césure qu'on est tentés de fixer, en hésitant, sur 42-45 cm puis, devant la progression des histogrammes, sur 58 cm. Qu'il soit cependant permis ici de **s'interroger sur les fondements techniques d'une telle césure** ou sur sa nécessité. On préférera **quitter les cm pour raisonner en digitus** et mettre en évidence **l'existence d'une échelle commune pour les gabarits des moulins antiques**, pour la plupart fabriqués à 1 pied $\frac{1}{4}$ quelque soit le pied.

MRB-8 aspects fonctionnels du moulin bas Le développement des questions relatives à la fois à l'usure et à la géométrie génératrice des meules nous a conduit à interroger le caractère fixe ou évolutif des attributs de la meule, menant alors à plusieurs notations relatives aux aspects fonctionnels. Ainsi, l'œil de la meule fixe, perforant ou limité, où s'insère un axe (fixe ou tournant, *that is a question*) constitue naturellement un point fonctionnel essentiel. On s'est demandé si la hauteur de cet œil (dont le profil est tubulaire ou en V et le diamètre étroit ou au contraire très large) subissait imperturbable l'usure au point de diminuer au long de la vie de la meule, ou bien s'il était périodiquement recreusé. Cette question nécessite que l'on examine de près les rapports entre certains points caractéristiques, en comparant également situation à neuf et situations d'usure. On s'est alors **intéressé aux différents plans caractérisant une meule et à leur fixité ou mobilité**, tout en examinant l'éventuelle rationalité métrologique du diamètre et de la profondeur de l'œil.

En revanche Orvieto correspondant à des meules neuves ou ébauchées, on n'a abordé aucun aspect du vaste et imprécis domaine des stigmates d'usure et des denrées avec lesquelles on espère les mettre en correspondance.

MRB-9 prospective d'étude : l'exemple de l'assise des meules

Le cadre de ce travail, centré sur les fabrications d'Orvieto et leur placement dans le contexte technique et typologique des meules de Méditerranées occidentale, interdisait de développer une étude systématique des différents attributs des meules, fussent-elles orviétanes, puisque cela aurait dès lors conduit à tout étudier et ne jamais conclure. On a donc retenu, à titre de test à la fois pour notre curiosité et pour les développements ultérieurs de la recherche, un seul approfondissement. Notre dévolu s'est naturellement jeté sur un attribut discret, simple, ne payant pas de mine et qu'on croyait expédier en quelques heures de labeur : l'étude de la base des meules fixes (*metae*) du moulin commun (moulin bas). Les résultats, sans rapport avec

l'humilité du sujet montrent tout l'intérêt qu'il y aurait à développer systématiquement de telles études sur de larges aires et quantités. Il en ressort en effet, assortie d'une éventuelle problématique chronologique, l'existence d'une phase ultime de façonnage ayant lieu en dehors des carrières voire des centres meuliers-mêmes. Cette phase apparaît plus importante encore pour les *Catilli*.

2. Problématiques attachées aux moulins verticaux de Style Pompéien (MSP)

MRV-1 l'hyper surface de mouture, un choix technique ?

Les moulins verticaux, tels le modèle pompéien, présentent une surface de mouture considérablement plus développée (de 80 à 180% cm linéaires supplémentaire). La question se pose de savoir si ce fait correspond à un choix technique et constitue peut-être l'une de leurs principales raisons d'être. La période et le contexte d'apparition de ce trait technique peut contribuer à la discussion.

MRV-2 l'intervention de la gravité, un choix ?

Une seconde question posée par ces moulins est relative à l'utilisation de la gravité, ce facteur intervenant en raison de leur forte pente (60 à 72°). L'intervention de la gravité est-elle un choix technique *princeps* ou bien résulte-elle d'autres choix qui lui seraient antérieurs ? La gravité semble compensée ou combattue par d'autres dispositifs. L'inclinaison, plutôt que la gravité, révèle d'abord une incidence sur la pression et sur la dimension de la surface de travail.

MRV-3 la gravité, un handicap ? La gravité peut également avoir des incidences négatives (telles qu'un éventuel écoulement trop rapide du grain et des broyats) qui mériteraient d'être enquêtées par l'expérimentation. Elles peuvent être, le cas échéant combattues par d'autres dispositions (augmentation de la vitesse ? coefficient de friction supérieur ?).

MRV-4 la gravité, un atout ? La gravité joue peut-être également un rôle positif, par exemple celui d'une possible meilleure séparation et élimination des sons, parce qu'ils sont la fraction lourde. A cet égard il est possible que l'allongement considérable de la surface active constitue un dispositif technique retenu par les meuliers antiques pour son meilleur pouvoir séparateur.

MRV-5 la forte conicité, détermination technique ou géométrique ?

La forte conicité des modèles pompéiens ou quasi-pompéiens pose en elle-même la question de savoir si elle procède d'une détermination technique (meulière) ou d'une détermination plus proprement géométrique. L'examen des ébauches pompéiennes d'Orvieto apporte une contribution à cette problématique.

MRV-6 quelle force motrice ? Les moulins verticaux posent par ailleurs le problème de la force motrice capable de les entraîner. Sont toujours évoqués à ce titre l'âne (moins souvent le mulet) ou l'esclave. Cependant, les fabrications d'Orvieto mettant en relief l'importance insoupçonnée des petits gabarits (39 à 66 cm de D ou H), notre travail souhaite contribuer à traiter la question de manière moins globale et plus articulée, s'intéressant aussi au poids de ces grands moulins ou à leur insertion dans l'espace (à Pompéi par exemple).

MRV-7 axe et *mola suspensa* Liées à la celle de la force motrice, les questions de vitesse, de friction, de réglage d'écartement n'ont pu être abordées car elles nécessitent un

travail de collaboration avec un ingénieur mécanicien. Cependant, on s'est intéressé à la question de l'axe et de l'éventuel caractère suspendu de la meule mobile (*catillus* en clepsydre) dans la mesure où elle est posée par la configuration des têtes de *meta* (meule fixe de forme conique). Plus ou moins larges, perforées ou non d'une mortaise avec scellement au plomb, ces têtes ont soulevé très tôt dans la littérature la question du point d'application de l'axe à laquelle on ajoutera celle de la répartition des forces. Elles soulèvent également l'éventualité d'une possible variété typologique des meules fixes du modèle pompéien, sinon celle d'une différence de nature avec les *metae* des modèles quasi-pompéiens (peut-être plus proches du *ring-catillus* et de moulins à olives ?).

MRV-8 géométries génératrices Le modèle pompéien frappe à la fois par la simplicité de la forme de sa meule fixe (une sorte de borne à tête ogivale) et par la complexité de la meule mobile (sablier). Ces constats orientent le regard scientifique vers les déterminations géométriques qui président aux formes et profils de ces meules. A y regarder de plus près les rapports de proportion entre diamètre et hauteur de la première la font apparaître composée de 2 ou 2,5 cubes superposés. La courbure ou double courbure de la surface active du sommet interpelle à la fois les rapports avec l'angularité (droite) de la meule mobile et les modalités d'usure sinon de rodage, en même temps qu'elle soulève la question de ses points générateurs. On s'est alors intéressé plus largement aux centres géométriques des deux meules et par conséquent au centre de gravité de la *meta* puis de l'ensemble du moulin assemblé. L'angle constant formé entre la tête plane et la base soulève tout autant le problème de la géométrie génératrice et des règles que devaient observer les tailleurs de meules. Ces questions rejoignent fréquemment celle de la métrologie qui peut présider à la définition de certaines caractéristiques ou englober (*embed*) et donc habiller des déterminations techniques. Parallèlement, le *catillus* en clepsydre interroge sur la définition préalable (préconception) des angles puis, lors du façonnage, les modalités de leur respect et contrôle.

Nous avons par ailleurs acquis chemin faisant la certitude que les clés de la morphologie et du fonctionnement de cette meule mobile résident dans la compréhension des rapports entre des éléments ou points dont l'évidence ne s'impose pas de prime abord. Il s'agit en particulier (~~cf. CHAP. ... Typologie des catilli pompéiens~~) de la position des oreilles, des distances entre axe de révolution et oreilles ou orifice de clavage, de la position relative du diamètre interne, de la proportion entre cet oillard et le diamètre général ou celui des oreilles etc.. C'est dans ce contexte problématique dominé par la question fonctionnelle et l'outil typométrique, qu'a majoritairement pris place notre développement pour les aspects de géométrie génératrice. En revanche, pour les moulins bas la problématique géométrique s'est principalement développée en relation avec les questions de conicité autant que d'usure et de longévité.

MRV-9 origines du moulin pompéien La question de l'origine, chronologique et géographique, du modèle pompéien est actuellement complexe, ce qui indique qu'il nous manque de nombreuses données. La caractérisation des fabrications pompéiennes d'Orvieto en termes de typologie, de géométrie, de métrologie et de chaîne opératoire contribuera (nous l'espérons) à l'éclaircir quelque peu. Toutefois elle est insuffisante faute de fouilles à Orvieto qui apportent des éléments de datation ainsi qu'une chronologie de la mise au point des modèles. Mais les lacunes tiennent également à l'impossibilité actuelle de mener des comparaisons, notamment en raison de l'absence de catalogue sur des points aussi fournis et cruciaux que l'aire de production sarde de Mulargia ou la collection fantastique de Carthage. Pour couronner le tout l'absence en Italie de recensement des meules pompéiennes et de connaissance de leur

fréquence relative par rapport aux meules de type Olynthe ou rotatives basses interdit d'esquisser tout schéma ou directions de diffusion et d'origine.

Cependant, cherchant à placer la production orviétane dans un contexte technique et commercial en Méditerranée, nous nous sommes efforcé de contribuer à cette problématique des origines par trois démarches.

- d'une part, dans une première étape, on a élaboré un **tableau croisant géographie et typologie** des *metae* et des *catilli* pompéiens et « pré- » ou « pseudo- » ou « quasi-pompéiens » ;

- d'autre part, dans une démarche plus lourde intégrant des critères typométriques (**Partie IV CHAP. B-A2**) a été élaboré un **classement typologique des *Catilli* et *Metae* pompéiens**, ce qui permet d'envisager des aires techniques voire des hypothèses de chronologie relative et donc de filiation ou de transfert ;

- enfin, on a cherché par **une approche « chronogénétique »** à amorcer une vision synoptique de la **chronologie d'apparition et de la durée des différents traits techniques ou typologiques**. Cette démarche permet de visualiser quels caractères (tels que les oreilles, l'emmanchement à mortaise carrée ou le *Catillus* biconique) sont apparus anciennement et quand ils se sont associés. Cette entreprise pourra être complétée ou développée ultérieurement par nos collègues travaillant sur d'autres aires ou d'autres corpus. Il sera en particulier intéressant d'y distinguer les traits dont la détermination est technique, métrologique ou culturelle. Il sera sans doute également profitable de compléter ou d'affiner les descripteurs (nous ne nous sommes par exemple pas intéressé au diamètre du trou de clavetage ni à sa position sur l'oreille, pas non plus à l'épaisseur de la paroi de la mortaise d'oreille laquelle doit cependant résister à certaines tractions ou pression).

MRV-10 disparition du moulin pompéien Le grand moulin pompéien, équipement principalement urbain, semble s'effacer, en Méditerranée occidentale plus tôt peut-être qu'au Levant (mais les données chronologiques font défaut), au cours de la période III^e-V^e s. Le phénomène est-il dû à la **disparition de préparations spécifiques auxquelles il aurait servi** ou plutôt à **l'essor du moulin plat ou de la motion hydraulique** ? Si cette problématique éclaire sinon l'approche de ce modèle du moins l'esprit actuel de l'archéologie à son égard, en revanche elle n'a pas été développée dans ce doctorat. Les données sont en effet totalement insuffisantes et Orvieto n'en fournit pas tant que n'y est pas établie par des fouilles la période de fin de fabrication de ce modèle. Néanmoins nous signalerons ici certains indices fournis par quelques particularités observables sur les exemplaires de Rome que nous avons pu étudier, suggérant l'existence d'un type jusqu'ici inaperçu.

MRV-11 épigraphie du modèle pompéien L'épigraphie des meules, rare pour le moulin bas, est en revanche **régulière sur les meules pompéiennes**, qu'elles soient fixes ou mobiles. Elle devrait être largement développée dans le programme ORViAMM avec A. Buonopane. Cependant nous nous y intéresserons dans ce travail (**CHAP. 6-1, p. 144**) car il convient d'élaborer le cadre problématique spécifique. Ces marques soulèvent en effet d'intéressantes **questions relatives à leur fonction** ou à leurs traits communs ou distinctifs avec l'épigraphie de l'*instrumentum* antique. Mais l'un de leur intérêt principal réside **surtout dans la question du moment où intervenait leur apposition** : étaient-elles incisées à l'officine de production ? au moment de l'expédition, lors du transit commercial et portuaire ? ou bien au niveau de l'installation du moulin sur le lieu final ? C'est, au long de la trajectoire de l'équipement neuf, **la question** des rapports entre fabrication / expédition / négoce / vente / installation / utilisateur(s).

Nous avons élaboré un modèle préliminaire d'interprétation ou plutôt d'enquête qui ouvre des perspectives quant au sur-marquage constaté à Pompéi.

3. Problématiques attachées aux moulins hydrauliques

MRH-1 la petite hydraulique L'une des grandes questions molinologique est sans doute celle de l'identification archéologique du petit moulin paysan à motricité hydraulique et roue horizontale : peut-il être identifié par des meules qui lui seraient spécifiques ? ou par certains traits des meules (présents à neuf ou acquis) ?

MRH-2 identifier les meules hydrauliques

L'identification des meules à entraînement hydraulique pose en l'état problème : existe-il des meules spécifiques à ce mode d'entraînement ? sont-elles différentes des meules à entraînement animal (moulin à sang) ou des meules communes (rotatives basses) ? les meules sont-elles différentes pour le grand et le petit moulin hydraulique ? Existe-il une dimension, un mode de support ou une conicité spécifique des meules à entraînement hydraulique qui permettraient de les identifier ou bien une partie des moulins hydrauliques se cache-t-elle derrière des meules communes, généralement attribuées à la motion manuelle ? Dans ce travail nous nous sommes limité à explorer la question sous l'angle de la conicité et du grand format.

MRH-3 la mécanisation La question de l'association d'un mouvement à une catégorie spécifique de meules ou du partage d'un même type de meule pour des entraînements différents rejoint celle de la mécanisation et de ses degrés ou formes. Il apparaît en effet que le moulin rotatif bas commun, généralement taxé de « manuel » peut connaître (et a certainement connu) un degré plus ou moins avancé de mécanisation : entraînement par bielle (main ou tige), par bâton fixé au plafond ou à un châssis, voire par manivelle ou pédale (les historiens des techniques pour qui ces deux inventions sont médiévales ou Renaissance ont toujours rejeté ces éventualités sur la -fragile- base des textes, mais sans aucun examen sérieux et précis des dispositifs tels que les différents modes d'engrenage et rouets, les diverses transmissions du mouvement par roues, came ou bielle, sans compter la question de la vis en bois ou bronze).

MRH-4 activités industrielles ou minotières ?

Les moulins hydrauliques, tels qu'identifiés par leur structure ou par la taille généralement importante de leur couple de meules, soulèvent la question de l'activité à laquelle ils étaient destinés. Une première problématique concerne d'ailleurs le fait d'appréhender s'il s'agit d'un moulin ou bien d'un moteur, ce dernier pouvant entraîner divers machines telles que scie, marteau-pilon, arbre à came ou broyeurs variés. Dès lors qu'il est établi que l'on a à faire à un couple meulier, une seconde question se pose : celle d'identifier la nature de l'activité de broyage : grain, sel ou minerais sont parmi les principaux candidats à la réponse, ainsi que certains minéraux ou colorants (ocre, pouzzolane par ex.), certains produits intermédiaires (litharge, fritte, argiles, chamotte, tuileau etc.) sinon certains végétaux (baies ou coques pour fabrications diverses telles que les encres, les colorants etc.). Sans enquête approfondie ou indices concordant il est donc risqué de poser l'équation meules = farine ou grain. Par ailleurs, au sein même des produits agricoles, la meule peut-être utilisée pour l'obtention d'une variété de broyats (grain concassés appelés « semoules », pois, fèves etc.

De même toute une gamme d'activités industrielles prétend au moulin, peut-être avec des écartements différents voire des vitesses de révolution, une dureté, un mordant adaptés. Par conséquent les ca. 10% de meules antiques de grande taille (2 à 3 pieds soit 55 à 95 cm de diamètre) ou les moulins hydrauliques posent la question des activités éventuellement industrielles auxquelles ils ont pu être dévolus, à fortiori lorsqu'on constate une certaine concentration de ces gabarits ou de ces moulins dans les villes (Gaule Belgique, Chartres ou *Argentomagus* par ex.). De ce point de vue il n'est pas certain que les grands moulins (ou moteurs ?) équipant des villas (telle celle de Vareilles dans l'Hérault) avec éventuellement avec un statut équivalent à la banalité, soient systématiquement destinés à la farine ou aux semoules : ces machines pouvaient tout autant être consacrées à des productions industrielles.

4. Problématiques orviétanes

ORV-1 substrat et facteurs de pérennité La première question soulevée par l'existence d'un centre meulier durable à Orvieto, est d'abord celle du **substrat social et technique sur lequel l'activité meulière prend place**. On peut penser qu'a pu jouer une tradition étrusque de la taille de pierre et de la forge, mais de même que la pierre (leucite) est répandue de Bolsena au Vésuve, cette tradition est ample à l'échelle spatiale. On doit sans doute s'orienter vers une convergence de conditions favorables.

Ainsi, à la qualité de la pierre et aux savoir-faire en matière de taille de roche dure et d'aciérage du fer, à une disponibilité de main d'oeuvre ont dû vraisemblablement s'ajouter la proximité de l'autoroute fluviale que constitue **le Tibre** et qui débouche sur **l'immense marché de Rome** autant que sur les perspectives commerciales liées au **port d'Ostie**. Les traditions d'échanges (frumentaires notamment) entre l'Etrurie et le Latium ont également pu constituer un facteur favorable. Enfin, bien que l'on ne dispose à ce jour d'aucun indice (funéraire ou épigraphique notamment) en ce sens, on ne peut écarter le rôle privilégié éventuellement joué par une famille patricienne qui aurait eu en main le gisement ou un négoce dans lequel s'insérerait la production meulière. L'étude des meules en elles-mêmes n'apporte aucune contribution à cette problématique. En revanche **l'étude de la diffusion** des productions d'Orvieto ou du modèle pompéien est instructive.

ORV-2 fabrications, cadre de la production et chronologie

L'étude des meules et ébauches d'Orvieto conduit en revanche à s'interroger sur un premier aspect fondamental : la succession ou la synchronie de fabrication des meules rotatives basses et des modèles pompéiens (petits ou géants). Ces deux lignes de fabrication ont-elles été associées, visant deux clientèles différentes ou le centre producteur orviétan s'est-il converti puis spécialisé?

La caractérisation typologique et métrologique des meules, tout comme l'étude des chaînes opératoires ou les quelques données nous permettant de spatialiser les attributs, montrent d'abord que **plusieurs modèles** ont été fabriqués, vraisemblablement **arrangés en gamme de gabarits voire de fonctions**. Elles indiquent ensuite la probabilité qu'aient cohabité ou existé successivement **deux grandes fabrications dont les styles et normes apparaissent voisins mais distincts**. En retour ceci fait **interroger la structure de la production** et des *possessores* : faire-valoir direct ou indirect, multipropriété ou officines en nombre limité, unification éventuelle dans le cadre d'une propriété patricienne voire du *patrimonium Caesaris* ?

ORV-3 caractéristiques de la production d'Orvieto, origines, transferts techniques

Les fabrications d'Orvieto peuvent grâce au corpus de comparaison réuni être rapportées à d'autres ateliers, une dizaine, afin d'envisager les originalités de ce centre producteur ou ses traits partagés, mettant sur la voie d'emprunts techniques ou métrologiques, proposant également un placement chronologique global de la production d'Orvieto.

ORV-4 volume, diffusion , autre centre producteur ?

La plupart des meules en lave à leucite sont généralement, archéométrie ou non, attribuées à Orvieto. Cette **problématique de l'importance du centre producteur orviétan** sera traitée dans ce travail. Nous revenons en premier lieu sur la question du volume de la production à partir des trouvailles et d'une simulation. Nous examinons également la **diffusion** du modèle pompéien, ce que sa géographie dit des échanges et de ce type de moulin. Nous nous arrêtons sur la place, relativement limitée, au sein de cette diffusion des modèles typiques d'Orvieto. Prenant en compte les caractéristiques typologiques et typométriques des meules pompéiennes de l'Espagne au Rhin et à la Thamise, on discute la provenance orviétane tandis que l'analyse fine des données géochimiques (caractérisation des leucitites) nous conduit à **envisager un centre de production manquant, développement qui n'a cependant pu trouver place dans le présent mémoire.**

BIBLIOGRAPHIE

Chartrain 2007 : CHARTRAIN (A.) – *A proper study of mankind is dot, and dash. Parcelaires fossiles et faits funéraires sur le territoire rural de Montpellier* », congrès « Medieval Europe » (6-8 Sept. Paris), session d'archéogéographie, publié dans les pré-actes sur <http://www.archeogeographie.org> et dans les actes en ligne sur <http://medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr/A.Chartrain.pdf>

Chartrain, Flotté, Henry 2015 : CHARTRAIN (Alain), FLOTTE (Pascal), HENRY (Eric) – *Tempo, tecniche, approvvigionamenti : un tentativo di analisi archeologica dell'uso dei materiali lapidei nella cittadina gallo-romana di Argentomagus* (France), *Archeologia dell'Architettura*, XVIII, 2013, Firenze 2015, p. 173-191.

Clarke 1998 : CLARKE (D. L.) – *Archeologia analitica*. Milano, Electa, 371 p. (traduction italienne de l'édition revue de 1978, édition originale London, Methuen, 1968).

Longepierre 2012 : LONGEPIERRE Samuel – *Meules, moulins et meulières en Gaule méridionale, du II^e s. av. J.-C. au VII^e s. ap. J.-C.*, Mergoïl, Montagnac, 659 p.

Tabaczynski 1980 : TABACZYNSKI (STANISLAW.) – *Sur l'archéologie théorique dans les pays de l'Europe centrale et orientale*, *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 3, 1980, p. 29-40.

CHAPITRE .3

Remarques sur le contexte de naissance du moulin rotatif

_____ Avant d'entrer dans l'étude détaillée des meules d'Orvieto, il nous paraît utile de formuler quelques remarques qui attirent l'attention sur certains aspects du contexte technique et social de l'Antiquité en Méditerranée occidentale dans lequel intervient puis se diffuse la technologie meulière. En l'état des données, le moulin rotatif apparaît vers 500 aC en Catalogne (ALONSO 1995 ; ALONSO 1996 ; AMOURETTI, COMET 1995) et l'on constate l'ubiquité de cette machine vers 200 aC.

La première remarque porte sur la **rapidité et les modalités de diffusion** de cette innovation en Europe continentale et, naturellement, sur l'éventualité d'existence de plusieurs foyers d'apparition.

La seconde remarque concerne une série de **concomitances techniques et sociales** qui accompagnent l'apparition et la diffusion du moulin rotatif.

1. Apparition du Moulin Rotatif & mouvement de Diffusion

A. Vers 500/400 aC une nouveauté : 3 moulins pour 3 grandes régions de la Méditerranée

1. Le premier fait notable est sans doute l'apparition relativement synchrone, vers 500 aC de 3 types nouveaux d'appareil à broyer notamment le grain. Le premier est à mouvement alternatif, les deux autres à mouvement rotatif. Il s'agit respectivement du broyeur à trémie d'Olynthe, du moulin vertical quasi-pompéien (type Morgantina) et du moulin rotatif bas.

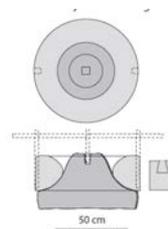


Fig. 3.15: Schema of a Roman ring-mill (drawing by T. Anderson).



Fig. 3.16: Volcanic ring catillus from the Roman city of Castulo (Jaén). The type of rock of the lower stone (not the original pair) has not been determined. \varnothing : 64 cm (photograph from Linares museum, inv. no. CE01430_B).

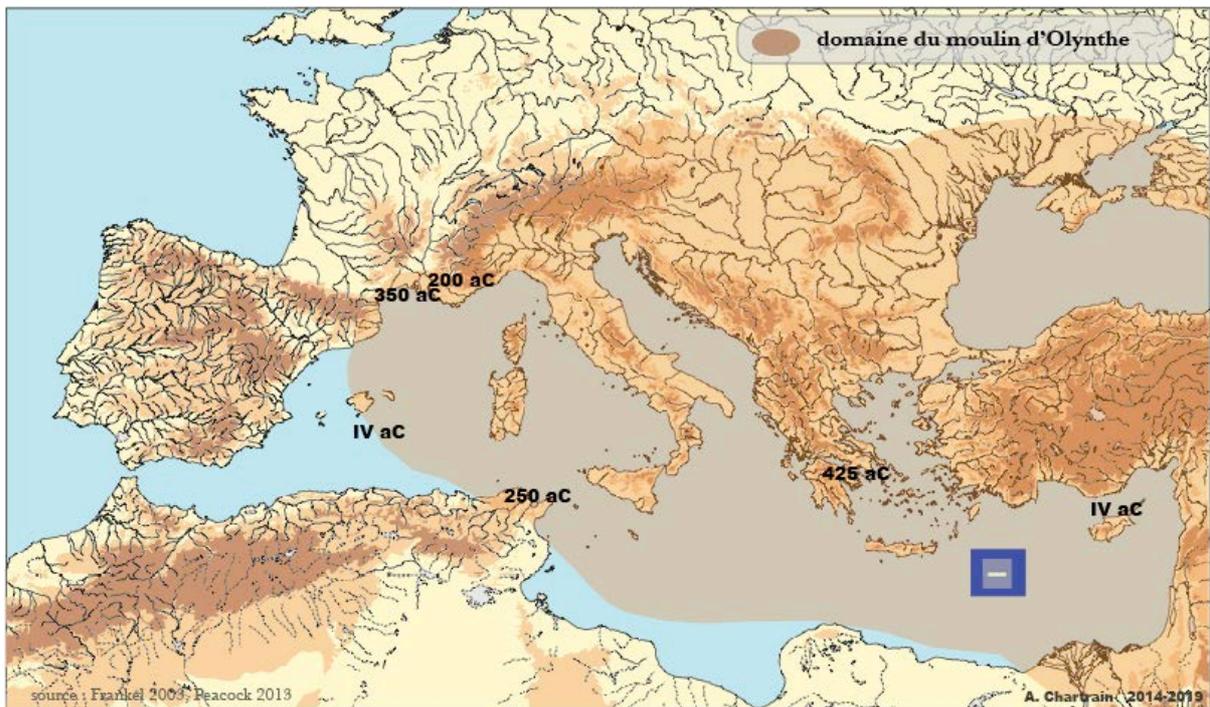
MILLSTONES QUARRIES IN THE SOUTH OF THE IBERIAN PENINSULA.

FIG.4-0 – exemple de « Ring-catillus », Jaén, Espagne (ANDERSON 2013, 58)

Le tableau d'ensemble dressé sur ces trois équipements et sur leur géographie assez distincte (cf. *infra*) n'a pas notablement évolué depuis qu'il a été clairement dressé par N. Alonso en 1997 (ALONSO MARTINEZ 1997). La multiplicité des fouilles, particulièrement en France et en Espagne, a cependant permis d'une part de mieux documenter l'ancienneté du Moulin Rotatif Bas en Gaule et de rendre accessible un corpus de meules tout à fait fourni, d'autre part de multiplier les découvertes et références chronologiques dans le Nord Ouest de l'Espagne.

2. Précisons avant de présenter ces trois catégories principales de moulins, que l'on aurait sans doute avantage à ultérieurement distinguer un quatrième type, le *ring-mill*, plus exactement un *ring-catillus* ou *catillus* en anneau, à large évidement central¹. Cela a été fait récemment (ALONSO, FRANKEL 2017), cette famille semblant plus propre à la frange Sud de la Méditerranée, depuis le Sud espagnol (cf. ANDERSON 2013) jusqu'au Levant (voir ANNEXE 1). Cette géographie, tout comme la forme courbe de la surface active associée à une très large embouchure sinon à la présence de sillons verticaux ou obliques sur les *metae*, suggère la possibilité qu'il s'agisse de broyeurs à olive. Cela peut d'ailleurs expliquer que spontanément ces machines n'aient pas été intégrées à l'approche des « moulins » que nous sommes toujours inconsciemment enclins à associer à « farine » et à grain plutôt (et regrettamment comme l'ont montré PROCOPIOU, TREUIL eds. 2002 dans *Moudre et Broyer*) que tout autant à fruits à coque, minéraux ou minerais.

FIG.4-1 – Diffusion de la Trémie d'Olynte avec repères d'ancienneté et épaves (IV aC)



Ce cas du *ring-catillus* mis à part, les trois principaux moulins apparaissent quasi simultanément, globalement au V^e siècle aC, dans trois aires distinctes et initialement disjointes mais néanmoins reliées régulièrement par des routes de navigation. On donne ici une carte de leur diffusion globale².

¹ L'œillard occupe en effet une très large part du Diamètre du *Catillus*, au moins 25-30% au lieu des habituels 8-22% des meules rotatives basses (cf. CHAP.13).

² Les cartes des FIG.4-1 et 4-2 ont une valeur illustrative et pédagogique plutôt que scientifique, elles ne peuvent en effet être complètes ni appuyées sur un inventaire dont la mise à jour ou la réalisation serait impossible dans le cadre du présent

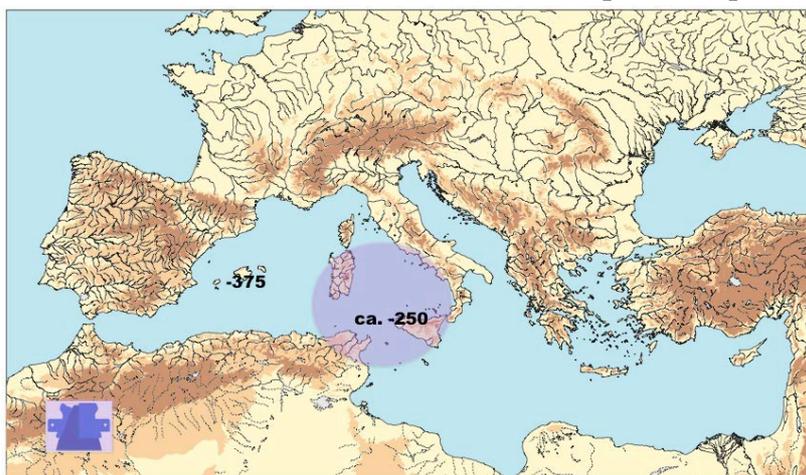
. La trémie d'Olynthe

3. La trémie d'Olynthe (FIG.4-1) est centrée sur le monde Grec et la Méditerranée orientale, elle est rare à l'Ouest du Rhône et en Espagne. En Languedoc (Lattes) le moulin rotatif bas lui est antérieur et domine largement. La plus ancienne actuellement datée a été trouvée à Athènes (FRANKEL 2003, 7). En Italie, la limite entre le domaine de la trémie d'Olynthe et le moulin rotatif bas n'est pas connue. A Orvieto le modèle Olynthe est quasiment absent ce qui, avec la rareté de son signalement en Toscane et Italie du Nord, rend probable que son domaine ait concerné l'Italie méridionale et peut-être surtout la Grande Grèce. Un inventaire et une synthèse ont été établis il y a une quinzaine d'années (FRANKEL 2003), la distribution étant complétée récemment (PEACOCK 2013, 51).

. Le modèle vertical pompéien

4. Le moulin rotatif vertical que nous disons ici « quasi-pompéien » est empiriquement distingué par différents auteurs³. Cette forme, de petit gabarit (1 pied et demi) et aux cônes asymétriques est surtout caractérisée par des oreilles non médianes et le plus souvent en situation basse.

FIG.4-2 – Zone des Moulins rotatifs Quasi-Pompéiens les plus anciens



Nous proposons d'en faire sous l'appellation de « modèle de style Quasi-Pompéien ou MSQ-P), une classe ou famille typologique distincte de celle du modèle pompéien, ce dernier se caractérisant par la symétrie des deux cônes. Le MSQ-P relève probablement d'une chronologie antérieure au modèle proprement pompéien (PEACOCK 2013, 88-93).

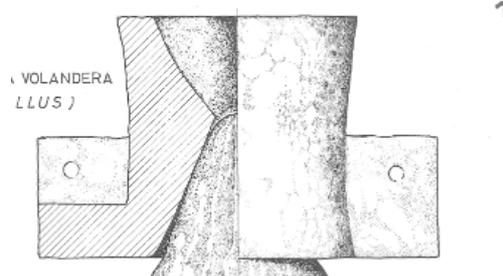
5. Le modèle quasi-pompéien correspond (FIG.4-2) à la Méditerranée centrale (Sardaigne / Sicile) et les exemplaires les plus anciens se trouvent à Morgantina (III^e s., Sicile intérieure) et surtout dans l'épave d'El Sec à Majorque datée du IV^e s. aC (ARRIBAS *et al.* 1987 - FIG.4-3) dont

doctorat. Cela est surtout valable pour la FIG.6-A, aucun inventaire des MRB en Europe n'étant disponible ni même initié. On dispose de cartes de distribution de certains lithotypes (Nord de la France : RENIÈRE *et al.* 2016 pour la pierre de Macquenoise ; Suisse : ANDERSON *et al.* 2002, CASTELLA, ANDERSON 2004 ; MANGARTZ 2008 et WEFERS 2012 pour les produits de l'Eifel, ou Grande Bretagne : PEACOCK 1987 pour les fabrications en Lodsworth, GREENE 2011 pour les productions du Hertfordshire). Concernant le modèle Olynthe, la FIG.4-1 reprend toutefois la totalité des informations de FRANKEL 2003 et PEACOCK 2013, l'important effort que représente cet inventaire trouvant cependant une limite dans le fait que par ses lacunes il traduit une probable difficulté d'accès à l'information sur de larges territoires (Afrique du Nord, Libye, Anatolie intérieure, ex-Yougoslavie, Palestine, Italie centro-méridionale, Corse) : c'est évidemment le lot de la plupart des cartes archéologiques, en particulier celles en situation pionnière.

³ Par exemple le « apparenté au type pompéien » de DOMERGUE 1997, le type » 2 de PEACOCK 2013 ou le « pseudo-pompeian millstones » de WEFERS, MANGARTZ 2014 qui désignent ainsi des formes particulières d'Assouan réalisées en granite.

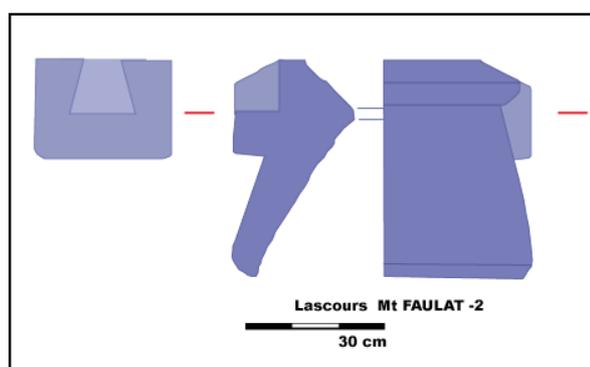
la roche provient de la zone productrice de Mulargia (WILLIAMS-THORPE, THORPE 1990) au du Nord-ouest de la Sardaigne.

FIG.4-3 – *Catillus* quasi-pompéien de l'épave d'El Sec, IV^e s. aC - ARRIBAS 1987 (D. 41 cm H.43 DOR. 69,5)



Ce modèle est également présent en Méditerranée orientale, en particulier au Levant où il pourrait s'agir d'un développement intervenu en période Romaine voire impériale notamment sur des laves du Golan. On notera que dans notre corpus⁴, le MSQ-P représente 27% des *catilli* du Levant contre 67% pour le modèle pompéien (MSP), c'est à dire la même proportion que sur tout l'échantillon (26% MSQ-P et 69% de MSP). Le moulin quasi-pompéien est absent à Orvieto⁵. On l'observe très à l'Ouest en Gaule Narbonnaise à Lascours au II^e s. aC avec un type à oreilles en position haute (FIG.4-4) plutôt rare à ce jour et qui rappelle les *catilli* Espagnols à manchons attestés parmi les plus anciens moulins (Els Vilars).

FIG.4-4 – *Catillus* quasi-pompéien de Lascours (Montagne Noire, Languedoc, France) II^e s. aC - ACH apr. JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011 (DS. 42 cm DB. 63 H 46,5 DOR. 63)



6. Cette famille typologique pourrait correspondre à des moulins et à des phases distincts. Ses rapports avec le type proprement pompéien (MSP à deux cônes parfaitement symétriques) ne sont pas évidents et l'on doit se méfier d'établir des filiations qui ne seraient pas documentées par des éléments chrono-géographiques. Les principaux aspects fonctionnels et leur liaison avec la typologie nous sont encore inconnus. Aussi, une position basse des oreilles, leur forte protubérance ou encore l'existence de deux cônes non symétriques ne sont-elles pas à priori des caractères obligatoirement archaïques ou des marqueurs d'antériorité, il peut s'agir de simples différences entre centres producteurs.

7. On notera au passage que les *Catilli* en leucite du Mont Faulat (Lascours)⁶ ne correspondent pas à la typologie ni même à la famille générale des *Catilli* d'Orvieto (tous des MSP). Ce seul fait pose l'éventualité d'existence d'une autre zone de production « pompéienne » située dans la Province Magmatique Romaine. Eviter cette hypothèse impliquerait qu'une série de modèles quasi-pompéiens aurait existé à Orvieto dont aucun exemplaire n'aurait encore été trouvé (sur les 55 *Catilli* attestés à ce jour)⁷, ce qui indiquerait de fait son caractère marginal ou rare ou bien sa localisation en un seul endroit, profond et n'ayant pas encore donné lieu à une découverte. La probabilité en paraît plutôt restreinte, même si on ne peut exclure que certains

⁴ Ce corpus de référence composé uniquement de *catilli* comprend 226 exemplaires pompéiens, quasi-pompéiens et pompéiens annulaires ainsi que quelques *ring-catilli*. Sur cet ensemble 157 *catilli* sont pompéiens (69%) et 47 quasi-pompéiens (27%), 21% de ce corpus de comparaison provenant du Levant et d'Anatolie, le reste de France, Espagne, Afrique du Nord, Cyrénaïque, Egypte, Italie dont Sardaigne et Sicile. **Ce corpus est traité en Partie IV de cette thèse**

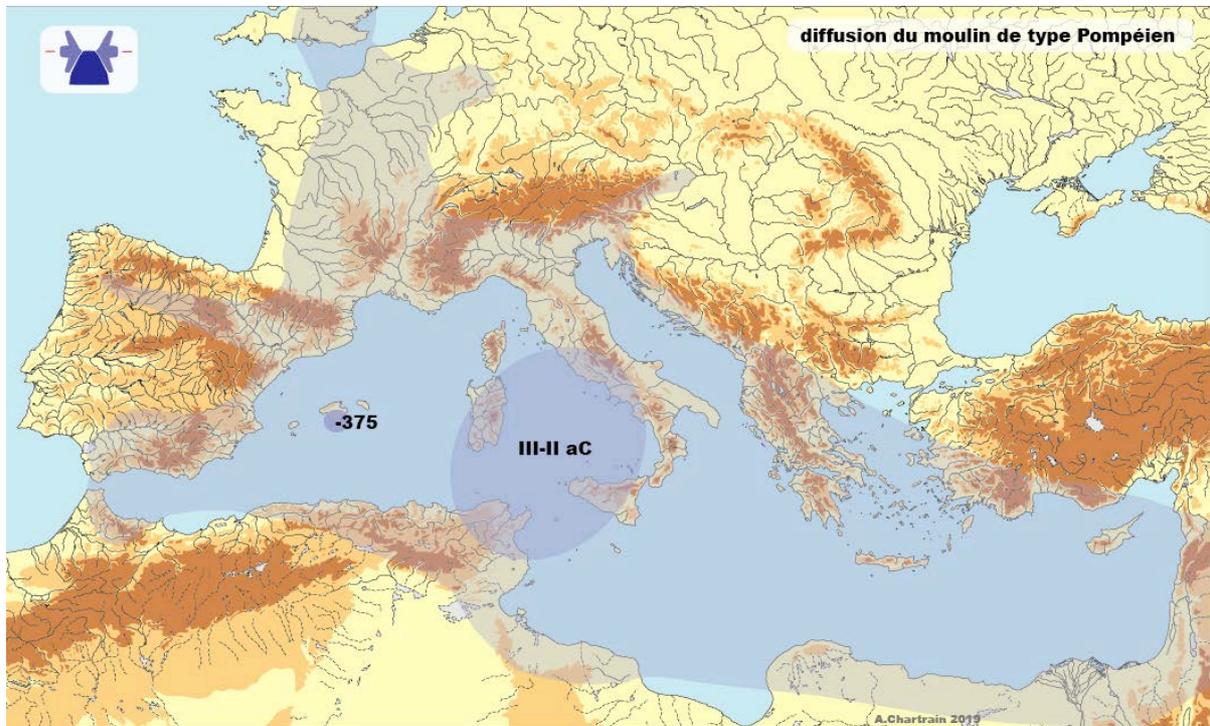
⁵ Le doute est cependant permis pour l'exemplaire cassé R.21.

⁶ La consultation des articles originaux (DÉJEAN, GOURDIOLE, LANDES 1985) permet de constater que c'est bien Faulat et non « Faulac » voire « Faulas » comme on le voit régulièrement dans certains articles (JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011, Fig. 3, 6, 7, 10 et 18, p. 115 ou GLUHAK *et al.* 2016, Fig. 1, 2 et 7).

⁷ Voir *infra* CHAP.6 la présentation du corpus.

types de *Metae*, de petite taille (quelques exemplaires à tendance tronconique ?) puissent éventuellement correspondre à un modèle quasi-pompéien, mais par essence le genre *Meta* est moins diagnostic.

FIG.4-2Bis – Distribution maximale des meules Quasi-Pompéiennes et Pompéiennes, avec repères d’ancienneté



. LE MOULIN ROTATIF BAS

8. Le **Moulin Rotatif Bas** (ALONSO 1996, 2002) que nous désignerons régulièrement MRB, apparaît en l'état actuel des données vers 500 aC dans l'aire catalane, à l'Age du Fer et en contexte ibérique (ALONSO 1996), ceci sur toute une série de sites au cours du V^e s. aC⁸. Les plus anciennes attestations émanent du site de Els Vilars d'Arbeca (ALONSO *et al.* 2011). Les meules (FIG.4-5), le plus souvent d'assez large diamètre (moyenne 38 cm)⁹ sont également épaisses (moyenne 29 cm). Les *Metae* comportent une fonction support¹⁰. Les *Catilli* présentent souvent des manches latéraux débordants (manchons¹¹). Cette typologie, également connue sur des *Catilli* volcaniques de Pech Maho et d'Ensérune dans l'Ouest du Languedoc, disparaît après environ un siècle. Bien que la qualité de la lave soit connue depuis le Néolithique et qu'à l'Age du Bronze se développent des fabrications préférentielles, ces premières meules rotatives de Catalogne ne sont pas fabriquées en matériau volcanique¹².

FIG.4-5 - *Meta* support et *Catillus* en cours de percement à Els Vilars - ALONSO *et al.* 2011

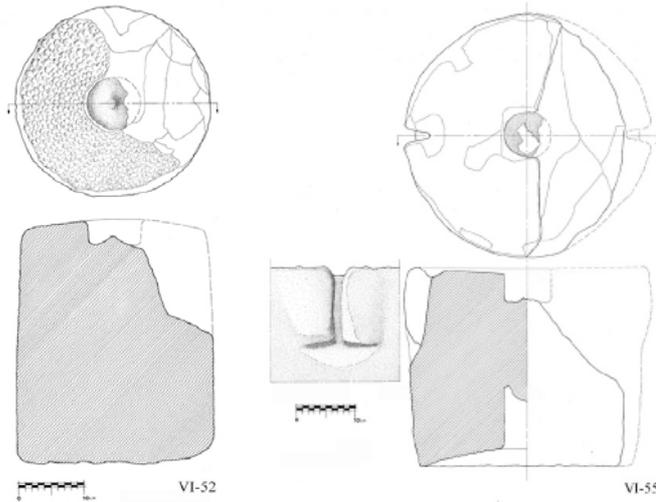
⁸ Notamment Penya del Moro, Tossal del Moro de Pinyeres, Alorda Park, Ca n'Olivé, Puig de la Nau et Los Villares (voir PORTILLO 2006 et bibliographie propre aux sites ; voir également Encart *infra*).

⁹ Elles comporte en fait 2 séries, l'une de diamètre 29 à 39 cm, l'autre de grand gabarit allant de 42 à 51 cm.

¹⁰ Sur cette notion et celle de *Hauteur Passive* voir CHAP. 9 et 17.

¹¹ L'aire de répartition et la date de disparition des manchons ne sont pas établies.

¹² L'unique gisement volcanique du N-W espagnol, celui d'Olot (Girona), se trouve à 170 kml du site d'Els Vilars.



Néanmoins les MRB investiront très rapidement la lave, dès le V^e s. sur le site ibérique de Ca n'Olivé au Nord de Barcelone, situé lui aussi à 120 km d'Olot, ainsi qu'à Pech Maho cette fois à partir des basaltes d'Agde exploités au Bronze Final et au premier Age du Fer pour la production de meules à va-et-vient. Agde démontre que, vraisemblablement dans le premier siècle d'apparition du moulin rotatif, des carrières meulières pré-existantes passent au rotatif, et inversement Ca n'Olivé indique que la production de meules rotatives investit le basalte¹³.

9. Le Moulin Rotatif Bas se diffuse plutôt rapidement sur tout le continent (**FIG.4-6A** p. 65). Bien qu'on ne dispose pas d'un panorama d'ensemble¹⁴, le MRB apparaît déjà largement répandu au IV^e-III^e siècles dans le N-E de l'Espagne comme en Languedoc et il est mentionné de manière plus localisée en Gaule intérieure à La Tène B2/C1 vers 325-250 aC dans le Jura, en Auvergne et de la Beauce aux Ardennes¹⁵. Il se généralise au cours de la période III^e-II^e aC (période LT-C au Nord) y compris au Royaume Uni. Plusieurs séquences chrono-typologiques (par ex. **FIG.4-6B**) publiées attestent quantitativement du remplacement des meules à va-et-vient par les meules rotatives sur cette période (JACCOTTEY *et al.* 2013).

FIG.4-6B – part des meules rotatives (en bleu) en Gaule méridionale¹⁶ par tranches de 25 ans (500-475 sq.) JACCOTTEY *et al.* 2013, 412

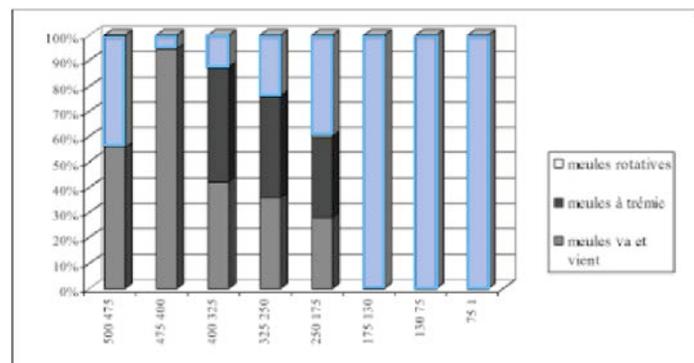


Fig. 5. Proportion des différents types de meule en Gaule méridionale du V^e au I^{er} s. a.C.

10. Il est probable que la diffusion du moulin rotatif s'effectue à partir de pôles privilégiés (**FIG.4-6C**), dont l'un des cas semblerait être la zone productrice d'Agde située sur l'ensemble volcanique du fleuve Hérault. Peut-être de tels centres initiateurs et relais correspondent-ils souvent à des gisements volcaniques, à la différence cependant du cas du moulin anglo-normand en dôme fabriqué en conglomérat. Un mouvement polarisé où certains centres jouent un rôle moteur, peut expliquer des disparités entre régions comme par exemple entre Languedoc et Provence (GARCIA 1995, 29). Ces disparités peuvent

¹³ Il serait à cet égard intéressant de pratiquer des analyses géochimiques sur les *Catilli* à manchons d'Ensérune afin d'établir s'ils sont réalisés, en totalité ou partie, en basalte d'Agde ou d'Olot ; cela permettrait de savoir si le démarrage de la production agathoise s'accompagne d'un essaimage d'objets ou d'un transfert des seuls savoir-faire.

¹⁴ Néanmoins une approche cartographiée d'anciens moulins (MRB et MSQ-P) est proposée dans WEFERS 2011, 68

¹⁵ Voir **ENCART** en page suivantes ; les fouilles des années 2010 ont fait remonter les plus anciennes attestations de moulins rotatifs en Beauce à la LT-B2 (Ymonville, 28 – ROBIN in JOSSET 2012), réalisées en calcaire silicifié (meulière) elles sont de typologie anglo-normande (en dôme ou tronconiques).

¹⁶ En réalité la proportion de meules rotatives est importante voire exclusive dès le III^e sinon le IV^e siècle sur de nombreux sites, ceux de l'Est rhodanien (Martigues) connaissant, centrée sur le III^e s., une phase à trémie d'Olynte bien visible sur ce diagramme mais absente en Languedoc occidental (Lattes PY 1992, Pech Maho PORTILLO 2006, Ensérune notre inventaire).

subsister si la diffusion, au lieu d'être rapidement multipolaire, suit plutôt quelques lignes directrices entre centres majeurs ou initiateurs, avant qu'elle ne se généralise.

FIG.4-6C – Schématisation de la diffusion du MRB à partir du centre de production d'Agde-St Thibéry situé sur le complexe volcanique Héraultais (carte GARCIA 1995 complétée : en rouge les zones volcaniques exploitées (REILLE 1995, 203), N pour l'oppidum de Nages)

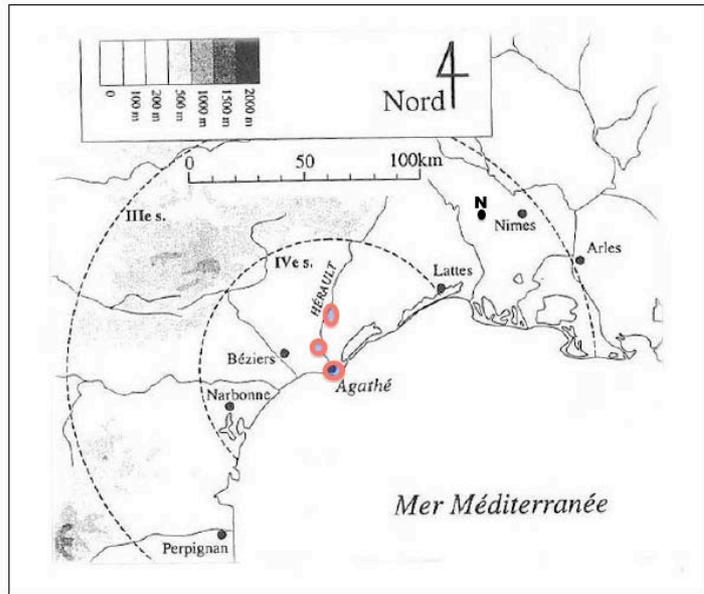


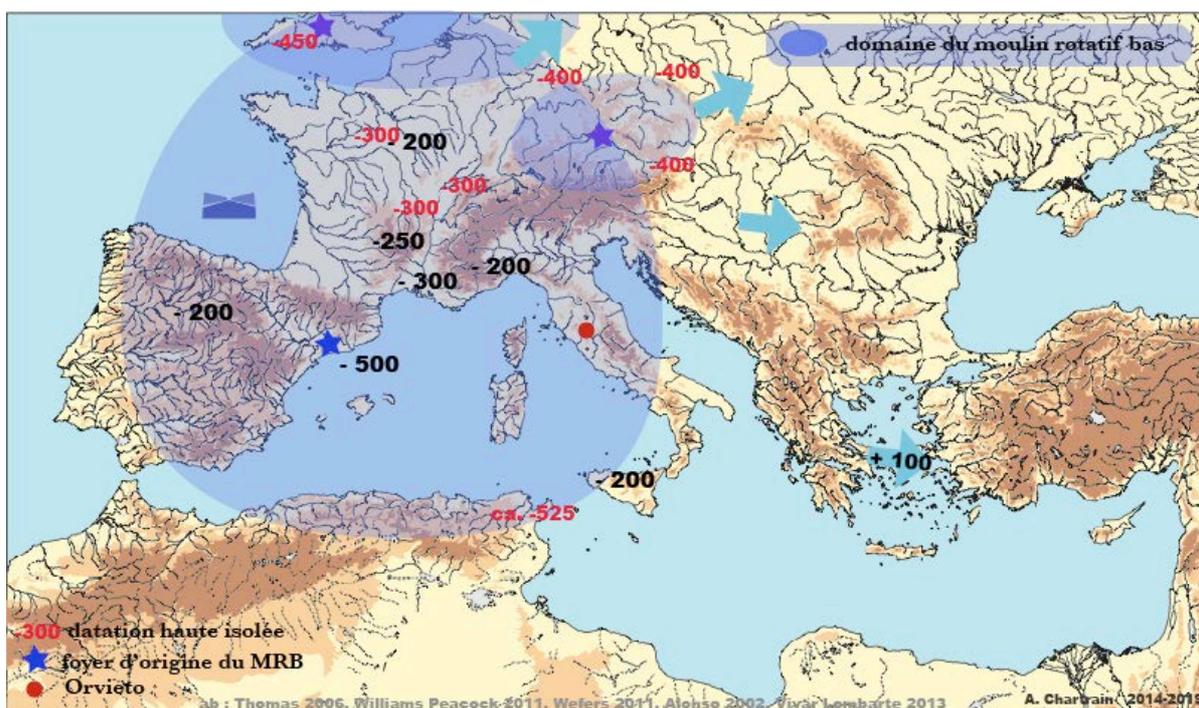
FIGURE 15- Carte de diffusion des meules rotatives basses dans le Languedoc. Garcia 1995.

11. L'une des caractéristiques de ce mouvement d'expansion est qu'il ne s'appuie apparemment pas sur la diffusion d'objets. On n'observe en effet aucun semis de meules exportées au loin et qui précèderaient l'apparition de fabriques locales. Il semble en effet que se soit mis en place un réseau de multiples centres dont la diffusion est locale, de l'ordre de 60 à 80 km. Ce réseau est patent pour la période II^e-I^e s. aC, mais la situation serait à mieux

appréhender pour la période antérieure IV^e-III^e siècle pour laquelle les données archéologiques s'avèrent actuellement insuffisantes, rendant encore difficile de retracer le phénomène de diffusion, l'espace documenté présentant encore de nombreux blancs. En l'état, notre faveur va à l'hypothèse non pas d'une diffusion « de marché », diffusion de nature tissulaire, de proche en proche, d'objets que l'on se serait mis à reproduire après s'en être familiarisé, mais plutôt celle d'un transfert technologique, de modèles et de savoirs-faire, voire d'opérants spécialisés, transfert intervenant entre des centres particuliers, en nombre relativement limité et probablement situés en des endroits et sur des axes particuliers.

12. Certains auteurs soulignent l'existence de meules rotatives basses attribuées au V^e s. aC et cependant très éloignées du foyer catalan (voir *infra* ENCART). On invoque alors les voies d'échange et la « route de l'étain ». Les quantités, limitées à moins d'une dizaine de meules sur toute l'Europe du Nord, ne permettent pas d'interpréter ces découvertes comme la manifestation d'un trafic de meules. Il s'agirait plutôt d'isolats, soit d'imitations locales ponctuelles soit, quand leur roche est exogène, de moulins embarqués puis abandonnés ou offerts. Cependant on peut –comme retenu sur notre carte FIG.4-6A pour une meilleure visibilité de la question– envisager la possibilité d'une pluralité de foyers d'invention ou, dans l'hypothèse diffusionniste, celle de foyers secondaires.

FIG.4-6A – Diffusion du Moulin rotatif bas avec possibles foyers secondaires et repères d'ancienneté



13. L'un de ces éventuels foyers serait situé au Sud-Ouest de l'Angleterre où trois sites avec meules rotatives sont attribués au V^e s. aC¹⁷, soit presque à la même date que les plus anciennes MRB catalanes. Le nombre des meules et le caractère concentré des trois sites donnent de la consistance à la notion de pôle pour ce cas du S-W de l'Angleterre. Un autre site avec quelques meules de même date, sur la côte N-Est non loin de l'Ecosse¹⁸ cadrerait mieux en revanche avec la notion d'isolat. Unique également, la découverte d'un fragment de MRB datable du dernier quart du VI^e s. aC à Carthage (Byrsa, tombe D1 – MOREL 2001) ne peut sauf à être complétée d'autres découvertes, constituer un foyer d'origine ou de redistribution, d'autant qu'elle est fabriquée dans une lave. Or les gisements africains les plus proches sont à 1000 km en Libye et plus encore pour ceux du Rif ou de l'Atlas marocain. Une lave de Sicile, de Sardaigne ou de Pantelleria et la navigation sont pour la meule de Byrsa une provenance plus probable.

Un autre secteur d'ancienneté, à caractère très lâche, se situerait en Allemagne et Pologne. En effet une meule attribuée à l'intervalle V^e-III^e s. aC a été découverte à Müzenberg, à 40 km au Nord de Francfort, sur le Main, soit à 65 km du Rhin et à 15 km au Nord du futur centre de production antique de Bad Nauheim¹⁹. On est là au pied du massif volcanique Est rhénan du Vogelsberg qui sera exploité ultérieurement pour la production meulière. Une autre meule attribuée à la même haute période est localisée à Regensburg (Harting) tout près de Ratisbone, sur le Danube, là où prendra place le *limes* marquant la frontière Est de l'Empire romain. Enfin, une meule nettement plus lointaine est attribuée au V-IV^e s. aC. Elle est située à Partynice (Wroclaw), au S-W de la Pologne, au revers des monts enserrant la Bohême et par exemple à ca. 150 km de la (future) zone de production meulière de Lovosice (SALAC 2013).

¹⁷ Dans le Wessex : il s'agit de Danebury (au moins 10 MRB), de Rowbury Fram (1 MRB en conglomérat de Normandie) et de Gussage-All Saints (54 fragments de MRB), références dans WEFERS 2011 et PECACOK, CUTLER 2011, 77-78).

¹⁸ A Thorpe Thewles dans le Northumberland au moins 2 MRB (WEFERS 2011 et PEACOCK, CUTLER 2011, 78)

¹⁹ WEFERS 2009.

14. Le caractère parfois incertain des datations et surtout l'isolement des artefacts concernés renvoient à des courants d'échange à longue distance de type protohistorique. En l'état des données on ne signale aucune concentration de meules anciennes et de fabrication locale qui puisse soutenir valablement l'existence d'une apparition polycentrique du moulin rotatif bas. Le cas le plus intéressant, celui anglais du Wessex, nécessiterait pour être compté au rang de foyer d'invention, que soit montrée une continuité de la production jusqu'à la phase de généralisation des meules (III^e-II^e s.aC en GB). Cette configuration n'existe à ce jour qu'en Catalogne et l'inclusion à ce foyer originel d'une partie du Languedoc oriental (Pech Maho et Ensérune) reste d'ailleurs incertaine²⁰.

15. Néanmoins l'éventualité de foyers secondaires nous paraît devoir être considérée avec attention. La question primordiale serait d'établir si ces foyers sont des centres d'invention, correspondant en ce cas à une naissance polycentrique du moulin rotatif, ou bien s'ils sont des centres-relais à partir desquelles la technologie rotative s'est diffusée non pas de manière progressive et continue mais en sautant des espaces.

Nous verrions deux motifs favorables soit à une invention polycentrique soit à une diffusion discontinue à partir d'un seul foyer originel et procédant en relais à partir de quelques centres producteurs limités.

Le premier réside dans le fait que l'on ne peut écarter une diffusion parfois rapide du Moulin Rotatif Bas le long de lignes privilégiées correspondant à des rapports d'échange structurés ou réguliers entre entités de l'Age du Fer. La technologie du MRB a pu ainsi suivre des axes qui sont alors ou deviendront classiques tels que la directrice Languedoc/Auvergne/Loire ou la ligne Rhône/Saone/Rhin voire des axes tels qu'Italie du Nord/Alpes/Suisse et Allemagne, diffusant ainsi assez rapidement en s'appuyant sur certains points-clés. Pour qu'il y ait foyer il faut néanmoins soit un flux assez régulier de meules importées qui aient diffusé dans un espace alentour, soit une fabrication locale qui ait fait de même.

16. Le second motif, favorable à une naissance polycentrique du moulin rotatif, tient proprement aux concomitances techniques voire sociales observables à ces périodes (cf. **ce Chapitre, § 3**) : il est en effet concevable que le MRB ait été inventé simultanément en plusieurs lieux dans un contexte technique et d'échanges à longue distance relativement unitaire, celui d'une culture laténienne en plein développement agricole, démographique et métallurgique, bientôt gagnée par la monétarisation et en prise sur les sociétés méditerranéennes. A cet égard l'invention à peu près simultanée du moulin rotatif bas et du modèle pompéien, montre à la fois la tendance à des convergences techniques et peut-être une dichotomie culturelle : le MRB apparaît en l'état de la documentation et de la réflexion une invention de contexte ibérique ensuite diffusée préférentiellement et sans doute en première chronologie, dans les sociétés celtiques continentales tandis que le moulin rotatif vertical serait plus étroitement lié aux cultures proprement méditerranéennes.

²⁰ Une grande partie des meules de Pech Maho est mal datée en raison de l'ancienneté des fouilles ; il en est de même pour Ensérune (notre étude inédite) où la plus ancienne phase d'occupation (IV^e s. aC) ne rend pas bien compte de la présence de *Catilli* à manchons, de type espagnol, qui semblent disparus à cette époque.

ENCART

Les plus Anciennes Meules Rotatives

1- fin VI^e aC (ca. 525) **Carthage, Byrsa** (MOREL 2001)
VII^e aC *Athenaion Syracuse* (ORSI 1918) *NB : la date paraît cependant délicate à accepter, déjà CHILDE 1943 avait exprimé son scepticisme ; la meule, mal décrite et mal dessinée pourrait même être A.Tardive ou Médiévale*

2- ca. 500 aC et V^e s. N-EST Espagne (THOMAS 2005, 41 avec réf. ALONSO 1995 et 2002 ; WEFERS 2011, 69 avec réf. ALONSO 1995, 16-18)

Sites : . Els Vilars . Ca n'Olivé
. Penya del Moro . Alorda Park
. Tossal del Moro . Puig de la Nau
. La Escudilla . Los Villares (ajout WEFERS 2011)

3- V^e s aC GB (WEFERS 2011 et PEACOCK, CUTLER 2011)
. 450 aC Danebury (n° 16 WEFERS 2011)
. V^e s. Rowbury Farm (n° 33 ibid.)
. V^e s. Gussage-All-Saints (n° 34 ibid.)

V-IV^e s aC Pologne
. Partynice (Wroclav) (n° 29 WEFERS 2011)

V^e-III^e s aC GB
. Müzenberg (15 km Bad Nauheim, Vogelsberg) (n° 18 WEFERS 2011)
. Regensburg (Ratisbone, Danube) (n° 19 WEFERS 2011)

4- IV^e s. aC Languedoc occidental
. Lattara (PY 1992)
. Ensérune (phase V^e ? : *catilli* à manchons) (CHARTRAIN inédit)
. Pech Maho (V-IV^e s. aC) *catilli* à manchons (PORTILLO 2006)

5- IV^e-III^e s aC
. Orchamps (Jura) (WEFERS 2011, 71 et note 14 : C14)
. Pech Maho (V-III^e s. aC) (PORTILLO 2006)
. Lijay, Auvergne (LT-B2 ca. 300 aC) (GEORGES, JACCOTTEY 2017, 383)
. Ymonville, Beauce (LT-B2/C1) (ROBIN in JOSSET 2012)
. Champagnes-Ardenne (LT-B2/C1) (JACCOTTEY *et al.* 2017, 77)

6- III^e s aC Gaule
. Le Pâtural (phase 1b LT-C1 260-200 aC) (DEBERGE *et al.* 2007)
. LT -C2 Picardie (ca. 200 aC) (POMMEPUY 1999, 132)

2. La question de l'origine punique du Moulin Rotatif

17. La probabilité d'une origine punique du moulin rotatif a été régulièrement évoquée et concerne en même temps le Moulin Rotatif Bas et les Modèles Pompéiens. Le fait qu'une hypothèse de ce type puisse tenir à une certaine mythologie de l'*ex Oriente lux*, très forte au XIX^e siècle et jusqu'à la décolonisation, ne saurait suffire à la disqualifier et le travail scientifique est fait pour prendre distance tant d'une idéologie que des contre-idéologies qu'elle peut susciter.

On sent bien par exemple qu'existe une certaine dispute nationale quant à la localisation du foyer originel du Moulin Rotatif, on s'en arrache la paternité. La Catalogne est fière de la prouver pour le modèle rotatif bas mais en Languedoc certains aimeraient que le lieu d'invention fût l'éminence de Pech Maho : « *l'introduction des moulins rotatifs dans le Sud-Est de la Gaule correspond, selon toute vraisemblance, à une innovation apparue dans le substrat indigène, ex-nihilo. Il en a été de même pour le Nord-Est de la Péninsule ibérique, à peu près à la même période (milieu du V^e s.).* » (LONGEPIERRE 2014, 299). L'Angleterre n'est pas en reste : « *It is now becoming clear that rotary querns have been in use for a much longer period than previously suspected and there is a strong case for suggesting that the idea was adopted at least as early as Vth century BC, rather than the mid IVth to early III^d. ... The Wessex querns are as early as any in Europe and could even be as old as the Carthage example.* » (PEACOCK, CUTLER 2011, 79). Enfin on doit au même volume²¹ une très intéressante revue des plus anciennes MRB où apparaissent des meules rotatives basses allemandes et polonaises attribuables à l'intervalle V^e-III^e s. (WEFERS 2011). Il ne manque guère à l'appel que la Gaule Chevelue (dont l'archéologie intense montre qu'elle n'est pas le foyer d'invention du moulin) ou l'Italie à qui une activité archéologie très faible ne permet pas de concourir.

Il y a d'évidence dans cette dispute sur le ou les foyers d'origine, le désir d'une invention qui pour une fois ne devrait rien à l'Orient et serait plus proprement européenne.

18. Dans ce contexte, même si elle est de moins en moins rappelée dans la littérature archéologique, l'hypothèse d'une origine punique mérite qu'on s'y arrête un instant. Il est possible en effet qu'elle soit sérieuse et il convient alors de rechercher sur quelles bases documentaires elle s'appuie. Il est aussi possible que l'hypothèse punique fasse rentrer par la fenêtre ce que le foyer d'invention catalan évacue par la porte, à savoir l'origine –forcément exogène et forcément orientale- de l'invention qu'on envisage grecque (CURWEN 1937, 1941). Devant le caractère tardif de la technologie rotative dans le domaine grec (oriental) Gordon Childe (1943) déplace la focale vers la Méditerranée occidentale, ce qui au regard de la rareté de la documentation d'alors, est d'une rare acuité. Dans les années 50-60 du XX^e siècle le Moulin Rotatif Bas tend à être associé à une origine Espagnole sur la foi de l'ancienneté de quelques exemplaires tandis que le regard (WHITE 1963) se porte sur le rôle de la Sicile pour les moulins de la famille pompéienne. Plus tard l'attention est attirée sur le rôle de la Sardaigne productrice, notamment dans la zone N-W de Mulargia, de moulins pompéiens ou apparentés fabriqués dans une lave rougeâtre (PEACOCK 1980, 46-47).

Finalement tous les discours sur l'origine peuvent être tenus puisque tant l'Espagne, notamment de l'embouchure du Guadalquivir à la côte catalane, que la Sicile ou la Sardaigne associent à la fois des cultures « indigènes » et des colonies grecques ou phéniciennes. L'Orient est partout en Occident.

²¹ *Bread for the People*, WILLIAMS, PEACOCK eds. 2011.

19. En Languedoc la tradition archéologique de raisonner en termes de indigènes/colons, indigènes/Marseillais, populations locales/Grecs ou Etrusques, ou encore *emporion/hinterland* est vive, et la plupart des innovations sont perçues comme provenant d'influences extérieures. Ce n'est donc peut-être pas un hasard si l'hypothèse punique y est formulée par M. Py dans la publication des meules de l'habitat aggloméré deltaïque de *Lattara* (PY 1992, 195) : « *C'est probablement au monde punique qu'il faut imputer l'innovation que représente le mouvement rotatif* ».

L'argumentation repose sur trois éléments :

- la présence de meules rotatives dans la ville sicilienne (pointe Ouest) de Motyé, détruite en 397 aC
- la provenance punique « d'une partie de la cargaison » de l'épave d'El Sec retrouvée à Mallorca, datée de 375 aC et comportant deux moulins quasi-pompéiens entiers (associés à des trémies d'Olynthe),
- enfin la présence au IV^e sinon V^e s. aC de meules rotatives « *dans le Sud de la France et la frange Est de l'Espagne que l'influence punique a largement irrigués* ».

20. Concernant la meule de Motyé, il convient de préciser qu'il s'agit d'un *unicum*, connu par une publication et des fouilles anciennes (WHITAKER 1921), qu'il s'agirait d'un modèle pompéien plutôt que d'une MRB, qu'elle serait réalisée en lave de Pantelleria et qu'il pourrait s'agir d'un objet hors contexte (WILLIAMS-THORPE, THORPE 1988, 261), enfin que la datation haute proposée (antérieure à 400 aC) laissait Moritz (1958) sceptique (WHITE 1963, 206 et note 53). Il est hasardeux de s'appuyer sur une pièce unique et peu assurée autant que d'argumenter la « punicité » des meules rotatives basses de la zone catalane et languedocienne sur une meule certes rotative mais relevant de la famille pompéienne, sans qu'on sache par ailleurs si la production de Pantelleria était une dépendance carthaginoise.

21. Concernant les meules d'El Sec les analyses des laves (WILLIAMS-THORPE, THORPE 1990) montrent que les meules de type Olynthe proviennent de l'île sud Sicilienne de Pantelleria et les moulins quasi-pompéiens de Mulargia en Sardaigne. Rien ne permet encore aujourd'hui d'imputer une origine punique à ces deux productions de meules, qui au reste demeurent de nos jours en attente d'une étude archéologique de leurs lieux de production, typologie et chronologie. Bien que les (fantastiques) collections de Carthage n'aient pas encore été étudiées, il est clair que Carthage, la Sicile et la Sardaigne ont fait l'objet d'échanges meuliers réguliers et anciens²². Toutefois les laves dans lesquelles étaient réalisées les meules ne pouvaient guère provenir (FIG.4-7 ci-dessous) que de Sardaigne, de la Sicile (Monti Iblei au Sud, Etna au N-Est) et de ses îles Nord (Eoliennes et Ustica) ou Sud (Pantelleria).

Le sens de la diffusion est bien des îles italiennes vers la Tunisie et non l'inverse. Toute « punicité » supposerait que soit montrée que l'ouverture des carrières et les techniques meulières sont dues aux Carthaginois. Heureux qui pourrait ainsi déterminer un jour –quelques inscriptions éloquentes aideraient notablement- si les centres de production de ces quatre zones sont le fait de populations locales commerçant avec Carthage et son réseau ou bien le fait d'exploitations carthaginoises en faire valoir-direct ou indirect, ou encore le résultat d'un tribut payé en objets manufacturés.

22. S'il est exact que le Languedoc occidental et la Catalogne constituent la zone de plus grande ancienneté des meules rotatives basses (MRB), le progrès des recherches a, en 25 ans depuis le catalogue de M. Py, établi tant par les données chronologiques que par le nombre de

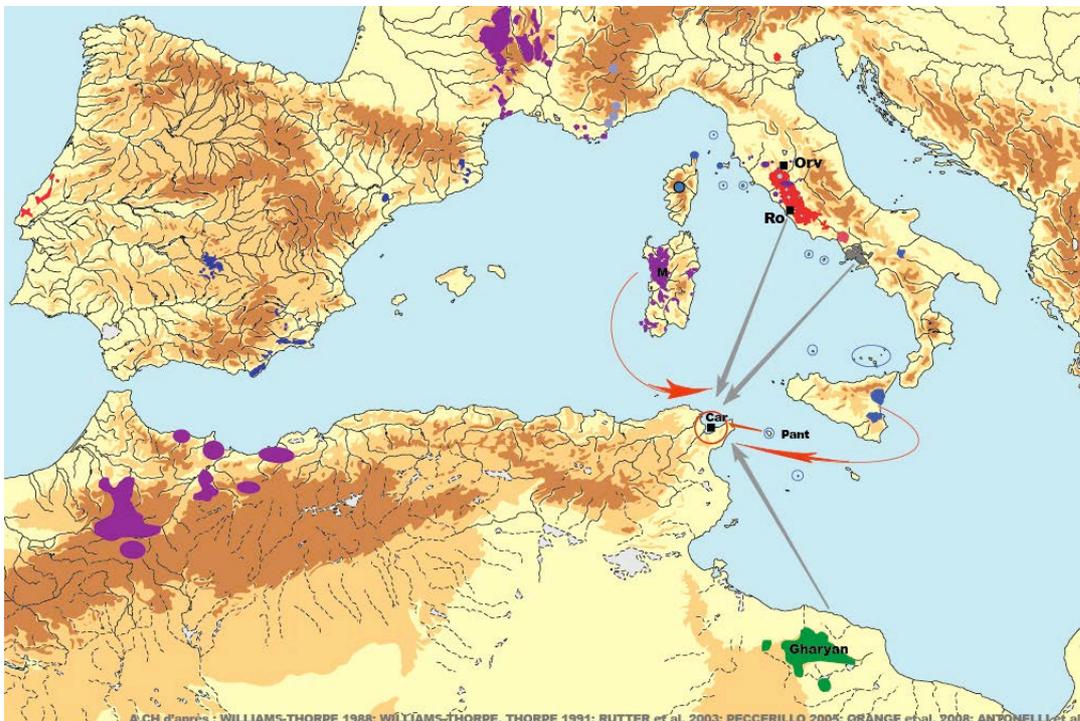
²² Voir par exemple ANTONELLI et al. 2014 (Mulargia) ou GLUHAK, SCHWALL 2015 (meules à va-et-vient en laves) .

sites, que le N-Est Espagnol était le foyer le plus dense et le plus ancien. Comme le montre la **FIG. 4-6C** ci-dessus (p. 64), la densité diffusionnelle est plus faible en Languedoc où, si des sites comme Pech Maho et Ensérune pourraient s'avérer de chronologie voisine à celle des plus anciens sites espagnols (i.e. ca. 500 aC), le centre producteur d'Agde (ou du complexe Héraultais) apparaît plutôt susceptible d'avoir constitué un foyer secondaire, relais de l'innovation catalane qu'il développe dans un matériau volcanique et non plus sédimentaire. Quant à « l'influence punique » il convient de souligner que les MRB du N-Est Espagnol proviennent toutes de contextes de culture idéique et non d'établissements ou d'emporia puniques ou grecs.

Il faudrait par ailleurs pour accepter la « punicité » de l'invention du moulin rotatif, que cette dernière soit démontrée sur les caractéristiques techniques, typologiques et dimensionnelles des meules espagnoles ou agathoises. Aucune meule carthaginoise n'est véritablement connue à ce jour à deux exceptions près : le *Catillus* quasi-pompéien de Byrsa (LANCEL *et al.* 1982)²³ daté de 200-150 aC, ainsi qu'un fragment de MRB trouvé dans le calage d'une sépulture datée des environs de 500 aC (MOREL 2001). Cet unique témoin, réalisé dans une lave ne saurait provenir de Carthage mais selon toute probabilité de Sardaigne ou Sicile. Il est donc pour le moins prématuré d'introduire l'idée d'une matrice ou d'une influence punique.

23. En définitive l'hypothèse d'une origine punique n'est pas documentée et ne trouve guère d'indices véritables pour la soutenir. Elle apparaît surtout comme le fait d'une époque dont l'archéologie a été fortement marquée par le fait colonial ou sa dissolution. Cela ne signifie pas qu'elle ne puisse se révéler un jour comme soutenable dès lors qu'une documentation viendrait à être produite, par exemple -ce par quoi il conviendrait de commencer- à travers l'étude d'un corpus de meules de Carthage ou à travers l'étude des productions meulières sardes et siciliennes. L'hypothèse punique a toutefois le mérite de souligner l'importance d'un triangle Sardaigne / Sicile / Carthage dans le fait meulier.

FIG.4-7 – Situation de Carthage par rapport aux plus proches centres de production meulière



(en rouge les approvisionnements attestés ou les plus probables, en gris ceux qui seraient possibles pour une distance équivalente, compte non tenu de la structure des routes maritimes)

²³ également dans ce mémoire

avec leurs étapes obligées ou habituelles, les marchandises principales ainsi que les difficultés propres de navigation : on voit notamment que Carthage (comme également Cyrène ou Leptis Magna en Libye), pourrait en théorie être aussi approvisionnée à partir du massif volcanique de Gharyan²⁴ en Libye centrale mais on ne connaît à ce jour aucune production meulière pour ce plateau).

FIG.4-8 – Diffusion des meules de Mulargia attestée par archéométrie (ANTONELLI et al. 2014)

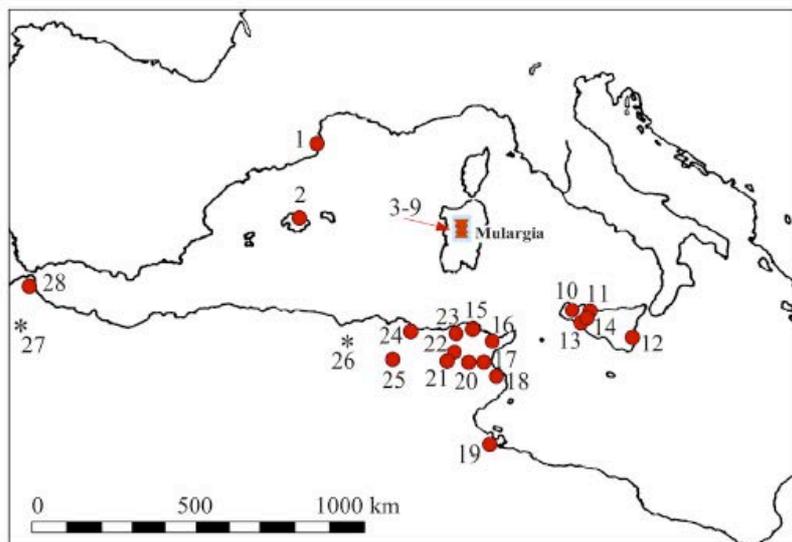


Fig. 15. Mediterranean distribution map of Hellenistic and Roman Mulargia millstones. After Williams-Thorpe and Thorpe (1989, 1991) with supplementary data after Antonelli and Lazzarini (2010) and de Vos et al. (2011). 1. Ampurias; 2. Pollentia; 3–9. Sassari museum; San Pietro di Sorres; Sant'Elena; Monte Zuighe; Sa Pattada; Mulargia; Tharros; 10. Segesta; 11. Solunto; 12. Megara Hyblea; 13. Selinunte; 14. Entella; 15. Utica; 16. Carthage; 17. Segermes; 18. Sousse Museum; 19. Gightis; 20. Thuburbo Maius; 21. Musti; 22. Thugga; 23. Thabraca; 24. Hippo Regius; 25. Tiddis; 26. Cuicul (Djemila; quick petrography); 27. Volubilis (quick petrography); 28. Tetouan museum.

iennes et pompéiennes de Sardaigne et de Sicile²⁵.

3. Concomitances

Il est intéressant de situer l'apparition du moulin rotatif dans un cadre plus large, celui de plusieurs mutations ou évolutions affectant les sociétés du deuxième Age du Fer, comme le faisaient M.-Cl. Amouretti et G. Comet en 1993²⁶.

²⁴ Possibilité évoquée dans ANTONELLI et al. 2005, 143 mais il semble que pour ce plateau volcanique on manque tout autant de référencement géochimique.

²⁵ Celles de Carthage, où elles sont nombreuses notamment au musée ou sur les sites, n'étant pas publiées ou accessibles ; comme nous aurons l'occasion de le préciser en plusieurs endroits de ce doctorat, la réalisation d'une thèse sur les meules de Carthage est, comme pour celles de Mulargia, une urgence à porter dans le programme d'une UMR (« *In the Byrsa Museum garden sixty hand and bourglass-shaped mills are on view* » ANTONELLI et al. 2014) .

²⁶ AMOURETTI, COMET 1993 : « Chapitre 4 – Une période d'innovations : VI au Ier s. av. J.-C. » où figure le moulin et ses principales familles (p. 59-60).

A. MUTATIONS SOCIALES & TECHNIQUES

Maîtrise maritime, essor des échanges, hiérarchisation sociale, métallurgie, urbanisation, monétarisation

25. L'invention puis la généralisation du moulin interviennent sur l'arc VI^e-III^e s. aC, c'est à dire en même temps que certains changements importants de l'Âge du Fer (notamment la maîtrise maritime, la hiérarchisation sociale et la dominance d'aristocraties guerrières, l'urbanisation, la monétarisation et le développement de l'écriture)²⁷ mais à la fois avant la généralisation de la métallurgie du fer en milieu rural (BAUVAIS 2008) et juste avant la « mutation agricole » laténienne (FAJON, LEPERT 2000 ; MARION 2014). Au plan technique, le moulin rotatif intervient sur fond d'une connaissance déjà ancienne des propriétés techniques des matériaux (laves ou grès) et la taille de meules en pierre dure apparaît, très peu de temps (1 à 2 siècles) après de la métallurgie du fer, couramment pratiquée sur des pierres très dures parfois à bonne conduction de la frappe (basalte, trachyte), parfois plus ardues à travailler (granite, conglomérats). Pour Fr. SIGAUT (1988, 38) l'apparition du moulin rotatif s'intègre à ce qu'il appelle la « révolution machiniste » de l'Age du Fer qui « *élabore presque tous les mécanismes qui vont être à la base des développements ultérieurs jusqu'à la machine à vapeur : moulin rotatif à bras, à manège et à eau, noria, trapetum à olives, peut-être tour de potier, etc.* »

Développement des appareils rotatifs : agriculture & mines

26. Au cours de ce mouvement apparaît également le moulin hydraulique. S'il est attesté clairement par les textes autour de 50 aC²⁸, certains auteurs proposent d'en remonter l'apparition au III^e s. aC, notamment en ce qui concerne le petit moulin paysan sans engrenage et à roue horizontale (LEWIS 1997, 58-61). Une telle hypothèse, basée sur l'interprétation d'un seul texte d'époque islamique qui transcrit des sources hellénistiques²⁹, paraît plausible dans le contexte technique (les roues à eau sont anciennes et le moulin rotatif a déjà 2 ou 3 siècles d'existence), mais reste à ce jour sans support archéologique. Parallèlement les textes anciens (paraissent flous ou surinterprétés alors que bien souvent seules des roues y sont mentionnées ou que *mola* n'y veut pas obligatoirement dire « moulin rotatif » et désigne tout autant les broyeurs à olive (comme chez CATON, *Re Rustica*, CXXXV).

FIG. 4-3-1 – « Samut North Mills » (FAUCHER, REDON 2015)

27. Au plan archéologique le moulin de grande hydraulique à roue verticale et engrenage apparaît fréquent à l'époque impériale mais incertain avant le changement d'ère. Il pourrait ainsi correspondre à un développement technique plus récent, qui aurait concerné une machine lourde et onéreuse, de ce fait réservée à des propriétaires aisés ou à des officines industrielles (en milieu urbain notamment comme semble en attester la fréquence sinon des découvertes de moulins, du moins celle de meules de fort diamètre). En revanche le moulin de petite hydraulique, à roue horizontale et entraînement



²⁷ Par ex. BRUN 2007.

²⁸ Vitruve (*De Architectura*, X, 5) et mention par Strabon du moulin de Mithridate (*Géogr.* XII, 3, 30).

²⁹ LEWIS 1997 commenté par FRANKEL 2007 (p. 7-9 de la version online).

direct pourrait, en raison de traces plus fugaces et d'une identification plus difficile, s'avérer sous-évalué tant quantitativement que dans sa profondeur chronologique (CHARTRAIN 2015, 438-440). Notons que la turbine (moulin à roue horizontale plongée dans l'eau d'une cuve maçonnée ou de bois) est également attestée à l'époque impériale notamment en Gaule³⁰. Le corpus technique du moulin et plus largement du moteur hydraulique apparaît donc constitué et diffusé dès après le changement d'ère.

28. Plus globalement le moulin apparaît en parallèle d'un développement du génie minier et hydraulique et de la probable impulsion que les Romains ont eu en ce domaine dès avant l'Empire et notamment en Espagne. Domergue a plusieurs fois souligné le rôle des mines (roues d'exhaure) et de la métallurgie (broyage du minerai ou des scories) dans la technologie des roues (DOMERGUE 2008, 124-128, DOMERGUE, BORDES 2006). On a de même récemment réinterprété comme rail de broyage situé en périmètre d'une grande aire circulaire la fameuse « laverie hélicoïdale » associée aux mines du Laurion³¹ à la période III^e-II^e s. aC. La fouille de sites métallurgiques du Désert oriental (FAUCHER, REDON 2015 - **FIG. 4-3-1**) montre qu'il s'agit d'une aire dallée en périphérie interne de laquelle roule de chant une roue broyeuse (*edge runner*). Ce système, analogue à la roue de broyage du moulin à olive, illustre les techniques de roue développées en milieu métallurgique ou minier.

29. Dans ce cadre d'un développement parallèle entre génie minier et technologie molinologique, on observe que le moulin (y compris en Méditerranée orientale, le modèle Olynthe) a largement investi la mine et les phases premières du traitement métallurgique (DOMERGUE 1997, 57-59). Toutefois, il ne semble pas l'avoir fait avant la période III^e-II^e s. aC et le moulin hydraulique ne paraît pas avoir été utilisé dans ces contextes alors-même que le moteur hydraulique y est récurrent. Bien des données nous font cependant défaut, si par exemple l'on songe au gabarit (et au poids) le plus souvent nettement supérieurs que présentent les meules des contextes métallurgiques péri-miniers³²: quid de la force motrice alors qu'il est difficile en ces cas de ne pas envisager un entraînement hydraulique³³ ?

Une partition socio-culturelle : domaines du rotatif ou du va-et-vient

30. On doit évoquer à cet endroit le contraste entre la Méditerranée Occidentale où se diffuse largement et rapidement le moulin rotatif, ce qui suppose un terrain social et technique favorable à l'acceptation de cette innovation, et la Méditerranée orientale où le moulin à va-et-vient de type Olynthe va jusqu'à la période impériale dominer et tendre à exclure le moulin rotatif.

La limite (**FIG. 4-3.2**) entre ces deux domaines opposés passe à travers l'Italie, au Sud d'Orvieto (probablement au niveau du Latium ou de la Campanie), la zone Etrusque puis Gauloise paraissant avoir été très accueillante à l'égard du moulin rotatif. En Gaule la trémie d'Olynthe est cantonnée à l'Est du Rhône, la pénétration des MRB en Provence ne s'effectuant qu'à partir du II^e aC soit 3 siècles après le Languedoc. Si les données sont rares pour la Corse, le modèle Olynthe semble peu fréquent en Sardaigne patrie du moulin quasi-pompéien fabriqué

³⁰ CHARTRAIN en préparation : nous l'avons identifiée contre *la piscina* de la villa antique de Vareilles (34, fouilles A.75 et CNRS St. Mauné) en proposant d'y voir le moteur d'un automate, sur la villa de St. Laurent d'Agny (fouilles M. Poux, étude C. Chaze), elle est possible au contact entre l'émissaire et le bassin long de la villa de Taradeau (BERATO 2004).

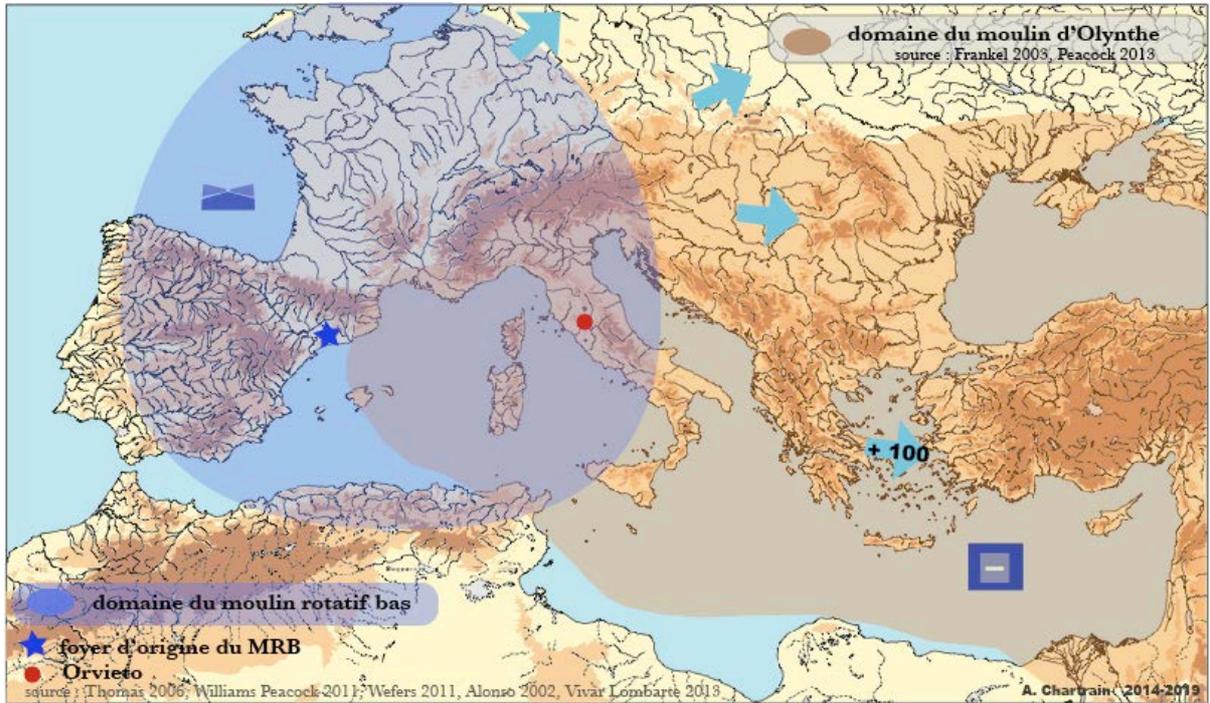
³¹ « *helicoidal washery* » publiée par CONOPHAGOS 1970.

³² Le tableau II de DOMERGUE 1997 permet de constater que la plupart (65%) des meules de ces milieux sont d'un gabarit de 60 à 90 cm, soit 2 à 3 pieds (26 diamètres contre 12 inférieurs à 57 cm) alors que les meules communes mesurent de 1 à 1,5 pied d'envergure (voir **CHAP.10-2B et Introduction de la Partie II p. 170-171**).

³³ Certains endroits, tels que les ruisseaux, les égoûts et les débouchés de travers-banc d'exhaure sont des emplacements privilégiés pour l'installation d'un moulin à moteur hydraulique ; potentiellement ils peuvent même ainsi présider au choix de localisation des aires de broyage et traitement des minerais ou scories.

voire né en Mulargia. La Sicile apparaît comme un domaine partagé entre Olynthe et Moulin Rotatif Bas sans que l'on sache si, comme il est probable, ces derniers sont parvenus plus tardivement.

FIG. 4-3.2 – Partage zonal de la Méditerranée entre le moulin d'Olynthe et le MRB



31. Cette partition molinologique entre Méditerranée Orientale / Méditerranée Occidentale trouve probablement ses racines dans des fonctionnements sociaux différents qui ont fait que l'innovation rotative a été rejetée ou n'est pas apparue intéressante.

Il est peu probable que la cause en soit proprement technique, le moulin rotatif étant -bien que cela puisse dépendre de sa qualité ou de la manière de l'utiliser- d'un meilleur rendement au moins en ce qui concerne la mouture du grain³⁴. Comme le soulignent certains auteurs (PEACOCK, CUTLER 2011, 79) la recherche s'ouvre à peine sur cette question mais il est possible que le type de denrée ait joué.



FIG. 4-3.3A – Femmes au travail de mouture (meules à va-et vient), Egypte Moyen Empire, Musée du Louvre – cl. P. Storemyr

On doit toutefois remarquer qu'il ne s'agit pas du choix d'un moulin qui serait le plus adapté au traitement des denrées puis que la triade grain/fruits à coques/minéraux ou minéral se présente de manière semblable entre les deux parties de la Méditerranée et puisque justement les utilisateurs n'avaient pas les deux machines sous la main... Il est en revanche possible que

³⁴ Même si on dispose de rares données on considère généralement que le Moulin Rotatif Bas augmente la productivité d'un facteur 2 au minimum.

l'importance relative entre farine, et semoules ou denrées seulement concassées, autrement dit la diète (humaine et peut-être aussi animale), ait pu jouer un rôle différenciateur³⁵.

32. Cependant on peut se demander si les raisons du partage zonal entre les deux types de moulins au cours des 4 derniers siècles aC ne sont pas essentiellement socio-culturelles et remarquer que le broyeur à trémie d'Olynthe correspond au monde grec ou hellénisé. On peut ainsi penser à des habitudes de travail au sol plutôt qu'à mi-hauteur ou sur table. On peut également se poser la question des personnes qui assuraient le travail de broyage et mouture, dans un cas domestique ou productif. Ce rôle est fréquemment de nos jours dévolu à des femmes et des jeunes filles, de l'Inde (FIG. 4-3.3B) au Rif marocain, comme c'est le cas des représentations de l'Égypte pharaonique (FIG. 4-3.3A). Il est donc envisageable que les deux zones molinologiques n'aient pas accordé la même place aux femmes et aux jeunes filles dans les activités de mouture. « *Partout dans le monde, écraser le grain à l'aide de pierre à moudre mues à la main est et a toujours été une tâche féminine, pour autant que nous le sachions* » (SIGAUT 1988, 15).



FIG. 4-3.3B – Moulin à lentilles dans l'Inde actuelle ; le moulin est inséré dans un « flour catcher » (réceptacle à farine) -source : www.ulkie.free.fr/Inde/photos/DSCN2645ter.jpg

Un processus de sortie de la sphère domestique pour certaines activités

33. L'augmentation de productivité liée au recours au moulin rotatif a probablement entraîné la libération de toute une part du temps dévolue au travail. Ce volume, assez important comme nous l'avons vu, a donc pu être consacré à d'autres tâches, soit au sein de la sphère domestique soit dans la sphère productive, entraînant une réaffectation de tout un volume des heures du travail féminin. Cette réaffectation n'aurait pas eu lieu, ou du moins pas avec la même ampleur, dans le domaine du moulin d'Olynthe.

34. François SIGAUT voit dans le remplacement de la meule à va-et-vient en vigueur depuis le Néolithique jusqu'au Ier Age du Fer un probable transfert de certains travaux comme la mouture depuis la sphère domestique vers la sphère productive spécialisée et marchande. Il constate en effet que dans le domaine grec au Second Age du Fer la mouture devient en partie un travail d'hommes, notamment d'esclaves, en Grèce ancienne « *l'esclavage étant le seul moyen de faire exécuter par des hommes un travail de femmes* » (SIGAUT 1988, 15). Pour ce grand anthropologue des sociétés agraires, la Grèce a systématiquement utilisé l'esclavage pour substituer des hommes aux femmes dans certains domaines de la production. Il perçoit donc ce transfert comme un processus de sortie des activités de mouture et broyage de la sphère domestique et d'entrée dans la sphère marchande. Il pense même que « *l'esclavage aurait permis*

³⁵ La reconstitution expérimentale d'une Trémie d'Olynthe à partir des exemplaires de Martigues en lave due à J. Chausserie-Laprée et D. Delpalillo, qui a fait l'objet d'un court-métrage, montre à la fois le caractère tout-à-fait fonctionnel de l'équipement mais aussi probablement une efficacité plus située dans la mouture grossière que dans l'extraction de farine.

à la société antique de faire passer l'innovation technique dans des branches où jusqu'alors l'organisation familiale de la production s'y opposait ».

FIG. 4-3-4 – Bol Mégaréen du Musée du Louvre avec scène de meunerie

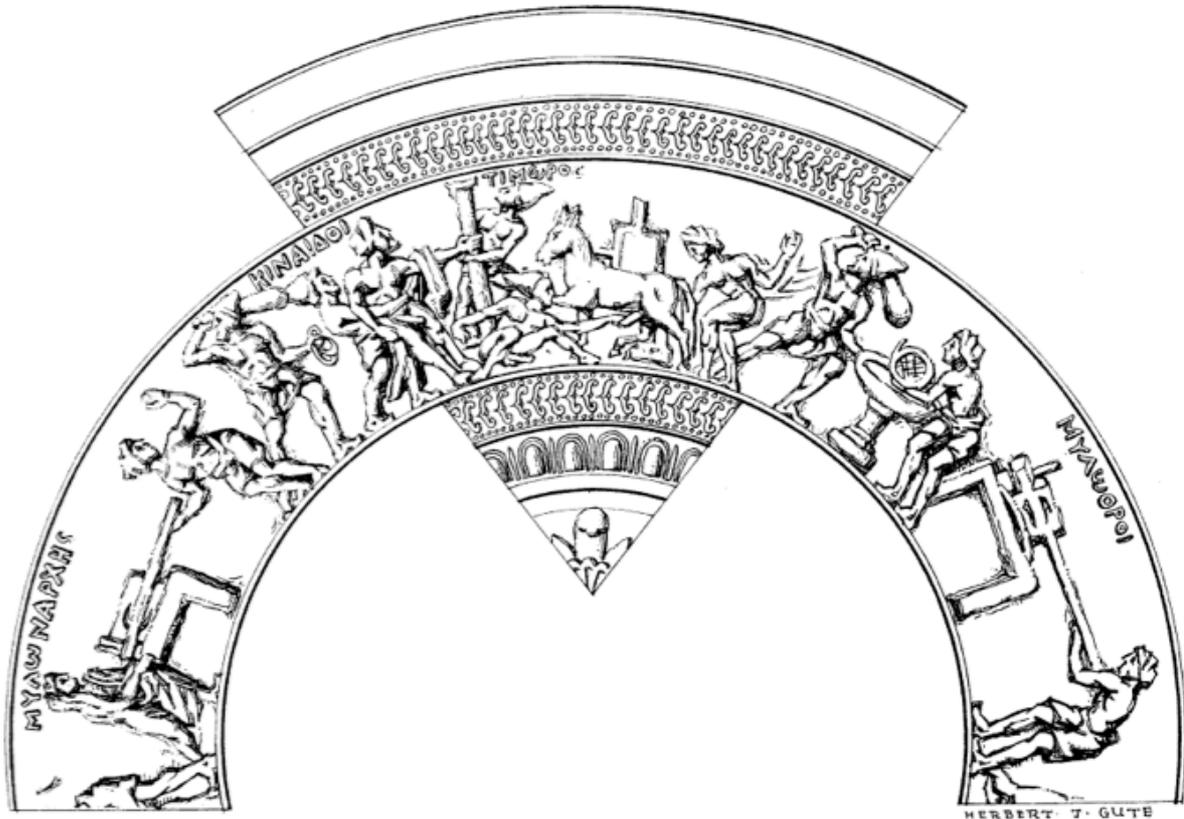


FIG. 1.—MEGARIAN BOWL FOUND AT THEBES, NOW IN THE LOUVRE. C.A. 936

35. Cette hypothèse, au moins dans sa dimension passage de la sphère domestique à une sphère productive distincte liée au marché, semble étayée par deux documents. Le premier (FIG.4-3-4) est la figuration sur deux bols Mégaréens en céramique à décor en relief moulé (ROSTOVSTZEFF 1937) d'un récit, probablement une farce ou un spectacle de mime. Comme souvent dans l'Antiquité le récit est organisé sous la forme d'une juxtaposition d'images peu ou pas cloisonnées. On y voit une installation meunière comportant d'une part une trémie d'Olynthe disposée sur une table et mue par un opérant au moyen d'un long manche, d'autre part un moulin pompéien mû par un équidé. A l'exception d'une femme (extrémité gauche du développé) le personnel est masculin et reconnaissable à sa tenue : culotte courte (de type short) et coiffe plate à bourrelets. Une inscription en grec indique « meuniers ». L'officine est envahie par des individus masculins coiffés d'un bonnet pointu et qu'une inscription indique comme « sodomites ». Ces brigands peu ordinaires peuvent d'ailleurs être vus comme un pendant à la nature masculine du personnel meunier attelé à des tâches de femmes.

36. Le second document qui montre le passage de la mouture dans la sphère productive extra-domestique et marchande est constitué par les *pistrina*, installations urbaines associant un important four à une batterie de moulins pompéiens, des pétrins et un certain nombre d'équipements complémentaires (tables, cuves, alimentation en eau). Elles sont principalement

connues à ce jour sur une aire restreinte : Ostie, Herculaneum et Pompéi³⁶. Le plus emblématique est le *pistrinum* de *Modestus* à Pompéi (FIG. 4-3-5). Même s'il s'agit peut-être d'une activité meulière urbaine et destinée (ce qui nous apparaît probable) à la production d'un consommable particulier (lazio-campanie), il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'unités productives importantes



et clairement situées hors du contexte domestique. Au reste, comme on le verra plus loin, sur un oppidum languedocien comme Nages il semble également que les meules soient non pas distribuées régulièrement dans les habitats mais plutôt dans certains bâtiments seulement (~~voir CHAP. .. équipement meulier de la population~~):

FIG. 4-3-5 – Pompéi, Pistrinum de Modestus avec sa batterie de

moulins pompéiens en leucite et à gauche le grand four en briques – cliché non sourcé internet

Une économie en cours de complexification qui développe les échanges et la production manufacturière

37. Il semble clair de nos jours (revue critique très documentée in RAEPSAET 2014, 2017) que la période romaine *largo sensu*, c'est à dire de ca. 300 aC à ca. 300 pC a correspondu à un essor productif qui s'est accompagné, outre plusieurs innovations et la diffusion d'équipements techniques, du développement des échanges et de certaines productions à visée financière. Il n'est pas ici question de dresser le panorama de ce phénomène et de résumer les positions qui se différencient sur l'intensité, plus ou moins forte ou négligeable d'une croissance antique et dans celle-ci la part du secteur manufacturier³⁷. Mais on en prendra pour témoin quelques faits qui nous semblent emblématiques.

38. Ainsi, entre le VI et le IV s. aC l'architecture navale passe de la ligature au système d'assemblage par tenons et mortaises et au III^e s. aC s'opère un changement d'échelle des transports céréaliers en Méditerranée (POMEY, TCHERNIA 2006, 95). Malgré des difficultés interprétatives, l'étude quantitative des épaves et du tonnage des navires antiques montre une période de forte croissance du trafic et de son volume entre essentiellement 200 aC et 200 pC (WILSON 2011).

39. Par ailleurs l'archéologie constate régulièrement, en particulier sur les établissements ruraux, la mise en place (puis le retrait) de productions à visée de rentabilité³⁸, notamment dans

³⁶ Etudes récentes de Nicolas MONTEIX dans le cadre de l'ANR *Pistrina* (voir *Pistrina* sur EFR en ligne).

³⁷ On en trouvera l'essentiel dans les publications d'auteurs tels que, J. ANDREAU, E. Lo CASCIO, P. ERDKAMP, K. GREENE, H. W. PLEKET, W. SCHEIDEL, P. TEMIN, A. WILSON et A. BOWMAN ou Y. ZELENER.

³⁸ Ce que les anglo-saxons désignent par le terme de « market-oriented » (par ex. ERDKAMP 2016).

le domaine de la viticulture en Gaule³⁹ et de l'oléiculture en Espagne puis en Afrique du Nord. Ces données archéologiques convergent avec certains textes antiques qui indiquent clairement l'orientation financière de certaines cultures comme chez CATON, *Re Rustica* (BOISSINOT 2003, 38), comme avec le constat de l'établissement de fortunes romaines non domaniales documentées par les textes (MOREL 1985) ou l'épigraphie⁴⁰. En dehors de tels cas on a répertorié (ANDREAU 2005) une douzaine de manières pour l'aristocratie romaine de s'enrichir à partir de l'activité commerciale et non pas agricole.

40. L'invention et la diffusion du moulin rotatif entre 500 et 200 aC interviennent dans un contexte de développement de la fraction manufacturière du travail global et probablement du rôle de celle-ci dans la production de capital : une économie agricole où le travail non agricole et manufacturier prend une place croissante, même si elle demeure probablement limitée⁴¹. Il s'agit de ce qu'on appelle aujourd'hui le secteur secondaire, qui pour l'Antiquité se compose essentiellement des domaines miniers, métallurgiques et de la navigation. A ces secteurs majeurs de l'économie non agricole, il faut ajouter les importants domaines qu'étaient la corroirie, la draperie, l'extraction lithique (voirie, construction) ainsi probablement que l'activité forestière et de la « filière » bois (abattage, transport, débitage et sciage mais aussi charbonnage et poix).

41. Ce secteur de production secondaire⁴² a profité, autant qu'il l'a alimenté, du fait urbain, la ville ayant dans l'Empire Romain connu un développement sans précédent en termes quantitatifs et probablement d'impact économique. La production secondaire antique s'appuyait sur de grandes unités productrices (mines, métallurgie, filière bois et cuir) mais aussi sur un réseau de places de marchés qui, dans les villes comme dans les agglomérations rurales voire sur certains grands domaines⁴³, drainaient les produits manufacturés issus du travail des ateliers urbains et ruraux ainsi que « travail latent »⁴⁴ des familles paysannes sans que cette dernière part n'atteigne probablement la proportion qu'elle aura dans la révolution industrielle au XVII-XVIII^e siècles⁴⁵. Une partie substantielle de la production provenant de ces secteurs de la transformation a probablement échappé à ce travail paysan en raison des quantités et des calendriers, sinon également des normes, provenant de la demande militaire.

B. COMMUNAUTÉS TECHNIQUES entre MOULIN ROTATIF BAS et TOUR de POTIER

42. S'il n'y a pas de causalité ou d'articulation directe entre l'invention du moulin et certaines évolutions ou mutations qui caractérisent le 2^eme Age du Fer –telles par exemple que

³⁹ Par exemple villa de Vareilles dans l'Hérault (MAUNÉ, PAILLET 2003).

⁴⁰ Par exemple celle du boulanger Eurysacès s'élevant un riche et visible tombeau à une porte de Rome (PETERSEN 2003).

⁴¹ La proportion non agricole du produit intérieur brut romain donnée à 40% par certains auteurs (ZELENER 2006, 304) paraît a priori très élevée et serait a minima à comparer avec celle des XVIII^e et XIX^e s. à compter de la révolution industrielle.

⁴² La production de céramique et de terres cuites architecturales fait, y compris à travers un certain nombre de fabriques d'envergure (tuf romain, *laterizio* lazio-campanien, sigillée de la Graufesenque), partie de ce secteur transformatif antique (probablement en partie lié à une certaine industrialisation de la forêt) bien qu'en volume et valeur le total ait pu être relativement modeste.

⁴³ Ces dernières années l'archéologie est amenée à constater le caractère flou des frontières entre certains domaines ruraux et la notion d'agglomération ou à envisager la dépendance de certaines agglomérations rurales vis à vis d'un domaine (par ex. FERDIERE 2007, 14).

⁴⁴ Ce que certains auteurs anglo-saxons appellent le « rural craft-based » (DARK 2001, 21) ou le « under-employment » (ERDKAMP 2016).

⁴⁵ Les recherches de ces vingt dernières années ont mis en lumière la place et les formes d'une possible « proto-industrialisation » tant pour l'antiquité romaine (DARK 2001) que pour l'Age du Fer (MARION *et al.* 2017) ; il est en effet probable que les prochains progrès de l'archéologie résident dans la mise en évidence de la diversité, du chaînage et du volume de la production manufacturée en milieu rural et urbain ainsi que de ses rapports avec l'activité et le tissu agricoles.

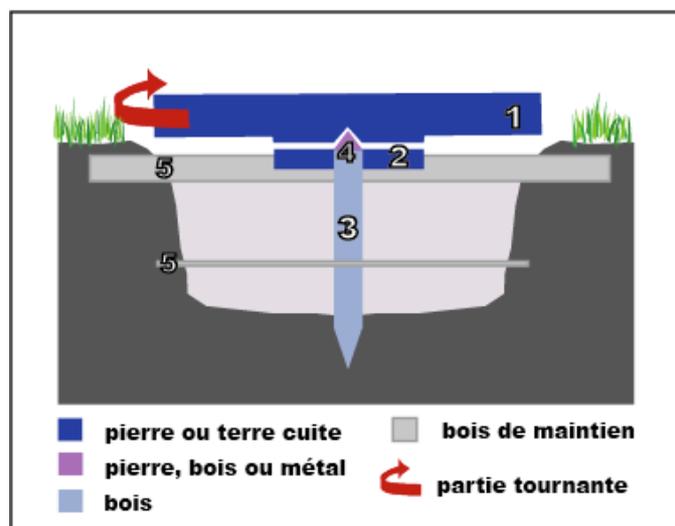
la monétarisation, l'accentuation de la hiérarchisation sociale ou le développement de la sépulture- en revanche dans le domaine technique certains rapprochements peuvent être opérés, sur une base à la fois chronologique et conceptuelle. C'est nous semble-t-il le cas du tournage céramique (et sur bois naturellement)⁴⁶. Dans un article pionnier (POMMEPUY 1999, 125) Claudine Pommepuy souligne qu'au cours de la première moitié du II^e s. a.C., en Picardie « l'apparition du mouvement rotatif pour le matériel de mouture se passe en même temps que les débuts de la production de céramique tournée ». La situation n'est pas différente en Languedoc mais cette concomitance se produit au VI^e-V^e s.a.C, notamment avec les céramiques fines de la catégorie grise monochrome.

43. La roue apparaît au Néolithique vers 3500-3300 aC à peu près en même temps en Europe du Nord, dans les Carpathes et dans la zone Pontique septentrionale (PETREQUIN, ARBOGAST 2006 ; BOCKMEYER 2016). Cette découverte s'inscrit dans tout un développement des techniques de la rotation parmi lesquelles le tour de potier.

Le tour devient courant au milieu du III^e millénaire au Levant, en Egypte, Mésopotamie, Iran et Inde (ROUX, COURTY 1995) où il semble d'abord utilisé (*wheel-coiling*) pour la finition de vases préalablement modelés avant de donner lieu ensuite à une technique spécifique (*wheel-throwing*) utilisant la vitesse et l'énergie cinétique pour étirer et façonner des formes variées. La progression du tournage dans les assemblages céramiques du Levant est par exemple mise en évidence dans ROUX, JEFFRA 2015.

Cette première phase technique semble concerner uniquement ce que l'on désigne usuellement comme « tour lent » ou « tournette », c'est-à-dire un plateau d'argile ou de pierre dont la face inférieure est creusée d'un petit cône et qui tourne sur la pointe d'un axe fixe fiché en terre (FIG. 4.3-2).

FIG. 4.3-2 – schéma du tour de type 1A souvent dit « tour lent » ou « tournette » (inspiré de XANTHOUDIDÈS 1927 clichés crétois début du XX^e s. et de DESBAT 2014 -DAO ACH)
1- plateau tournant 2- disque inférieur fixe 3- axe fixe 4- pivot 5- bois de maintien ou cadre



44. On constate que le Moulin Rotatif Bas apparaît en Espagne Nord-Orientale au même moment où se développe la fabrication de céramique tournée en Méditerranée Occidentale (la grise monochrome du Languedoc en étant un bon exemple par sa régularité dans les assemblages et parce qu'on en connaît des fours). Cette concomitance incite à s'interroger sur un possible lien entre les deux technologies, dans l'esprit du « système technique ».

Il est alors intéressant de se pencher sur les communautés techniques entre moulin rotatif et tour de potier, en allant au-delà des évidences et en dégagant avec une certaine précision les éléments partagés. Afin de ne pas impacter ce développement nous avons reporté cet examen dans une ANNEXE qui présente les 4 principaux types de tour de potier qu'on peut actuellement définir

⁴⁶ sur la technologie du tournage, du bois, de l'os, de la pierre (ce dernier connu dès le III millénaire aC en Egée ou au Levant) voir en particulier FEUGERE, GEROLD 2004 et, pour le tournage des vases en pierre MORERO 2015

sur la base croisée des témoins archéologiques, des données ethnographiques et des résultats d'expérimentation, et dont on donnera ci-après un bref résumé.

45. On présente ici rapidement les principaux tours développés dans l'ANNEXE 5. Dans le **tour de type 1A (FIG.4.3-2), à axe fixe**, la vitesse semble pouvoir être élevée (50 à 100 rpm) mais en l'absence d'Energie Cinétique le plateau mobile doit être constamment relancé. L'ethnographie comme l'iconographie archéologique témoignent d'un actionnement ou d'une relance à la main ou au pied, par le potier ou par un aide. Ce tour peut très bien ne pas être disposé dans une fosse, être dépourvu d'axe et simplement posé au sol comme semblent l'indiquer les pivots de pierre du Ier Age du Fer (AVILA 2013) trouvés en Espagne ou, plus anciennement, ceux d'Egypte (POWELL 1995). Une variante ancienne (**Type 1B**) constitue ainsi le **tour à pivot (FIG. 4.3-3)**, expérimenté par POWELL 1995). Les pivots en pierre sont attestés en Egypte Ancienne ainsi qu'à l'Age du Fer en Espagne (FIG. 4.3-4).

FIG. 4.3-3 – Tour à Pivot (Type 1B)

46. Les plus vieux exemplaires archéologiques de plateau tournant trouvés par exemple en Crète Minoenne (XANTHOUDIDÈS 1927) ou au Levant à l'Age du Bronze (ROUX, MIROSHEDJI 2009) peuvent correspondre au modèle 1A comme 1B. Ils montrent un diamètre de 26,5 à 36,8 cm (plus rarement 40 cm) avec une moyenne de 32,5 cm⁴⁷, soit une ampleur centrée sur le pied et parfois un peu plus (18/20 doigts). L'épaisseur varie de 3 à 7 cm, soit 2 à 3 doigts, avec une moyenne de 5,2 cm.

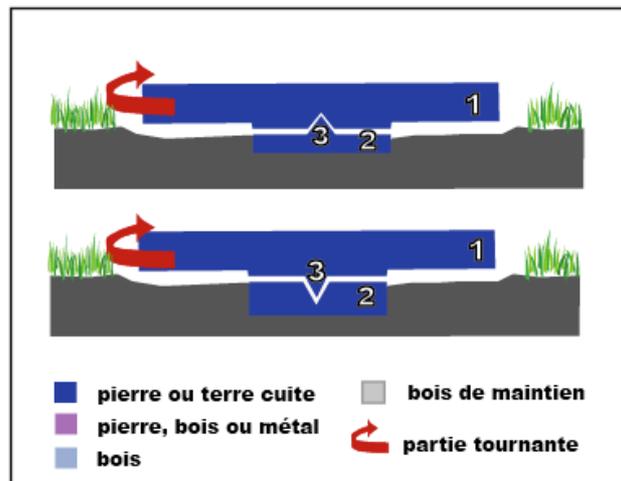


FIG. 4.3-4 – Pierre pivot (engl. pivot-stones) d'Espagne (Mérida, AVILA 2013)

Le volume, de 3.000 à 7.000 cm³, s'établit en moyenne à 4.500 cm³ et le poids moyen à 10 kg⁴⁸. Pour comparaison, un tel poids correspond à une meule antique archi-usée (le poids à neuf étant plutôt situé de 30 à 70 kg⁴⁹). Les expérimentations POWELL 1995 ont montré les meilleures performances avec des disques d'un diamètre d'une coudée ou de 2 pieds (53 à 60 cm) ou avec un plateau tournant. L'Energie Cinétique stockée est dérisoire (quelques Joules) et ne permet une rémanence de la rotation que si les frottements sur le point de pivot sont extrêmement faibles.



⁴⁷ Voir ANNEXE 4, intervalle et moyennes des plateaux établis sur 11 individus (9 crétois et 2 de Tell Yarmouth).

⁴⁸ Le poids est calculé sur la base d'une densité de 2,2 g/cm³ ; il varierait ainsi de 6,5 à 15 kg.

⁴⁹ Pour un standard meulier fréquent (Diamètre 42 cm et Hauteur 18) le volume est de 25.000 cm³ et le poids (à 2,2 g) s'établit à 55 kg ; pour atteindre 10 kg il faut que l'épaisseur de la meule tombe à 4 cm, soit l'usure maximale constatée en période romaine.

47. Un autre type de tour , à **axe mobile** (Type 2), se développe autour d'un axe solidarisé avec le plateau et qui, terminé en pointe, tourne calé dans une cupule située dans un plan inférieur (**FIG. 4.3-5**).

FIG. 4.3-5 – Tour à axe mobile, de type 2A (plateau servant de volant)

On identifie ainsi de plus en plus souvent sur les ateliers de potier en Gaule pour l'époque romaine des fosses peu profondes et peu larges qui pourraient correspondre au tour de Type 1A (tour à axe fixe en fosse). Néanmoins les traits techniques de la plupart des céramiques, bien que l'approche technologique ne soit pas employée en archéologie antique⁵⁰, indiquent le plus souvent une céramique réalisée à vitesse rapide. La question a été récemment abordée lors d'un congrès de la SFEACAG (DESBAT 2014) : le tour à volant (type 2B) et lancement au bâton semble l'équipement dominant en Gaule romaine contrairement aux Grecs qui dans les siècles précédents ne semblaient pas connaître ce type d'entraînement et travaillaient peut-être avec un tour de type 1A.

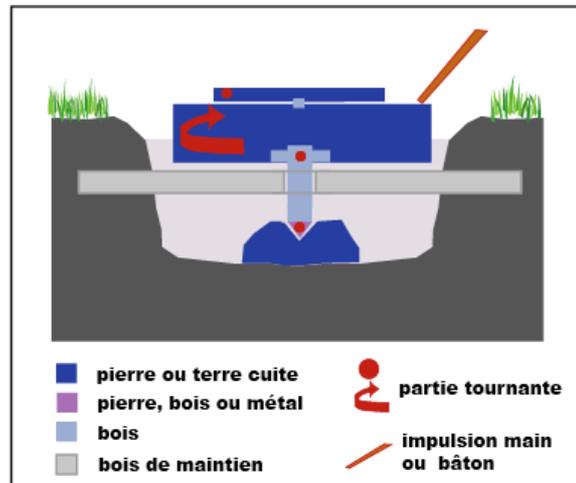
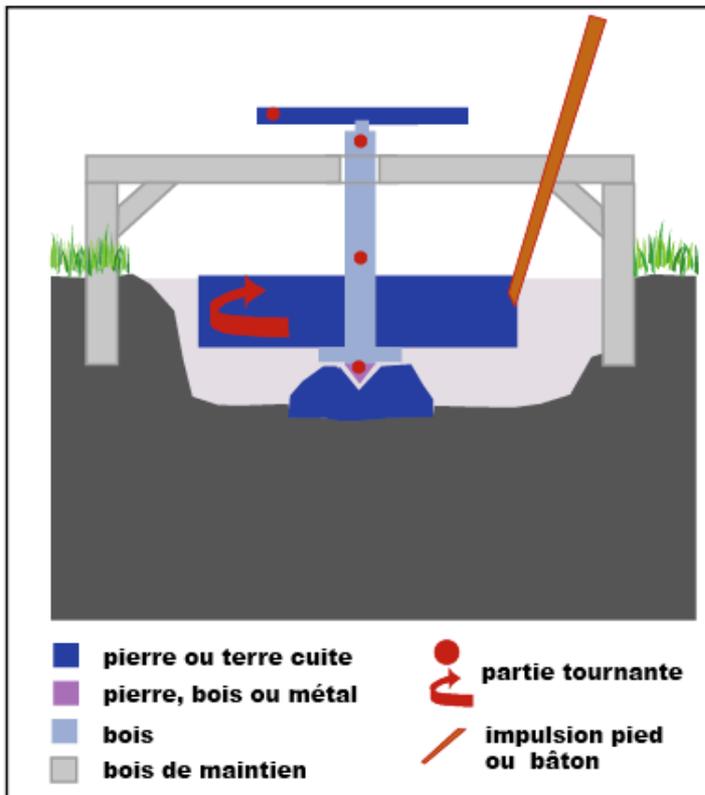


FIG. 4.3-5 – Tour de type 2B dit « rapide » à volant d'inertie et axe rotatif



48. Dans un second temps en effet, selon une géochronologie qui ne semble pas retracée, se développe un tour à volant bas (type 2 B -**FIG. 4.3-5**). Cet équipement comporte un important volant d'inertie⁵¹ généralement constitué d'une roue en bois (attestations médiévales). Documenté en période romaine dans certaines fosses de tour, le remploi d'une meule (DESBAT 2014, 541) pourrait plutôt correspondre au calage d'un axe fixe ou à maintenir une crapaudine (en cas d'axe mobile). Une fonction de volant en pierre reste discutable, notamment parce que la masse se situerait alors contre l'axe et non à la périphérie du diamètre comme il serait préférable. Cependant un remarquable article récent (CZYSZ 2019) publiée en détail la situation de remploi de meules

⁵⁰ Travaux de notamment de ROUX, CORBETTA 1989 ; ROUX, COURTY 1995 ; JEFFRA 2013 ; ROUX, JEFFRA 2015.

⁵¹ Fly-wheel en anglais.

(usées) de grand gabarit (ca. 75-85 cm) en contexte d'atelier de potier et comme volant d'inertie⁵². Le tour 2B à volant bas se distingue du type 2A par l'existence du volant, à priori placé au bas, et du type 1A par la solidarisation du plateau avec l'axe qui tourne.

49. Le dispositif du tour de Type 2B correspond à un train de véhicule (2 roues solidarisées par l'essieu) disposé verticalement et dont une des roues (ici le plateau ou « girelle ») est plus petite. Cet assemblage d'une roue motrice, d'un arbre solidaire et d'une seconde roue est exactement le même que celui du petit moulin paysan à roue horizontale (ou rodet) et que celui du grand moulin hydraulique à roue verticale (donc arbre couché). Il semble possible (KLOTZ 2013) que l'Égypte Ancienne ait pu connaître un tour mû au pied. Cependant il pourrait s'agir parfois d'un tour à pivot dont le plateau est bas et sans doute large (FIG. 4.3-6 image b). L'iconographie n'est pas toujours aisée à interpréter techniquement et le maniement au pied d'un tour pivot (Type 1B) à large volant est toujours pratiqué de nos jours (DESBAT 2014 - FIG. 4.3-7).

50. Anthropologues ou ethno-archéologues soulignent régulièrement que ces équipements peuvent donner lieu à une variété de modalités d'utilisation : ainsi le tour à pivot ou axe fixe (Type 1) permet de réaliser des vases montés au tour mais aussi de finir des vases modelés (c'est le cas sur la FIG.4.3-7). On peut tourner lentement sur un tour rapide (Type 2B) des rubans de terre pour en faire des anses après découpage ; la tournette (Type 1) peut servir essentiellement à faire tourner le vase en cours de réalisation à partir de plaques ou de colombins, plutôt que ce soit au potier de faire sans cesse le tour du vase. On se méfiera donc d'associer une typologie donnée du tour à une technique particulière de façonnage, sauf analyse technologique précise (de type JEFFRA 2013).

On retiendra enfin que le travail se déroule le plus souvent au niveau du sol (par ex. tombe égyptienne de Beni Hassan vers 1990 aC) ou peu au-dessus. Sur certaines représentations, dès l'Égypte (FIG. 4.3-6 ci-dessus), mais surtout en Grèce ancienne, le potier est assis sur un siège bas (Hydrie à figure rouge de Caltagirone, DESBAT 2014) ou coupe attique (AVILA 2013).

FIG. 4.3-6 – iconographie interprétable comme tour à pied (KLOTZ 2013)

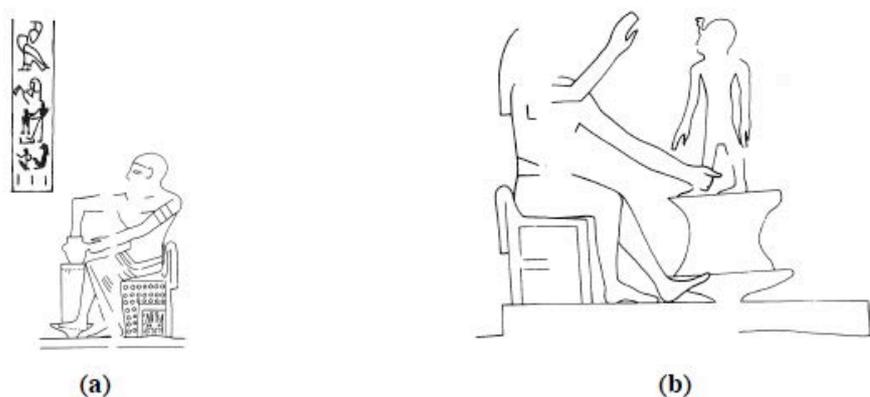


Fig. 1. Representations of kick-wheels from Hibis temple (Dynasty 27)⁴ (from R. Holthoer, *New Kingdom Pharaonic Sites*, p. 23).

⁵² La répartition de la masse est plutôt égale du centre à la périphérie et plusieurs de ces meules-volant présentent une multitude de trous aveugles en parie distale qui correspondent au logement d'un bâton de lancement.

FIG. 4.3-7 – Tour pivot à large volant-plateau actionné au pied (DESBAT 2014)

51. En conclusion il ressort de la comparaison technique que **le moulin et le tour partagent pour le moins 3 sinon 4 technologies essentielles** :

- 1- **axe tournant solidarisé** avec un disque,
- 2- **rotation** d'une extrémité de l'axe **bloquée dans un palier**,
- 3- **limitation des frottements** maximalisée, et dans une certaine mesure recherche d'une exploitation de l'énergie cinétique,
- 4- enfin nécessité d'un excellent **centrage** et dispositifs d'évitement de l'oscillation.



Figure 28 - Potier indien du Tamil Nadu, actionnant son tour au pied (d'après Perryman 2000).

On pourrait d'ailleurs aller plus loin dans l'articulation des éléments techniques en considérant l'existence fréquente dans le tour d'une pièce dormante située dans un plan parallèle à une pièce tournante, en notant aussi la configuration différente entre le pivot et son logement, ou bien en observant le souci vraisemblable d'un report maximal de la masse sur un point plutôt qu'une surface, ou encore une certaine concentration du poids sur le cercle externe du diamètre en rotation (*Catillus* creusé au centre pour le moulin et fréquente surpéaisseur en bourrelet⁵³ pour le plateau du tour).

C. EN CONCLUSION :

Le Moulin rotatif apparaît **synchronisé avec le passage au Second Age du Fer** comme avec le développement, à partir notamment du VI^e s. aC, des échanges et de l'urbanisation. Il n'est d'ailleurs pas exclu qu'il ait d'abord surtout conquis les villes plutôt que les campagnes. Le moulin **se généralise au cours de La Tène Moyenne** (III^e-II^e s. aC) tant en Gaule continentale que sur le littoral Nord-méditerranéen. Cette généralisation s'opère en parallèle de celle de l'usage du fer en milieu rural et accompagne la révolution agricole, elle est également parallèle à la monétarisation des sociétés. Elle intervient sans diffusion préalable d'objets lointains mais à travers la dissémination de centres de production locale qui semblent plutôt opérer par dérivation de modèles.

Il est probable que cette généralisation et banalisation d'une machine s'incrive dans un mouvement de recherche de gains de productivité dans certains secteurs voire de transfert de certaines activités ou parts d'activité depuis la sphère domestique vers le secteur marchand.

La fabrication des meules participe au développement d'une économie non agricole de production manufacturière régulière et normée, production qui peut être pour une part le fait des populations paysannes et pour une autre part le fait d'une main d'oeuvre spécialisée ou non agricole. Cette dernière éventualité est probable au niveau de phases spécialisées de la production (forage) qui ont dû fréquemment intervenir dans des officines distinctes des carrières et peu probablement en forme de travail paysan complémentaire.

⁵³ Voir sur cet aspect les observations en particulier de POWELL 1995.

La technologie du moulin semble participer d'un développement technique plus global, celui des technologies de la roue et de la rotation (roues élévatrices et d'exhaure, tour de potier à axe mobile) et de la taille de roches dures et très dures avec des tranchants aciérés dès le V^e s. aC).

Le moulin partage 4 technologies avec le tour de potier : 1/ la rotation d'un axe solidarisé avec un disque, 2/ la désolidarisation de la pièce opposée et son utilisation comme palier bloquant le déplacement de l'axe, 3/ une efficacité de rotation basée sur la recherche d'une exploitation de l'Energie Cinétique et surtout d'une limitation maximalisée des frottements sur la pointe de l'axe, 4/ l'évitement de l'oscillation.

La production molinologique antique est visiblement en prise sur les développements technologiques de l'Antiquité ; l'information technique, les normes et les modèles circulent aisément sinon vite ; les meules sont partout façonnées sur les mêmes principes voire selon une même géométrie génératrice ou du moins de même paramètres fondamentaux, les meules se ressemblent et, même s'il y a de grandes « zones de style » ou des faciès, pour peu qu'on veuille bien quitter l'illusion diversificatrice du détail morphologique au profit de l'unité de conception voire de fonctionnement, on peine à distinguer des isolats ou des productions qui seraient archaïques ou décalées ou radicalement différentes.

Meules et moulins vont pénétrer profondément les territoires et les habitats de tous ordres tout en équipant également des officines industrielles notamment sur certains *oppida* et dans certaines villes post-augustéennes. La fabrication meulière participe ce faisant à l'instauration d'un réseau dense de productions et d'échanges qui s'établit et fonctionne d'abord et surtout à échelle « ethnique » (la *civitas* et le *pagus*). Ce tissu serré intègre le maillage des places de marché locales et le réseau plus large qui existe à partir de quelques centres producteurs de meules en lave (Eifel, Les Puys, Province Magmatique Romaine) occupe une faible proportion des marchés. La production meulière utilise la route, les voies fluviales et les ports. Ce tissu productif et d'échanges sera stable sur environ 6 ou 7 siècles (de LT C-D au IV^e s. pC environ).

Ainsi qu'en atteste pourtant la fouille de nombreuses habitats ruraux de cette époque, un phénomène semble être passé inaperçu : les meules deviennent plus rares au Haut Moyen Age. Cette raréfaction pourrait être liée aux deux mutations molinologiques qui se produisent au cours de cette période : d'une part l'abandon de la conicité au profit de la meule plate, d'autre part un passage du gabarit des meules de 1,25/2 pieds à celui de 3 pieds. Combinées, ces deux mutations ont des conséquences majeures en termes de surface de travail, de longévité et de poids des meules.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO 1995 – ALONSO 1996 - ALONSO MARTINEZ 1997 - ALONSO 2002 - ALONSO *et al.* 2011 - ALONSO, FRANKEL 2017 - ANDREAU 2005 - ANTONELLI *et al.* 2014 - AMOURETTI, COMET 1993, 1995 - ANDERSON *et al.* 2002 - ANDERSON 2013 - ARRIBAS *et al.* 1987 - AVILA 2013 - BAUVAIS 2008 - BERATO 2004 - BOCKMEYER 2016 - BOISSINOT 2003 - BRUN 2007 - CASTELLA, ANDERSON 2004 – CHARTRAIN 2015 - CHILDE 1943 - CONOPHAGOS 1980 - CURWEN 1937 - DARK 2001 - DESBAT 2014 - DEBERGE *et al.* 2007 - DÉJEAN, GOURDIOLE, LANDES 1985 - DOMERGUE 1997 - DOMERGUE 2008 - DOMERGUE, BORDÈS 2006 - ERDKAMP 2016 - FAJON, LEPERT 2000 - FAUCHER, REDON 2015 - FERDIÈRE 2007 - FEUGÈRE, GEROLD 2004 - FRANKEL 2003 - FRANKEL 2005 - FRANKEL 2007 - GARCIA 1995 - GEORGES, JACCOTTEY 2017 - GLUHAK *et al.* 2016 - GLUHAK, SCHWALL 2015 - GREEN 2011 - JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011 - JACCOTTEY *et al.* 2013 - JACCOTTEY *et al.* 2017 - JEFFRA 2011 - JEFFRA 2013 - KLOTZ 2013 - LANCEL *et al.* 1982 - LEWIS 1997 - LONGEPIERRE 2014 - MANGARTZ 2008 - MARION 2014 - MARION *et al.* 2017 – MAUNÉ,

PAILLET 2003 - MOREL 1985 - MOREL 2001 – MORERO 2015 - MORITZ 1958 - ORSI 1918 - PEACOCK 1980 - PEACOCK 1987 - PEACOCK 2013 - PECACOK, CUTLER 2011 - PETERSEN 2003 – PETREQUIN *et al.* 2006 - POMEY, TCHERNIA 2006 - POMMEPUY 1999 - PORTILLO 2006 - POWELL 1995 - PROCOPIOU, TREUIL 2002 - PY 1992 - RAEPSAET 2014 - REILLE 1995 - RENIERE *et al.* 2016 - ROBIN 2012 - ROSTOVSTZEFF 1937 - ROUX, CORBETTA 1989 - ROUX, COURTY 1995 - ROUX, JEFFRA 2015 - ROUX, MIROSCHEJJI 2009 - SALAC 2013 - SIGAUT 1988 – THOMAS 2005 – WEFERS 2009 - WEFERS 2011 - WEFERS 2012 - WEFERS, MANGARTZ 2014 - WHITE 1963 - WHITAKER 1921 - WILLIAMS-THORPE 1988 - WILLIAMS-THORPE, THORPE 1990 - WILSON 2011 - XANTHOUDIDÈS 1927 - ZELENER 2006 - *CATON - STRABON - VITRUVÉ* -

CHAPITRE .4

Orvieto, un centre producteur pluriel ? une large diffusion ?



FIG. C.1 – le village de Sugano au bord de la falaise limitant le plateau de coulées de lave provenant de Bolsena (Ouest, vers la droite). Au fond à gauche la ville d’Orvieto (cl. ACH)

Avant que nous ne procédions à l’examen des deux principales productions meulières qui ont eu lieu à Orvieto, les Meules Rotatives Basses (MRB) et les Meules de Style¹ Pompéien (MSP) il est nécessaire de bien situer Orvieto, notamment dans la géographie étrusque et romaine ainsi que par rapport au Tibre et au di-pôle Rome-Ostie. Un zoom nous permettra ensuite de visualiser la distribution des découvertes et la zone de production.

FIG.5-1 - l’Ombrie e Orvieto entre Arezzo, Cortona au Nord et Viterbo et Terni au Sud (source internet inconnue)



1. Situation d’Orvieto & cadre volcanique

1. Orvieto, petite ville historique (20.000 hab.²) de la province de Terni³, est située à 120 km au Nord de Rome, au triple confin entre (FIG.5-1 et 5-2B) les régions du Latium au Sud-Ouest (Lac de Bolsena et ville de Viterbo), de l’Ombrie dont elle fait partie et qui se développe au Nord-Est (Lac Trasimène, ville de Perugia) et de la Toscane au Nord (Pitigliano et Chiusi). Elle est reliée à Florence (160 km - FIG.5-2) et à

¹ Nous empruntons volontiers ce terme à D.S.P. Peacock (PECACOK 2001, 177) car il convient mieux que celui de « meules pompéiennes » qui prête à confusion en induisant une provenance vésuvienne ; pour éviter les répétitions on emploiera aussi le terme de « modèle pompéien ».

² Source : <https://it.wikipedia.org/wiki/Orvieto> ou la version française abrégée : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Orvieto> .

³ I « provincia » italienne est tout à fait l’équivalent du département français.

la capitale au Sud par un axe ferroviaire (TGV et lignes ordinaires), par l'autoroute italienne centrale (A1) et par la route nationale qui longe le Paglia puis le Tibre jusqu'à Orte (45 km) puis Rome. A l'Ouest un réseau routier secondaire, néanmoins à fort trafic poids lourd relie Bolsena et son lac (25 km) puis la côte tyrrhénienne. L'Est s'enfonce dans les monts de l'Ombrie où la liaison avec l'importante ville historique et universitaire de Pérouse (Perugia, 165.000 hab.) n'est pas très aisée.



FIG.5-2A – situation d'Orvieto & Bolsena entre Florence, Rome et Pérouse (source internet inconnue)

FIG.5-2B – Orvieto aux confins de trois régions : Toscana, Umbria, Lazio (ACH apr. source internet inconnue.)



2. Orvieto est classée en zone de sismicité 3, à faible risque (sismicité basse avec secousses modérées⁴). Géologiquement Orvieto est composé de trois ensembles : un substrat

sédimentaire ondulé assez analogue au Languedoc, associée à des formations calcaires, grès et marnes tertiaires et s'adosse au relief centro-Apennin issu de la subduction italienne.

3. Le second ensemble, postérieur, est composé de formations volcaniques venues perforer et coiffer les masses tertiaires lors de phases de distension et d'effondrement (fin du tertiaire puis quaternaire ancien). Ces formations volcaniques sont de trois types : montées magmatiques, épanchements de laves (principalement alcalines avec cristaux de leucite blanche) et nappes pyroclastiques issues de la consolidation d'émissions fines et de la retombée de nuées ardentes. Au nord d'Orvieto l'activité volcanique est ancienne (Tertiaire) et correspond à la province magmatique toscane (TMP). Situé 80 km au Nord-Ouest, le mont volcanique de l'Amiata (1.738 m, près de Pienza et Montalcino) marque de son relief isolé le paysage. D'un volcanisme récent (0,3 MA), distinct bien que contemporain de celui de Bolsena (ca. 0,6-0,02 MA), il se situe à la jonction de cette province magmatique Toscane et de celle qui lui succèdera durant le quaternaire à la faveur d'un glissement continu du volcanisme italien vers le Sud : la Province Magmatique Romaine (RMP – voir CHAP.5).

FIG.5-3- confluence Paglia/Chiani
(cl. P. Binaco)

Avec ses laves si caractéristiques constellées des cristaux blancs de leucite et dans lesquelles sont taillées les meules d'Orvieto, la RMP se

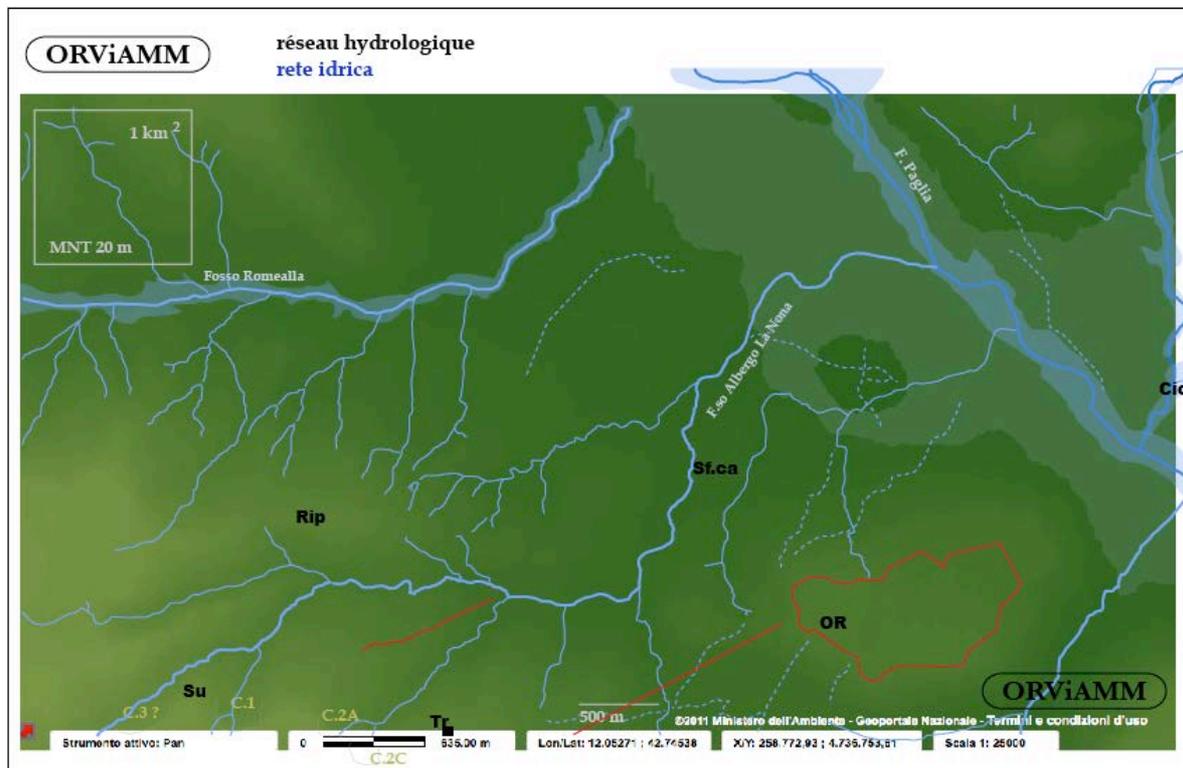


⁴ Source : <https://www.tuttitalia.it/umbria/74-orvieto/rischio-sismico/>

développe de Bolsena au Nord jusqu'au Vésuve au Sud (PECCERILLO 2005). Le lac de Bolsena (300 m NGF, 113 km², 80 m prof. moyenne) correspond à une caldera, effondrement quaternaire de la voûte d'une chambre magmatique.

4. Le troisième et dernier ensemble sédimentaire regroupe les formations détritiques, essentiellement fluviales, liées aux cours d'eau souvent de régime torrentiel et donc fortement composées de graves et de galets. Deux importants cours d'eau, le Paglia, venu de l'Amiata, et le Chiani, venu d'Ombrie, confluent à Orvieto même (quartier La Svolta-Cicogna). Les inondations ne sont pas rares, comme en témoigne celle, ravageuse, du 12 novembre 2012 (FIG.5-3) qui a notamment détruit les restes du site antique de Pagliano situé à la confluence du Paglia et du Tibre, 10 km à l'aval d'Orvieto. Si le plateau de lave est parcouru de plusieurs petites rivières, le plus souvent intermittentes et portant le nom de « fosso »⁵, les sources situées à la base de la falaise de Sugano-Trinità sont nombreuses et génèrent un chevelu de petits émissaires permanents et abondants (FIG.5-4).

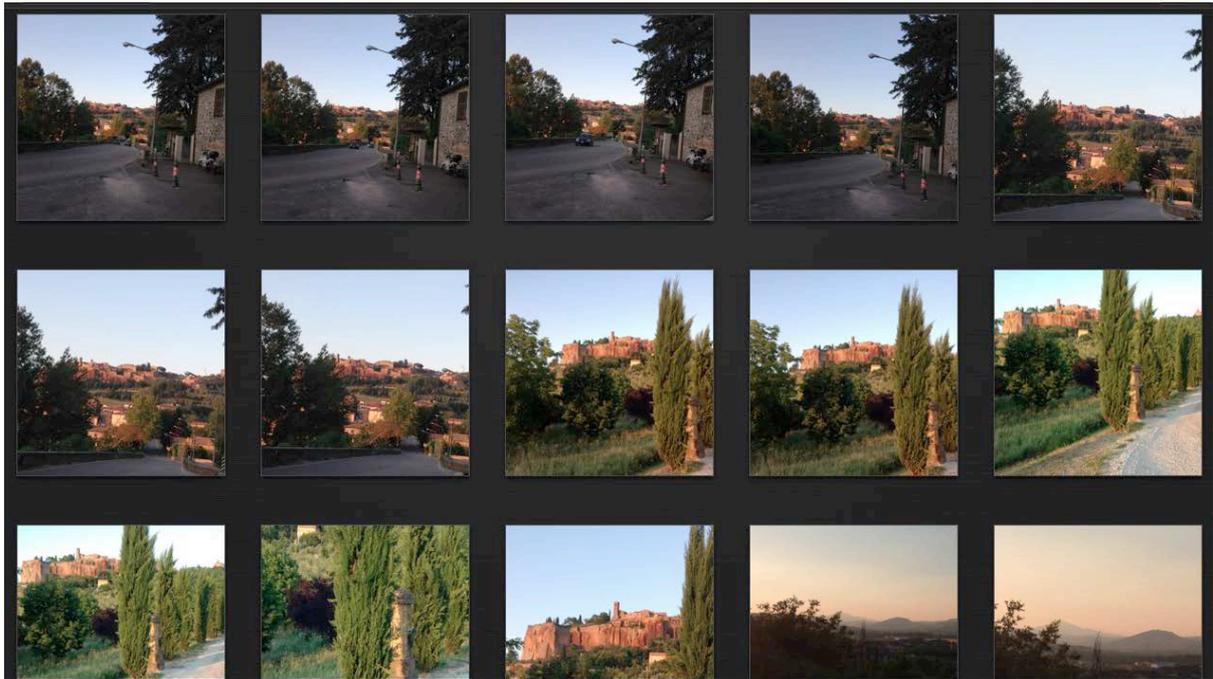
FIG.5-4 – Le chevelu de petits cours d'eau naissant au pied du plateau volcanique de Bolsena (hors champ en bas à gauche) et descendant vers le Paglia (la ville historique d'Orvieto est figurée en rouge) (DAO. ACH)



5. Le climat d'Orvieto (300 m NGF) est plus qu'agréable avec une bonne ventilation non agressive. Si le froid est net en Décembre-Janvier, il y gèle rarement et la température moyenne varie de 5° en Janvier à 30° en Juillet-Août. Les précipitations sont assez abondantes (760 mm annuels) et fortes en Octobre-Décembre. La zone est verte et les ensembles volcaniques fonctionnent comme un filtre et un réservoir hydriques. Orvieto a longtemps exploité une source (celle de Tione près de Sugano, en bordure Ouest de la zone d'extraction meulière) et disposé d'une usine d'embouteillage. La production a été rachetée et fermée par Nestlé. Le printemps est assez précoce et marqué par la floraison d'inombrables jasmins. La lumière est particulièrement belle, typique de la Toscane méridionale et du Latium.

⁵ Anciennement « rivo » (BIZZARRI sd. *Viabilità*).

FIG.5-5 – photo d’Orvieto en Juin, 2015 (cl. ACH)



2. La ville

6. Orvieto fait partie, avec notamment Rome, Véies ou Tarquinia par exemple, du mouvement de première urbanisation de l’Italie peu de temps après les colonies phéniciennes et grecques des îles et de la côte méridionale. A l’époque étrusque Orvieto (*Velzna*) est dotée d’un rempart et accueille le sanctuaire fédéral de la dodécapole étrusque (FIG.5-5bis). **Détruite par Rome en 264 aC**, la ville réapparaît au Moyen Age comme siège d’un évêché. Elle est florissante à la période communale (XIII^e s.) puis au XV^e siècle elle intègre les Etats Pontificaux.

FIG.5-5bis – villes de la Dodécapole étrusque (source internet inconnue)



7. L’une des originalités de la vieille ville est d’accueillir un réseau souterrain (FIG.5-6) de caves, carrières, citernes et puits, réseau accumulé depuis l’époque étrusque (puits, boyaux, citernes, carrières) et qui à l’époque médiévale et moderne était le lieu d’activités productives variées (élevage, production céramique, pressoirs etc.)⁶. Plusieurs églises, un palais papal et un musée archéologique national forment l’armature du paysage urbain avec quelques demeures turriciformes et surtout de nombreux hôtels

⁶ A partir des années 1990 ce patrimoine souterrain a fait sous l’appellation *Orvieto Underground* l’objet d’une valorisation touristique (sur la présentation des cavités voir BIZZARRI 2005).

aristocratiques d'époque classique. Leurs imposants porches sont le plus souvent réalisés en lave ou en leucitite dont le noir contraste avec les enduits ou avec la couleur chaude du tuf beige ou marron qui fournit l'essentiel des matériaux de construction depuis la période étrusque.

FIG.5-6 – « cunicolo » étrusque à Ripa Medici : réseau de boyaux taillés dans le tuf et faisant communiquer carrières et citernes sous la ville étrusque (cl. ACH)

FIG.5-7 – Nécropole étrusque du *Crocifisso del Tufo* dans d'anciennes carrières, au pied de la « rupe » (falaise de tuf) (cl. ACH)



8. Les dégagements du XIX^e siècle ont inséré quelques édifices étrusques (VI^e-IV^e s. aC) et l'on doit au XX^e s. deux nécropoles étrusques dont la magnifique véritable petite ville des morts que constitue celle du *Crocifisso del Tufo*, parc archéologique au pied de la

falaise de tuf (FIG.5-7)⁷. Mais le pôle majeur de ce patrimoine à la fois visible et souterrain reste, au cœur de la vieille ville et en situation d'acropole sur la partie culminante, la cathédrale. Cette église épiscopale médiévale, le *Duomo* (FIG.5-11), est de style bichrôme, le noir étant fourni par des parpaings taillés dans une variété de leucitite qui provient des bases de coulée à tendance vitrifiée. Chaque année le *Duomo* est en juin le point d'aboutissement d'une procession religieuse⁸ qui traverse la ville en empruntant son axe principal, commémorant un miracle advenu en 1264 à Bolsena alors que le pape résidait à Orvieto.

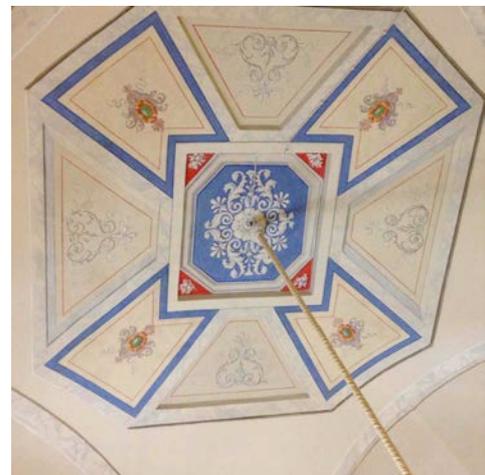


FIG.5-8 – Plafond peint, Mairie d'Orvieto (*Palazzo Comunale*) (cl. ACH)

⁷ C'est là qu'est visible entreposée à l'air libre la trentaine de grandes meules de style pompéien découvertes dans le lit du Paglia dans le secteur de La Svolta.

⁸ Commémoration du miracle eucharistique du *Corpus Domini* ou Fête du Saint Sacrement.

FIG.5-9 – Eglises d’Orvieto émergeant de la nappe de brumes au matin (Janvier 2014)
(cl. ACH)



FIG.5-10a – Gîte rural (agriturismo) de La Chiusetta, sur les terrains sédimentaires recevant les coulées de lave, entre Sugano et Trinità (cl. ORViAMM)

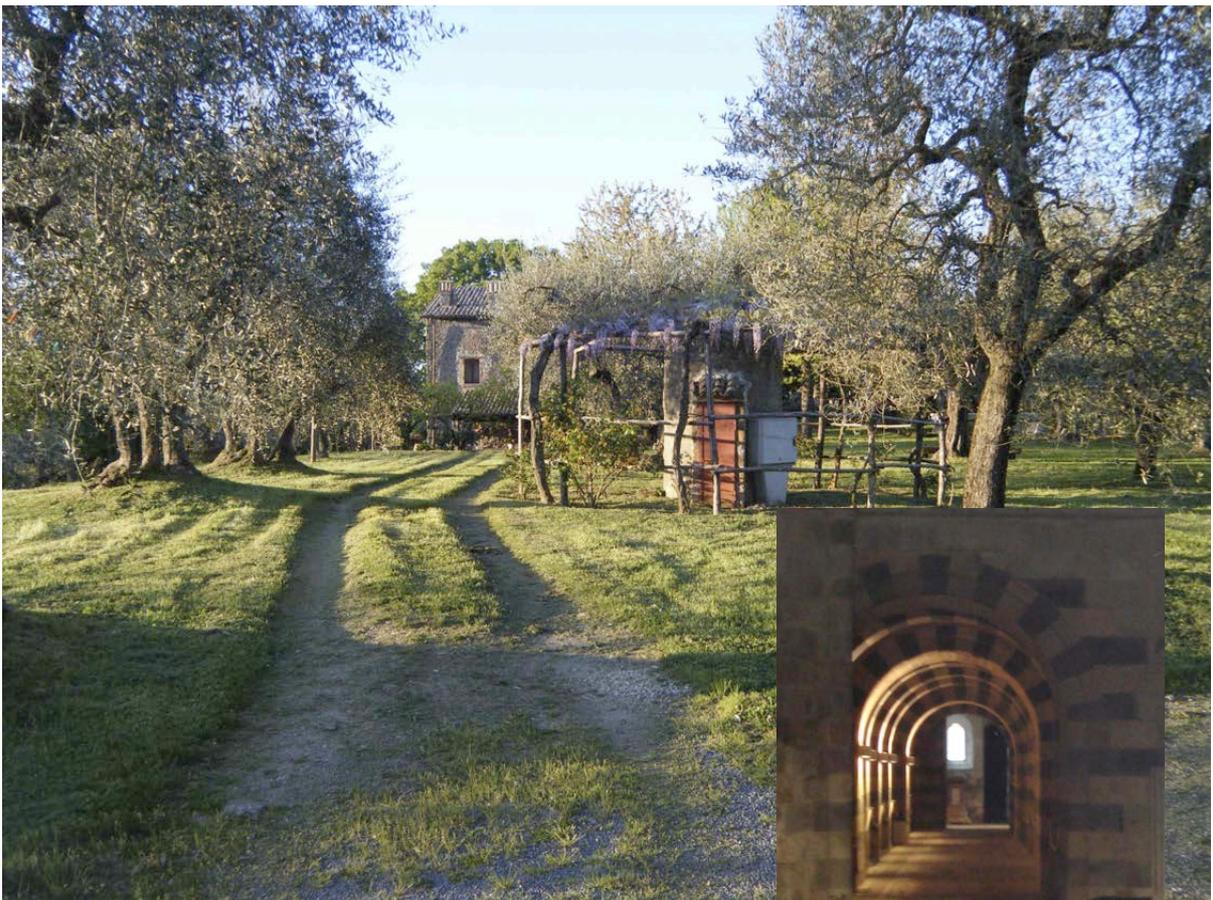
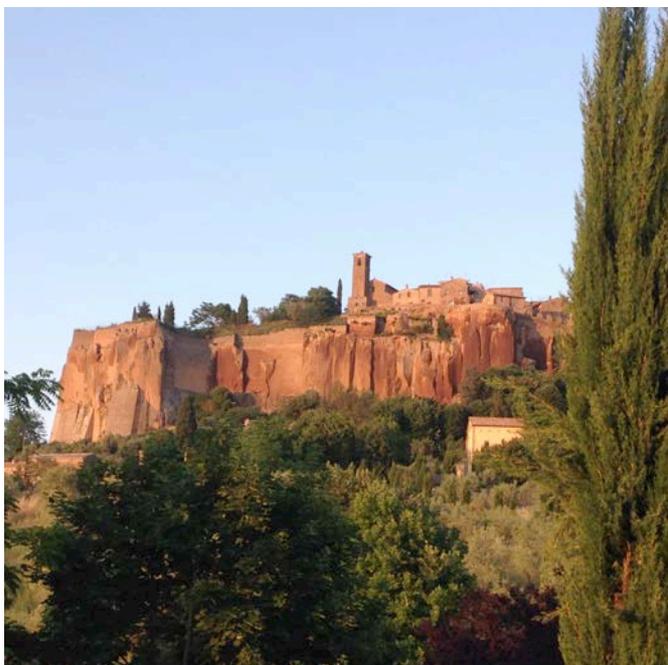


FIG.5-10b– crypte sous le chevet du *Duomo* (cl. ACH)

FIG.5-11 – vues de la cathédrale (*Duomo*) d’Orvieto (fond de page : mur en parpaings de tuf scié, vieille ville) (cl. ACH)



3. Présentation de la production meulière

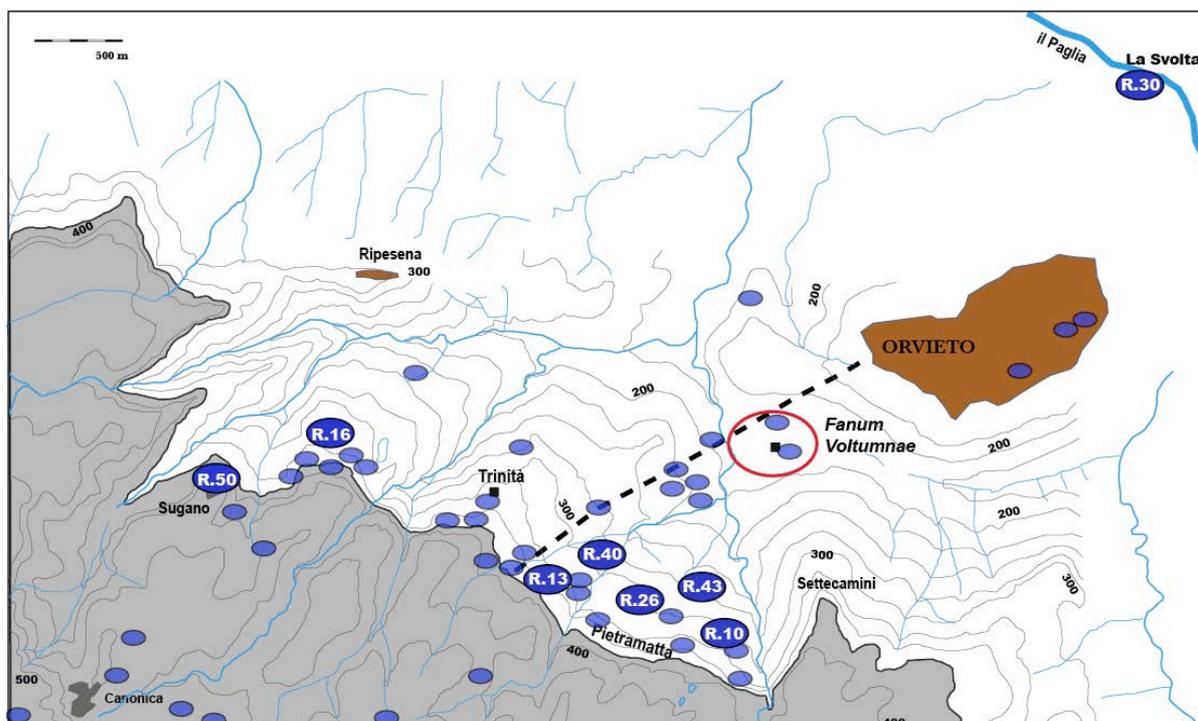


LOCALISATION

9. La ville historique domine de 200 m la plaine du Paglia, abondante rivière à caractère torrentiel qui conflue dans le Tibre 10 km plus en aval. La ville médiévale recouvre un établissement urbain étrusque perché sur un imposant relief plat de tuf volcanique jaune à brun clair (FIG.5-12 - cl. ACH). La cité étrusque (*Velzna*) accueillait le sanctuaire fédéral ou *Fanum Voltumnae* de la dodécapole étrusque (CAMPOREALE 1985). Dans la partie basse, à la fois au pied de la zone de production meulière à l'Ouest et en contrebas de la falaise urbaine à l'Est (FIG.5-13) est en cours de fouille une zone de sanctuaires étrusques avec reprises augustéennes que l'on a

récemment proposé d'identifier comme étant le centre fédéral (STOPPONI 2011). La ville fut détruite par Rome en 264 av. J.-C. (BLOCH 1947) et déportée sur les bords du lac de Bolsena.

FIG.5-13 – Plateau et falaise de Leucite (en gris) au Sud-Ouest d'Orvieto, avec la zone urbaine romaine (cercle rouge) , la voie rectiligne et (en bleu) les sites de découverte d'ébauches ou rebuts de produits meuliers dont les sites majeurs (R.10, R.13, R.16, R.26, R.40, R.43, R.50 et fluvial R.30) (DAO ACH)



10. L'identification à Orvieto d'une des plus importantes productions de moulins de type pompéien (PEACOCK 1986) conduit toutefois à envisager la persistance d'une occupation minimale durant la période romaine, républicaine et impériale à la fois. En effet, à peu de distance des sanctuaires nouvellement mis au jour, apparaît un secteur de vestiges d'époque impériale avec rue à portique (BRUSCHETTI 1999). Cet urbanisme se déploie le long d'un chemin rectiligne pour le moins médiéval qui mène à Bolsena, et se développe dans la partie basse comprise entre la ville abandonnée et, à l'Ouest, la falaise formée par les coulées de lave.

11. On ignore à ce jour la physionomie, la chronologie et l'emplacement des ateliers meuliers, notamment s'ils étaient en partie localisés dans cette zone basse et intégrés à l'habitat. L'abondance des rebuts de meules et des amoncellements d'éclats qui ont pu être observés dans les premières missions ORViAMM (2013-2015) au pied de la falaise⁹ assure toutefois l'existence d'importantes aires de travail situées un peu plus haut, vers l'Ouest et directement au pied des falaises de lave (zone grise sur la FIG.5-13). Elles sont sans doute largement recouvertes par les déblais des extractions ultérieures et par l'aménagement de terrasses de culture. Compte-tenu de ses caractéristiques typologiques et dimensionnelles (notamment petits diamètres et meules épaisses), la production meulière a dû couvrir la période républicaine pour ce qui concerne les meules rotatives basses. Les meules de type pompéien correspondent assurément à la période impériale mais leur fabrication est fortement susceptible d'avoir été initiée en période républicaine, notamment peut-être par les petits formats.

MATERIAU, SUBSTRAT TECHNIQUE & CULTUREL, DIFFUSION

12. Les fabrications d'Orvieto participent dans l'Antiquité à l'existence d'un réseau de production et de diffusion de meules en pierre volcanique qui, produites à partir d'un faible nombre de centres, se surimposaient aux produits diffusés à échelle régionale et faisaient l'objet d'un commerce à large échelle (aires principales dans PEACOCK 1980). Les produits *large scale* ne sont pas toujours de haute valeur et de quantité réduite (tels le marbre, la pourpre, certains verres etc.) et peuvent, comme le vin ou l'huile, concerner au moins à partir d'une certaine période des productions de masse. D. Peacock (1986) a identifié Orvieto comme centre producteur de meules en leucite provenant des coulées émises par l'appareil volcanique vulsinien (caldera de Bolsena).

13. Les caractéristiques du matériau des meules d'Orvieto et les problématiques afférentes seront détaillées juste après au CHAP.6. Disons en bref que la leucite est une pierre dure, qui se détache des falaises, formées par les coulées, sous la forme d'énormes blocs compacts d'une ou deux dizaines de mètres d'envergure et parfois parvenus dans les zones sédimentaires basses. Cette lave grise et vacuolaire, dont les éclats sont sonores et le fond microcristallin, apparaît constellée de cristaux blancs (leucite) parfois de grande taille (1-1,5 cm) qui lui confèrent un caractère grenu.

FIG.5-14 photo fragment de leucite d'Orvieto (cl. ACH)

14. Les Etrusques de *Velzna* ont dès le VI^e s. aC. taillé le tuf volcanique, pierre tendre dans laquelle on observe l'empreinte du tranchant de leurs outils de fer (FIG.5-15). Ils ont travaillé la pierre sous forme quadrangulaire



⁹ Il s'agit de découvertes tout à fait nouvelles qui, mis à part le site R.1 déjà enregistré par P. Binaco, s'ajoutent à celles effectuées au début des années 1980 par Peacock et au recensement des artefacts, meuliers et non, réalisé sur le plateau volcanique et publié par BINACO 2010.

(moellons des remparts ou maisons, grandes dalles de couverture des tombes etc.) et sous le centre historique pullulent des cavités dont certaines étaient visiblement des carrières¹⁰. Ils ont aussi largement taillé la trachyte, pierre volcanique dure et microcristalline comme la leucite mais massive et non vacuolaire. Ils y ont notamment réalisé des formes quadrangulaires comme des autels et des formes en courbe tels ces pinacles ornant le toit des tombes et dont la forme ogivale rappelle celle des petites *metae* pompéiennes produites à Orvieto.

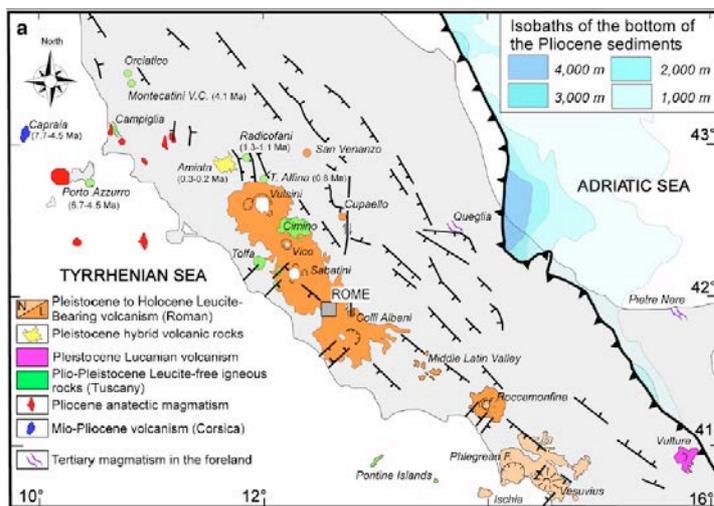


FIG.5-15 – Empreintes de tranchant métallique dans le tuf de la « rupe » sous la ville, cavité étrusque à Ripa Medici (cl. ACH)

15. La leucite est typique de la Province Magmatique Romaine ou RMP (PECCERILLO 2005) et se rencontre dans l'arrière-pays tyrrhénien, entre Bolsena, Rome et le Vésuve (FIG.5-16). Un travail d'analyse à la fois pétrographique et géochimique, développé tout d'abord sur les meules de Pompéi (BUFFONE 1999) puis dans toute l'Italie, principalement par le laboratoire de Venise (ANTONELLI *et al.* 2001) a permis d'atteindre une bonne traçabilité du matériau. Toutefois, étant donnée l'ampleur géographique de la RMP et le fait que la variabilité

compositionnelle ne soit détectable qu'en géochimie, l'attribution -comme on le voit régulièrement dans la littérature archéologique française- d'une leucite à Orvieto par seul examen visuel ou pétrographie en lame mince ne saurait être recevable.

FIG.5-16 – La Province Magmatique Romaine (RMP) figurée en orange (CONTICELLI 2013). Au Sud les deux ensembles avec laves à leucite récemment (PECCERILLO 2005) individualisés en Province Magmatique Ernici-Roccamonfina et Province Magmatique Campanienne qui comprend le Vésuve.



16. Si on ignore à ce jour le rayon de diffusion des petites meules rotatives basses d'Orvieto (RMB), il est cependant certain qu'elles n'ont pas connu une diffusion de large échelle, peut-être même n'ont-elles pas dépassé le rayon régional habituel (60-100 km). Si l'ampleur de diffusion des modèles pompéiens issus d'Orvieto est attestée par un certain nombre d'analyses, il convient cependant de rester prudent et de ne pas systématiser sans support docu-

menté. En effet, d'une part toute meule en leucite ne peut être sans archéométrie valablement attribuée à Orvieto et il faut une analyse géochimique pour localiser une leucite de la RMP

¹⁰ Comme par exemple à Ripa de Medici, fouille états-unienne en cours sous la conduite de Paolo Binaco.

(d'Orvieto aux *Colli Albani* sous Rome). D'autre part ~~et comme nous verrons (CHAP.IV-5)~~, des arguments typologiques, dimensionnels sinon épigraphiques viennent contredire des attributions orviétanes antérieures, notamment pour des modèles pompéiens présents en France et à Pompéi. Il se trouve que le présent travail est le premier à rendre disponibles les caractères typologiques et dimensionnels quelques des meules d'Orvieto.

17. En l'absence de fouille sur les zones d'atelier d'Orvieto on ne dispose pas à ce jour de données chronologiques autres que celles, ponctuelles, livrées par les découvertes de meules en contexte d'utilisation ou de rejet. La production meulière orviétane s'enracine probablement dans la période étrusco-romaine, sur la lancée des savoir-faire étrusques non seulement dans le domaine de la métallurgie mais également et précocement dans celui de l'extraction de pierre de taille (CAMPOREALE, MASCIONE 2011). On ne connaît pas les points de départ et de fin de la fabrication, comme on ne sait si la production de modèles pompéiens (FIG.5-17 et 18) a précédé, suivi ou accompagné celle des petites meules rotatives basses. On peut imaginer que la fabrication ait disparu à l'horizon du III^e-IV^e siècle, peut-être avec le déclin du moulin de type pompéien dont les plus anciens modèles en leucitite datés avec fiabilité remontent au I^{er} voire au II^e s. av. J.-C. (respectivement Les Martyrs et Lascours en Gaule Narbonnaise¹¹ : DOMERGUE *et al.* 1997). Les éléments de chronologie ne peuvent actuellement que reposer sur des comparaisons.

FIG.5-17 Ebauche d'un *catillus* pompéien du site R.43 (phase médiane : amorce de profilage et faces circulaires planes) (cl. ACH)



18. Bien qu'ample (la Méditerranée occidentale) et semble-t-il assez intense à Pompéi même, pourtant centre producteur, la diffusion des fabrications orviétanes n'est pas encore réellement établie. La lacune relevée *supra* pour les petits moulins (FIG.5-19), dont on ne connaît ni l'intensité de production ou la période ni le rayon de diffusion, vaut aussi pour les modèles pompéiens. Ces derniers ont été identifiés en France, peut-être par excès (JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011, 97 sq.), ainsi qu'en Afrique du Nord et en Espagne¹². Toutefois une leucitite ne fait pas automatiquement de l'Orvieto. Il est donc nécessaire de développer des contributions géochimiques telles celle du colloque de Lons-le-Saunier (GLUHAK *et al.* 2017) qui souligne pour les modèles pompéiens en lave le rôle des centres volcaniques rhénans (Eifel) ou de la Chaîne des Puys et circonscrit les productions attribuables à Orvieto. Mais à notre sens la démarche, efficace dans la caractérisation, trouve des limites dans le *provenancing* car elle reste tributaire de l'insuffisance du référencement de la variété des leucitites de la RMP, depuis Bolsena jusqu'au Vésuve.

FIG.5-18 Oreille achevée et cône en cours d'évidement sur un *catillus* de style pompéien du site R.43 (cl. ACH)



PRODUITS FABRIQUÉS à ORVIETO

19. La production d'Orvieto concerne deux grandes séries de meules : les moulins verticaux de style pompéien (FIG.5-17 et 5-18), aux formats variés, et les petits moulins rotatifs bas (FIG.5-19), nombreux et adoptant différents modèles.

¹¹ Toutefois les *catilli* de Lascours, non-symétriques, sont de type Morgantina plutôt que pompéien.

¹² DE VOS *et al.* 2011 pour l'Algérie et ANDERSON *et al.* 2016 pour l'Espagne.

FIG.5-19 *Catillus* R.16-8 en phase avancée de façonnage (stade IV) : l’oeillard a été perforé et ne manquent que la finition des surfaces ainsi que (stade V) le creusement éventuel d’un emmanchement latéral ou d’anille (D.36 cm H.13 Conicité 10° D. Oeil 6,5 H.Oeil 4,5 H. Trémie 46% de H. - cl. ACH)

La réalisation des modèles de style pompéiens (MSP) s’accompagne de celle de cuves à pétrin¹³ (FIG.5-20). On signalera par ailleurs l’existence d’une fabrication à ce jour très limitée de meules à va-et-vient de type Olynthe, (FRANKEL 2003) dont certains exemplaires en leucite ont été identifiés sur des sites d’époque républicaine dans la région Emilie-Romagne/Marche (par ex. Monte Bibele près de Bologne : RENZULLI *et al.* 2002). Il faut désormais leur ajouter depuis 2013 notre découverte à Orvieto, dans une aire de production, d’une meule de type Olynthe¹⁴.



20. Les questions relatives à la typologie et à la chronologie, aux modalités de faire-valoir (carrières et officines multiples ? concession ou *patrimonium Caesaris* ? etc.) de même que celles relatives à la diffusion des productions orviétanes, figurent parmi les objectifs du programme franco-italien que nous avons initié (ORViAMM¹⁵ - <http://www.orviamm>), projet à forte composante technologique. Au sein de ce programme, une thèse de doctorat, italienne ou française, a été jugée comme un préalable nécessaire. Il s’agit de décrire et exploiter un premier corpus d’objets, afin de disposer d’un premier panorama des fabrications et des processus de façonnage. Ce travail se propose également d’aborder les problématiques de tradition, d’emprunt et d’innovation techniques afin de poser la question des origines, éventuellement italiennes ou puniques des modèles et traits techniques orviétans.

FIG.5-20 Cuve à pétrin découverte sur le site fluvial d’Orvieto La Svolta (R.30) -cl. ACH

21. Par ailleurs ORViAMM accorde une grande importance à l’étude des marques, gravées sur les meules (FIG.5-21). La présente thèse espère ainsi, malgré le nombre limité des découvertes épigraphiques à Orvieto (au nombre de 6), poser un cadre problématique qui servira de base à un volet du programme couplant inventaire et catalogue des marques, typologie des meules et analyses géochimiques. Il s’agit notamment d’appréhender si l’étape d’apposition se situe au niveau de la fabrication, du négoce ou de l’installation/utilisation. Les interrogations portent sur la signification de ces marques en termes d’officine et de diffusion, l’éventualité que la production d’Orvieto située à proximité du Tibre ait pu relever du *Patrimonium Caesaris*. Dans



le cadre de cette thèse on proposera une première réflexion sur la géographie de l’épigraphie des meules de style pompéien et, les centres de production ayant l’avantage de donner le point de départ de la trajectoire culturelle des objets, on comparera l’épigraphie d’Orvieto avec celle de

¹³ Italien *impastatrici*, anglais *kneading-machines*.

¹⁴ Site R.13, longueur et largeur 39 cm, une Hauteur de 18 cm peut renvoyer à une meule neuve.

¹⁵ Acronyme de “ORVieto Archeologia Macine & Mulini / ORVieto Archéologie des Meules & Moulins”. Le projet franco-italien ORViAMM est co-dirigé par le prof. Maurizio GUALTIERI (université d’Alberta, Canada) et l’auteur. Il bénéficie de la collaboration active du prof. Alfredo BUONOPANE (Université de Verona) pour l’Épigraphie. Il a donné lieu à 2 communications (ACH et AB : 2014 congrès d’Almería, 2015 colloque de Brescia), un article est à paraître en 2021 dans les Mélanges offerts à M. Feugère (AB, ACH, MG : *Orvieto, centre producteur de meules dans l’Antiquité : premières données issues du programme ORViAMM.*). L’activité principale actuelle consiste dans le présent doctorat que nous avons jugé comme un préalable indispensable au lancement d’une phase de recherches de terrain et d’analyses archéométriques.

des sites d'utilisation les mieux documentés que sont Ostie et Pompéi. Le site vésuvien présente en effet une surintensité épigraphique de ses meules, ce qui en retour permet d'éclairer le marquage constaté à Orvieto.

FIG.5-21 : Vue partielle (IVL) de la marque gravée sur la meta de grand gabarit R.30-15, découverte fluviale - cl. ACH)



4. Les meules volcaniques : des produits vraiment « large scale » ?

LES LAVES, de BONS TRACEURS

22. Les meules réalisées dans des laves intéressent régulièrement les archéomètres en raison de leur capacité à servir de traceurs pour la reconstitution de circuits de diffusion et de routes maritimes. A cet égard l'article fondateur est celui de Peacock en 1980 *The Roman Millstone trade : a Petrological Sketch*¹⁶ qui d'ailleurs, sans analyses géochimiques mais en simple pétrographie lame mince, identifie déjà les centres producteurs de Mulargia en Sardaigne, de l'Etna en Sicile et d'Orvieto, et en trace les principales directions de diffusion¹⁷. En identifiant les sources, les études archéométriques visent à appréhender des échanges à large échelle (*large scale* ou *long distance trade*) qui portent sur des biens de prestige ou sur des produits à forte valeur susceptibles d'un réel commerce. L'enjeu est de saisir l'existence et le poids des échanges ainsi que le degré marchand de la société antique, dans une période où l'accumulation des données archéologiques, bien que limitée aux produits manufacturés conservables, conduit au dépassement de la « querelle » entre primitivistes, modernistes ou substantivistes¹⁸.

23. L'intérêt pour les gisements volcaniques provient du fait qu'ils sont plutôt limités dans l'espace (**FIG.5-22A, 5-22B et 5-23**) et souvent quasi ponctuels, à l'exception notable des leucitites italiennes dont relève celle d'Orvieto). Dans le même temps ces gisements sont plutôt bien traçables à partir d'analyses géochimiques.

¹⁶ *World Archaeology*, 12,1, 1980, p. 43-53.

¹⁷ Echappent encore à l'identification les centres producteurs des laves des Monts Hybléens au Sud de la Sicile ainsi que le Vésuve pour les leucitites, le ravitaillement pluriel de Carthage et de la Tunisie est bien cerné.

¹⁸ Voir notamment MORLEY 2007 – *Trade in Classical Times*, ANDREAU 1995 – *20 ans après* et ANDREAU 2010 – *L'Economie du monde romain*, ou encore DUPUY 2001 – *Anthropologie économique*.

FIG.5-22A – Zones volcaniques détaillées en France et Allemagne (DAO ACH). Les centres meuliers connus sont représentés par un ovale violet. Le volcanisme italien n'est pas détaillé.

- 1- complexe Agde-Hérault 2- Toulon La Courtine 3- Les Coirons 4- Chaîne des Puy 5- Rhyolite d'Alsace 6- Mayen Eifel 7- Vogelsberg 8- Oparno 9- Olot (Esp.) 10- Mulargia (Sard.) 11- Colli Euganei (Padova) 12- Orvieto 13- Rome ? 14- Vésuve 15- Vulture

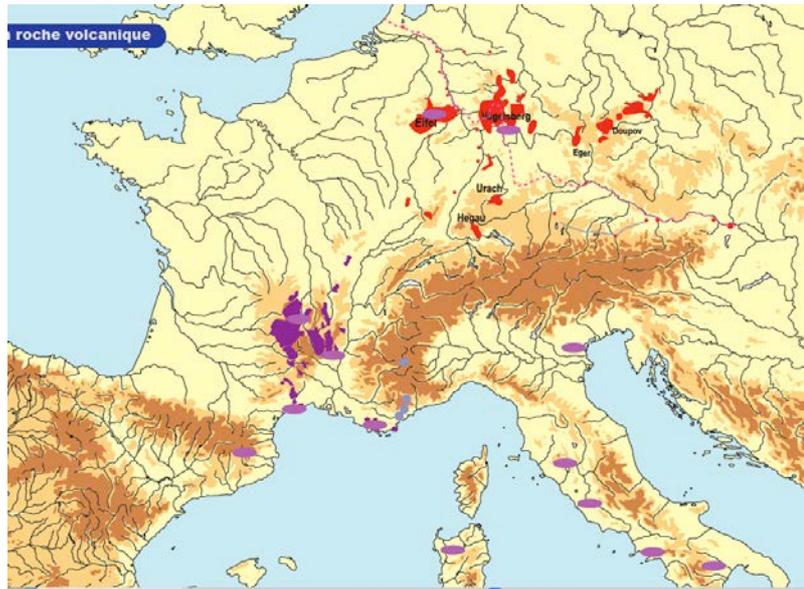
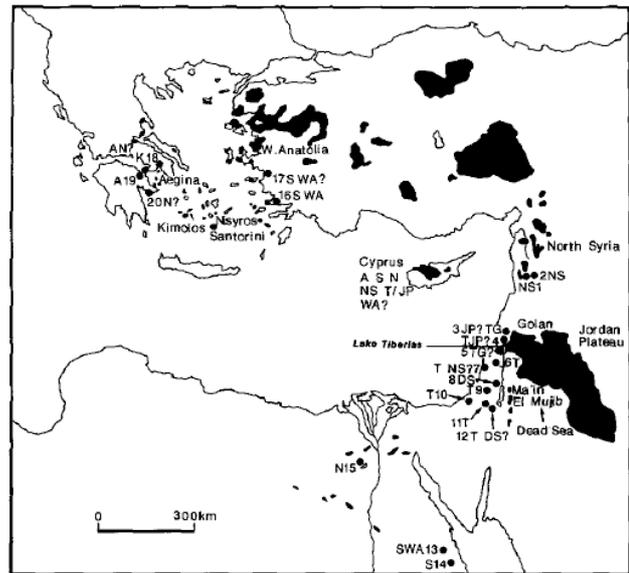


FIG.5-22B Zones volcaniques d'Anatolie et du Levant : Grèce et Egée, Anatolie, Levant et Egypte (WILLIAMS-THORPE, THORPE 1993) – L'énorme gisement du plateau du Golan a été très anciennement exploité (meules manuelles, mortiers, vases tournés, meules Olynthe et meules de style pompéien)

24. La traçabilité des roches volcaniques est notamment due aux conditions variables de formation du magma effusif qui tantôt provient des fonds marins, tantôt du manteau, tantôt encore de la fusion de la croûte terrestre qui, sous des montagnes comme les Andes ou l'Apennin, s'enfonce dans des zones de subduction. Les progrès de l'analyse chimique dans les années 1980 (notamment spectrométrie de masse) ont ainsi conduit à des études archéométriques régulières consistant à caractériser la roche, souvent en étudiant plus de 15 ou 20 éléments traces ou terres rares présentes en infimes quantités mais qui offrent généralement un grand pouvoir discriminant¹⁹. La procédure est classique, en deux temps : une fois analysées (*characterization*), les laves sont ensuite rapportées à des échantillons collectés sur le terrain, soit dans le cadre d'études portant sur les appareils volcaniques soit dans le cadre de campagnes de prélèvements à fins archéo-pétrographiques. Cette seconde étape (*provenancing*) permet d'attribuer les laves à des sources, généralement des aires plutôt que des localités précises.

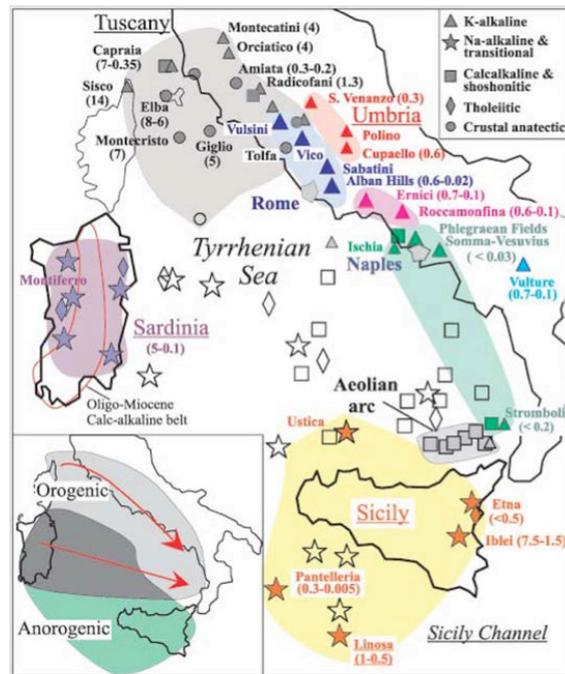


¹⁹ Le laboratoire des matériaux de Venise (IUAV) avec F. Antonelli a beaucoup travaillé sur les éléments discriminants entre sources lithiques proches. Ces dernières années T. Gluhak et W. Hofmeister, confrontés à l'ampleur et la variabilité à la fois des laves de l'Eifel, ont développé les approches de discrimination à partir de nombreux éléments et de techniques statistiques (GLUHAK, HOFMEISTER 2008, 2009, 2011), T. Gluhak approfondit la démarche (GLUHAK, SCHWALL 2015) devant les difficultés de départir (provenancer) les laves vitreuses (Sicile, arc Eolien, arc Egéen) en raison sans doute de leur complexité géochimique associée à une insuffisance de référencement de terrain.

25. L'un des intérêts des pétrographes pour le matériel archéologique tient au fait que ce mobilier permet d'étudier des laves parfois devenues inaccessibles depuis 2000 ans en raison de la continuité des émissions (Vésuve, Etna, volcans éoliens). L'une des limites de ces études géochimiques réside dans l'insuffisance du référencement de terrain, qui se trouve particulièrement dommageable par exemple pour les meules pouvant provenir du Massif Central.

FIG.5-23 – Provinces magmatiques et volcans italiens (PECCERILLO 2005) hors ensemble Euganéen (Padoue) au Nord.

Cette limitation empêche également de provenancer les meules de la meunerie industrielle de Barbegal près d'Arles et handicape, entre Loire, Seine et Rhin, la distinction entre meules en basalte de l'Eifel et en basalte des Puys. Une autre limite actuelle à la démarche de caractérisation et provenancement réside dans la variabilité géochimique entre coulées et périodes d'émission d'un même appareil ou district volcanique. Il semble en particulier que les laves à forte composante vitreuse soient plus difficiles à distinguer entre elles, par exemple entre Sicile et arc Egéen (GLUHAK, SCHWALL 2015).



Provincie Magmatiche Italiane relativi centri vulcanici. Immagine tratta da Peccerillo (2005).

FIG.5-24 Centres meuliers sur volcanisme italien (SANTI, RENZULLI 2006) les grands ensembles volcaniques italiens sont tous représentés, à l'exception de la partie centrale et romaine de la Province Magmatique Romaine – ceci pourrait être comme nous le verrons (CHAP.5) dû à une sur-attribution à Orvieto (appareil vulsinien).

26. En l'état des données, seule une fraction des gisements volcaniques semble avoir servi à la production de meules (on comparera à cet égard la FIG.5-23 avec la FIG.5-24 qui représente les centres meuliers greffés sur le volcanisme italien). Toutefois cette vue pourrait se trouver nuancée à l'avenir. En effet, la confrontation entre les aires de production meulière volcanique en Italie (FIG.5-24) et la réalité du volcanisme italien (FIG.5-23) laisse par exemple supposer une plus grande diversité meulière en Sardaigne que la seule zone de Mulargia au Nord. Par ailleurs, et pour s'en tenir à la proximité d'Orvieto, des fabrications meulières -antiques ou postérieures- sont attestées sur les laves de l'Amiata et celles de San Venanzo qui relèvent de deux autres provinces magmatiques (PM. Toscane et PM. Intra-apennine). Il revient à l'archéologie d'inventorier et de

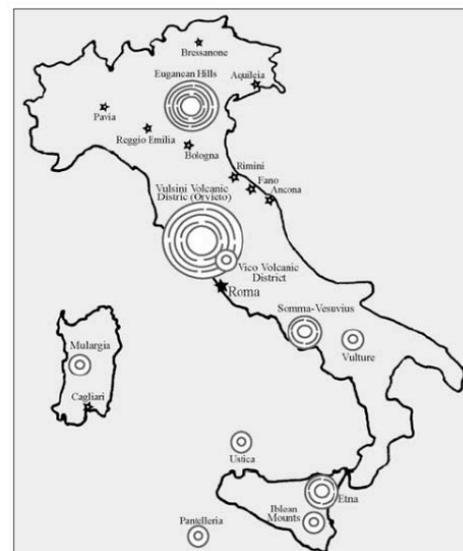


FIG. 3. Geographic location of the Italian volcanoes, which represent landmarks for the millstones and flagstones traded in antiquity. Size of the concentric circles in each volcanic area is proportional to the spreading of lavas throughout the Mediterranean (at least during the Roman period).

quantifier les meules propres aux différents centres ou aires de production. Il est clair que **l'amélioration de la connaissance archéologique tend à multiplier les ateliers et invite à relativiser la part des grandes officines**. Cependant, si l'on raisonne sur des quantifications, elle permet à terme d'en saisir le poids réel dans les approvisionnements et les échanges.

27. Dans le domaine des meules le concept de diffusion *large scale* ou de *long distance trade* est très employé par les archéomètres (ex. WILLIAMS-THORPE, THORPE 1988b), ceci au vu de provenances plus ou moins lointaines. Sans nier l'apport souvent décisif de ces études il convient cependant d'accueillir avec circonspection les conclusions qui en sont parfois tirées en terme d'échelle des échanges ou de commerce. En dehors du fait que la notion de « *large* » ou « *long* » n'est généralement pas discutée ou définie, les analyses chimiques portent le plus souvent sur des meules (quelques dizaines²⁰) souvent non caractérisées typologiquement, faiblement contextées et moins souvent encore datées, fût-ce à 1 ou 2 siècles près.

28. De fait la recherche du *provenancing* a longtemps été pilotée par les archéomètres, qui dans les années 80-90 ont constitué un moteur non-négligeable du développement et de la modernisation de l'archéologie. Mais le danger d'un pilotage peu co-disciplinaire se niche en plusieurs endroits :

A/ **le choix des échantillons** est parfois à faible teneur archéologique ce qui pose problème pour l'exploitation spatio-chronologique, sans compter qu'en certaines occasions on ne sait pas vraiment sur quelle genre de meules portent les analyses réalisées ; dans d'autres cas les résultats de caractérisation sont importants mais l'exploitation aurait notablement gagné si la sélection des échantillons avait pris en compte d'autres informations (par ex. l'épigraphie pour Pompéi²¹) ;

B/ **la notion de distance est relative** : 500 km en bateau sont peut-être équivalents à 100 km terrestres²² et pour des producteurs meuliers de Mulargia en Sardaigne, Carthage c'est à côté, de même que la Sicile ou Arles étaient des étapes usuelles pour les bateaux d'Ostie.

C/ **la cartographie d'un seul attribut ou objet** est intéressante mais aussi dangereuse car elle ne permet pas de statuer sur le fait que la distribution soit particulière ou similaire à une série plus large. En évacuant la notion de cortège et en réduisant la quantité, elle affaiblit voire biaise la lecture. S'agissant de meules il serait ainsi nécessaire -ce qui est rarement le cas car seul un travail archéologique patient ou collectif peut y conduire- que sur une carte le calque des meules provenancées par une analyse se superpose à celui de l'ensemble des meules trouvées ou concernées : observer la diffusion des meules de Mulargia sur fond de toutes les meules des sites concernés ou bien sur celui de l'ensemble des modèles quasi-pompéiens n'aboutit pas à la même image (elle orientalise la question) ; comparer la distribution du modèle pompéien d'Orvieto à celles de toutes les meules de modèle pompéien fait ainsi apparaître la force de l'axe Rhône-Saône-Seine-Thamise et l'existence d'un relai de fabrication (grès de Fosses) au niveau de Paris ; comparer la distribution des MSP d'Orvieto à celle de certains critères dimensionnels permet de douter de l'attribution orviétane d'une partie de ces meules.

D/ il est **préférable qu'une analyse de diffusion soit appuyée sur une cartographie des quantités**, complétée si possible d'une analyse de densités, de points-relais et de *fall-off curves*. Cela n'a pas encore été fait pour un des cas les plus documentés, la large diffusion (UK, Gaule Belgique, Rhin/Wesser) des produits antiques de l'Eifel (par ex. GLUHAK, HOFMEISTER 2008 et

²⁰ Sur un dépouillement que nous avons réalisé de 30 analyses géochimiques, 43% portent sur moins de 10 échantillons de lave meulière et 23% entre 10 et 20 : 66% des analyses concernent donc moins de 20 objets ; le maximum correspond à l'étude de 159 meules de la région des Pouilles provenant de 25 sites de l'Age du Bronze à la fin de l'époque romaine et dont 123 ont été analysées (LORENZONI *ET al.* 2000b).

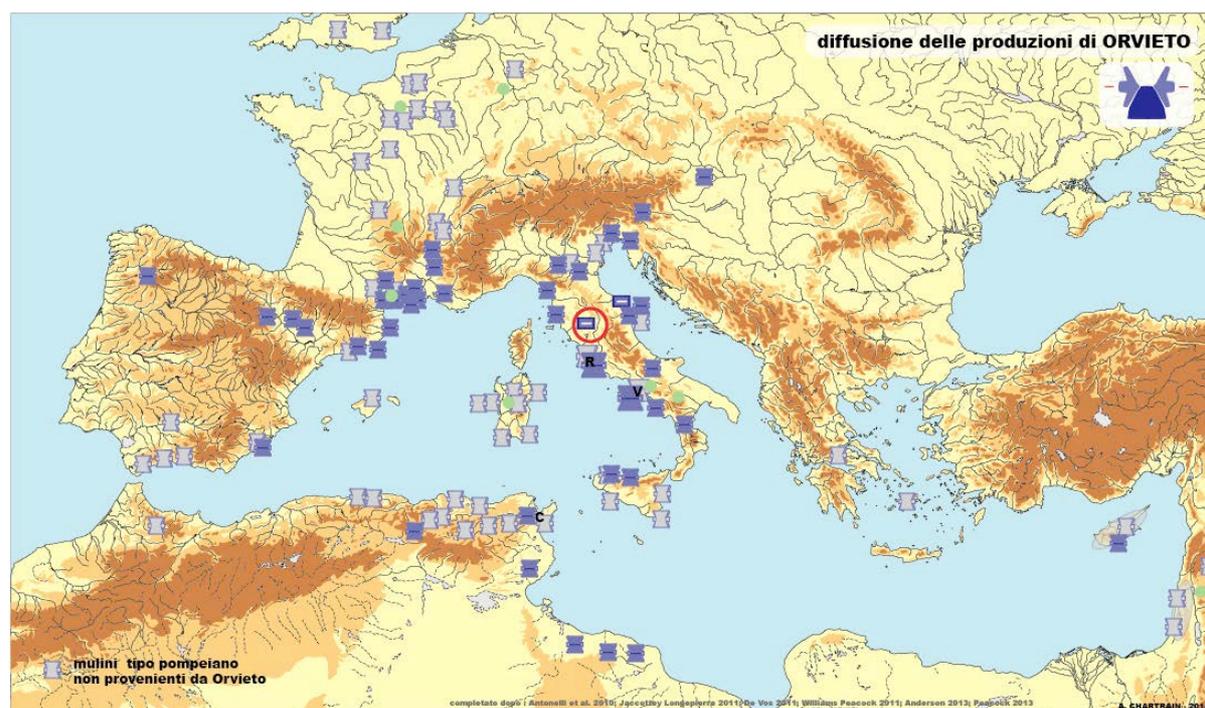
²¹ BUFFONE *et al.* 1999, analyses par ailleurs importantes et prenant en compte la typologie.

²² Comparaison établie sur la base de ARNAUD 1993 pour la navigation hauturière et de SALAC 2013 pour le transport terrestre tracté ou bûché.

2011 ou encore PEACOCK 2013) où l'on aborde seulement l'aire globale de diffusion en en traçant les limites²³ même si MANGARTZ 2008 donne une carte avec 3 classes de quantités. En revanche cela a été le cas pour les meules médiévales de ce même district meulier, ce qui a permis à Meinrad Pohl de développer une approche modélisée en distance et temps de parcours (POHL 2011). Le travail de quantification a en ce cas permis de définir des zones de dominance (*trade sphere*) pour trois centres meuliers Nord-européens : Mayen (Allemagne rhénane), Hyllestad (meules à grenat de la côte Ouest de Norvège) et de Malung (hinterland suédois)²⁴. Il est intéressant de noter que ces analyses spatiales de meules ont vingt ans²⁵.

E/ enfin, il semble souvent y avoir **confusion entre *large distribution d'un type*** (ex. des cartographies de meules du type Olynthe ou de style pompéien) **et *large diffusion d'un produit*** : ainsi la large distribution (FIG.5-25) du modèle pompéien (sans parler de celle des différents types de ce modèle) n'implique en rien une diffusion *large scale* dès lors qu'il y a eu (ex. grès de Fosses à l'Est de Paris) des productions dans des ateliers à rayon de diffusion régional voire local qui ont fonctionné comme des relais de *diffusion du modèle*.

FIG.5-25 – Carte de distribution des Meules de Style Pompéien attribuées à Orvieto (bleu foncé) sur l'ensemble des MSP (gris), pour repère sont figurés (rond vert) quelques grands centres producteurs de meules (du Nord au Sud : Mayen, Les Puits, Agde-Hérault, Mulargia, Orvieto, Vésuve, Vulture, Golan), le point vert à hauteur de Paris indique la production de MSP en grès de Fosses-Belleu (mise à jour ACH 2014 d'après PEACOCK 2013 pour les MSP orviétanes)



DIFFUSION LOCALE ou à LONGUE DISTANCE : quelles PRODUCTIONS de MARCHÉ ?

29. La configuration actuellement disponible est celle d'une **dualité opposant des centres de production majeurs à large diffusion et des centres, parfois intenses mais à rayon de diffusion**

²³ Ce qui donne la mèche valeur à la découverte d'une seule meule et à celle d'une concentration de 5 ou 12 éléments ; il est probable que ces prochaines années on disposera pour l'Eifel d'une cartographie de densités.

²⁴ CARELLI, KRESTEN 1997 in POHL 2011.

²⁵ A la fois pour la carte quantifiée des meules alto-médiévales de Mayen (PARKHOUSE 1997) et pour les *trade spheres* de CARELLI, KRESTEN 1997.

limité. Cette configuration ouvre des perspectives dans le domaine de l'analyse économique autant que sociale de la production du bien d'équipement courant que constitue le moulin rotatif antique. L'une des problématiques principales est en effet d'établir et de comprendre le fonctionnement contemporain, concurrent ou non, ainsi que l'importance relative des productions à diffusion régionale et des fabrications *large scale*. En d'autres termes il s'agit d'appréhender en quelle mesure a existé, où et quand, une production à visée plutôt marchande et en quelle mesure les productions banales, locales et utilitaires ont pû ou non participer à une économie d'échanges monétarisés, de marchés, de plus-value, et si oui à quel degré se situait cette inclusion.

30. Dans cette perspective il y a d'ailleurs danger à n'étudier que les productions diffusées à large échelle. Pour deux raisons : la première est qu'il est alors difficile d'évaluer le caractère marginal ou au contraire substantiel de la fraction de la production qui est ainsi « à visée marchande » ou « *profituelle* ». La seconde est que l'on se prive de savoir si les productions banales, courantes, communes, populaires, locales ne comprennent pas une dimension réellement économique, voire ne répondent pas à une pensée économique ou financière. Nous illustrerons cette problématique par une seule question, que nous avons découverte en cours d'étude et qui nous a poussé à une enquête plus systématique sur ces aspects : **pourquoi à Orvieto comme sur d'autres ateliers les meuliers produisaient-ils plusieurs gabarits ou modèles de meules ?** Cette variété résulte-elle mécaniquement de la variété de la pierre et des issues du process de fabrication ? ou bien constitue-t-elle une réponse à une variété du pouvoir d'acquisition, d'échange ou d'achat des destinataires ?

31. Dans cette quête l'analyse technique de détail prend toute son importance : en effet la variété des gabarits ou des modèles est nous semble-t-il moins susceptible d'intégrer une visée économique si elle peut répondre à une variété d'utilisations, si elle observe un continuum de valeurs, si encore elle obéit à des déterminations techniques ou à des canons métrologiques. En revanche, si elle obéit à des normes qui ne résultent en rien d'une détermination métrologique ou géométrique, si l'on établit que la durabilité de la meule est un paramètre contrôlé, que cette longévité est éventuellement minimisée ou que ses caractéristiques traduisent des choix qui n'ont aucun caractère techniquement obligé, alors l'intentionnalité économique ou financière peut être suspectée sinon argumentée.

32. Une autre voie d'analyse peut être empruntée qui a trait à d'éventuelles distorsions observables dans la diffusion : un produit lointain fortement représenté dans une aire donnée et qui, à efficacité similaire, prend le pas sur les produits locaux, vernaculaires, voire techniquement connotés (meules « berrichonnes » dans la cité des Bituriges) est susceptible de bénéficier d'avantages qui en favorisent la pénétration. A moins d'être gratuits ou de statut quasi publicitaire, de tels produits sont susceptibles de générer des avantages économiques et financiers en bénéficiant d'avantages à l'échange : obligation d'acquisition, marché réservé, prix minimisé par absence ou réduction de taxes ou péages, par emploi d'une main d'œuvre gratuite (esclaves, militaires, corvées). L'aire de distribution des céramiques sigillées de Gaule du Sud ou du Centre présente des cas de répartition non naturelle, ni concentriques décroissantes ni suivant les routes fluviales qui posent la question de l'attribution de marchés réservés ou de distorsions à la diffusion économique naturelle (MEES 2007).

33. Nous n'avons cependant pu comme nous l'avions projeté (à travers un Chapitre sur le Marché des meules en lave) examiner dans le présent travail ces deux dimensions de l'aspect économique de la production des meules à travers l'analyse de détail des meules d'Orvieto et à travers l'approche globale de celles de l'Eifel à l'époque impériale.

ORVIETO : QUELLE ECHELLE de DIFFUSION ?

34. Un produit peut être diffusé à très longue distance, même régulièrement, et constituer un bien précieux sans valeur d'échange ou commerciale, comme c'est le cas des biens de prestige,

des cadeaux ou de biens finalement sacrifiés (échanges de réciprocité ou de redistribution distingués par les substantivistes). Ces échanges sont généralement associés à certains types de sociétés, faiblement ou non hiérarchisées.

Mais les échanges à large échelle peuvent aussi concerner soit des biens à forte valeur soit, à l'opposé, des biens ou denrées de faible valeur dont cependant le volume fait masse (comme le blé, objet d'intense trafic durant l'Antiquité et de lois dès la période athénienne). Le caractère commercial de tels échanges s'établit notamment sur la base de leur fréquence (CLARKE 1998, 317-325)²⁶, celle-ci pouvant traduire l'occasionnalité ou l'existence de flux (pour des biens de fort prix on connaît par exemple le cas des félins capturés en Afrique du Nord et transférés à Rome²⁷).

35. Pour certaines périodes telles que le Bronze Final et le Premier Age du Fer les études archéologiques concernant les objets importés de bronze, ambre ou métal précieux mais aussi le vin en amphore hésitent ainsi souvent pour statuer sur le caractère d'échange de prestige ou de flux commerciaux de ces diffusions. Pour de nombreux auteurs le caractère commercial est constitué dès autour de 600 aC en Languedoc²⁸ et plus tôt en Italie, Sicile ou sur la côte punique de l'Espagne. L'autre question est d'établir si des échanges, même réguliers, permettent ou non une accumulation de capital et son possible réinvestissement, et de quel côté de l'échange se produit cette accumulation.

36. Enfin un produit de faible valeur peut aussi connaître une diffusion de large échelle car il accompagne d'autres produits, objet réel et principal du commerce ou des échanges. Ces produits, lorsque pondéreux peuvent semble-t-il jouer un rôle dans l'équilibre et la répartition des masses sur un bateau, à mesure des déchargements et chargements successifs. Cette fonction de lest ou *ballast*²⁹ est régulièrement avancée pour des céramiques, des tuiles ou des blocs extraits de carrières, ou encore pour des meules retrouvées parmi les cargaisons d'épaves (WILLIAMS-THORPE 1988b, 286).

37. Concernant Orvieto on s'interrogera donc dans ce travail sur l'échelle de diffusion et sur le volume de la production, à partir d'une part des quantités retrouvées sur les sites d'utilisation et d'autre part sur les lieux de la production. Il paraît à cet égard utile dans cette partie introductive d'examiner le cas d'Orvieto à travers **une approche critique de la notion de diffusion ou de produit *large scale***. La question se développe ainsi sur deux points : **la diffusion des meules d'Orvieto a-t-elle été réellement de large échelle ? si oui quel était alors le volume impliqué ? et quel est le poids d'Orvieto dans les assemblages meuliers des sites d'utilisation ?**

38. Cette distance critique sur la notion de *large scale* nous est venue devant le contraste entre l'ampleur de la carte des meules attribuées à Orvieto et le caractère extrêmement réduit des quantités en jeu, voire l'existence manifeste de groupements. La question est de savoir si les meules, notamment de style pompéien, issues d'Orvieto représentaient une production massive, régulière ou du moins soutenue ou si elles correspondaient à une fabrication marginale, voire saisonnière sinon à la demande. Selon le cas de figure l'ampleur des carrières, le volume des meules et déchets ou la spatialité des installations productives, de même que l'économie meulière orviétane, ne sauraient être les mêmes.

Les fabrications d'Orvieto sont intéressantes de ce point de vue car les meules rotatives basses (MRB) ne semblent pas avoir connu une diffusion large alors que ce fut le cas des meules de style pompéiens (MSP). Il est tout à fait envisageable que ce centre de production ait vu se succéder ou cohabiter à la fois des fabrications à rayon de diffusion régional et une production diffusée à longue distance. **Encore faut-il que la réalité d'un véritable *flux large scale* soit établie** et ne résulte pas de quelques points éloignés dilatant une carte. Il est intéressant à cet égard d'examiner la carte réalisée par D. Pecacock (FIG.5-26).

²⁶ Version italienne de la seconde édition posthume (1978) de *Analytical Archaeology*, 1968.

²⁷ BERTRANDY 1987.

²⁸ Par exemple UGOLINI 2010 (*Pallas* 84).

²⁹ Par exemple BERNARD 2014, GIFFORD 2008 ou CASTELLVI *et al.* 2011 ; le terme latin pour le ballast est *saburra*.

FIG.5-26 – Carte de distribution des meules (MSP) attribuées à Orvieto³⁰ (haut) comparée à celle des meules sardes de Mulargia (bas) – PEACOCK 2013

39. Une telle distribution peut correspondre à trois cas de figure³¹ :

-A- une **dilatation artificielle de l'aire de diffusion** résultant, sur la base d'une insuffisance de données, de quelques découvertes ponctuelles éloignées et à caractère quasi accidentel,

-B- une diffusion de **large échelle mais de faible intensité**, se traduisant par de faibles quantités disséminées à longue distance

-C- une diffusion de **large échelle et de notable intensité**, celle-ci pouvant être mesurée soit en pourcentage du total des émissions d'Orvieto, soit en pourcentage des meules à chaque point.

40. Sur la **FIG.5-26** les points isolés d'Espagne, d'Algérie-Tunisie et de Cyrénaïque voire d'Autriche sont susceptibles de

correspondre aux cas de figure A et B. Toutefois, le fait qu'en Espagne ils correspondent à l'axe fluvial de l'Ebre complété d'une pénétration routière, qu'en Afrique du Nord ils correspondent à des ports (Carthage) et qu'en Autriche ils se situent sur l'axe stratégique Aquileia / Carnuntum paraît privilégier le cas B (large échelle, faible intensité). La distribution tendrait en ce cas à se ramener à deux concentrations, d'une part l'Italie notamment tibérine (Orvieto, Rome, Ostie) complétée de la Campanie (Pompéi), d'autre part la Narbonnaise avec vraisemblablement l'empreinte des ports de Narbonne, d'Arles et Marseille et plus au Nord, sur l'axe fluvial rhodanien, celle du port fluvial de Lugdunum.

41. La réalité *large scale* serait ainsi à redimensionner et à appréhender à travers les composantes suivantes :

- 2 aires à diffusion relativement intense et plutôt proches (navigation routinière Rome-Ostie / côte Narbonnaise)
- 2 lignes de diffusion à faible intensité et assez lointaine combinant modalités fluviale (Ebre) ou portuaire (Aquileia) à une importante phase routière (Carnuntum et Astorga)
- 1 ou 2 lignes de diffusion maritime (Carthage et côte de Cyrénaïque) de moyenne distance et de faible intensité où les meules devaient arriver de temps en temps et en accompagnement de frets majeurs.

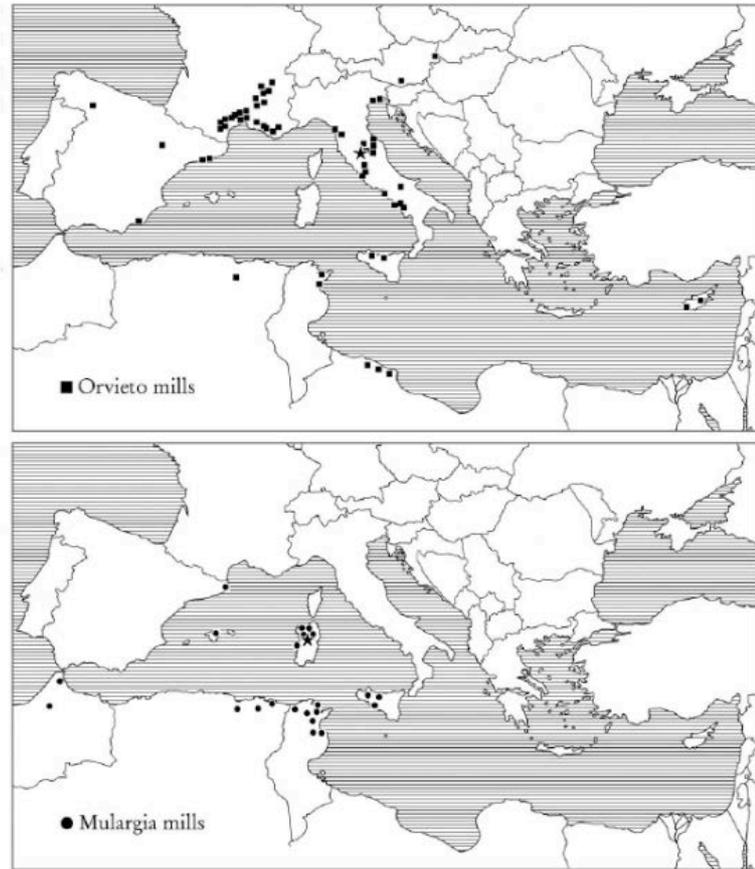


Fig. 5.10: a, distribution of Orvieto mills; b, distribution of Mulargia mills (after Antonelli and Lazzarini 2010, with additions).

³⁰ Carte que D. Peacock avait eu la gentillesse de nous communiquer ainsi que tout le chapitre où elle figure, plusieurs mois avant sa publication dans *The Stone of Life* et le décès de l'auteur peu après.

³¹ Si l'on écarte le jeu complexe des différentes intensités de la recherche et de l'identification archéologiques (à cet égard l'absence de meules en leucite à Narbonne et de MSP avérées ne laisse pas de surprendre, à fortiori devant la concentration qui s'observe sur tout le Languedoc.

42. Cette vue préliminaire montre que **la notion de diffusion de large échelle est insuffisante et doit être lue de manière plus décomposée**, en particulier **en termes d'intensité** (absolue, en % du produit, et relative, en % sur les meules en chaque point), **de nature de la distribution** (groupée ou régulière, tissulaire ou observant des lignes de forces telles que ports et voies fluviales ou terrestres) **ou d'une distance qui soit finalement fonction de la typologie des parcours** (navigation maritime hauturière ou cabotage, navigation fluviale descendante ou remontante, avec ou sans segments de portage, transport terrestre par charroi ou muletier).

43. On ajoutera que la distribution des meules d'Orvieto ici esquissée ~~et qui sera développée ultérieurement (Partie IV CHAP.9)~~, nous paraît susceptible d'une lecture ethnique : les meules de style pompéien d'Orvieto pourraient avoir correspondu à des populations italiques en position extra-péninsulaire, voire à une diète plutôt spécifique à l'aire latio-campanienne.

5. Orvieto , une production massive ?

44. Bien qu'aucune fouille n'ait jamais été pratiquée sur les aires d'extraction et de façonnage, et que seules 7 meules, toutes de style pompéien, aient été publiées (PEACOCK 1986), Orvieto est généralement décrit comme un important centre producteur de meules, notamment de modèle pompéien : « ..Orvieto .. is clearly, the source of many of the leucite mills of the mediterranean » (WILLIAMS-THORPE 1988b, 264), « ... (la leucitite) présente dans toute la province volcanique romaine, mais c'est principalement près d'Orvieto qu'est attestée une production de molae asinariae » (LONGEPIERRE 2007, 17) ou « a passing remark by Pliny ... that is more probably a reference to the important quarries at Orvieto » (PEACOCK 2013, 56) et « The Orvieto quarries are, without doubt, the most important ones for the production of Pompeian mills, whence these mills were traded widely. ../.. Oriveto is undoubtedly the source for Pompeian mills... » (ibid. p.86).

45. Cette image est à telle point ancrée que lors de la première élaboration du projet ORViAMM nous étions focalisés sur la recherche de grandes carrières et de leurs fronts de taille, négligeant d'emblée les objets et n'enregistrant aucune meule. Avec le recul -que procurent à la fois l'étude des meules, une fréquentation pluri-annuelle du site ainsi que la maîtrise de la bibliographie- on peut aujourd'hui déduire que s'il avait trouvé ses financements à son origine, le projet ORViAMM les aurait largement et vainement engloutis sur des carrières, probablement plus Renaissance et mussoliniennes qu'antiques, cela au détriment des artefacts et alors-même que ces derniers sont loquaces et selon toute vraisemblance moins difficiles à dater que des carrières. A l'issue de ce doctorat le programme ORViAMM sera **re**centré sur les meules et les aires de travail qu'elles ont permis de détecter.

46. Pourtant il est scientifiquement légitime de se demander si cette importance déclarée d'Orvieto en tant que centre producteur est fondée, et si l'ampleur de la cartographie n'impose pas une évidence trompeuse.

47. En l'état actuel, faute d'inventaire des Meules Rotatives Basses en Italie, la diffusion des produits d'Orvieto ne peut être examinée que concernant les modèles pompéiens (MSP). Au dernier pointage (GLUHAK *et al.* 2016, 634), 81 meules de style pompéien ont été identifiées sur le territoire de la France, de l'Allemagne et de la Grande Bretagne réunies³².

³² 8 exemplaires sont attestés au U.K. dont 4 à Londres (WILLIAMS, PEACOCK 2011), dans le même volume l'inventaire JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011 donne 63 MSP en France et cite 2 exemplaires en Allemagne (région de Mayen), il est complété par GLUHAK *et al.* 2016 qui porte le total français à 69. On ajoutera, identifiés par nos soins, 1 *catillus* en leucitite à Peyriac-de-Mer (Aude, FR - inventaire inédit 2017) et un gros fragment de leucitite sur les fouilles portuaires de C. Sanchez au Castelou à Narbonne en 2012 ; le modèle pompéien est absent en revanche de nos inventaires réalisés au dépôt archéologique de Carcassonne ou d'Ensérune, et de l'examen des meules que nous avons pratiqué aux musées d'Agde. Aucune MSP n'est signalée dans l'inventaire détaillé de 82 meules de la cité Belge des *Tungri* publiées récemment (HARTOCH ed. 2015).

Une donnée comparative est fournie par l'inventaire partiel réalisé en Provence et Languedoc dans le cadre d'une thèse portant sur la meulière de St. Quentin dans le Gard (LONGEPIERRE 2012). Sur 673 meules recueillies sur 112 sites allant du Ier s. aC au IV-Vè s. pC, 22 sont des modèles pompéiens soit 3%. Dans ce même inventaire les 22 exemplaires MSP se comparent aux 568 meules rotatives basses : on observe donc 3% de MSP pour 84% de MRB. La troisième donnée réside dans le fait des 81 exemplaires sur les 3 pays mentionnés, ce qui fait une densité infinitésimale. Une quatrième observation à formuler est celle de la concentration du modèle pompéien en Gaule Narbonnaise et à Lyon³³, zone où en sont regroupés 44 soit 54% du total.

48. Sur les 500 ou 550 ans considérés le total des meules de style pompéiens retrouvés correspond, même si on le double compte-tenu des pièces non inventoriées qui se trouvent vraisemblablement dans les dépôts ou des fragments de leucite corrodée non rapportés à une meule, à 1,6 à 3 meule par décennie (et donc moitié moins de moulins). Si l'on estime le taux de recouvrement à 1 meule pour 1.000 ayant existé, le volume initial sur les 3 pays aurait été de 160 à 300 meules par an, soit la cargaison de un à quelques navires chaque année.

TAB.A - Estimation du nombre annuel de meules de style pompéien exportées (vers la Gaule, la Bretagne et les Germanies) et du volume carrier net correspondant pour un recouvrement de 1 meule pour 1.000 produites

meules trouvées pour 1 an	Taux de Recouvrement	Meules exportées par an	Volume m3	Poids total tonnes	Carrière
0,162	1 / 1.000	162	33,4	77,8	7 x 5 m x 1 m prof.
0,3		300	61,8	144	6 x 5 m x 2 m prof.

Si l'on considère un volume extrait de blocs bruts aux dimensions circulaires moyennes, soit 0,41 m³ et 0,95 tonne par couple de meule (*catillus* et *meta*)³⁴, le volume annuel extrait serait de 33 m³ et 78 tonnes pour 160 meules exportées et de 62 m³ et 144 tonnes pour 300 meules (TAB.A). Il s'agit là d'un volume net car la carrière effective correspondante serait plus ample en raison des délaissés entre blocs, des endroits défectueux et des ratages³⁵. En termes extractifs cela correspond à une carrière de 7 m sur 5 et de 1 m de profondeur (160 meules par an) ou de 2 m d'épaisseur pour 300 meules. Cela représente aussi 3 ou 6 blocs de fracturation naturelle de la leucite d'Orvieto (blocs en forme d'obélisques cylindroïdes (FIG.5-27) d'environ 1,70 d'envergure pour ca. 5 m de haut soit ca. 11,35 m³).

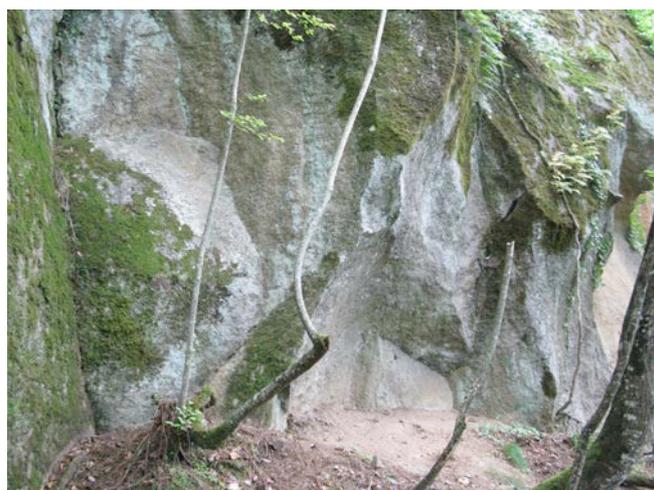


FIG.5-27 – Fracturation naturelle de la falaise de leucite massive en grandes formes oblongues fusiformes

49. Les meules en leucite représentent par ailleurs 37% des modèles pompéiens identifiés³⁶. En conséquence le volume de carrière annuel est dans ce matériau estimable à 12,2 m³ et 28,1 tonnes de blocs bruts meuliers extraits pour 160 meules par an ou à 23 m³ et 52,7 tonnes si le volume diffusé était de 300 meules l'an. Dans l'une comme dans l'autre hypothèse,

³³ Le pôle Lyon / Vienne (ce dernier en Narbonnaise) regroupe 7 des 44 MSP de l'aire narbonnaise + Lyon, soit 16%, les autres pôles équivalents sont Nîmes (7 ex.) et Les Martys (9 ex.).

³⁴ Soit un *catillus* d'un Diamètre de 66 cm pour une Hauteur de 66, une *meta* D.56 pour H.75, et une densité de 2,3 g/cm³

³⁵ Le rapport entre le volume total (volume brut) de la carrière et le volume net extrait doit pouvoir être approché à partir d'exemples fouillés comme Châbles (ANDERSON, VILET, SERNEELS 1999) ou Mayen (MANGARTZ 2008).

³⁶ Soit 30 exemplaires, tous localisés en Narbonnaise et sur Lyon soit 68% pour cette aire (30 leucites /44).

(respectivement d'une exportation de 80 ou 150 moulins de style pompéien), une petite carrière exploitant 1 à 3 m³ par mois suffit à ravitailler la Gaule, la Bretagne et les Germanies réunies. Par ailleurs si, comme nous le suspectons (~~voir CHAP.IV-5~~), une partie des MSP en leucitite proviennent d'un autre centre qu'Orvieta, la part de la production de ce dernier serait encore moins massive.

meules trouvées pour 1 an	Taux de Recouvrement	Meules exportées par an	Volume m ³	Poids total tonnes	Carrière
0,162	1 / 5.000	810	167	389	11 x 5 m x 3 m prof
0,3		1500	309	720	11 x 9 m x 3 m prof.
0,162	1 / 10.000	1620	334	778	11 x 10 m x 3 m prof
0,3		3000	618	1440	15 x 10 m x 4 m prof.

TAB.B - Estimation du nombre annuel de MSP et du volume carriériste correspondant pour un recouvrement de 1 meule pour 5.000 ou 10.000 produites

50. Seul un taux de recouvrement nettement supérieur, de l'ordre de 1 meule retrouvée pour 5.000 ou pour 10.000 produites permettrait de considérer un volume de diffusion dont le caractère serait massif : 800 ou 1.600 meules acheminées chaque année pour un volume de 167 ou 334 m³ (TAB.B). Le fait que ce volume 5 à 10 fois plus important représenterait **annuellement** une carrière de 11 m sur 5 de large et 3 m de profondeur (800 meules soit 400 moulins) ou une carrière annuelle de 15 m sur 10 pour une profondeur de 4 m (3.000 meules soit 1.500 moulins), rend bien le caractère intense de la production dans ce cas de figure.

Toutefois ce volume serait divisé s'il émanait en partie d'un autre centre producteur situé dans la Province Magmatique Romaine. Enfin la leucitite ne représentant que 37% de ce volume, l'extraction correspondrait, dans l'hypothèse la plus forte (recouvrement de 1 pour 10.000) à une production de 555 couples de meules soit 228 m³ et 527 tonnes, soit une carrière de 11 m de long sur 7 de large et 3 m de profondeur.

51. La question est de savoir si le taux de recouvrement de 1/5.000 ou 1/10.000 en termes de meules est plus probable qu'un taux de 1 pour 1.000. La réponse est difficile même si certains développements estimatifs concernant le niveau d'équipement des populations en meules peuvent fournir des éclairages.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ANDERSON, VILLET, SERNEELS 1999 - ANDERSON *et al.* 2016 - ANDREAU 1995 - ANDREAU 2010 - ANTONELLI *et al.* 2001 - ARNAUD 1993 - BERNARD 2014 - BINACO 2010 - BIZZARRI 2005 - BLOCH 1947 - BRUSCHETTI 1999 - BUFFONE 1999 - CAMPOREALE 1985 - CAMPOREALE, MASCIONE 2010 - CARELLI, KRESTEN 1997 - CASTELLVI *et al.* 2011 - CLARKE 1998 - CONTICELLI 2013 - De VOS *et al.* 2011 - DOMERGUE *et al.* 1997 - DUPUY 2001 - FRANKEL 2003 - GIFFORD 2008 - GLUHAK, HOFMEISTER 2008, 2009, 2011 - GLUHAK, SCHWALL 2015 - GLUHAK *et al.* 2016 - HARTOCH 2015 - JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011 - LONGEPIERRE 2012 - LONGEPIERRE 2007 - LORENZONI *et al.* 2000b - MANGARTZ 2008 - MEES 2007 - MORLEY 2007 - PARKHOUSE 1997 - PEACOCK 1980 - PEACOCK 1986 - PEACOCK 2013 - PECCERILLO 2005 - POHL 2011 - RENZULLI *et al.* 2002 - SALAC 2013 - SANTI, RENZULLI 2006 - STOPPONI 2011 - UGOLINI 2010 - WILLIAMS, PEACOCK 2011 - WILLIAMS-THORPE, THORPE 1988b - WILLIAMS-THORPE, THORPE 1993 -

CHAPITRE .5

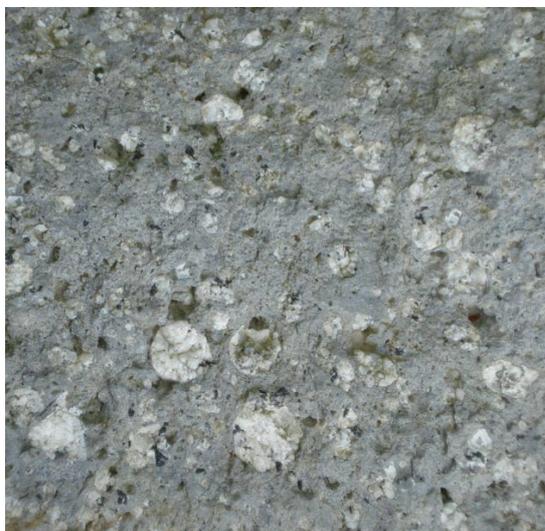
Le matériau : la Leucitite & la Province Magmatique Romaine

Les meules d'Orvieto ont été fabriquées dans une lave grise appelée leucitite. Il s'agit d'une pierre dure et vacuolaire (FIG.6-1) dont les éclats sont sonores et le fond microcristallin. Elle apparaît parsemée (FIG.6-2) de cristaux blancs (leucite), parfois de grande taille (1-1,5 cm occasionnellement plus gros encore). Analogues aux cuspides de nos molaires, ces cristaux confèrent à cette roche un caractère grenu (FIG.6-1). La taille nécessite des outils aciérés, les plans de frappe et les bulbes de percussion sont mal marqués sur les éclats, sans doute en raison des obstacles à la conduction régulière des ondes que constituent les vacuoles et les cristaux de leucite.

FIG.6-1 - Eclat de leucitite d'Orvieto (cassure ancienne, cl. ACH)



FIG.6-2 - Détail des cristaux de leucite (meule du site R.30, Orvieto, cl. ACH)



On présente brièvement ici à travers quelques clichés de détail, l'apparence à l'œil nu avec cristaux et vacuoles. La leucitite d'Orvieto correspond à une lave ultra-potassique, c'est à dire alcaline et pauvre en silice (en général autour de 50% sinon moins) appartenant à la famille des téphrites et phonolites. Cette leucitite présente des variations de faciès dues à la fois à la multiplicité des coulées dont la vitesse de progression et de refroidissement a dû varier, ainsi qu'à la position de l'échantillon dans la coulée.

Ainsi la base est souvent nettement plus vitreuse et noirâtre alors que le cœur de coulée est compact, microcristallin et gris.

FIG.6-3 – Vue rapprochée des vacuoles, dans une variété où les cristaux de leucite sont très petits (Orvieto, meule R.30-5, cl. ACH)



Certains faciès oculaires d'Orvieto présentent de très petits cristaux de leucite (FIG.6-3). Certains sont caractérisés par la présence bien visible de fins brins noirs (ca. 2 mm de long) qui correspondent à des cristaux de pyroxène. Ces différences

correspondent à des variations dans les conditions de formation et de refroidissement en profondeur et parfois à de légères variations dans la composition chimique de la lave. En effet le matériau des coulées n'a pas forcément la même date d'émission et ne provient pas toujours du même endroit dans la chambre magmatique. Malgré ces variations, qui peuvent avoir leur importance dans le provenancement d'une fabrication de meule, la leucitite d'Orvieto est remarquablement homogène à l'œil.

On verra toutefois plus loin qu'en raison de l'étendue des leucitites italiennes (de Bolsena au Vésuve) il est illusoire sinon dangereux d'attribuer à Orvieto une leucitite sans le support d'une analyse géochimique. Ultérieurement, dans le cadre du programme ORViAMM nous souhaitons traiter l'ensemble des analyses géochimiques réalisées à ce jour et mettre en évidence la pluralité de faciès des leucitites, peut-être même sur la zone d'Orvieto *lato sensu*. Dans l'attente, une grande prudence est nécessaire dans l'attribution géographique des meules ainsi que vraisemblablement un meilleur référencement des variations de la leucitite de la Province Magmatique Romaine au sein des 4 différents districts volcaniques (Vulsini, Vico, Sabatini, Colli Albani).

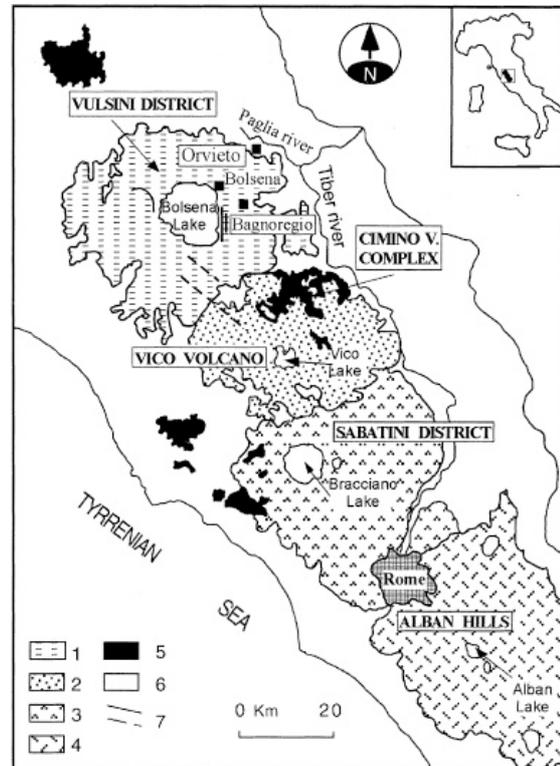


FIG.6-4 - Bordure de la Cuve à Pétrin R.30-2 (Orvieto, cl. ACH)

1. La RMP, les Districts Volcaniques et le complexe vulsinien

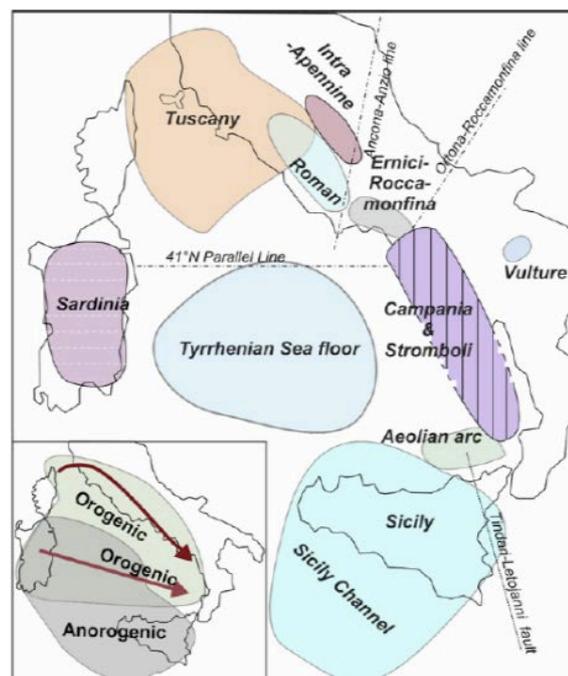
1. Le plateau constitué des coulées de lave dont le matériau a fait l'objet de la production de meules d'Orvieto appartient au complexe volcanique vulsinien. La surface de cet ensemble atteint 2.200 km² autour du lac de Bolsena, entre les rivières Paglia le long d'Orvieto et Flora plus vers la côte tyrrhénienne. Cet ensemble volcanique appartient (PECCERILLO 2005) avec ceux du lac de Vico, des Monts Sabatini et des Colli Albani, à la Province Magmatique de Rome¹ (FIG.6-5) où plusieurs zones majeures sont distinguées et dénommées « Districts volcaniques ».

FIG.6-5 – carte de la RMP et ses districts volcaniques (ANTONELLI *et al.* 2001 – depuis le Nord : 1- District volcanique de Vulsini 2- District de Vico 3- District des Monts Sabatini 4- Districts des Colli Albani ; en noir sont figurées les formations volcaniques non RMP : au Nord l'Amiata, au sein du D. de Vico le complexe du Cimino, en position littorale la Tolfa près de Viterbo)



2. Chronologiquement le complexe vulsinien s'est formé après la très ancienne Province Magmatique Toscane qui démarre il y a 14 MA et dont les éléments les plus connus sont le volcanisme de l'Elbe, l'île de Montecristo et le Mont Amiata, situé juste au Nord d'Orvieto. Certaines de ses manifestations volcaniques sont encore perceptibles au sein de l'ensemble vulsinien qui les a postérieurement englobés : c'est notamment le cas du Cimino et de Radicofani.

FIG.6-6 – les 10 Provinces magmatiques italiennes (PECCERILLO 2005) – la RMP est indiquée « Roman » au Sud de la Province Magmatique « Tuscany » - en bas les flèches indiquent le sens NW-SE de migration du volcanisme italien de 14 MA à l'actuel

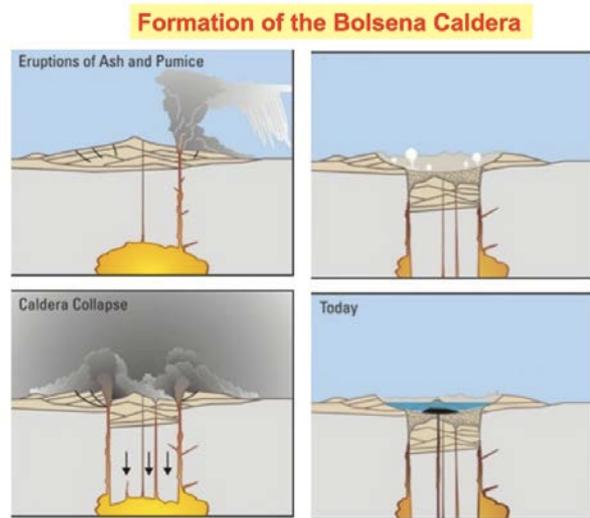


3. A la période où se forme la Province Magmatique Romaine (RMP), prend également place un volcanisme intra-Apennin dont l'une

¹ Ou R.M.P (anglais Roman Magmatic Province).

des manifestations est très proche d'Orvieto : San Venanzo au N-Est, en direction de Perugia et où il semble qu'on ait fabriqué des meules antiques. Mais si la venanzite, lave de San Venanzo, contient également de la leucite, elle diffère en plusieurs points de celle d'Orvieto (elle contient par exemple des cristaux d'olivine).

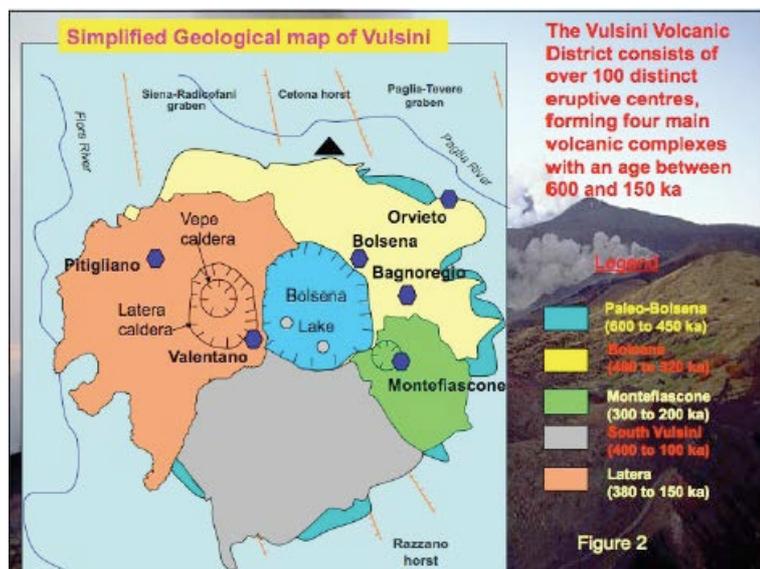
FIG.6-7 – Schéma de formation d'une caldera de type Bolsena (PECCERILLO 2008, Città del tufo FIG.5)



4. Entre -600.000 et -200.000 ans en effet, suite à des phases de distension tectonique avec ouverture de la mer tyrrhénienne durant la charnière Plio-Pleistocène, s'ouvre une période de volcanisme intense qui va marquer le revers Ouest de l'Italie depuis Orvieto jusqu'au Vésuve. Ce volcanisme donne lieu à la formation de la RMP. Il est marqué par toute une série de volcans, éteints depuis peu (pour l'essentiel au Paléolithique Moyen et les derniers au Magdalénien, vers 20 Ka) et égrenés du Nord (Bolsena) au Sud (Colli Albani). Cet ensemble qui associe des laves et des dépôts pyroclastiques (tufs) est franchi par le Tibre qui se faufile entre le District des Monts Sabatini (lac de Bracciano juste au Nord de Rome) et les Colli Albani juste au Sud, connues pour leur excellent vin blanc (le Frascati), la résidence du Pape (Castel Gandolfo) et le lac de Nemi où l'archéologie mussolinienne mit au jour 2 galères de parade dont le bois (et les roulements à billes) était conservé.

5. La RMP et en particulier le district Vulsinien comportent plusieurs calderas, dues à l'effondrement du toit de la chambre magmatique devenu trop mince et trop faillé (FIG.6-7). L'une d'elles accueille l'imposant lac de Bolsena au bord duquel Rome a transféré la ville après la chute et le bannissement de l'Orvieto étrusque en 264 aC (cf. CHAP.4). Le District de *Volsini* est composé de plusieurs appareils volcaniques et ensembles d'émissions (FIG.6-8). L'ensemble volcanique de Bolsena (en jaune sur la FIG.6-8) auquel appartient le secteur de Sugano-Orvieto, est daté d'une phase moyenne, entre 490 et 320 k.ans.

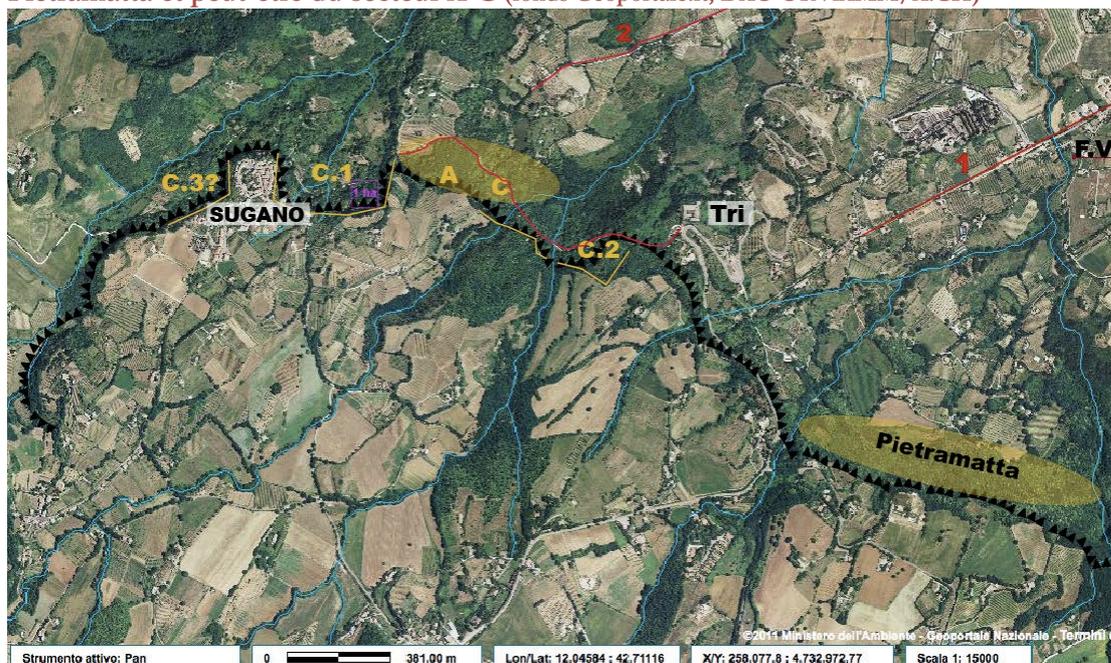
FIG.6-8 – Les 5 principaux ensembles volcaniques composant le District de Vulsini (PECCERILLO 2008, Città del tufo, FIG.2)



2. Type de volcanisme et de dépôts, aspects du gisement

6. Il s'agit d'un volcanisme principalement explosif (éruptions de type pliniennes et stromboliennes) qui, comme à Pompéi en 79, à partir de l'effondrement du nuage de projections et de gaz, donne lieu au dépôt de produits pyroclastiques qui s'agglomèrent par la suite (ignimbrites) avec plus ou moins de cohésion. La formation principale est ainsi constituée par les tufs volcaniques qui forment les plateformes de couleur ocre d'Orvieto, de Pitigliano ou de Bagnoregio. Les laves, marginales dans ce volcanisme, sont néanmoins importantes justement à l'Ouest d'Orvieto, dans le secteur des falaises de Sugano (FIG. 6-9). La coulée culmine à 450 m NGF tandis qu'au N-E la zone du sanctuaire fédéral étrusque se situe à environ 200 NGF.

FIG.6-9 – Les aplombs ou falaises de leucite entre Sugano, Trinità et Pietramatta. Orvieto est au Nord-est, peu après le site du sanctuaire étrusque et augustéen *Fanum Voltumnae* (F.V) disposé le long de la voie ancienne rectilinéaire 1 figurée en rouge – En jaune les principales zones d'extraction, sans doute médiévales à modernes à l'exception de Pietramatta et peut-être du secteur A-C (fonds Geoportale.it, DAO ORViAMM/A.CH) –



7. La composition géochimique des roches de la province magmatique romaine est caractérisée par un contenu élevé en potassium (K). Le minéral le plus typique est la leucite ($KAlSi_2O_6$), qui se présente sous forme de cristaux blancs aisément reconnaissables. En présence de Na la leucite peut évoluer en $NaAlSi_2O_6 + H_2O$ avec substitution du potassium par le sodium. Cette roche compacte et dure connaît néanmoins des états dégradés (cf. *infra* 14.-15.).

8. La lave dans laquelle sont façonnées les meules antiques d'Orvieto appartient à ces leucitites, elle est généralement dénommée phonolite à leucite. Il s'agit de coulées massives, formant de multiples langues et insérées dans des épisodes pyroclastiques. Le complexe comporte également quelques émissions basaltiques, c'est-à-dire des laves riches en silice. Cette

formation à leucite est décrite sous la terminologie λ et λ_1 dans la notice de la carte géologique d'Orvieto (JACOBACCI *et al.* 1970, 106-107). Globalement, les coulées de leucitite sont descendues depuis les appareils émetteurs situés vers le lac de Bolsena et en direction du Nord et de l'Est, notamment vers la zone basse où coule actuellement le Paglia. Ces émissions liquides semblent avoir été précédés de dépôts pyroclastiques mais ceux-ci sont surtout postérieurs, coiffant sur plusieurs dizaines de m d'épaisseur (FIG.6-10) les leucitites elles-mêmes surmontées d'un niveau de basalte.



FIG.6-10 – Stratification pyroclastique surmontant les leucitites et le basalte sur le plateau de Sugano (secteur San Lorenzo, cl. ACH)

9. La falaise qui se dresse à l'Ouest de la ville d'Orvieto, entre Sugano, Trinità et la pointe de Settecimini apparaît composée de nombreuses coulées, plus ou moins amples et parfois sous forme de langues sans doute venues se loger dans les creux formés le long des reliefs dus aux coulées précédentes. La géographie et la chronologie de ces coulées reste à établir, ce qui pourrait avoir son importance, la durée du phénomène (env. 400 ka) pouvant induire des variations chimiques ou de faciès. Cela rend d'ailleurs nécessaire une localisation précise (x, y, z par GPS) de tout prélèvement de terrain, souvent maillon faible des collectes d'échantillons de référence pour les études de caractérisation/provenance d'argiles ou de roches en archéologie².

10. Deux types de base de coulée ont pu être observés : la première (FIG.6-11) surmonte des dépôts de tufs pyroclastiques à caractère semble-t-il fluvial. La base de la lave est composée sur environ 1 m d'épaisseur d'un chaos de blocs correspondant à la croûte de refroidissement inférieure, au contact des terrains et qui a subi le poids et les mouvements dus à l'écoulement visqueux de la coulée. Ce niveau est surmonté d'une leucitite massive, peu fissurée qui correspond au cœur de la coulée, dont le refroidissement a été plus long en raison de l'isolation thermique due à la croûte. Ce schéma est classique dans les coulées de lave.



FIG.6-11 – Base d'une coulée de leucitite (Est du village de Sugano) - cl. ACH

² De premiers relevés topographiques GPS que nous avons effectués au second semestre 2013 avec T. Mattioli ont montré leur fiabilité malgré le couvert forestier.

11. Le second type de base de coulée (**FIG.6-12**) montre un niveau rouge correspondant à la vitrification des terrains sédimentaires (à priori des « crete » c'est à dire des marnes et sables sans doute d'âge pliocène) qui ont reçu le choc thermique de la lave. Il s'agit d'un horizon correspondant à la diffusion de la très forte chaleur à travers l'épaisseur des dépôts antérieurs, la vitrification ne constitue pas une couche mais se surimpose à la stratification antécédente. Ce niveau, fréquemment observé sous les coulées, est surmonté d'une épaisseur noirâtre constituée de lave vitreuse incorporant des impuretés et des cristaux de leucite. Il s'agit de la croûte inférieure de la coulée qui à cet endroit a subi un refroidissement brutal, sans doute en raison de la présence d'eau ou de forte humidité.

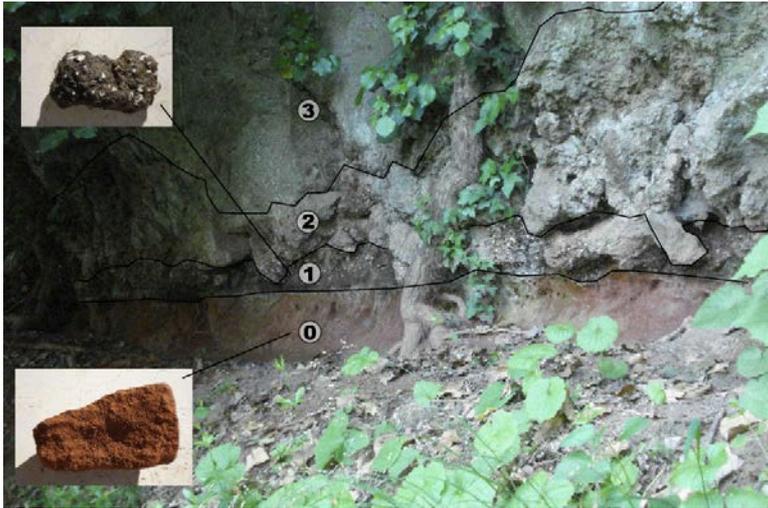


FIG.6-12 – Base vitrifiée d'une coulée de leucitite entre Sugano et Trinità
 (Est de l'échancrure C.2 pouvant correspondre à une carrière - cl. ACH)
 0- sol vitrifié ayant reçu la coulée
 1- épaisseur vitreuse noire à points blancs
 2- chaos de blocs de base de coulée
 3- cœur de coulée en leucitite massive

12. Le cœur des coulées montre une leucitite massive, le plus souvent finement fissurée en grosses masses verticales aux surfaces arrondies entre des arêtes toutefois anguleuses (**FIG.6-13 et 14**). Ces masses sont légèrement vrillées et en forme de gros obélisques qu'on ne peut absolument pas comparer à la morphologie des orgues basaltiques. La roche laisse peu de prise aux lichens et à la végétation. Elle semble toujours propre, au maximum apparaît-elle teintée (**FIG.6-15**) par des poussières provenant des tufs bruns qui coiffent le basalte supérieur et constituent le dernier étage du plateau de Canonica.

FIG.6-13 – Leucitite massive à l'Est de Sugano - cl. ACH

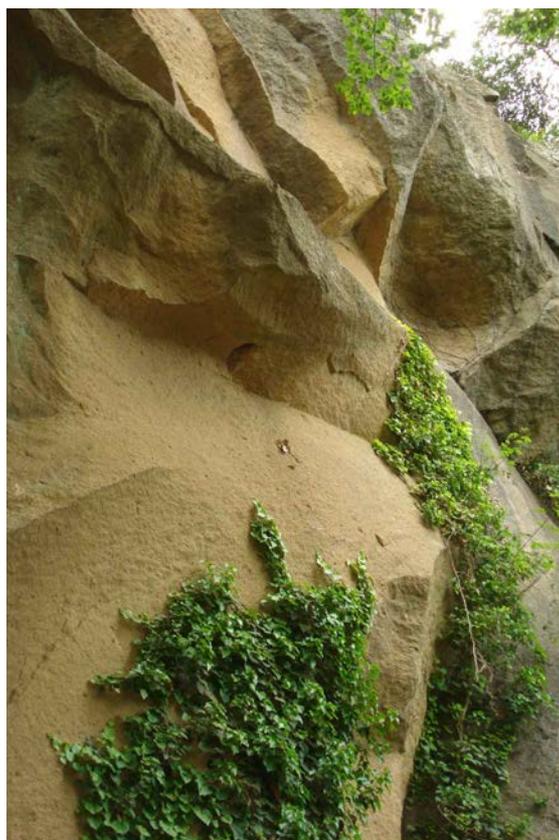


FIG.6-14A et 14B – Leucitite massive montrant ses grandes unités internes verticales hautes de plusieurs mètres (Est de Sugano, entre les carrières C2 et C1 - cl. ACH)



FIG.6-15 – Leucitite massive teintée, à l'Est de Sugano - cl. ACH

Cette falaise montre, en partie haute, une tendance à l'inclinaison voire à une certaine horizontalité des unités supérieures de la leucitite massive. De plus faible calibre qu'à l'ordinaire, celles-ci surmontent les unités verticales (en « obélisque ») du cœur de coulée que l'on distingue dans la moitié basse du cliché. Le caractère incliné et le plus faible calibre des unités supérieures pourraient correspondre à l'inclinaison de la lave en cours de refroidissement, sans doute non loin du toit de la coulée. Les arêtes vives associées aux formes conchoïdales de la leucitite massive ressortent bien sur cette vue.



13. Il est arrivé que de telles masses de leucitite compacte se soient détachées de la falaise et aient basculé en contrebas, sur les terrains mous des « crete ». Elles y constituent d'énormes blocs erratiques (FIG.6-16) qui semblent avoir parfois fait l'objet du débitage de meules (par exemple dans le domaine du gîte rural de La Chiusetta FIG.6-17).



FIG.6-16 – Bloc erratique échoué dans les clairières culturales du piémont de la zone de production meulière de Pietramatta (entre l'extrémité ouest de la voie rectilinéaire et la pointe de Settecamini, secteur haut de San Valentino - cl. ACH)

FIG.6-17 – Bloc erratique de La Chiusetta, possiblement exploité pour en tirer des meules (piémont agricole Nord, entre Sugano et le couvent de Trinità -cl. ACH)



14. La leucitite d'Orvieto peut, dans certaines conditions d'enfouissement que nous n'avons pas encore élucidées³, se dégrader en devenant légère et en se désagrégeant au simple toucher. Il est fréquent que l'on retrouve en cet état des fragments archéologiques de meules. Cependant cette dégradation n'a jamais été constatée sur les ébauches observables sur le terrain et à l'air libre. Nous avons également constaté, ainsi que

certains auteurs (LONGEPIERRE 2012, 114) qu'une proportion non négligeable (67%) des meules en leucitite trouvées en Narbonnaise s'effrite. Dans cet état la roche se trouve inapte à l'utilisation meulière. Il s'agit donc probablement d'une altération liée aux conditions du milieu, cependant très variables. Cet effritement pourrait ainsi également tenir à la nature de la roche. BUFFONE *et al.* 1999, 122 signale à plusieurs reprises l'altération des phénocristaux de leucite.



FIG.6-18 – leucitite altérée prise dans les tufs sommitaux (secteur de S. Lorenzo, sur le plateau en direction de Bolsena - Les cristaux de leucite semblent dissous, la roche s'effrite au toucher (cl. ACH)

³ Des phénomènes taphonomiques de circulation d'eau et de dissolution nous semblent probables.

15. La recherche devra déterminer s'il s'agit effectivement d'une altération post-dépositionnelle ou indépendante, et sur quels éléments elle porte (leucite semble-t-il mais l'éventualité d'une dégradation du ciment microcristallin doit également être considérée). Il conviendra également de déterminer si l'altération s'attache à un faciès particulier du gisement d'Orvieto ou bien s'il s'agit d'une leucitite étrangère au bassin orviétan.

3. Caractérisation & Provenance : rôle de la Pétrographie et de la Géochimie

16. Le matériel ultrapotassique du district vulsinien est très riche en Thorium, Uranium ou Rubidium (ce qui lui confère une radioactivité naturelle assez élevée). Autres éléments traces sont très présents : le Fluor et l'Arsenic. Indépendamment de ces éléments, les leucitites sont structurellement distinguées au sein des diverses laves par leur position sur le diagramme TAS (bilan entre les alcalis $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et la silice SiO_2 – par ex. SANTI, ANTONELLI 2003 - FIG.6-19). Cela permet notamment de les séparer chimiquement des autres laves massives alcalines que sont les téphrites ou encore des trachytes (basaltes ou Andésites sont encore plus éloignés des leucitites par leur richesse en silice et leur faible teneur en alcalis).

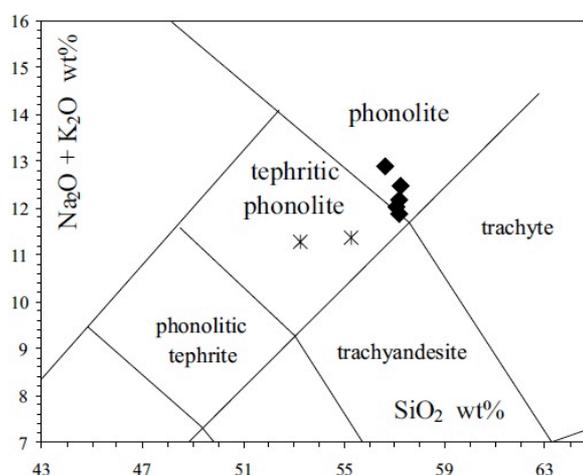


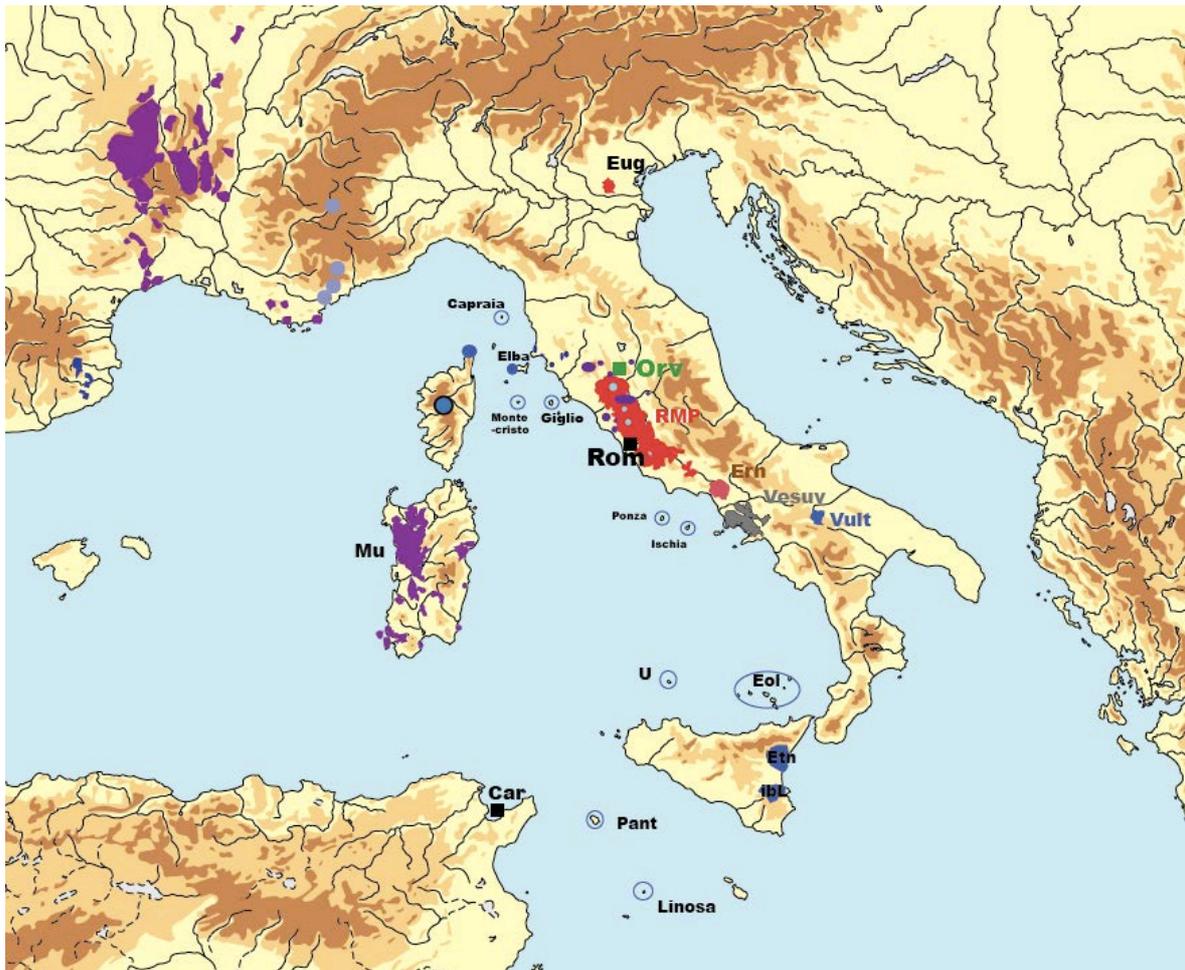
Fig. 3 – Total Alkali vs Silica (TAS) classification diagram (Le Bas *et al.*, 1986) for the volcanic rock artefacts of Ostia Antica. Symbols: full diamond = Pompeyan-style rotary millstones; asterisk = kneading-machines.

FIG.6-19 – diagramme TAS de la leucitite des meules pompéiennes d'Ostie (SANTI, ANTONELLI 2003)

17. L'une des questions de base posées à l'archéologie des moulins est de déterminer la provenance des meules, ceci dans le but d'approcher d'une part le nombre, la chronologie et l'importance relative des centres producteurs ou leur rôle dans la typologie et les évolutions techniques, d'autre part afin de définir les circuits commerciaux et l'intensité de diffusion des produits meuliers.

La roche doit donc être caractérisée pétrographiquement et/ou géochimiquement puis assignée à un ou plusieurs bassins d'origine. Pour l'Italie les principales zones volcaniques ayant donné lieu à des fabrications de meules sont (FIG.6-20) : les Colli Euganei (au Nord Est, près de Padoue), les 4 districts de la Province Magmatique Romaine (*supra* FIG.6-5), la Province Magmatique des Monts Ernici-Roccamonfina entre (les Colli Albani romains et le Vésuve), la Province Magmatique Vésuvienne, le Mont Vulture (au revers Sud de l'Apennin), la région de la Mulargia en Sardaigne, enfin en Sicile l'Etna et les Monts Hybléens ainsi que les îles éoliennes au Nord de l'Etna (Stromboli, Lipari etc.), celle d'Ustica et, au Sud en direction de la Tunisie, l'île de Pantelleria. Le jeu se complique du fait qu'une partie des meules, notamment en Sicile, peut provenir d'Égée (Nisyros, Aegina, Santorin etc.) sinon du Levant.

FIG.6-20 – Zones volcaniques d'Italie - carto. ACH)



18. Au sein des quelques 14 différentes zones volcaniques italiennes et du potentiel de provenance élargi que nous venons de voir, plusieurs ont pu fournir des meules dont la roche contient de la leucite (sans pour autant toujours être une leucitite) : la RMP, le Vésuve ainsi que le Vulture sans compter quelques autres formations⁴.

L'examen visuel voire la pétrographie en lame mince n'étant pas suffisants pour séparer les leucites de ces différentes aires de provenance, les études archéométriques visent à séparer les populations de meules en groupes selon leur spectre de composants principaux et surtout d'éléments trace (elles sont réalisées tantôt en spectrométrie, tantôt en diffraction RX).

19. En effet, et en résumé, la Pétrographie se concentre (à partir de lames minces en lumière polarisante) sur l'analyse des cristaux et de leur agencement, ce qui constitue une première approche chimique mais ne permet pas de définir la composition exacte d'une roche notamment en termes de proportions et dans le domaine des éléments traces. Ce travail revient à la **Géochimie** qui dose très précisément les composants majeurs (Silice, Alumine, etc.) et les traces, permettant ainsi de définir de quels secteurs magmatiques proviennent les composants (croûte terrestre, croûte océaniques, roches sédimentaires digérées par une subduction, différents magmas et fraction du manteau). La géochimie, à partir des années 1970 et des bouleversements dus à la confirmation de la théorie de la dérive des continents, a ainsi permet

⁴ La leucite peut être présente dans des laves le plus souvent nettement distinctes comme la Venanzite dont nous avons parlé plus haut (§ 3.), mais aussi les laves d'Olot en Catalogne, certaines laves d'Espagne méridionale ou du Massif Central.

de retracer la provenance structurale des composants magmatiques, le parcours des laves sinon le temps mis pour sa montée, temps et conditions de pression déterminant pour la formation de telle ou telle famille de cristaux. Géochimie et pétrographie s'avèrent complémentaires dans le domaine des laves, une même composition chimique pouvant d'ailleurs donner des formes cristallines différentes dont la genèse va pouvoir être expliquée par la pétrographie.

20. On reconnaît immédiatement l'analyse pétrographique car le plus souvent elle prend la forme (**FIG.6-21** *infra*) de clichés minéraux en lumière polarisée avec indication codée de certains cristaux (par ex. OL pour Olivine). L'analyse géochimique se présente quant à elle sous la forme d'un tableau de base présentant les quantités d'abord du registre des composants principaux (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5) puis de 12 à une trentaine d'éléments traces et terres rares présentés selon une liste-type (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Lu, Hf, Th, Cs, Eu, Pb)⁵. Ces éléments trace font ensuite l'objet de traitement quantitatifs à travers différents diagrammes recherchant les associations discriminantes caractérisant des laves et leur provenance à partir d'échantillons de roches prélevées sur le terrain. Un exemple très représentatif d'étude de caractérisation-provenancement combinant pétrographie et géochimie se trouve dans l'article de ANTONELLI *et al.* 2014 sur les laves et meules de Mulargia entre Sardaigne et Tunisie.

21. La combinaison Pétrographie/Géochimie est très généralement nécessaire pour caractériser des laves et les provenancer. Concernant les leucitites notamment italiennes, la géochimie est indispensable pour différencier les roches ou les meules provenant de l'aire Vésuvienne, de la zone Ernici-Roccamonfina au Nord de celle-ci, enfin de la RMP. Au sein de cette dernière la géochimie vise à permettre de rapporter une leucitite à l'un des 4 districts et peut sans doute être plus précise encore en désignant, au sein de ces vastes ensembles constitués dans des durées conséquentes, des corps laviques plus particuliers. Nous donnons ici un aperçu des acquis en la matière au cours des années 2000-2015⁶.

22. A l'œil nu la leucitite de la Province Romaine apparaît dure, grise à cristaux blanchâtres facettés. Peacock ajoute que l'on voit de loin ces phénocristaux qui distinguent nettement la roche d'Orvieto « aux caractéristiques inhabituelles » des autres « leucitophyres » (ancienne terminologie).

BUFFONE *et al.* 1999, publiant la première étude archéométrique des meules biconiques de Pompéi, décrit très clairement la leucitite d'Orvieto qui se place en limite des téphrites-phonolites (cf. diagr. TAS *supra* **FI G.6-19**). Sa texture est nettement porphyrique (cristaux pris dans une pâte). Les cristaux de leucite y sont bien développés et de taille courante de 0,5 à 1 cm. Ils sont parfois altérés (p.122). Au plan géochimique, cette formation se distingue nettement des autres leucitites ou laves à leucite (par ex. les trachy-andésites basaltiques de l'ensemble vésuvien), sa composition essentielle est la suivante : 57% de SiO_2 ; 21% Al_2O_3 ; 9% K_2O . En composants secondaires on a les pourcentages typiques suivants : 3% de Fer (la leucite n'étant cependant pas magnétique) ; 3% de NaO ; 3% de CaO ainsi que 0,4% d'oxydes de Titane et

⁵ La liste-type peut omettre des éléments absents ou non-dosés, les éléments traces varient en nombre selon les années de réalisation des analyses (coût augmentant selon le nombre d'éléments dosés) et selon la puissance de l'appareillage alors utilisé, ce qui peut poser des problèmes de comparabilité.

⁶ Certaines contradictions entre les dimensions ou la typologie des meules de style pompéien et leur attribution à Orvieto poussent à un examen critique des attributions et de la variabilité des leucitites à l'intérieur de la RMP. Dans cette démarche nous avons été conduit à dépouiller une quarantaine de publications géochimiques concernant les leucitites et les analyses de meules (ca. 400 prélèvements) ou d'échantillons de volcans (ca. 200 prélèvements). Ces analyses ont commencé en même temps sur ces deux types de sources, ceci autour de 1980 (CUNDARI 1979, PECCERILLO 1984 et CONTICELLI 1997 tous trois pour les laves des Monts Sabatini, FERLA 1984 et WILLIAMS-THORPE 1987 pour les meules en lave d'Olot et 1990 pour la cargaison meulière de l'épave d'El Sec).

0,3% de Magnésium⁷. Les éléments-trace les plus caractéristiques par leur valeur sont le Baryum (1800 ppm), le Strontium (2000 ppm), le Zirconium (680 ppm), le Césium (370 ppm) enfin la rareté du Nickel (3 ppm). Selon BUFFONE *et al.* l'aptitude meulière de la roche d'Orvieto provient du fait que les cristaux de leucite sont moins durs que le fond phonolitique, cette caractéristique lui paraissant remplacer celle des vacuoles.

23. **ANTONELLI *et al.* 2001** élargit la recherche à un large éventail de meules antiques du pourtour méditerranéen et compare également les leucitites de différentes régions italiennes, individualisant ainsi par l'étude géochimique les leucitites d'Orvieto au sein des 4 districts volcaniques de la Province Magmatique de Rome (district vulsinien, celui de Vico, celui des monts Sabatini au Nord de Rome et enfin le district des Colli Albani au Sud). Cette étude souligne la forte fréquence des éléments-traces que sont le Lanthane (200 ppm), le Thorium (136 à 220 ppm) et le Niobium (45 pm) ; elle sépare sur cette base géochimique les différentes leucitites des 4 districts. Se référant à MORELLI 1957, ANTONELLI 2001 pointe, plusieurs années avant la reprise des fouilles, l'importance du site de Pagliano « principal port ancien d'Orvieto » dans l'acheminement des meules par le Tibre.

24. **SANTI, ANTONELLI 2003** revient sur la phonolite d'Orvieto utilisée notamment pour les moulins d'Ostie, évoque leur utilisation comme cargaison ou ballast et aborde la question de sa diffusion. Les analyses portent sur un groupe de moulins (en phonolite leucitique : LP) et un de pétrins (en phonolite leucitique à tendance Téphrytique : LTP). Au passage il est souligné (suite aux développements des travaux durant les années 1980-2000 sur les relations entre les magmas et les zones tectoniques) que le fort ratio K_2O/Na_2O montre l'appartenance à la Province Magmatique de Rome et que les anomalies négatives sur les teneurs en Baryum, Niobium, Tantale, Phosphore et Titane sont la signature d'une formation des laves du district NW dans la zone de subduction. L'excellente abrasivité de ces phonolites à leucite est attribuée à l'abondance des feldspaths, voisins de la dureté du quartz (échelle CAI Cerchar Abrasivity Index ou coefficient d'abrasion San Fedelino probablement voisin de 0,54 –p.65). La roche d'Orvieto se sépare des LP des districts de Vico et des Monts Sabatini par une plus forte teneur en Strontium (Sr), Lanthane (La), Thorium (Th) et Baryum (Ba). Une production d'Orvieto est exclue pour les pétrins analysés, réalisés dans une LTP assez courante mais dont la provenance reste inconnue. Pour finir les auteurs fournissent une carte des meules en roche d'Orvieto identifiées en Italie.

en page suivante :

FIG.6-21 – Pétrographie en lame mince (ANTONELLI, LAZZARINI 2010)

A/ leucite d'Orvieto (Lct = leucite)

B/ meule de Djemila

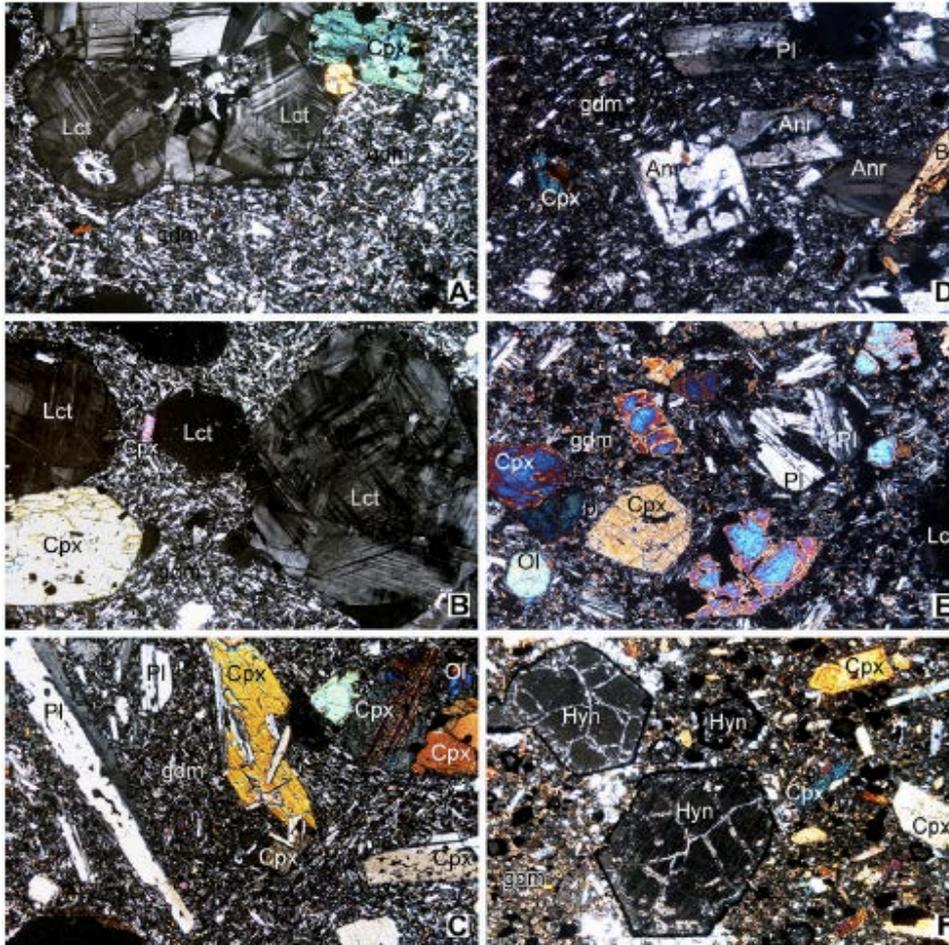
C/ mugéarite de l'Etna

D/ trachyte euganéenne de Monte Rosso (cpx = clinopyroxènes)

E/ trachy-andésite basaltique du Vésuve

F/ téphrite du Vulture avec hâüynite (Hyn)

⁷ Moyenne surprenante de 0,13% dans ANTONELLI 2003, 63.



25. Enfin l'article **ANTONELLI, LAZZARINI 2010** aborde, sur un plan richement géochimique, la commercialisation des meules dans l'Empire Romain et définit les 7 districts italiens ayant produit dans l'Antiquité des meules en pierre volcanique, à leucite ou non : les Natrachytes du volcanisme tertiaire des Collines Euganéennes à Padova, les leucitites du district vulsinien, les trachy-andésites basaltiques à leucite de l'ensemble Somma-Vesuvius, une lave insaturée (téphrite-foïdite) du Mont Vulture, une ignimbrite rhyolithique rougeâtre de Mulargia en Sardaigne, des roches basiques de l'Etna (hawaïtes, mugéarites et basaltes) enfin une lave de l'île sicilienne de Pantelleria.

Les auteurs indiquent une diffusion large et moyenne pour les produits du Vésuve et de Sardaigne, un rayon plus moyen à local pour les meules Euganéennes⁸ ou d'Orvieto et tout à fait local pour le Vulture, tout en précisant que les meules en roche d'Orvieto sont les plus diffusées (p. 2084). Ils s'interrogent sur cette prééminence que les seules qualités techniques et la liaison au Tibre ne leur paraissent pas suffisantes à expliquer, les meules d'Orvieto dominant souvent les produits locaux dans des régions de production telles que le Vésuve. Ils invoquent des raisons historiques, symboliques ou le renom, explications qui semblent tourner autour du mythe plinien des origines des meules rotatives. On pourrait tout autant s'interroger sur l'implication éventuelle de grandes familles ou de l'Empire dans cette suprématie. L'article fournit une nouvelle carte de diffusion des meules en roche d'Orvieto, désormais enrichie pour l'Espagne, la Cyrénaïque et l'Istrie.

⁸ La récente thèse d'Arturo ZARA soutenue à l'Université de Padoue (ZARA 2018) et concernant les productions en trachyte Euganéenne fait le point sur la diffusion de ces laves employées comme matériau pour la construction, y compris monumentale, la voirie et les meules.

26. Pour la région vésuvienne, dont les meules sont de diffusion régionale, les auteurs insistent sur l'importance de la zone extractive de Castello di Cisterna que l'archéométrie permet d'individualiser. Pour la Sardaigne ils soulignent la large répartition africaine et occidentale des meules pompéiennes en pierre de Mulargia⁹, souvent fortement concurrentes des meules régionales, ainsi que le rôle possiblement redistributeur de Carthage, à l'instar d'Ostie pour les produits d'Orvieto. Les roches du Vulture sont quant à elles très spécifiques en raison de la fréquence des cristaux d'haüynite.

Cet article paru en 2010 souhaitait montrer que la base de données acquise depuis la fin des années 1980 permet, en couplant géochimie et pétrographie, d'assigner une provenance à l'essentiel des meules de type pompéien. Celles en leucitite d'Orvieto apparaissent à la fois bien singularisées et très homogènes (à tel point que les archéomètres utilisent une composition moyenne pour Orvieto). Depuis Peacock, aucune autre source pour ces LP n'est évoquée en dehors de celle de la coulée de Sugano-Buon Viaggio : s'il est vrai qu'aucun autre affleurement n'a été échantillonné, aucun sous-faciès minéralogique ou géochimique n'a non plus été défini à ce jour au sein des meules du groupe Orvieto. Cependant, ~~nous y reviendrons en Synthèse~~, on peut -sur des bases dimensionnelles, typologiques et épigraphiques- s'interroger sur l'unicité d'Orvieto en tant que centre producteur, sur la possibilité qu'existent plusieurs faciès de leucitite au sein du District Vulsinien, et sur l'éventuelle existence d'une seconde zone de production meulière qui soit distincte d'Orvieto.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ANTONELLI *et al.* 2001 - ANTONELLI *et al.* 2014 - ANTONELLI, LAZZARINI 2010 - BUFFONE *et al.* 1999 - CONTICELLI 1997 - CUNDARI 1979 - FERLA 1984 - JACOBACCI *et al.* 1970 - LONGEPIERRE 2012 - MORELLI 1957 – PECCERILLO, POLI, TOLOMEO 1984 - PECCERILLO 2005 – PECCERILLO 2008 – SANTI *et al.* 2003 - WILLIAMS-THORPE 1987 - WILLIAMS-THORPE 1990 – ZARA 2018 -

⁹ Les auteurs (ANTONELLI *et al.* 2014) ont conduit une première étude fort intéressante sur les meules en ignimbrite rougeâtre de la Mulargia.

CHAPITRE .6

Corpus des Meules d'Orvieto & Corpus de Comparaison

_____ Le fond de notre travail repose sur la constitution d'un corpus d'environ 250 meules d'Orvieto dont 209 observées et enregistrées sur place au cours de 11 missions de terrain intervenues de Février 2013 à août 2018.

_____ Ce corpus nécessitait, pour ne pas être cantonné à une simple voire surdéveloppée description, de se voir confronté à un Corpus de Comparaison afin que les productions orviétanes puissent être sinon comprises du moins interrogées et situées à la fois dans des séries, dans des géographies ainsi que dans un contexte : celui de l'apparition du moulin rotatif en Méditerranée, celui aussi des techniques et modèles développés lors de la diffusion en Europe continentale et en Italie de cette machine de l'Antiquité.

_____ Il s'agissait en particulier de disposer de référentiels concernant les principaux paramètres meuliers que sont le Diamètre, la Hauteur, l'Angulation ou Conicité, les stades de Façonnage, le degré d'Usure, le taux de Perforation de l'œil des meules passives (*Metae*), ceci afin de situer les meules d'Orvieto à partir de leur traits techniques et morphologiques.

_____ Le corpus de comparaison (2.616 MRB et 261 MSP¹ soit 2.877 meules) nous est également apparu indispensable pour développer deux approches plus spécifiques : la métrologie des meules et leurs caractéristiques à neuf.

Nous étions préalablement sensibilisé à la métrologie et aux normes des produits manufacturés antiques². Le début de notre travail a rapidement confirmé

¹ MSP : Meules de Style Pompéien ; appellation que reprise de D.P. S. PEACOCK 2014 (*Pompeian-style millstones*) et sigle proposé dans A. BUONOPANE, A. CHARTRAIN, M. GUALTIERI - *Orvieto, centre producteur de meules dans l'Antiquité : premières données issues du programme ORV/iAMM*, à paraître dans Mélanges offerts à M. Feugère, Mergoïl éditions, 2019.

² CHARTRAIN, FLOTTÉ, HENRI 2013 - Tempo, tecniche, approvvigionamenti : un tentativo di analisi archeologica dell'uso dei materiali lapidei nella cittadina gallo-romana di Argentomagus (Francia). *Archeologia dell'Architettura*, XVIII, Firenze, 173-191.

le potentiel que recèle l'approche métrologique pour éclairer de façon importante le fait meulier antique et certaines de ses spatialités ou pour dégager des voies de diffusion.

Par ailleurs, comme cela est également le cas en céramologie, l'avantage des ateliers ou centres producteurs réside dans le fait que leur assemblage, parce qu'il est composé de rebuts et d'exemplaires achevés ou quasi-achevés, permet de connaître les caractéristiques à neuf des objets produits en série. Les ateliers constituent ainsi une voie d'accès privilégiée aux Normes ou aux Standards de fabrication. De ce fait ils permettent également de mesurer l'Usure des objets utilisés et rejetés. Ces assemblages d'atelier, auxquels appartient le corpus d'Orvieto, sont particulièrement précieux s'agissant des meules, un objet que l'on retrouve le plus souvent en fin de trajectoire fonctionnelle et brisé, avec une morphologie alors particulièrement affectée par l'usure (ainsi les Hauteurs, la Largeur de l'Oeillard voire certains Diamètres).

Le présent Chapitre aborde les conditions d'acquisition du Corpus d'Orvieto ainsi que sa structure et quelques uns de ses aspects (spatialité, fragmentation et biais, aux de conservation, épigraphie). Le Corpus de Comparaison y est présenté à travers la place qu'y occupent les ateliers, sa distribution spatiale, sa chronologie ou encore les variations quantitatives qui affectent les principaux paramètres (Diamètres, Conicité, Diamètre et Perforation des œils des *Metae*, Poids, Chronologie).

FIG.7-1 - Table des 29 meules localisées hors jardins à Orvieto

1. Le Corpus des Meules d'Orvieto

Conditions d'acquisition

1. Plusieurs de nos missions ont été financées par l'UMR 7055 du CNRS et l'ED.395 de l'Université Paris-Nanterre. Aucune meule ou fragment n'a été prélevé ou déposé en magasin archéologique ou au Museo Archeologico Nazionale di Orvieto, ce qui n'aurait d'ailleurs pas été possible à la fois eu égard à leur poids (de 30 à plus de 1.000 kg) et légalement. A l'exception de 29 individus (soit 9% -(FIG.7-1), observés dans les fourrés du pied de falaise ou bien enchâssés dans des murs ou la voirie³, ou en 2 cas exposés en musée (FIG.7-2), l'essentiel des meules se trouve dans les jardins privés. Elles y sont principalement employées comme support de coupes à fleurs (FIG.7-3). Dans ce qu'il faut bien appeler un conservatoire populaire,

Situation des Meules d'Orvieto sur le terrain				
Q.	REF.	zone	Type	
FOURRÉS & Sous-Bois				
1	R.15	carrières C2-C1	POMP	
1	R.6	Tagliata	POMP	
2	-	Ruisseau Nord	POMP	
3	R.5	Pietramatta SL	POMP	
8	1	R.44	cascade Nord Baia	POMP
VOIRIE				
1	1	R.24	Chiusetta	MRB
MUSÉES				
1	R.25	Opera Duomo	POMP	
2	1	R.38	M.A.N.O.tesoro FV	POMP
MURS				
1	R.26-21	muro pollaio	INDET.	
1	R.26-6	muro a secco	MRB	
1	R.28	casa quadrivio sopra Chiesa Armeni	POMP. (?)	
3	R.40-3	facciata casa	POMP. (?)	
	R.40-4		POMP. (?)	
	R.40-5		POMP. (?)	
1	R.43-1	muro casa	POMP. (?)	
4	R.45	muro a secco vicino Roncella	MRB	
5	R.11	Trinità (BINACO 2010)	INDET.	
1	R.53	Sugano, via Castello	INDET.	
18	1	R.60	canonica (Binaco 2010)	INDET.
Total 29 (soit 9% sur 313)				
6 MRB				
10 POMP				
5 POMP. Probable				
8 Indéterminé				

³ dans les fourrés : R.17, R. ; dans les murs : R. (voir ANNEXE 6) ;

l'état de conservation est excellent et bien souvent nettement supérieur à celui des exemplaires exposés aux intempéries dans le parc archéologique de la Nécropole Crocifisso del Tufo.

FIG.7-2 – Ebauche du *Catillus* R.25 (modèle géant, H. 110 cm) conservé sous la rampe du *Museo Opera del Duomo*, à côté de la cathédrale

2. L'accès à ces collections a nécessité quelques sésames⁴ et se voit grandement favorisé lorsque, connaissant l'Italie et sa langue, on se trouve rapidement accompagné et introduit, une bouteille de bon vin français venant en quelque occasion conclure, en manifestant une gratitude aussi sincère que méritée. De même la remise quelques mois plus tard à l'habitant d'une note illustrée de photos expliquant la collection. La particularité attachée à ce corpus est qu'en cas d'oubli d'une prise de dimension, d'examen d'une base de meule ou de photos trop comptées, il n'est souvent pas aisé voire pas possible de retourner aux objets⁵.



FIG.7-3 – Quatre meules fleuries et une pomme sur le site R.40

3. Le corpus ainsi constitué, et qui se range parmi les plus fournis d'Europe en matière de meules rotatives basses et de style pompéien⁶, regroupe pour 63 points de découverte et 313 meules ou blocs ouvragés dont 242 meules enregistrées. Par enregistré on entend les objets macrolithiques ayant été positionnés, photographiés et dont les paramètres mesurés vont outre les simples Diamètre et la Hauteur, incluant ainsi au minimum la Conicité ou la profondeur de cône. Les dimensions sont prises à 0,5 cm près.



4. On donne ici (FIG.7-4) la liste des sites enregistrés (la nomenclature R.1 à R.63 provient de l'italien « Rinvenimento » qui signifie « Découverte »). Les sites ainsi individualisés ne comportent pas tous des meules. Certains en effet correspondent à des faits carriers (fronts, plateformes, monticules d'éclats, galeries d'exploration, blocs à empreintes de coin, chaos de

⁴ On ne remerciera jamais assez nos collègues et amis Paolo BINACO et Claudio BIZZARRI dont l'insertion locale a été déterminante, autant que l'ont été leur aide et leur disponibilité, aussi efficaces que désintéressées.

⁵ Nous n'avons essayé qu'un refus (R.33), les habitants ayant été très accueillants, parfois après plusieurs approches et autorisation finale donnée par le chef de famille, la crainte de l'Administration a été exprimée assez régulièrement ; les difficultés de retour sur les objets viennent de la nécessité parfois de réitérer ces démarches, mais le plus souvent de l'absence des propriétaires lors de nos missions (comme pour R.19 et plus généralement Sugano) ou au long de la journée ; nous avons aussi plusieurs fois renoncé à déranger à nouveau des familles chez qui on a passé 1 voire 2 ou 3 journées à être présent de longues heures dans les jardins et les cours, à photographier, à déposer-reposer les fleurs, à retourner les « sassi ».

⁶ Plus de 300 meules au Mont Beuvray, inédites ; environ 200 à Ensérune, inventoriées par nos soins et présentées dans ce travail ; 212 sur le site de Poultry à Londres (WILLIAMS, PEACOCK) ; 134 au Musée d'Avenches en Suisse (ANDERSON et al.) ; 106 sur la fouille de Châbles publiée par ANDERSON, CASTELLA *et al.* 2003 ; 171 pour les villes romaines du Nord de la France publiées par PICAVET, FRONTEAU, BOYER 2011 ; 129 dans l'épave d'Ila Pedrosa (thèse de VIVAR LOMBARTE 2013) ; 98 pour Toulouse protohistorique en 2006 (mémoire E. THOMAS) ; plus de 112 dans le Trentin italien (DONNER 1992) ; plus d'une centaine de meules rotatives dont 41 de Pech Maho dans la thèse de PORTILLO 2006.

blocs témoignant d'une activité extractive etc.). La liste présente également 7 doublons avérés ou possibles, car lors des missions ORViAMM de Juin et Décembre 2012 nous n'étions pas munis des photos satellitaires issues du *Geoportale Nazionale* italien et ces premiers emplacements mal localisés ont été ensuite identifiés à d'autres, enregistrés entre temps. Enfin il est parfois difficile d'identifier les meules rapportées dans des publications⁷ ou de revoir les objets pour leur enregistrement précis (notamment concernant le village de Sugano ou le site R.33).

FIG. 7-4 (page -1 à -5) : TABLE des SITES de DÉCOUVERTE à Orvieto

SITES & DÉCOUVERTES MEULIÈRES d'Orvieto							-1
SITE n°	Localisation, Zone	Type, Notes, Particularités	Types de Meules	QUANTITÉ	PHOTO emblématique	NB	
R.1	BINACO 1 2012, près R.40	Fourré - Ebauches & meules, blocs architectoniques	coniques ca. 60 cm, cf. Pagliano	ca. 3			
R.2	CASA dalle METAE	sur le plateau, 6 à 9 grandes Metae sorties localement	Ebauches Metae POMP 80 cm	6 à 9			
R.3	Quadrivio Tamburino	grande meule plate type moderne, forme une table	plate, œil large : MOD + Pagliano?	1		Fleurs	
R.4	stradina Sud Tamburino	2 ébauches le long du mur de la maison	1 Meta MRB + 1 Cat. POMP	2		Fleurs	
R.5	bas de falaise Pietramatta	Ebauches en sous-bois, au Nord de la maison au chien, signalées par Samuel	POMP ?	3			
R.6	Tagliata, Cava C.4	Carrière signalée par P. Binaco, débouché supérieur après le dernier lacet de la route S.71	Ebauche Meta POMP	1			
R.7	Cascade Settecami	Nombreuses et volumineuses halde d'éclats, près de la cascade, au voisinage du basalte, mussolinien probable	1 Ebauche de type IMPASTATRICE	1			
R.8	Haut de la voie rectilinéaire	maison avec grand avant-jardin et meules POMP	+ 3 Catilli POMP	+ 3		= R.13	
R.9	maisons & chemin	au bas des premières cultures au pied de l'abrupt de Pietramatta		nombreuses		= R.26 + R.45	
R.10 majeur	maison Est Pietramatta	dans jardin, bordure de maison et cour interne	MRB et POMP	nombreuses		Fleurs	
SITES & DÉCOUVERTES MEULIÈRES d'Orvieto							-2
SITE n°	Localisation, Zone	Type, Notes, Particularités	Types de Meules	QUANTITÉ	PHOTO emblématique	NB	
R.11	Convento di Trinità	Meules signalées par P. BINACO mais inaccessibles	au moins MRB	?			
R.12	Trinità/ Trattoria Torricella	conduit hydraulique dit aequeduc (MED?) le long du chemin forestier au départ de la Trattoria		0			
R.13 majeur	Haut de la voie rectilinéaire	Provenance meules POMP publiées PEACOCK lors maison en construction (1978 ou 79); 2è maison construite 2014-15 visite Binaco/Chartrain	MRB et POMP + 1 Olynthe	+ 10		Fleurs	
R.14	San Valentino	maison avec grand jardin et beaucoup de meules	POMP	nombreuses		= R.10	
R.15	Fossé sec N/S, recoupe un amas d'éclats	côté Sud du chemin forestier blanc, face au début de la Chiusetta et avant son entrée (relevé Mattioli)	Ebauche POMP	1			
R.16 majeur	Agriturismo La Chiusetta	collection d'ébauches le long de la maison principale, dans les jardins arrière et près d'un bloc erratique	MRB et POMP	nombreuses		Fleurs	
R.17	Secteur carrière C2	front, bloc à coins et halde coupée devant une galerie	gros blocs dont 1 à marques de coins mussolinien probable	0			
R.18	Village de Sugano	divers meules et éclats dans les murs ou sur les murs	surtout des MRB	ca. 15		MUR	
R.19	Village de Sugano	Meules dans le jardin d'une villa via Scalette	2 POMP dont 1 beau Catillus	2		Fleurs	
R.20	fourche de chemins, contre-bas NNW de Sugano	Gros bloc avec ligne de logements de coin en arête sup.	mussolinien probable	0			
R.21	petite rue SW Tamburino	un peu plus haut sur la Voie rectilinéaire que l'Eglis aban	1 Cat. type POMP (non biconique?)	1		Fleurs	
R.22	ORVIETO, Corso Cavour	avant-jardin Palazzina 326-326A	petites meules creuses renversées (metae) + 1 vasque ou gde Meta	ca. 5		Fleurs	
R.23	Entre Sugano et Trinità	Carrière C de Samuel					

⁷ L'inventaire BINACO 2010 est cependant décisif pour documenter les meules présentes sur le plateau de Bolsena et dans le village de Sugano où elles sont difficiles d'accès.

SITES & DÉCOUVERTES MEULIÈRES d'Orvieto						-3
SITE n°	Localisation, Zone	Type, Notes, Particularités	Types de Meules	QUANTITÉ	PHOTO emblématique	NB
R.24	chemin forestier Nord	passé l'entrée de La Chiusetta (dir. Sugano)	MRB face dans surface roulement	1		
R.25	Orvieto, Museo Opera Duom	Ebauche de Catillus Pompéien modèle géant (H.110 cm)	POMP	1		
R.26 majeur	Pietramatta, milieu du chemin, S.Valentino	maison avec nombreuses ébauches et meules Pompéiennes parfois de petit gabarit	POMP, rares MRB, 1 bloc brut de type contrepoids presseoir	nombreuses		Fleurs
R.27	fin petite rue SW Tamburino	jardin avec contre mur maison + citronnier 1 petite meta creuse renversée (MRB)		1		Fleurs
R.28	Quadrivio Vecchia Chiesa degli Armeni,	meule dans le mur angle 1er étage	POMP probable	1		Mur
R.29	ORVIETO, Corso Cavour 338	dans le jardin de l'entrée 2 Ebauches POMPEIENNES	POMP : 1 Catillus fruste et 1 Meta	2		
R.30 majeur	Crocifisso del Tufo	3 séries de meules provenant du site fluvial de La Svolta (vers 1990, 2013 et 2018) et déposé dans le Parc archéologique de la nécropole étrusque	POMP : rares CAT., Metae, IMPAST.	ca. 30		fluviales
R.31	SUGANO, rue latérale S. Roco	petite série de meules cassées, dont 1 borne (?)	MRB et POMP	ca. 10		sur 2 murs
R.32	Est Carrière C.2	chaos de très gros blocs dans la clairière clôturée au pied de la base vitrifiée de coulée et le long du chemin forestier	pas de meules observées	0		
R.33	fourche de petite route au S-E de Sugano; jardin; propriétaire âgé mal disposé; grandes meules (plates?)	POMP possibles		ca. 8		pas de doc.
R.34	Gabaletta, cour goudronnée commune arrière du bar-tabac angle Voie rectiligne et S.71 - Ebauche tambour			1		souvent déplacé
R.35	secteur de la Casemate et d'un vieux poste électrique juste à l'W de Trinità,	zone sans doute mussolinienne avec beaucoup d'éclats de toutes taille, limitée à l'Est par un fossé - peut-être secteur de la carrière de meules (MRB) photographiée par Peacock (ca.1979) le bois ayant repoussé depuis lors		0		

SITE n°	Localisation, Zone	Type, Notes, Particularités	Types de Meules	QUANTITÉ	PHOTO emblématique	-4 NB
R.36	avant entrée de La Chiusetta, après il Laghetto : fossé sec entaillant un monticule d'éclat sur paléosol, rive Sud du chemin forestier, Est de R.15-R.17; pas de meule observée			0		
R.37	Tamburino n.57-59 après la fin de la Voie rectiligne et avant son virage vers le NW et la S.71, ruisseaux, possible ancien moulin		4 Ebauches Catilli POMP dont 1 modèle R.21 ?	4		
R.38	Museo Archeologico Nazionale di Orvieto : réceptacle du trésor Augustéen du fanum Voltumnae : Meta POMP			1		
R.39	S. Valentino, entrée R.40	blocs et ébauches meulières le long du chemin				
R.40 majeur	S. Valentino, Est voie rectiligne	grands jardins avec allée d'accès, nombreuses ébauches et meules	BOBINES, POMP, IMPASTATRICE, grandes Metae, cylindre, poids	nombreuses		Mur Fleurs
R.41	descente d'accès à R.40	talus droit de la descente, remué récemment	demi-meta MRB cône fini	1		
R.42	Pietramatta Ouest : après traversée du dépôt Etse de construction puis passage du ruisseau, chemin montant à droite vers la falaise de leucite, délaissant à gauche le virage vers R.26		blocs, éclats, haldes ? <i>site marquage blocs à tailler</i>	incertaines		à explorer
R.43 majeur	S. Valentino, piémont bas : maison simple avec série de Meules et Ebauches					Fleurs Mur
R.44	après R.10, fourche chemin forestier proche de la cascade du Fosso Montacchione : grande Ebauche (moussue) de Catillus POMP			1		sous-bois
R.45	Pietramatta, rive Sud du chemin forestier, entre R.26 et R.5 : 1 meule dans mur terrasse près abreuvoir, plus à l'Est sur le même coté, à une résurgence : 3 MRB superposées (face pleine)		MRB	4		chemin MUR
R.46	concentration de MRB (ébauches) photographiée par Peacock à localiser : vers Trinità/ R.35/Est C.1 ?			nombreuses		sous-bois
R.47	Sferracavallo, Via Adige	1 Ebauche de Catillus POMP dans le jardin sur rue	CAT. POMP (non enregistré)	1		Fleurs
R.48	Tamburino, début de la voie rectilinéaire, après le Bar-tabac (Obélix) du virage : quelques meules ou ébauches dans les cours (non enregistrées)					
R.49	Tamburino, voie rectilinéaire : fouille Bruschetti voie et urbanisme ca.Campo della Fiera; 2 POMP. + Gde MRB (dépôt Crocefisso Tufo)			3		

SITE n°	Localisation, Zone	Type, Notes, Particularités	Types de Meules	QUANTITÉ	PHOTO emblématique	-5 NB
R.50	SUGANO, via S. Rocco	BINACO 2010, p. 32 & FIG 16-17	2 POMP : 1 Meta D.34, 1 CAT D.44	2		
R.51	MUSILEO	BINACO 2010, p. 31 & FIG 15 - proveniente da Trinità	1/2 CAT POMP D.33	1		
R.52	TRAVEGLIA	vicino a centrale elettrica abbandonata	2 Ebauches : 1 Meta, 1 CAT (POMP?)	2		= R.35 ?
R.53	SUGANO (BINACO 2010)	Orto via S. Marco	3 Metae (MRB probables)	3		
		Via della Chiesa, 6 - giardino	1 MRB D.60 H.17 "basaltica medievale"	1		
		Orto a Sud di S. Rocco	1 petit CAT (POMP?) D.38 H. +33	1		
		Incroccio Via Scalette / Via Castello; FIG.8 p. 13	2 Ebauches MRB D.36 H.18 / D.36.H.20	2		
			1 MRB ou Meta POMP D.36 dans mur	1		Mur
				8		
R.54	SUGANO, via Scalette	BINACO 2010, p. 23 & FIG 9-10	2 Ebauch. CAT.POMP H > 1 m, 1 collarino	2		= R.19
			1 Meta, 1 MRB	2		
				4		
R.55	SS.71 km 23	BINACO 2010, p.34	2 MRB (D.33 H.21/ D.28 H. 18)	2		possible = R.13 mais l'Olinto semble ici plus petite
			1 Catillus (POMP?) D.25 H+18	1		
			1 Meta (D.29 H.35)	1		
			1 OLINTO 30 x 34,5 x H.15	1		
				5		
R.56	300 m Est di OSTERIA NUOVA	BINACO 2010, p.35	6 Metae H.55 à 90 => POMP	6		= R.2
R.57	VILLANOVA, n. 46B strada per Canonica e Sugano	BINACO 2010, p.35-36 FIG.20	1 "Mortaio" (Cat.MRB ?) D. 32 H.25	1		
			1 Meta D.39 H.42 => POMP possible	1		
			1 Meta D.74 H.123 => POMP	1		
				3		
R.58	GRATICELLO	BINACO, 2010 p. 36	1 fragment Catillus D.30 H.ca 50	1		
R.59	CERCHIARA	BINACO, 2010 p. 36	2 petits Catilli D. ca 30 1 Meta POMP H >1m	3		
R.60	CANONICA, 500 m a Nord	BINACO, 2010 p. 36	1 meule ca. 65 cm H. ou D.	1		Mur
R.61	Le POGGETTE, 200 m a Nord	BINACO, 2010 p. 37-38	1 meule (plate ?) D. 81 H.29 = MOD?	1		
			1 Ebauche CAT. POMP D. 77 H.50	1		
			1 fragment Catillus D. 33 H.+17 (MRB?)	1		
				3		
R.62	L'AIOIA, 375 m a E-SE	BINACO 2010, p.34	4 Ebauches de metae (POMP?)	4		= R.33 probable
			2 meul. "rondes" (Plates MOD. probables)	2		
				6		
R.63	Pian ROSATO	nel cortile del casale, BINACO, 2010 p. 27	1 Catillus tPOMP probable)	1		

Structure du Corpus

5. En groupes de une à une trentaine, les meules se trouvent dans les jardins d'Orvieto où elles sont utilisées comme porte-pot pour des fleurs (généralement rouges). Elles sont appelées « *i sassi* » (les pierres, les cailloux, cf. le latin *saxa*). Elles forment un véritable musée populaire à l'air libre. En général les gens ne savent pas qu'il s'agit de meules ou qu'elles datent de l'Antiquité. En l'état actuel, 308 éléments en pierre travaillée dont 296 meules soit 96% (FIG.7-6) ont été recensés et 235 (soit 76%) enregistrés de manière plus ou moins détaillée⁸. Sur 258 éléments attribuables, la production montre 6 séries meulières :

1. Moulins bas (MRB)	90	29 %
2. Meules de type Pompéien	139	45 %
3. Cuves à pétrin	5	2 %
4. Meules en bobine	10	3 %
5. Trémie d'Olythe ⁹	2	1 %
6. Meules de typologie et de chronologie variées	12	4 %

⁸ La prospection des sites et l'enregistrement des meules ont été souvent réalisés avec Paolo Binaco ; l'accès aux mobiliers et la recherche doivent également beaucoup à Claudio Bizzarri, Directeur du Parc Archéologique d'Orvieto. Enfin nous remercions les personnels de la Surintendance d'alors, M. Pagano, P. Bruschetti et M. De Angelis pour l'accueil chaleureux du projet ORViAMM et leur aide constante pour les missions de terrain de 2012 à 2016

⁹ L'éventualité que le site R.55 ne soit pas distinct de R.13 n'a pu être encore vérifiée, ce qui donnerait en ce cas 1 seule trémie d'Olythe et non 2.

**FIG.7-5 - Ebauche de Bobine (n° R.40-8)
D. 32 cm H. 23**

A ce spectre viennent s'ajouter 38 meules indéterminées à ce jour (soit 12%). Par ailleurs 2 cuves à pétrin sont incertaines sur le site R.10. Ces 6 séries sont complétées de quelques autres objets en pierre, recueillis à l'occasion par les habitants : ces cylindres, ces poids, pile et autres cuves ont été relevés au nombre de 14, soit 6% du total du mobilier macrolithique observé.



FIG.7-6 CORPUS meulier d'Orvieto (en orangé les références de Sugano)

CORPUS ORVIETO										meules non enregistrées												
SITES	NR Total	enregistrées	Modèles POMPEIENS				Meules ROTATIVES BASSES				OLYNTHE	PETRINS	BOBINES	AUTRES MEULES	AUTRES BLOCS	meules INDETER	Notes					
			NR	CAT.	MET.	INDET.	NR	CAT.	MET.	INDET.												
R.1	2												2			larges & épaisses, 1 Metz conique = R.56						
R.2	6	4	6			6																
R.3	1	1											1									
R.4	2		1	1				1			1											
R.5	3		3?												3							
R.6	1	1	1			1										au fond de la carrière C.4						
R.10	44	44	26	15	8	3	12	5	5	2		2?	3	1	2	2 Pétrins : incertains						
R.11	16		2?			2?	5			5			3		8	inaccessibles						
R.13	31	31	19	11	8		11	3	2	6	1					1 OLYNTHE						
R.15	1	1	1			1																
R.16	35	35	11	5	6		15	5	9	1			2	7		1 RING-CAT. 1 Hydraul. Cramponnée						
R.19	2		2	2												SUGANO						
R.21	1	1	1	1																		
R.22	6					5			5				1									
R.24	1	1				1				1												
R.25	1	1	1	1																		
R.26	20	20	14	7	6	1	4			4			1	1		1 Gde meule plate med/moderne						
R.27	1	1	1				1			1												
R.28	1		1			1																
R.29	2	2	2	1	1																	
R.30 S.1	2	2	2		2											découvertes ca.1990						
R.30 S.2	18	18	13	2	11		1		1			4				2012 ArcheoStudio; 1 Gde Metz MRB						
R.30 S.3	8	8	8		8											découverte 2018						
R.31	6	6	3		3		2		1	1			1			SUGANO						
R.34	1	1											1			Antique ou MED/MOD ?						
R.37	4	4	4	4									1									
R.38	1	1	1		1																	
R.39	2	2	1	1			1		1													
R.40	26	26	8	3	4	1	11	4	4	3		1	4		2							
R.41	1	1	1				1		1													
R.43	14	14	4	2	1	1	7	2	4	1			3									
R.44	1	1	1	1																		
R.45	4	4					4			4												
R.48	1		1	1												non enregistrée						
R.49	4	4	1	1	1		1		1			1?		1	1	1 gde Metz, enregistrées R.30-21 à 24						
R.50	2		2	1	1											Sugano (BINACO 2010) non enregistré						
R.51	1		1	1												Musileo (BINACO 2010) non enregistré						
R.52	2															Travaglia (BINACO 2010) non enregistré						
R.53	8						3			3					5	Sugano (BINACO 2010) non enregistré						
R.54	2		(2)	(1)			2		2							Sugano (BINACO 2010) non enregistré = R.19						
R.55	5						2		2		1					SS.71 km23 (BINACO 2010) non enregistré						
R.57	3		1		1											Villanova (BINACO 2010) non enregistré						
R.58	1															Graticello (BINACO 2010) non enregistré						
R.59	3		1		1											Cerchiara (BINACO 2010) non enregistré						
R.60	1															Canonica (BINACO 2010) non enregistré						
R.61	3		1	1												Le Poggette (BINACO 2010) non enregistré						
R.62	6															L'Aiola (BINACO 2010) non enregistré						
R.63	1															Plan Rosato (BINACO 2010) non enregistré						
308			235	139	62	70	7	90	19	36	35	2	5	10	12	12	38	Total IDENTIFIÉ = 276 = 90%				
<i>par site</i>			<i>7,9</i>	<i>6,0</i>	<i>5,6</i>	<i>45%</i>	<i>50%</i>	<i>5%</i>	<i>3,6</i>	<i>21%</i>	<i>40%</i>	<i>39%</i>						Total ENREGISTRÉ = 235				
SPECTRE général			76%	45%				29%				1%	2%	3%	4%	4%	12%	Total MEULES = 296 = 96%				
			28 sites +2?				20 sites				2 sites		2 ou 3 sites		3 ou 4 sites		9 sites		6 sites		11 sites	

6. Ainsi, contrairement à son image dans la littérature, le centre de production meulière d'Orvieto a donc consacré une large part (30%)¹⁰ de son activité à la fabrication de Meules Rotatives Basses de type courant, dites « meules manuelles ». Le présent travail consacre donc une partie substantielle à ces dernières d'autant qu'on ignore si elles n'ont pas constitué

¹⁰ Bien entendu, si les MRB connaissaient un taux de ratés et de mise au rebut différents de celui des MSP on ne pourrait aussi simplement transcrire le NR en structure de production ; cela dit on ne dispose pas aujourd'hui des référentiels (tels que des comptes, des taux de rebut par aire de travail etc.) ou des méthodes pour approcher un éventuel différentiel.

la production initiale d'Orvieto, susceptible en ce cas d'en avoir marqué la tradition technique. En revanche il est clair que la diffusion de ces produits n'a pas connu la même échelle que celle, Méditerranéenne, des fabrications de style pompéien (MSP).

Enfin, comme nous allons le voir, les vestiges meuliers d'Orvieto sont largement répartis dans l'espace mais 8 sites de découverte concentrent 70% des restes.

Géographie globale des restes Meuliers

7. A Orvieto l'essentiel des pierres de construction sont produites, depuis l'époque étrusque, dans le beau tuf local beige à marron qui porte la ville. Mais l'activité carrière visant la leucitite du plateau opposé s'est poursuivie au cours des siècles, selon des volumes sans doute variables, comme en témoignent les assises noires en leucitite de la cathédrale ou les portails des opulentes demeures d'âge classique. Ces extractions se traduisent par des murets, des terrasses et des amas d'éclats (haldes) qui ne sont pas aisément datables. Une partie de ces vestiges constitue visiblement des aires de travail qui se présentent de niveau avec la chape de basalte qui, avant d'être recouverte d'un épais manteau de tuf, vient coiffer les coulées de leucitite.

8. La dernière phase extractive correspond à la période mussolinienne qui a exploré la possibilité de produire de l'aluminium à partir de la leucitite malgré sa faible teneur. Elle se développe principalement sur Sugano¹¹, se traduit par des haldes assez fraîches proches de galeries d'exploration conduites en sous-face des coulées de leucitite. On trouve à leur voisinage de gros blocs de plusieurs m³ en chaos lâche au pied de la falaise, certains portent des logements de coins. L'emploi de l'explosif est rapporté par les habitants mais les traces n'en sont pas particulièrement visibles. Le chemin forestier blanc qui relie Sugano à Trinità en longeant la falaise a dû être aménagé ou ravivé à cette époque.

9. On donne en page suivante (**FIG.7-8** - fond *Geoportale Nazionale* www.pcn.minianbiente/it) une carte des 63 points de découverte tout en précisant qu'afin de respecter les habitants qui nous ont ouvert leurs collections et leur maison, autant qu'afin d'éviter d'exposer ces meules à divers risques en en divulguant l'intérêt et l'emplacement, cette carte ne doit pas être publiée et qu'elle constitue un **document réservé** au sein de la présente thèse¹². On lui substituera à l'avenir la carte **FIG.7-7, il en va de même pour la FIG.7-13.**

Trois des 63 sites sont situés dans la ville historique, éloignée de 3 km des zones de production et juchée sur un plateau de tuf dépourvu de leucitite : il est probable que ce nombre soit amené à croître avec le temps, même si la visibilité en milieu urbain dense et remparé est forcément moindre.

¹¹ Secteurs R.19 – R.32 – R.23 et R.17 ainsi que R.36.

¹² Cette carte n'a bien entendu pas été mise en ligne sur le site ORViAMM tandis que les photos du site comme de ce doctorat évitent soigneusement de faire apparaître des éléments d'identification ou de localisation univoque.

FIG.7-7 - Carte simplifiée des sites de découverte (courbes de niveau 25 m)
 - les n° désignent les 8 sites majeurs - DAO ACH

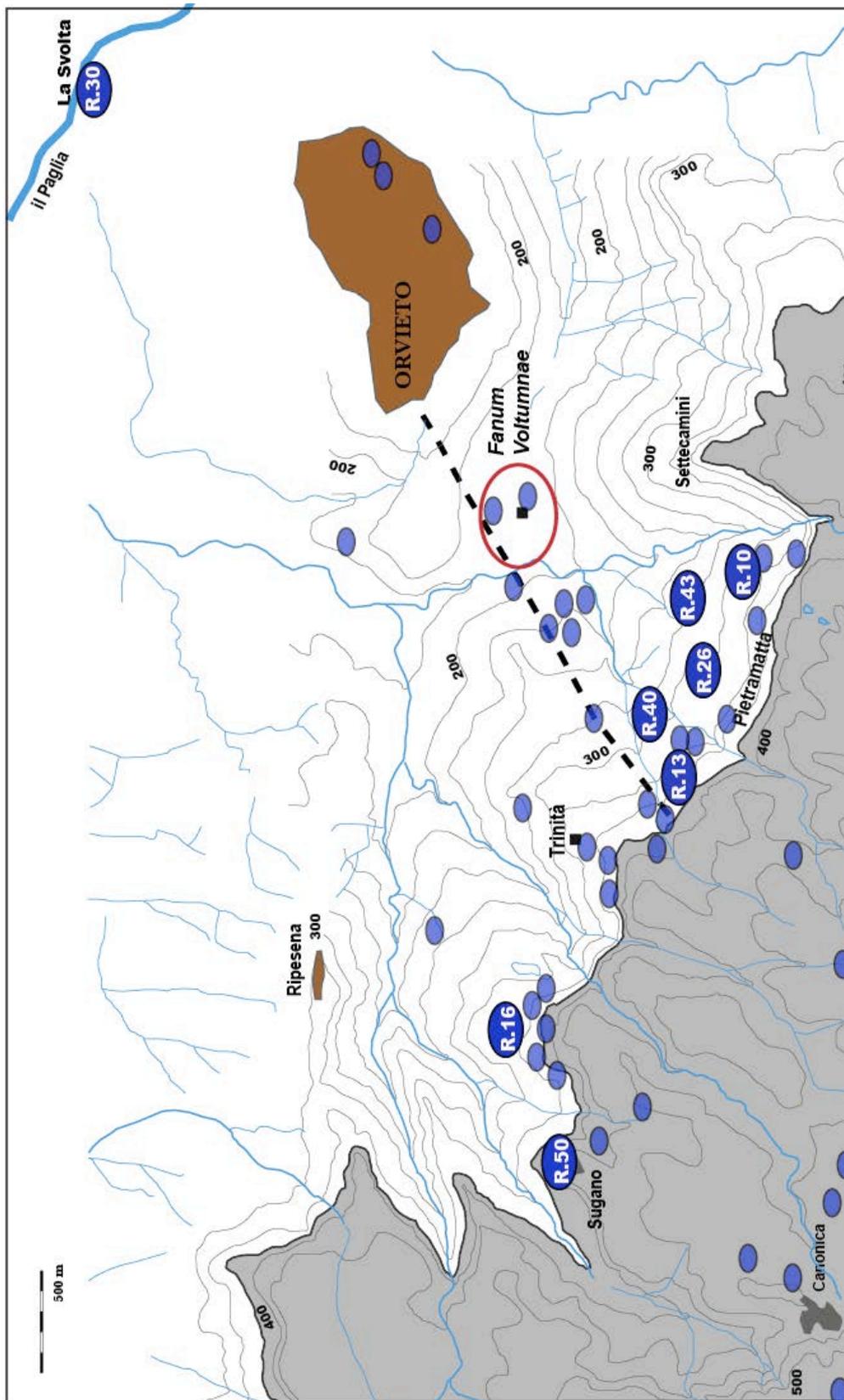
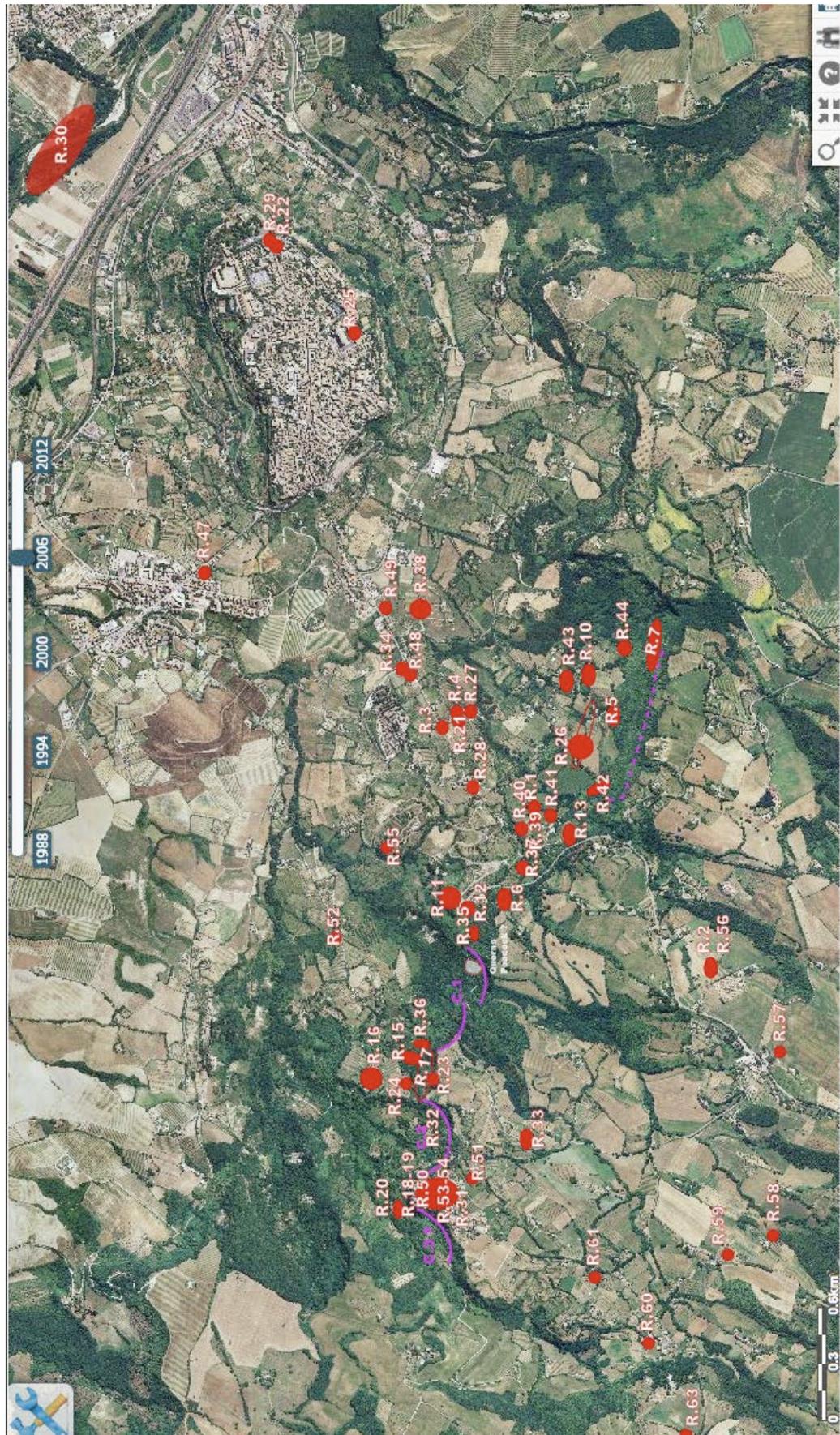


FIG.7-8 carte de l'ensemble des sites de découverte ou d'intérêt meulier
(document réservé à ne pas divulguer) en haut à droite : site fluvial R.30 et ville (Duomo en R.25)

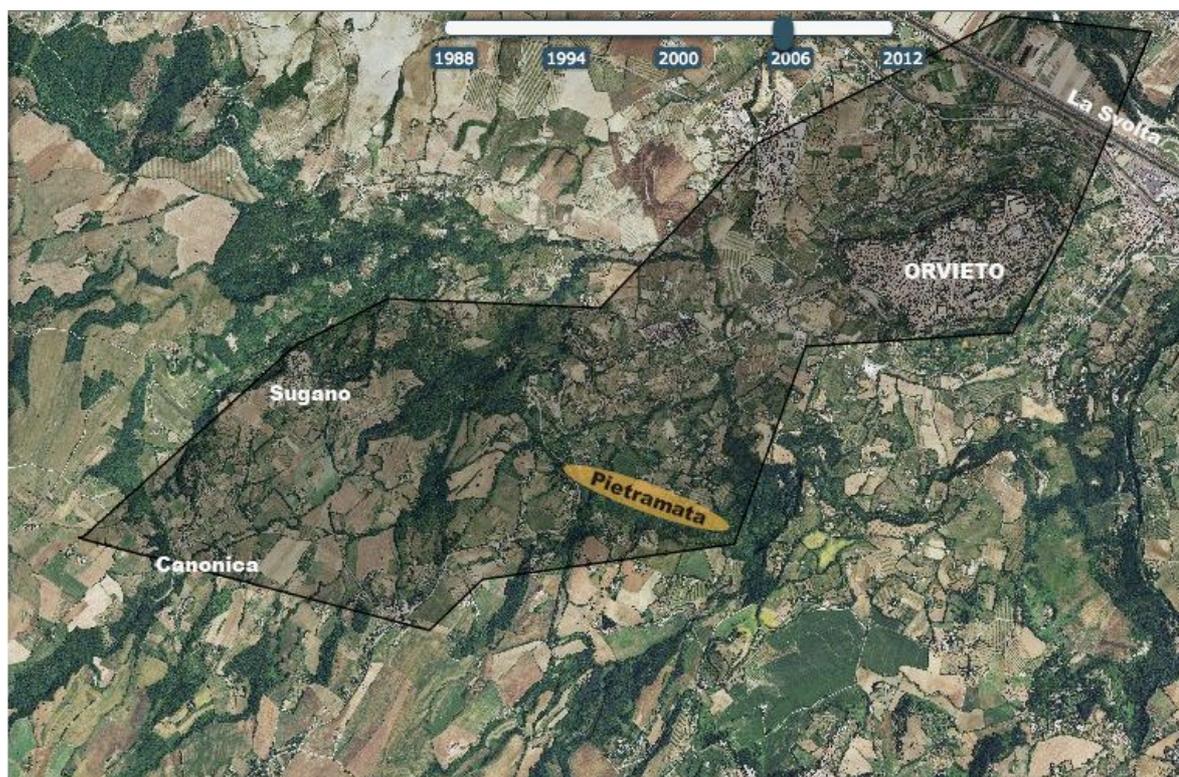


10. Les découvertes actuelles sont concentrées sur 8 sites que nous appelons « majeurs » en raison de leur effectif meulier élevé. Ils regroupent en moyenne chacun 27 éléments (FIG.7-9), rassemblant à eux seuls 71% du corpus et 87% du total enregistré. Tous les pétrins, toutes les bobines et 5 des 6 éléments épigraphiques en proviennent.

Le site R.30 (NR 28¹³) correspond à la découverte dans le fleuve Paglia, à 5 km à l'Est des zones d'extraction, d'une série de grandes meules, presque exclusivement des *Metæe* et quelques cuves à pétrins, grands et lourds cylindres probablement réutilisés pour un aménagement de type chaussée ou digue. L'assemblage issu de ce site, dont le caractère antique n'est pas prouvé, et la nature du gisement sont nettement distincts des autres et méritent un développement spécifique (ANNEXE.6). Il pourrait en effet s'agir de l'aménagement d'un passage à gué du Paglia, des vestiges d'un port fluvial ou bien d'une épave, utilisée ou non dans un aménagement.

Les 7 autres sites se trouvent directement au pied de la falaise de lave, soit au Nord entre le village de Sugano et le couvent de Trinità, soit principalement à l'Est dans le secteur de Pietramata, face à la ville antique et à une distance de 2,5 km. Au total ces vestiges se répartissent sur 3,6 km linéaires. Ils sont complétés (BINACO 2010) par une vingtaine de découvertes meulières sur le plateau de tuf entre Canonica et la route de Bolsena (SS.71). L'ensemble occupe 5 km² sur la zone d'extraction et le plateau volcanique vers Bolsena, et 12 km² si l'on inclut les découvertes proches d'Orvieto et le site fluvial de La Svolta (FIG.7-9).

FIG.7-9 Zone des découvertes d'intérêt meulier (12 km²) – au N-E le site fluvial de *La Svolta* séparé de la ville historique par l'autoroute A.1 et la LGV ; au N-W la forme circulaire typique du village de *Sugano* - (fond *Geoportale*)



11. Deux de ces sites, localisés dans le même secteur (Ouest) entre Trinità et le village de Sugano méritent un bref commentaire.

¹³ Conventionnellement NR pour « Nombre de Restes ».

Il s'agit d'abord du gisement majeur de La Chiusetta (R.16 avec un NR de 35), localisé au Nord, à 200 m en contrebas de la falaise de leucitite. Il pourrait bien correspondre, outre à la curiosité d'un amateur, à une exploitation de blocs erratiques énormes tombés sur les terrains sédimentaires depuis le front des coulées (cf. **CHAP.5-2 p.116-17**). La présence d'éclats de taille n'est pas constatée massivement mais le site est largement engazonné.

FIG.7-10
Meules incomplètes sur un mur de Sugano (R.31)



Par ailleurs, le village de Sugano (enregistré sous les n° R.19, R.31, R.50, R.53 et R.54) constitue une concentration villageoise de meules (NR 20), dont peu ont pu être correctement relevées. Elles apparaissent souvent cassées et dispersées en petites quantités dans l'habitat (**FIG.7-10**), plusieurs fois prises dans les murs. Le contexte ne permet pas une observation de terrain à même d'établir l'éventuelle association des meules ou ébauches avec des concentrations d'éclats. De ce fait, contrairement à la zone de Pietramatta, on ne peut à ce jour assurer que Sugano ait correspondu à une zone d'extraction de l'Antiquité. Toutefois une première analyse morphologique que nous avons pu conduire dans le cadre du projet ORViAMM en 2012 montre la complexité de la morphologie urbaine et paysagère de Sugano, ce qui renvoie probablement à une histoire assez longue : est-elle cependant antérieure à l'An Mil ? Par ailleurs Sugano, qui se dresse sur l'abrupt actuel de la falaise, apparaît comme une presqu'île dans le complexe des coulées de leucitite. Le village est limité à l'Ouest par une grande échancrure (C.3) et juste à l'Est par une autre (C.1, de ca. 7 ha) qui pourraient correspondre à des carrières. Ainsi C.1 montre un chaos de très gros blocs cubiformes dont l'un avec des traces d'emboîtures (logements de coins), ainsi qu'une au moins des galeries (**FIG.7-11**) horizontales observables de-ci delà à l'interface basse entre la coulée et les *crete* sous-jacentes : ces traits sont fortement susceptibles d'appartenir aux recherches mussoliniennes signalées en archives, entreprises à l'époque dans l'optique d'une éventuelle exploitation industrielle de l'alumine dont la leucitite constitue un minerai à faible teneur.

FIG.7-11 base de la leucitite (secteur C.2 Est) : galerie d'exploration probablement mussolinienne



12. Les 5 autres concentrations majeures en restes meuliers se situent sur Pietramata et en particulier au Sud de la voie rectiligne qui, par Gabeletta puis Tamburino, relie la ville antique et le secteur des sanctuaires bas (*Fanum Voltumnae* au *Campo della Fiera*) avant de monter sur le plateau en direction de

Bolsena. Les sites localisés au plus près de la falaise, et en particulier R.13 (NR 31) et R.26 (NR 20), associent ébauches de meules et éclats de taille de toutes dimensions. Il est plus que probable que Pietramata ait dans l'Antiquité correspondu à des secteurs d'extraction et à des aires de travail, contextes qui sont tantôt affleurants tantôt plus probablement recouverts de terrasses et sans doute de déchets carriers correspondant à la progression de l'extraction ou à ses reprises ultérieures.

Principales Catégories de produits & Dominances

FIG.7-12 Répartition des MRB, des Modèles Pompéiens ainsi que des Cuves à Pétrins et des Meules en Bobine sur les 8 sites majeurs

ORVIETO - répartition des Différentes CATÉGORIES de MEULES sur les SITES PRINCIPAUX										EPIGRAPHIE				
SITES RICHES	SITE	NR	ENREGIST	POMP	MRB	POMP/MRB	PETRINS / IMP.	BOBINES						
218 éléments sur 308 soit 70%	R.10	44	44	26	59%	12	27%	217%	2 ?	29%	3	27%	1	Meta POMP. R.10-15 (1 FELIS ?)
	R.13	31	31	19	61%	11	35%	173%						
	R.16	35	35	11	31%	15	43%	73%						
	R.26	20	20	14	70%	4	20%	350%						
	R.30	28	28	23	82%	1	4%	2300%	4	57%				5
R.40	26	26	8	31%	11	42%	73%	1	14%	4	36%			
R.43	14	14	4	29%	7	50%	57%			3	27%			
R.31, R.50, R.53, R.54	R.50*	20	6	7	117%	7	117%	100%						
		218	204	86		56			5	% sur	10	% sur		6 meules inscrites
		71%	87%	42%		27%		154%	+ 2?	7 IMP.		11 BOB.		
		moyenne par site		27,25										

13. Quatre des huit sites majeurs sont dominés (FIG.7-12) par les meules de modèle pompéien, R.13 et R.10 et surtout R.26 et R.30, ces deux derniers montrant une forte prépondérance. Les trois premiers se situent en pleine zone de fabrication tandis que R.30 rassemble les découvertes fluviales de La Svolta dans le lit du Paglia¹⁴. Constitué essentiellement de *Metae* et de cuves à pétrin d'un gabarit et poids imposants, parfois retrouvées couchées les unes contre les autres, cet ensemble correspond vraisemblablement à un aménagement, éventuellement post-antique, tel que barrage, passage ou quai réalisé à travers la sélection d'éléments cylindriques, longs et lourds empruntés à des rebuts. Presque achevées, tantôt défectueuses dans leur forme ou leur matériau, elles portent néanmoins 5 des 6 marques relevées à ce jour sur le matériel meulier d'Orvieto.

Les Meules Rotatives Basses (MRB) dominent en revanche les sites R.40 et R.43 à Pietramatta et, du côté Nord-Ouest, le site de La Chiusetta (R.16). Le village de Sugano montre un assez rare équilibre.

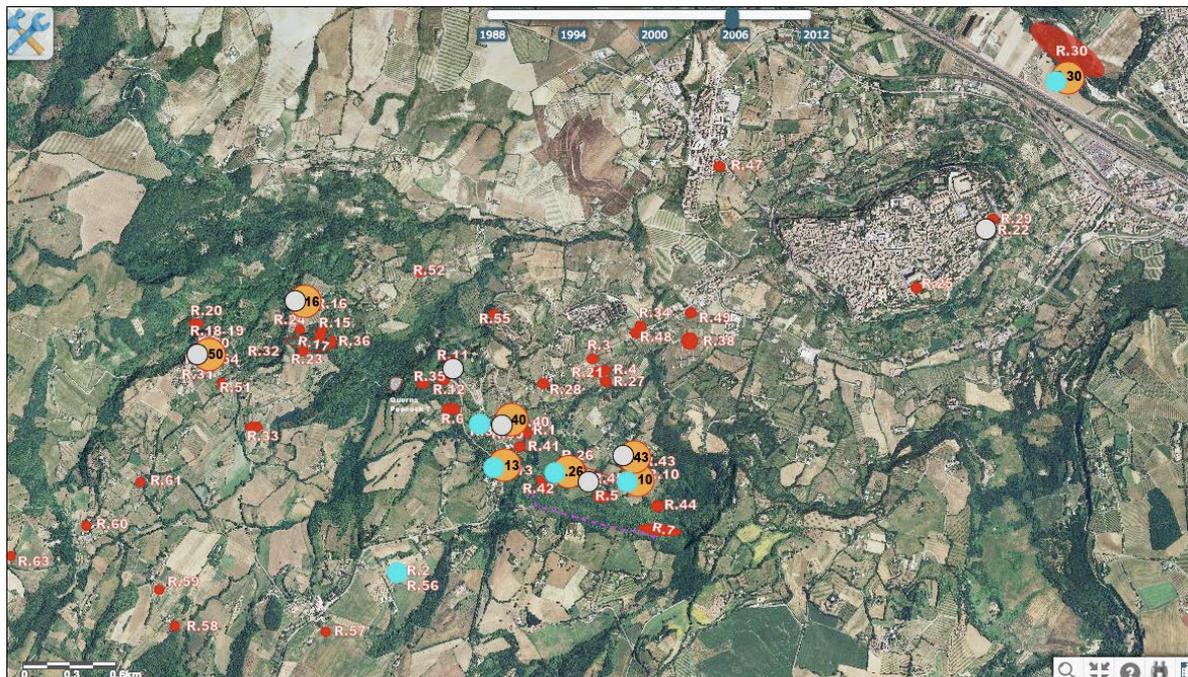
14. Certains secteurs pourraient donc refléter un accent mis, à travers le temps, plutôt sur les modèles Pompéiens ou plutôt sur les MRB. Toutefois on doit tenir compte du caractère plus aisément diagnostic des meules de style pompéien, en particulier leurs *catilli*, tandis que les MRB risquent d'être plus présentes parmi les 12% de meules à ce jour indéterminées. Si les 38 meules indéterminées étaient toutes des Meules Rotatives Basses cela porterait leur effectif à 128 ce qui ne suffirait à égaliser les 139 pompéiennes qui en tout état de cause resteraient dominantes. On doit cependant se demander si l'échantillon actuel

¹⁴ Découverte ancienne dans le lit du Paglia de 2 meules puis en 2012 de 16 (surveillance archéologique réalisée par la coopérative ArcheoStudio et qui a fait l'objet d'un poster au colloque d'Almeria ; on le trouvera avec plan, catalogue et première analyse sur le site : <http://www.orviamm.com/pagine/macine-nel-fiume/macine-nel-fiume-paglia.html>). En 2017 une nouvelle découverte est venue ajouter 8 éléments. A l'exception d'une MRB l'ensemble de 28 pièces regroupe des modèles pompéiens, soit 21 *Metae* et 2 *Catilli* ainsi que 4 cuves à pétrin. Cet assemblage et son contexte sont détaillés et discutés dans l'ANNEXE 6.

est totalement stable et si l'ouverture de sondages ou la découverte de nouveaux ensembles ne pourraient venir modifier ce rapport actuellement établi à ca. 30% de MRB pour un maximum de ca. 50% de MSP.

15. Il convient de noter à cet égard qu'à ce jour ces proportions n'ont jamais été inversées lors de l'insertion de nouveaux assemblages et que la différence (90 MRB vs 139 MSP) est telle qu'il faudrait d'importants apports de spectres à MRB dominants pour modifier l'actuelle structure globale de l'assemblage. Un autre scénario se propose lorsque l'on retire de l'échantillon la fraction apportée par le site fluvial de La Svolta (28 meules dont 23 Modèles de Style Pompéien), assemblage procédant d'une double sélection (l'une au détriment des MRB et en faveur des MSP et l'autre, au sein de ces dernières, en faveur des *Metae* et au détriment des *Catilli*) : les effectifs deviennent en ce cas 116 MSP vs 89 MRB ce qui aboutit à un schéma constant de large dominance des meules pompéiennes. En revanche si l'on ajoute les 38 meules indéterminées dont l'essentiel ou la totalité seraient constitués de MRB, alors on obtiendrait une parité MSP vs MRB si 27 des 38 indéterminées étaient des MRB (116 vs 89 + 27 MRB) voire une inversion de la dominance au profit des Meules Rotatives Basses (89 + 38 = 127). En définitive si l'échantillon est possiblement stabilisé, on ne peut toutefois complètement écarter l'éventualité d'un rééquilibrage du spectre de site, mais cette éventualité apparaît peu probable car elle supposerait un apport excédentaire de 20 ou 30 Meules Rotatives Basses.

FIG.7-13 Sites à dominance MRB (cercles gris) ou à dominance MSP (cercles bleus), sites majeurs (orangés) - en rouge : quantités insuffisantes ou données absentes) carte ACH, fond *Geoportale nazionale* (document réservé à ne pas divulguer)



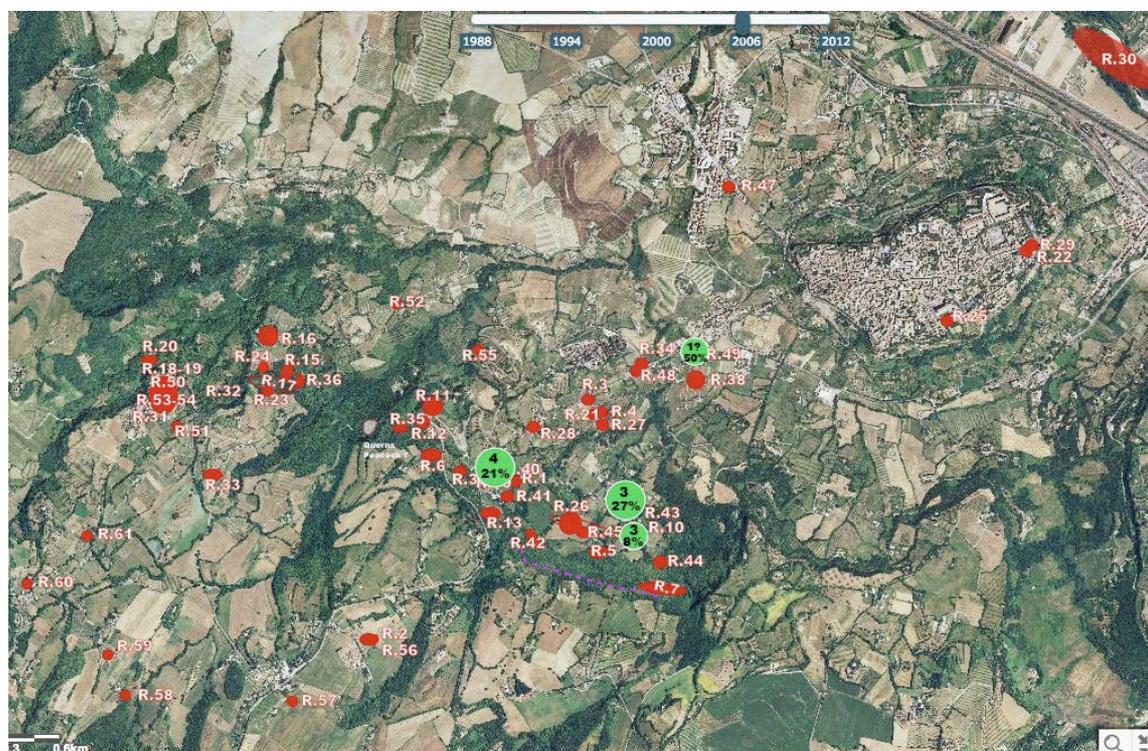
Spatialités de la Production ?

16. Au vu des catégories de produits meuliers et des oppositions de spectre entre sites dominés par les MRB et sites à MSP (FIG.7-13), au vu également de l'importance de l'étendue concernée, une des premières questions qui se pose est de savoir si une certaine

géographie des familles meulières se dessine, à ce stade et en l'absence de fouilles. On pourrait en effet envisager par exemple une production en deux périodes, l'une consacrée aux MRB l'autre aux moulins pompéiens. L'hypothèse d'une pluralité d'officines ou au contraire celle de l'existence d'une ou deux fabriques voire d'une seule unité impériale peuvent aussi être posées qui s'exprimeraient probablement selon des modalités spatiales différentes.

17. On constate que les Meules Rotatives Basses sont présentes sur la quasi-totalité des sites de même que les pompéiennes (les premières sur 20 sites sur 37, les secondes sur 28 sites). 4 des 8 sites majeurs sont dominés par les MSP quand 3 le sont par les MRB et 1 à égalité (Sugano, regroupé sous le n° R.50). En revanche deux faits spatiaux se remarquent : si la dominance des Meules Rotatives Basses se constate à la fois sur la zone N-W (Sugano-La Chiusetta soit R.50 et R.16), en revanche la dominance des Modèles de Style Pompéien n'est présente que sur la zone Est, celle de Pietramatta. Il en est d'ailleurs de même pour les meules en Bobine ce qui rapproche ces deux catégories.¹⁵

FIG.7-14 Sites (en vert) avec Meules Bobines (R.40, R.43, R.10 et, sur la voie rectiligne, R.49)



18. Cette spatialité Est des Meules de Style Pompéien pourrait recouvrir une différenciation organisationnelle : on produit les deux catégories de meules à Orvieto **toutefois** seules les officines de Pietramatta fabriquent les Modèles Pompéiens ou sont habilitées à la faire.

Mais la spatialité différentielle que l'on constate entre Ouest et Est pourrait tout autant recouvrir une dimension chronologique si, comme il est possible, la fabrication des MRB a pu précéder celles des MSP. Dans cette hypothèse, le centre producteur d'Orvieto aurait dans une première période fabriqué des meules communes (Modèle Rotatif Bas) puis dans une seconde période aurait développé des Modèles de Style Pompéien, fabriqués seulement à Pietramatta. La raison de cette dichotomie spatiale pourrait tenir soit à l'abandon

¹⁵ Voir BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI, à paraître (2011) aux Editions Mergoïl.

de la production des MRB (et donc celui de la zone de production Ouest de Sugano-La Chiusetta), soit au développement des MSP sur le seul secteur de Pietramatta, par exemple dans le cadre d'une fabrique ou d'un groupe d'officines centrées sur ce type de meules.

enregistrement

19. Nous avons retenu pour le présent **mémoire de doctorat** –ce qui pourrait à priori choquer- de ne pas présenter de Dessin Technique des meules. Plutôt qu'au moyen de cette modalité ¹⁶, nous avons en effet préféré rendre compte des meules à partir de dimensions et de points caractéristiques, tels que le Diamètre (D), la Hauteur maximale (H), la Hauteur de Cône (HCo) la Hauteur du Flanc (HFl) ou la Profondeur de la Trémie (HTr), ou encore le Diamètre de l'Œil ou de l'Œillard (DOE), le Diamètre des Oreilles (D.OR) pour les modèles pompéiens. Le principe est qu'à partir de ces points et dimensions, la meule peut être reconstruite en tant que solide de révolution, indépendamment des petites variations qui dues à la pierre, qui à l'imprécision du geste, qui à l'usure ou à l'enfouissement.

En effet un certain nombre de paramètres de base permettent de définir la géométrie d'une meule, nous proposons d'ailleurs (hors de ce mémoire et développé pour les seuls Modèles Pompéiens) un codage des meules qui permet, sans dessin, de reconstituer (et de dessiner si besoin) la forme de toute meule, c'est-à-dire son épure géométrique.

20. Quand bien même nous aurions voulu privilégier le Dessin Technique Normalisé (DTN) que c'eût été généralement impossible en raison de difficultés de mise en œuvre.

Un tel Dessin Technique suppose en effet de pouvoir d'abord manipuler les meules et les placer dans un minimum d'appareillage destiné à en définir l'horizontalité puis d'en saisir et mesurer les paramètres dans le cadre d'un centrage contrôlé. Il ne suffit pas en effet de placer une meule à plat, pour peu que sa base le permette, pour en appréhender les Diamètres, Hauteurs et Angles corrects, car les déformations dues à l'utilisation peuvent fausser la perception et une base plane ne veut pas dire qu'elle réponde à l'horizontale. De même un profil incliné ne signifie pas automatiquement une rotation ovale. Les pièges oculaires ne manquent pas. Par ailleurs nos meules, et non seulement les modèles pompéiens, sont souvent trop volumineuses ou trop lourdes pour être aisément déplacées, voire simplement versées. En plusieurs occasions nous n'avons même pas eu la possibilité d'en examiner la base ou la partie fichée en terre.

21. En second lieu, le Dessin Technique Normalisé, qui procède du Dessin Industriel, cherche quelque part à s'affranchir du détail pour atteindre l'épure, la forme idéale ou tendancielle d'un objet, le produit de sa norme. Il n'est donc pas conçu pour rendre compte du détail des variations ou des imperfections dues tantôt au statut d'ébauche, tantôt à un état usagé. Il s'agit donc d'un dessin idéalisé, un modèle coté, qui propose une forme idéale ou reconstituée dont il n'est pas certain, s'agissant d'archéologie et d'objets soumis à usure, qu'elle ait existé ou existé plus que quelques heures ou quelques jours.

En cela le DTN est impropre à rendre compte de la variabilité due à l'imperfection (notamment des ébauches) ou aux stigmates d'utilisation. Tout au plus peut-on à cette fin dessiner le profil de droite différemment de celui de gauche. Pour documenter irrégularités et variations sur une même meule, il faut en réalité s'en remettre à une complémentarité de dessins, de photos ou de mesures. Or la variabilité sur un même objet est importante pour des

¹⁶ Bien définie notamment dans JACCOTTEY, FARGET 2011.

meules, bien supérieure à celle de la céramique. Il s'ensuit que dans les études ou publications meulières, le dessin technique a tendance à se charger en détails et traits acquis, perdant de sa visée formelle. Il peut même se créer une certaine illusion documentaire derrière un rendu gagnant en réalisme alors même qu'on ne sait généralement pas si la variation de bordure dessinée ou le profil de l'œil sont bien caractéristiques et au sein de quelle variabilité réelle ils ont été choisis pour configurer le dessin. Enfin, la multiplication de DTN juxtaposés en planches –a fortiori en l'absence de tables renseignant les dimensions- renforce la singularité de chaque meule et ne facilite pas le repérage de formes identiques ou similaires, y compris lorsqu'elles sont homothétiques mais réalisées dans des gabarits différents¹⁷.

22. Ainsi le dessin technique des meules oscille entre un enrichissement réaliste et de variabilité au point d'en perdre sa raison ou son efficacité, et la nécessité d'une expression pure, géométrique, schématique faite de points d'articulation et de traits mesurés.

Devant cette alternative nous avons choisi de privilégier le schéma géométrique. En effet, fournir, au prix de beaucoup d'efforts et parfois d'impossibilités, un Dessin Technique Normalisé qui dût de toutes façons être complété par une batterie de documents complémentaires nous est apparu comme un investissement sans rapport avec les avantages dans le même temps où il aurait éliminé nombre de meules, à commencer par les plus grandes et les plus lourdes.

En revanche, proposer la forme exprimée par l'objet (soit en définitive, le solide de révolution) et non pas sa réalisation concrète nous est apparu comme un choix répondant mieux à notre objectif qui d'une part est de définir modèles, normes et géométrie des meules, d'autre part de proposer des objets archéologiques aptes à une approche d'ingénierie.

23. La **FIG 7-A** nous permet d'illustrer le propos en montrant d'une part les points d'articulation et les dimensions-clé d'une Meule Rotative Basse dans sa forme simple (*Meta* ou meule dormante). Ainsi à partir de 6 paramètres (ici 3 diamètres et 3 hauteurs) la forme du solide peut être reconstituée en 2 et même 3 dimensions. Enfin d'autres paramètres peuvent être déduits des premiers (en rose sur la dernière vignette).

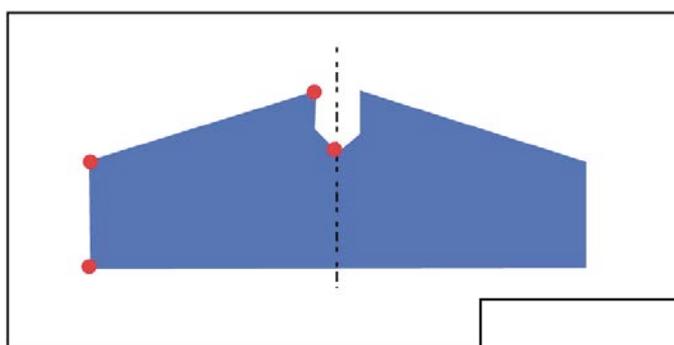
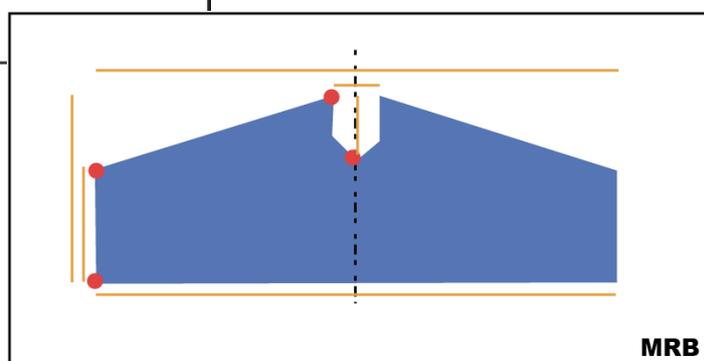


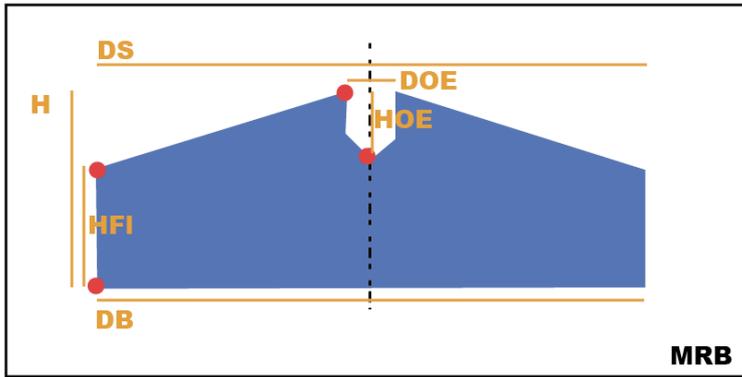
FIG 7-A.a Traits et points-clé d'une MRB (*Meta*)

FIG 7-A.b
Les 6 paramètres-clé d'une MRB (*Meta*)



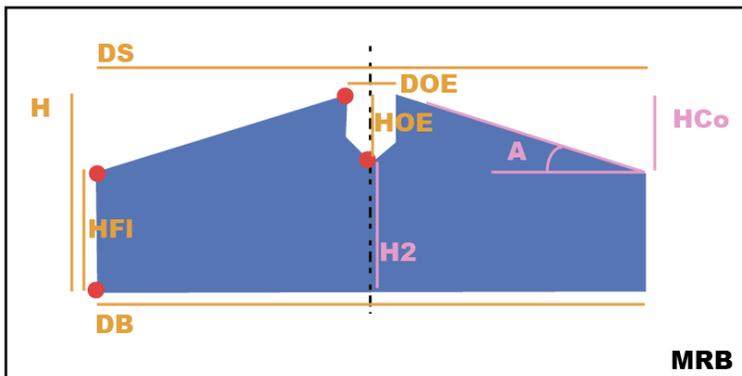
¹⁷ D'ailleurs les superpositions de profils sur un même axe de révolution sont encore absentes des études meulières alors qu'elles sont pratiquées en céramologie.

FIG 7-A.c Nom des 6 paramètres-clé d'une MRB (*Meta*)



DB = Diamètre de la Base
 DS = Diamètre Supérieur
 DOE = Diamètre de L'œil
 H = Hauteur maximale
 HFI = Hauteur du flanc
 HOE = Hauteur de l'Œil

FIG 7-A.d Quelques paramètres déduits (en rose)



DOE = Diamètre de l'œil
 HCo = Hauteur du Cône
 H2 = Hauteur entre Base et Œil
 A = Angle Latéral (Conicité, Pente)

Les points et dimensions caractéristiques sont naturellement plus nombreux sur des formes plus complexes telles que les *Catilli* (meules tournantes). Nous reviendrons sur ce thème en début de la **Partie II** consacrée aux Meules Rotatives Basses. En réalité ce sont plutôt 12 à 20 mesures qu'il faut relever pour chaque meule selon sa complexité.

24. Parallèlement à ces prises de mesures la variabilité des objets meuliers a été enregistrée de manière variablement descriptive et le plus souvent photographique. Elle sert de base à la formulation du catalogue et notamment à la tentative de dégager les causes de rebut.

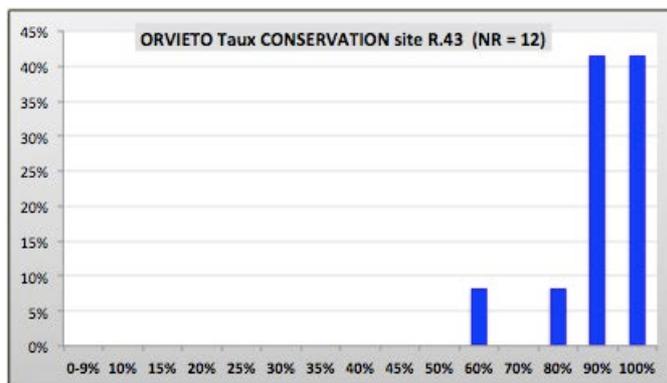
Taux de conservation à Orvieto

25. Les différents assemblages meuliers présentent un Taux de Conservation des meules (ou peut-être mieux un Taux d'Intégrité) diversifié qui n'est pas sans intérêt car il témoigne de la trajectoire des meules (ou de la superposition de trajectoires différentes) qui a présidé à la formation de l'assemblage et permet de s'interroger sur ces derniers, voire de mieux les cerner. Nous présenterons ici brièvement cet aspect sur lequel nous ne reviendrons ~~sans doute~~ pas par la suite contrairement au taux d'Usure et à la question de l'âgeage des meules.

26. Ce Taux de Conservation est défini par le volume conservé de la meule entière (soit 0 à 100%). Il a été apprécié empiriquement. Le profil d'une collection varie entre deux pôles : l'un de forte intégrité où la plupart des meules sont proches d'une conservation à 100% (FIG 7-15),

l'autre de faible intégrité, où l'essentiel des meules est réduit à l'état de petits fragments, parfois sous le seuil diagnostique¹⁸ (FIG.7-16). Il ne faut pas confondre le Taux d'Intégrité ou de Conservation, avec le Taux d'Usure qui donne un profil d'assemblage depuis un pôle meules neuves vers un pôle meules complètement usées (cf. Partie II CHAP.11 et 18)¹⁹.

FIG.7-15 Taux de Conservation presque intégral: le site Orvieto R.43 Plus de 80% des meules sont conservées à 90 ou 100%, ce qui correspond à la perte de quelques éclats



Notre Taux d'Intégrité (ou de Conservation) est plus particulièrement adapté aux ateliers car le volume initial d'une meule y est connu. Pour les sites d'utilisation et de rejet des meules ce volume initial est plus conjectural même si comme on le verra (Partie II CHAP. 1B5) il peut être approché.

27. Entre les deux pôles de conservation maximale ou minimale, il existe des situations intermédiaires, les assemblages étant plus ou moins riches en meules entières ou d'une fragmentation plus ou moins achevée. Celle-ci peut correspondre à des meules usées à un point ayant entraîné leur cassure, elle peut être consécutive au rebut et aux déplacement d'objets devenus simples pierres ou moellons, elle peut correspondre aussi à des concassages ou débitage comme on l'observe parfois sur des colonnes²⁰ ou fragments architecturaux. Le site londonien de Poultry (WILLIAMS, PEACOCK 2011) semble être un tel cas de débitage de réutilisation (FIG.7-17).

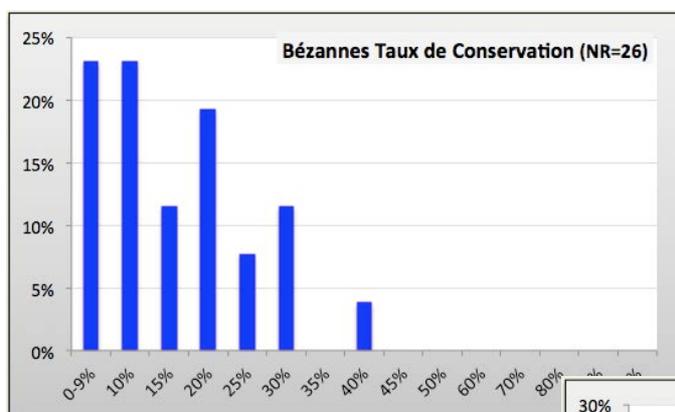
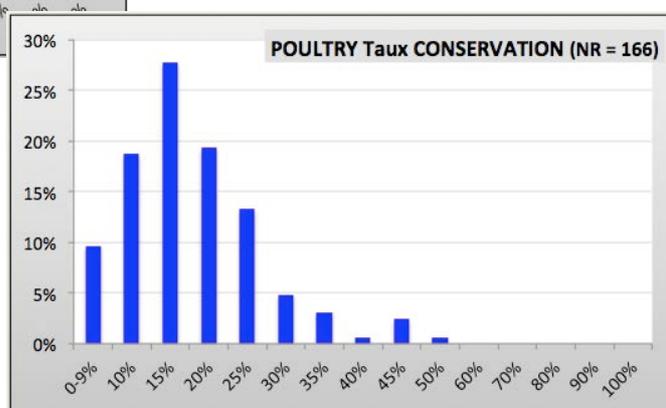


FIG.7-16 Taux de Conservation minimal: les meules du site de Bézannes (Marne, FR) au S-W de Reims – ETCHART-SALAS 2017

Le profil de l'assemblage se tasse sur la gauche, vers les fragments représentant moins de 10% de la meule originelle. 75% des meules figurent ici par des éléments conservés à moins de 25%.

FIG.7-17 Profil du Taux de Conservation de l'assemblage de London Poultry

Les fragments sont tous inférieurs à des demi-meules et centrés de manière symétrique sur une conservation de 15% du volume originel, ce qui semble correspondre à une norme de volume



¹⁸ La courbure n'est plus perceptible ou bien la surface active n'est pas identifiable.

¹⁹ Il ne s'agit pas non plus d'un Taux de Fragmentation puisque ce n'est pas un rapport entre NR et NMI.

²⁰ Par ex. CHARTRAIN, FLOTTÉ, HENRY 2015, 184.

et/ou poids (environ 1/6^è ou 1/7^è de meule, soit une fracturation par 2 puis par 3 si les meules sont entières au départ)

28. A Orvieto les profils de Conservation (voir ANNEXE 7) sont très semblables pour tous les assemblages et ne montrent pas de réelle différence entre l'intégrité des petites meules rotatives basses (MRB) et celle des modèles pompéiens (MSP). Les profils par assemblage sont tous caractérisés par une très forte proportion de meules entières ou presque et le taux moyen d'Intégrité se situe sur l'intervalle 87-92%. Cela s'explique par le fait que les habitants ont collecté et utilisent dans leurs jardins des meules ou des ébauches entières ou presque.

Toutefois il existe toujours une certaine proportion de meules fragmentaires, bien illustrée par une zone de spectre moyen (conservation de 50 à 70% FIG.7-18). Cette fraction (21%) indique qu'on a aussi collecté des meules conservées à moitié ou au trois-quarts. Elles correspondent le plus souvent à des *Catilli* de style pompéiens cassés en deux, sous le niveau des Oreilles, ainsi qu'à de plus rares demi-meules Rotatives Basses.

FIG.7-18
Profil d'ensemble du Taux de Conservation des Meules d'Orvieto (7 sites majeurs et total des petites trouvailles)

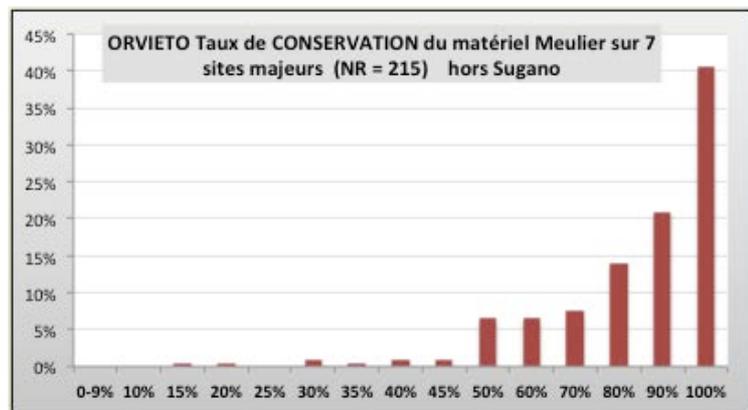
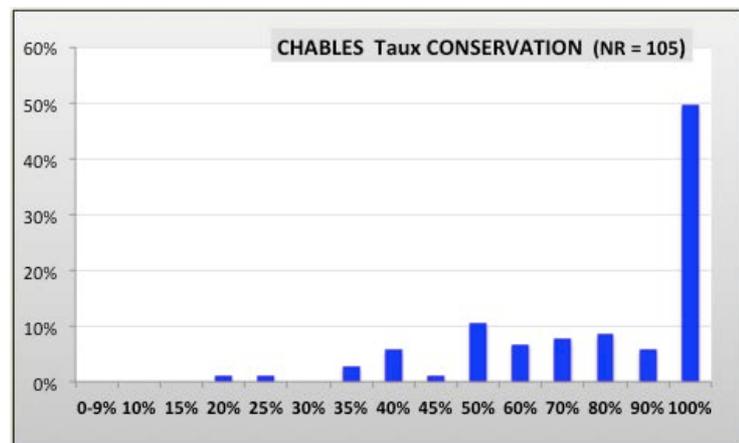


FIG.7-19
Profil de Conservation des restes meuliers issus de la fouille de la carrière de Châbles - élab. ACH

Les individus inférieurs au demi sont très marginaux (4%).



29. Comme il n'y a aucune raison pour que les meules ratées ou mises au rebut soient particulièrement entières ou de moitié, ainsi que le montre le profil des restes fouillés sur la carrière de Châbles en Suisse (ANDERSON *et al.* 2003), le spectre orviétan traduit un biais de collecte en faveur des pièces entières. La fouille des aires d'extraction et de travail devrait en conséquence conduire à un spectre plus étalé vers le pôle de conservation minimale 0-10% et sans doute moins riche en meules ou ébauches entières. Toutefois les contextes de production semblent surreprésenter les éléments entiers ou sub-entiers, ainsi la fraction d'intégrité 80-100% représente 74% à Orvieto et 65% à Châbles, la distorsion n'étant cependant pas très grande entre les deux ensembles. Dans le cas de la carrière de Châbles, la fraction de forte intégrité correspond surtout à des cylindres bruts ratés et à une faible proportion d'ébauches avancées ou achevées ayant dû être rebutées tandis qu'à Orvieto dominent les ébauches avancées ou les

meules finies. Ces aspects mériteraient d'être approfondis dans des travaux ultérieurs comparant divers assemblages issus de carrières et d'aires de travail.

Le Corpus Epigraphique

30. On relève 6 marques sur matériel meulier à Orvieto (*supra* FIG.7-12), toutes réalisées sur des blocs de leucite ouvragée : 2 apparaissent sur des cuves à pétrin et 3 sur *Metae*, toutes les 5 provenant du site fluvial R.30 de La Svolta, ce qui d'ailleurs ne permet pas d'assurer qu'elles proviennent systématiquement d'Orvieto. Une autre inscription s'observe enfin sur une grande *Meta* du site R.10 à l'extrémité Sud de Pietramata, elle est à ce jour la seule à provenir d'une des aires de production Au total 2,6% du matériel meulier porte une inscription. Aucune n'est observée sur les Meules Rotatives Basses. Le fait épigraphique porte donc sur une catégorie particulière des fabrications : les modèles de style pompéiens, et seulement les grands gabarits. L'épigraphie meulière apparaît donc à priori en relation avec la dimension de la meule, peut-être sa valeur, ou celle du destinataire, ou bien encore en relation avec un transport à longue distance ou peut-être la contractation avec un transporteur.

Ce marquage est relevé (FIG.7-20) sur 6% des *Metae* de style pompéien (soit une sur 17) mais sur aucun des 55 *Catilli* de cette série. Enfin 28 à 40% des cuves à pétrin sont épigraphiées. Ces différents taux de marquage selon les catégories de produit meulier introduisent ainsi à d'intéressantes problématiques.

FIG.7-20 Taux de marquage des différents produits

Total EPIGRAPHIE = 6
4 <i>METAE</i> POMPEIENNES
2 Cuves à PÉTRIN
0 CATILLVS

Taux Epigraphique :
2,6% des Meules
4,6% des Modèles POMPEIENS
6% des <i>Metae</i> POMPEIENNES
28 à 40% des Cuves à PÉTRIN
0% des <i>Catilli</i> POMPEIENS

31. En premier lieu, on vient de voir que le taux d'épigraphie sur les cuves est bien supérieur à celui des *Metae*. Selon les derniers relevés (MONTEIX 2013), il ne semble pas y avoir d'épigraphie sur les cuves à pétrin de Pompéi²¹. A Orvieto la sur-inscription que l'on constate sur les cuves comme l'absence d'épigraphie sur les *Catilli* ouvre la réflexion sur un marquage différentiel selon ces trois productions.

On peut ainsi envisager que les *Metae* portaient des marques d'officine, que les *Catilli*, non marqués en atelier (du moins à Orvieto), l'étaient préférentiellement sur les lieux d'utilisation²² tandis que les cuves portaient occasionnellement une marque ou que seuls certains centres producteurs les inscrivaient. Pat ailleurs ces différences incitent à interroger le stade d'apposition des marques, depuis le pôle productif (marquage d'atelier) en passant par le transit commercial vers enfin le pôle utilisateur, où la marque pourrait être tout autant due au vendeur, à l'installateur, au destinataire voire à un loueur. Cette problématique sera développée ultérieurement à ce travail (notamment sur la base de la répartition géographique des marques, de leur fréquence et de phénomènes de sur-marquage présentés par certains sites).

L'association Pétrins / Moulins de Style Pompéien

²¹ Où il en a été recensé 23 selon les derniers pointages (MONTEIX 2016, p.161).

²² Le marquage aurait alors lieu soit au stade amont, celui des *negociatores* ou des transporteurs, soit au stade aval, par les installateurs, les utilisateurs, les propriétaires ou les loueurs des machines.

32. Une autre question intéressante qui se trouve soulevée concerne le rapport entre le nombre de meules et celui des cuves à pétrin (FIG 7-21 et 22).

Ainsi, on observe à ce jour sur les 8 sites majeurs d'Orvieto 5 pétrins et peut-être même 7 pour 86 Meules de Style Pompéien, soit un ratio de 1 cuve pour 8,6 ou 6,1 moulin (5/43 ou 7/43). Les *pistrina* de Pompéi atteignant rarement plus de 4 moulins ce ratio peut avoir deux et même trois significations : soit peu d'installations de Moulins de Style Pompéien sont dotées d'une cuve à pétrin, soit cet équipement n'est pas spatialement couplé aux meules mais regroupé dans des espaces particuliers. Une troisième possibilité serait que la durabilité des deux machines est différente. Dans ce cas, le *ratio de fonctionnement* consisterait en la présence de 1 pétrin pour 3 ou 4 moulins (équipement meulier assez fréquent dans les espaces de Pompéi) alors que le ratio de 1 pour 6 ou pour 8, soit le double, constituerait un *ratio à la production* : on produirait 2 fois moins de cuves à pétrin parce que ces dernières dureraient le double des moulins.



FIG.7-21 Cuve à Pétrin R.30-18 Orvieto La Svolta

33. Au plan de l'assemblage global on observe 5 ou 7 cuves à pétrin pour 139 MSP soit un ratio de production de 1 pétrin pour 14 ou 10 moulins²³, c'est-à-dire à peu près 2 fois moins que ce que l'on peut considérer comme ratio de fonctionnement. L'une des explications pourrait être que les découvertes de La Svolta constituent une exception qui, avec un taux anormalement élevé de cuves à pétrins, hausse artificiellement le ratio Pétrins/Moulins. Une autre explication pourrait résider dans le fait qu'une large part des Modèles de Style Pompéien n'aient pas été associés à des cuves à pétrin. Ce pourrait notamment être le cas des petits gabarits pompéiens (autour de 35-50 cm de D ou H), le pétrin pouvant avoir été surtout associé à des modèles grands ou géants, qui sont particulièrement ceux de Pompéi ou Ostie dans les espaces où s'observent également les pétrins.

FIG.7-22 Cuve à Pétrin R.30-19 Orvieto La Svolta

34. La problématique du rapport quantitatif, spatial et chronologique entre ces deux équipements ne sera pas plus approfondie dans le cadre du présent travail. Elle devra être ultérieurement développée sur la base de l'établissement du ratio Pétrins/Moulins d'un corpus d'espaces meuliers connus, tels ceux notamment d'Ostie et de Pompéi. La variation de ce ratio au sein des *pistrina* voire l'absence de cuves à pétrin dans certains espaces, pourraient amener à une meilleure appréciation de l'association entre pétrins et moulins de style Pompéien, voire à une réflexion sur certaines différenciations fonctionnelles parmi les locaux siège d'activités transformatrices et productives dits globalement *pistrina*.



²³ 139 MSP arrondies à 140 soit un ratio de production entre moulins (140/2) et cuves (5 ou 7) donc 70/5 ou 70/7.

2. Le Corpus de COMPARAISON

Conditions d'acquisition

35. Le corpus de comparaison, d'environ 2.900 meules, a été constitué à partir de publications d'assemblages de meules, de rapports d'opérations archéologiques, de mémoires universitaires ainsi que des mesures et clichés que nous avons pris ou que plusieurs de nos collègues notamment italiens ont bien voulu nous transmettre.

Concernant particulièrement les Meules de Style Pompéien, plus fréquemment rencontrées sur les sites et dans les musées que dans les publications, on a eu également recours à une documentation photographique issue d'internet afin d'illustrer la distribution géographique de cette famille ainsi que sa diversité morphologique. C'est particulièrement le cas pour l'Afrique du Nord ou le Levant. Naturellement cette source ne documente pas les dimensions ou les angles même si parfois des rapports entre paramètres (H/D/DOR) peuvent en être extraits. Enfin, malgré les limites posées par leur absence dans notre travail laquelle empêche d'opérer une classification et d'affronter la question de l'aire d'origine, il nous a paru raisonnable de ne pas nous lancer dans l'enregistrement des importantes collections de meules pompéiennes et similaires de Carthage et de Mulargia (en Sardaigne), et de les renvoyer à une thèse future que nous souhaitons initier.

36. Pour réunir ce corpus nous avons naturellement exploité les publications, largement accessibles sur internet en France et en Espagne, parfois des rapports de fouille²⁴, et autant que possible des mémoires universitaires que leurs auteurs ont bien voulu nous rendre accessibles²⁵ et qui livrent une contribution irremplaçable. L'ANNEXE 8 présente les titres de la bibliographie selon leur provenance (Persée, Revues online, Université/CNRS, Academia.edu, Bibliothèques etc.). Il est clair que nous n'aurions pas pu mener à bien ce travail sans l'accès libre par internet et s'il nous avait fallu consulter et photocopier **principalement** en bibliothèque.

Composition, Géographie, Chronologie, Lacunes

37. Pour être valide le corpus de comparaison nous a semblé devoir être à la fois composé d'ateliers, comme Orvieto, et de sites d'utilisation et rejet provenant à la fois d'établissements ruraux et d'agglomérations ainsi que d'établissements à caractère industriel, i.e. consacrés à des activités de transformation. Les sanctuaires ou dépôts funéraires sont rares dans ce panel qui recouvre donc 2 classes de chacune 3 principaux genres de sites.

Par ailleurs nous avons cherché à couvrir l'intervalle allant de l'apparition du moulin rotatif (ca. 500 aC) aux deux premiers siècles de la période Romaine, soit le Haut Empire. Curieusement, phénomène également noté par BRUN 2016, 37, les occurrences de meules se font plus rares à partir du IV^e s. pC et il n'est pas certain que cette baisse quantitative soit en rapport avec le nombre de sites ou les surfaces fouillées. Il nous semble possible que le nombre de moulins ait alors diminué, en relation peut-être avec l'augmentation de leur gabarit²⁶ et peut-

²⁴ Curieusement ceux de l'INRAP étant les moins accessibles ou inachevés 5 ou 7 ans après une fouille.

²⁵ On remercierez particulièrement ici Emilie THOMAS (meules Age du Fer du Toulousain), Virginie FARGET (meules vosgiennes des Fossottes), Aurèle GAULTIER pour les meules d'Argentomagus et le Chaudry.

²⁶ Le passage de BRUN 2016, p. 37-39 a le mérite de souligner la question ; toutefois il nous semble aventureux de tirer des conclusions sur la base du seul échantillon (168 meules) tiré de la thèse LONGEPIERRE 2010 (publiée 2012) où les grands diamètres (60-80 cm) sont curieusement égaux en nombre aux petits : notre corpus de comparaison –voir CHAP.10- avec 2.616 meules présente moins de 2% de formats entre 60 et 90 cm (soit entre 2 et 3 pieds) alors que ce gabarit devient exclusif à l'An Mil ; à nos yeux : 1/ les meules antiques sont petites (et il faut s'interroger sur la technologie probablement particulière liée aux

être un phénomène de concentration. Ce point sur les meules au bas Empire et à l'Antiquité Tardive mériterait d'être approfondi par des travaux ultérieurs que nous proposons d'initier.

38. Géographiquement nous nous sommes, concernant les Meules Rotatives Basses (MRB) limité au territoire à la fois Méditerranéen, littoral et continental courant de l'Ebre au Rhin (voir *infra* FIG.7-24). En effet, cette géographie correspond (Pyrénées/Ebre) au foyer d'apparition du Moulin Rotatif Bas puis à sa diffusion en Gaule et sur le continent, le Rhin représentant les confins de l'Empire Romain (*limes*). En revanche, s'agissant des Modèles Pompéiens et Quasi-Pompéiens (MSP) nous avons considéré l'ensemble de la Méditerranée occidentale (rives Sud et Ouest, l'Hispanie entière, le littoral français méridional) ainsi que l'Italie, les Gaules et enfin les Germanies (qui intègrent la Suisse).

39. Nous n'avons pas réussi à éviter une faiblesse (à vrai dire inattendue²⁷) correspondant à la zone du Royaume Uni, ainsi que plusieurs « blancs » territoriaux regrettables : le Sud-Est de l'Île de France²⁸, l'Aquitaine²⁹, le couloir rhodanien³⁰, la Corse ainsi que la quasi totalité de l'Italie où les études de séries muséales ou issues de fouilles sont presque inexistantes³¹. Ces « blancs » géographiques limitent l'appréhension spatiale de certaines problématiques, en particulier celles ayant trait à l'origine et à la chronologie des modèles quasi-pompéiens et pompéiens ainsi qu'aux modèles et à la chronologie des meules rotatives Basses en Italie. La conséquence la plus notable est qu'une fois caractérisée, la production MRB d'Orvieto se trouve au milieu d'un espace italique dépourvu de toutes références à l'exception du N-Est Italien (dont la documentation n'est cependant pas toujours précise en matière de dimensions ou de conicité). Orvieto n'est donc comparable qu'à des assemblages Espagnols, de l'Ouest du Rhône et de l'espace continental Gaule intérieure/Germanies. Aucune traçabilité spatiale alpine ou intra-italique des paramètres orviétans ne peut donc être opérée.

40. Néanmoins nous avons pu réunir les données, non toujours complètes et souvent dépourvues de chronologie, de 3.086 meules dont 2.687 MRB et 389 MSP réparties comme suit : 81 MRB et 128 MSP pour Orvieto (total 209) ainsi que 2.616 MRB et 261 MSP pour le Corpus de Comparaison (total 2.877). Globalement, l'échantillon d'Orvieto trouve 13,7 comparatifs pour chacune de ses meules.

rare grands gabarits de l'Antiquité), 2/ les meules hydrauliques courantes se fondent dans la masse des meules communes dites « manuelles » et 3/ il y a probablement des raisons techniques au format limité des meules antiques (l'abandon de la conicité au cours du H.M.Age semble libérer l'expansion du diamètre) .

²⁷ Il semble que depuis la période thachérienne l'archéologie britannique ait notablement décliné dans le domaine de l'étude des meules, ce qui transparaît également dans la rareté de la présence sur Academia.edu. Mais l'accès aux données paraît, contrairement en France où les outils tels que Persée ou Revues.org sont fantastiques, entravé par la publication chez des éditeurs privés que nous avons rarement trouvés accessibles à travers nos ressources numériques habituelles (JStor, Springer etc. à partir de l'accès Université Paris-Nanterre ou CNRS INIST) .

²⁸ En particulier le Loiret, Bourges et le Cher, la Nièvre et l'Yonne où, en dépit de la quantité et de leur intérêt nous avons dû renoncer pour des questions de temps à enregistrer les meules de Sens.

²⁹ Une thèse sur les MRB et de très rares meules pompéiennes est néanmoins en cours sur le territoire allant de Bordeaux à Toulouse par Pierre CAUSSADE que nous avons invité à pousser son étude jusqu'à l'Aude non littorale.

³⁰ Après des hésitations nous avons, devant le caractère chronophage de l'entreprise (la manipulation, l'éclairage, le mesurage, l'enregistrement photo et la description permettant de réaliser 8 à 10 meules dans une journée sans compter le temps de traitement postérieur), renoncé à enregistrer les meules des musées de Lyon Civilisation Gallo-romaine, de Vienne et St. Romain en Gal ainsi que d'Arles ; il en a été de même malgré son grand intérêt de la quarantaine de meules des musées d'Agde que nous avons néanmoins examinées.

³¹ Précieuse a cependant été la collaboration active de nombreux collègues dans la transmission d'information, de photos, dimensions ou rapports sur les meules, en particulier pour la Vénétie et le Trentin Arturo ZARA (Université de Padova) et Magdalena DONNER, Luca FACCHINETTI (Piemonte), Laura ZANNOL (San Genesio), Paolo BINACO pour sa gentillesse et ses informations déterminantes à Orvieto, enfin pour ses envois réguliers notre collègue et ami Alfredo BUONOPANE (Université Verona) sans oublier Nicolas MONTEIX pour les meules de Pompéi et Jan Théo BAKKER pour celles d'Ostie – qu'ils trouvent ici l'expression renouvelée de notre gratitude sinon de notre amitié.

Bibliographie & Enregistrements de Terrain

41. Le travail « *indoors* », classique mais considérablement élargi par la faculté internet/*open-access*, a été complété par plusieurs missions d'enregistrement sur des lots méridionaux tels que ceux d'Ensérune, de Peyriac-de-Mer et du dépôt de Carcassonne³². Ces études monographiques de collections méridionales répondaient en effet, au plus près du foyer originel du MRB (Catalogne), à la nécessité de documenter les meules protohistoriques provenant d'Agde et du Complexe Meulier Volcanique Héraultais tout en analysant la composante hispanique de ces collections afin de mesurer l'influence du foyer d'origine³³.

La zone de production d'Agde ayant été détruite par l'urbanisation spéculative du littoral dans les années 60-80 (Cap d'Agde), l'accès aux fabrications agathoises n'est possible qu'à partir des assemblages meuliers des sites protohistoriques et antiques ayant pu être alimentés par ce centre producteur. Pour des raisons de temps nous n'avons malheureusement pu enregistrer les collections d'Agde même, soit une quarantaine de meules le plus souvent entières et conservées dans deux musées. L'un des avantages de ces enregistrements a été de nous confronter de manière très concrète à la pratique de la description et de la prise de mesure de Meules Rotatives Basses usagées tandis qu'à Orvieto nous avons à faire à des ébauches ou à des exemplaires neufs.

Par ailleurs ces sessions d'enregistrement meulier nous ont, avec les *Catilli* à manchons, montré l'existence de liens entre les modèles anciens produits à Agde ou dans le Complexe Meulier Volcanique Héraultais et les prototypes catalans des environs de 500 a.C. Enfin, les larges collections non datées comme celle d'Ensérune forcent également à raisonner sans à priori chronologique, constituant de ce fait un exercice fondamental de manipulation de la notion de série, de distinction des ruptures et des changements graduels, comme de prudente construction chronologique.

42. Bien que réduit, notre échantillon d'ateliers, qui ne concerne que marginalement les Modèles Pompéiens, n'est pas négligeable en regard du stock de centres producteurs disponibles mais reste limité en terme d'échantillonnage géo-chronologique bien que quantitativement il représente par exemple 24% des 75 références du corpus de comparaison des Meules Rotatives Basses (16 ateliers et 2 épaves) et 25% également des effectifs de comparaison (651 MRB sur 2 616).

Lorsque cela a été possible, nous l'avons renforcé comme cela a pu être le cas en effectuant une mission sur la carrière de St Christophe-le-Chaudry dans le Cher. Cela nous a permis de compléter un atelier à la source et non seulement à partir du dessin des meules d'Argentomagus, lesquelles sont d'une part usagées et ne proviennent pas toutes du Chaudry. L'objectif était également de mieux référencer l'axe médio-gaulois Agde/Clermont Ferrand (le Pâtural)/

³² Nos plus vifs remerciements à notre collègue Pierre-Arnaud De Labriffe pour son aide concrète aux collections de Peyriac et de Carcassonne, et sans qui la connaissance de ces assemblages et leur accès nous auraient été difficiles ; notre gratitude va également à nos collègues du Musée-site d'Ensérune, en particulier D. Orliac et L. Isaac-Imbert pour les facilitations qu'ils ont permises à l'accès et aux conditions de travail sur cette très importante collection – naturellement à l'issue de notre étude nous avons remis un inventaire, une copie des (centaines de) clichés numériques ainsi qu'une note de commentaire de chacune des ces trois collections.

³³ Missions à Ensérune de mai à juillet 2015, à Carcassonne en Octobre 2016, à Peyriac-de-Mer en avril 2017 (aucune de ces collections de respectivement ca. 200, 16 et 17 meules n'étaient inventoriées ni enregistrées), mission de terrain sur les zones d'extraction antiques du Chaudry en juin 2018 (difficile d'accès, le petit musée de Château-Meillant n'a pu être enregistré ; les meules issues des fouilles de S. Krausz sont depuis plusieurs années en cours d'étude par O. Buchsenschutz qui n'a pas souhaité nous y faire accéder).

Berry/Loire/ Chartres³⁴ afin d'examiner la diffusion septentrionale des modèles et des normes meulières ainsi que le rôle de l'axe ligérien.

43. Concernant l'Italie, pratiquement aucune documentation n'est accessible sur internet et la connaissance ou l'accès à des mémoires universitaires (*Laurea* triennale pour L3 puis *quadriennale* et *specializzazione* pour Master 1 et 2) s'avèrent quasi impossibles bien qu'il soit probable que des trésors gisent dans ces archives³⁵. Nous avons là aussi procédé à des missions de terrain comprenant l'enregistrement complet de la collection de meules (toutes de style pompéien) du *Museo alle Terme* à Rome et d'une partie des magasins d'*Ostia Antica*³⁶. Pour ce dernier site il s'agissait de documenter précisément les MRB, rarement mentionnées et que J-Th. Bakker nous avait gentiment signalées. L'objectif était de déterminer si les meules basses italiennes présentaient des traits communs avec celles du foyer originel espagnol ou avec celles de Gaule intérieure ou méridionale.

44. Le Corpus de Comparaison qui en résulte peut être scindé en 2 familles : les Meules Rotatives Basses (MRB) et les Meules de Style Pompéien (MSP) soit 2.616 MRB et 261 MSP totalisant 2.877 meules. On assimilera aux MSP les cuves à pétrin dans la mesure où ces objets se trouvent associés à la fois sur les sites de production (Orvieto) et d'utilisation (Ostie, Pompéi). On traitera les deux familles MRB et MSP séparément en raison des problématiques à la fois descriptives, fonctionnelles et géographiques différentes. Par ailleurs s'agissant des Modèles de Style Pompéien, la documentation qui peut être réunie est, au contraire des MRB plus fréquemment issues de fouilles, bien plus souvent constituée d'individus, très variablement renseignés, que de séries archéologiques.

Corpus de Comparaison Meules de Style Pompéien

45. La famille des Meules de Style Pompéien est dans ce travail (**FIG.7-A**)-constituée de 389 meules, 128 exemplaires proviennent d'Orvieto (répartis en 55 *Catilli* et 67 *Metae*) tandis que ca. 261 sont des exemplaires de comparaison (répartis en 211 *Catilli* et ca.50 *Metae*). Le déséquilibre montré par le corpus de comparaison au détriment des *Metae* est dû au caractère plus diagnostic des fragments de *Catilli*, d'autant renforcé que des fragments de flanc de *Meta* creuse peuvent être attribués à un cône de *Catillus*. Cependant la question d'une balance équivalente entre *Metae* et *Catilli* doit être discutée au regard d'une longévité éventuellement différente de ces deux genres.

³⁴ Dans cette optique, importante pour tracer la diffusion des modèles et des normes métrologiques, nous aurions souhaité étudier les meules laténiennes et gallo-romaines d'Orléans, absentes des publications, mais notre demande concernant les paramètres D., H, Angle et Œil s'est vu opposer un refus de la part du « Groupe Meule » dès lors que nous ne déposons pas les données d'Orvieto dans la base de données de ce Groupe

³⁵ On en voudra comme preuve des travaux comme ceux de M. DONNER 1992 que nous avons pu obtenir par notre connaissance du milieu archéologique Nord italien, comme ceux de CRISAFULLI 1996 publié par SPOSITO 2008 (nos vifs remerciements allant à Laura ZANNOL collègue étudiante italienne qui nous a signalé cette étude), enfin comme ceux de NARDÒ 2017 qui témoignent d'un certain et nouvel affleurement numérique des mémoires italiens de Master (pour comparaison, les travaux espagnols sont bien plus accessibles, comme ceux de VIVAR LOMBARTE 2013 ou de PORTILLO 2006 que nous souhaitons ici remercier quasiment « malgré eux » ainsi que le site universitaire espagnol Dialnet.

³⁶ Mission *Museo alle Terme* en septembre 2014 et à Ostie en août 2017, ont été enregistrées respectivement 11 meules pompéiennes et 14 meules (dont 12 MRB), nos vifs remerciements aux personnels des Surintendances, en particulier Mme De Angelis pour son accueil et son aide ainsi que la D.ssa Frigeri pour son aimable autorisation.

FIG 7-A Corpus de Comparaison des Meules de Style Pompéien (MSP)

46. Peu de meules de Style Pompéien sont assez précisément enregistrées. Il s'agit, globalement des exemplaires récemment publiés pour la GB (WILLIAMS, PEACOCK 2011), l'Allemagne (MANGARTZ 2008), l'Espagne (ANDERSON *et al.* 2016), la France (GLUHAK *et al.* 2016), La Tunisie et l'Est algérien (De VOS *et al.* 2011), une série d'Assouan en Egypte (WEFERS, MANGARTZ 2014), les 2 moulins complets de l'épave d'El Sec (ARRIBAS 1987), quelques meules provenant d'épaves italiennes (BELTRAME, BOETTO 1997 ; SATTÀ, LOPEZ 2010), enfin celles

étudiées par nos soins (Rome, *Museo alle Terme*). Viennent s'ajouter, à un degré de renseignement moindre, les meules de Pompéi (rapidement publiées dans PEACOCK 1989 avec compléments dans BUFFONE 1999) et celles inédites de Morgantina (dont les types sont présentés dans CRISAFULLI 1996). Cet ensemble représente 110 MSP soit 40% du corpus de comparaison des MSP³⁷. Chaque Meule de Style Pompéien d'Orvieto, au nombre de 128 enregistrées, trouve donc 2 comparatifs dont 1 de teneur documentaire équivalente. Mais cette moyenne cache une forte disparité : en effet, 1 *Catillus* d'Orvieto trouve près de 4 exemplaires de comparaison tandis qu'une *Meta* ne dispose que de 0,75 comparatif. Il est clair qu'outre un déficit d'identification, les *Metae* souffrent d'un surcroît de visibilité/valorisation des *Catilli* dans les musées et surtout les parcs archéologiques.

47. Aucun atelier de MSP n'est à ce jour suffisamment connu pour offrir une comparaison avec les données de celui d'Orvieto. En effet la zone de production de Mulargia ne semble pas avoir fait l'objet de prospections ou d'un premier catalogue³⁸, moins encore celle qui semble se dessiner sur le secteur de Capharnaüm au Levant. La production du Vésuve n'est connue qu'à travers des exemplaires achevés et utilisés, nous n'avons trouvé aucune présentation d'ébauches, de rebuts ou d'aire de travail. Seuls quelques productions latérales de modèles pompéiens intervenues sur des ateliers de MRB permettent une comparaison au niveau des ébauches plus ou moins avancées, ainsi quelques exemplaires issus des grès de Fosses-Belleu à l'Est de Paris, 6 autres en basalte de l'Eifel et une dizaine fabriquées en roche sédimentaire en Espagne et parfois aux confins entre Algérie et Tunisie.

CORPUS de COMPARAISON - Meules de Style POMPÉIEN (MSP)				
ORVIETO	128	55	67	6
	NR total	CAT	MET	INDET
COMPARAISON	261	211	50	
AFRIQ. Nord		23		
VESUVE	(42 Pompéi)	46		
Italie continent.		11		
SICILE		20		
SARDAIGNE		5		
CORSE		3		
GAULE		31		
HISPANIA		16		
LEVANT		36		
EGYPTE-LIBYE		8		
UK-ALL-BELG-CH		6		
ANATOLIE-EGÉE		1		
Varia		5		
Total	389	266	117	6
Comparatifs pour 1 MSP ORVIETO	2,0	3,84	0,75	

Corpus de Comparaison Meules Rotatives Basses

48. La famille des Meules Rotatives Basses, nettement mieux documentée, se répartit sous la forme de 3 séries relatives à la nature des ensembles (FIG 7-23 et 7-24):

³⁷ On a considéré comme bien renseignées les MSP offrant plus de 3 paramètres mesurables en sus du diamètre des 2 cônes (DB et DSUP) et de la Hauteur totale (H), soit généralement Largeur et Hauteur des Oreilles, Diamètre total de l'emprise des Oreilles (DOR), Angulation des 2 cônes, le Diamètre de l'Oeillard (DOE) ainsi que si possible la largeur horizontale du bord (a), la hauteur des 2 cônes (HCo) ou la distance entre les 2 trous de clavage (DFo), la Hauteur sous et sur les oreilles est également importante.

³⁸ Il est toutefois possible que des mémoires universitaires (à l'image de celui de CRISAFULLI 1996 pour Morgantina) recèlent quelques travaux mais ils ne sont en ce cas pas connus et nous n'avons trouvé aucune publication hormis l'étude archéométrique de ANTONELLI *et al.* 2014.

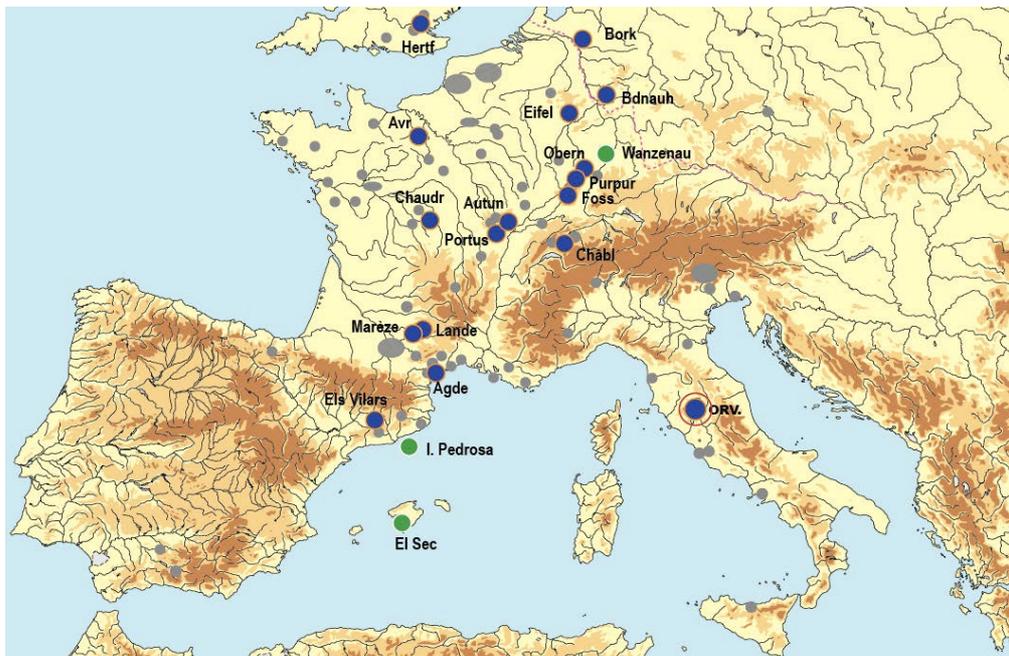
- I- les assemblages issus d'ateliers ou de zones de production de meules,
- II- les ensembles meuliers provenant de cargaison d'épaves
- III- les assemblages issus de sites d'utilisation ou de rejet des meules, auxquels on assimilera les collections provenant de musées ou dépôts, sauf cas de liaison étroite avec un atelier.

FIG 7-23 Meules Rotatives Basses : corpus de comparaison Ateliers et Epaves

CORPUS de COMPARAISON MRB - ATELIERS & ÉPAVES													
N°	NOM	Zone	REF. BIBLIO.	Type	Nature	CHRONO	NR	%	MRB	MSP	OLYNTHE	autres	
2	ORVIETO	Italie centrale		ATELIER		LT - ROM	231		128	81	1	21	
5	ELS VILARS	ESP, Catalogne	ALONSO 2011	ATELIER		LT	28	4%	28				
29	AVRILLY	FR, Normandie, 27	GUILIER <i>et al.</i> 2005	ATELIER		ROM (AUG)	22	3%	22				
33	HERTFORDSHIRE	UK, Thamisè	GREEN 2011	ATELIER		ROM	10	2%	10				
34	Le CHAUDRY	FR, Centre, 18	GAULTIER 2009, 2011	ATELIER		LT-D + ROM	52	8%	52				
38	les FOSSOTTES	FR, Est, 88	FARGET 2006	ATELIER		LT + ROM (IIaC-ICpC)	65	10%	65				
40	PORTUS	FR, Bourgogne, 71	JACCOTTEY <i>et al.</i> 2011	ATELIER		ROM - MED?	25	4%	25				
58	AGDE	FR, Languedoc, 34	ARIS 1974 ; REILLE 2000	ATELIER		LT + ROM	23	4%	23				
64	La MARÈZE	FR, Midi-Pyrénée, 81	THOMAS 2006	ATELIER		LT + ROM	12	2%	12				
67	CHÂBLES	SUISSE Ouest	ANDERSON <i>et al.</i> 2003	ATELIER		ROM (I pC)	106	16%	106				
68	EIFEL, Mangartz	ALL, Rhénanie	MANGARTZ 2008	ATELIER		ROM + HMA	57	9%	51	6			
73	La LANDE, La VERNHE	FR, Midi-Pyrénée, 12	MORASZ, PULOU 1997	ATELIER		ROM + ?	25	4%	25				
74	AUTUN, Arroux	FR, Bourgogne, 71	JACCOTTEY <i>et al.</i> 2017	ATELIER		ROM (HE)	11	2%	11				
76	OBERNAI	FR, Alsace, 67	FELIU, JODRY 2017	ATELIER		ROM	6	1%	6				
85	PURPURKOPF	FR, Alsace, 67	JODRY, HOLDERBACH 2017	ATELIER		LT	6	1%	6				
86	BAD NAUHEIM	ALL, Est Rhénanie	WEFERS 2012	ATELIER		ROM	42	6%	42				
16	87	BORKEN	ALL, Septentrionale	ATELIER		ROM	12	2%	12				
									496	31	moyenne		
4	ILLA PEDROSA	ESP, Catalogne	VIVAR LOMBARTE 2013	ÉPAVE		LT (150 aC)	130	20%	130				
2	88	WANZENAU	FR, Alsace, 67	ÉPAVE		ROM (III pC)	25	4%	25				
18										657	651	moyenne 36,17	

La première série regroupe 16 Ateliers et 496 MRB soit en moyenne 31 meules par atelier. Pour des raisons de langue nous n'avons pu accéder à la publication de l'atelier de Oparno/Lovosice en Bohême³⁹. Par ailleurs, tout récemment signalé à travers la publication de 6 ébauches de stade distinct, l'atelier alsacien du Purpurkopf (JODRY, HOLDERBACH 2017) ne peut encore être exploité quantitativement.

FIG 7-24 Meules Rotatives Basses : tous sites (en bleu les Ateliers, en vert les Epaves, en gris les Sites d'Utilisation et Rejet)



³⁹ WALDHAUSER 1981 en tchèque ou SALAC divers années 2000-2010.

Vient ensuite s'ajouter la série de 155 meules issues de 2 épaves, l'une fluviale du III^e s. pC (Wanzenau sur le Rhin : FÖRRER 1911 et JODRY en cours) composée de 25 *Metae*, l'autre maritime a été retrouvée au large de Rosas près de Figueras à Illa Pedrosa (VIVAR LOMBARTE 2013) et comporte 130 meules basses. Par les caractéristiques très semblables de leurs meules et l'unicité de la roche, ces ensembles peuvent être considérés comme issus chacun d'un centre de production et donc assimilables à des assemblages d'atelier.

Les meules issues des contextes de production et présentant a priori des paramètres à neuf sont donc au nombre de 651, ce qui donne 5 MRB de comparaison-atelier pour chaque meule d'Orvieto (651/218) et 16 sites de comparaison.

FIG 7-25A Corpus de Comparaison MRB : liste des sites d'Utilisation-Rejet & quantités
Ces deux tableaux fournissent la liste des sites avec localisation, nature, chronologie et quantités des MRB, enfin référence bibliographique principale

CORPUS de COMPARAISON MRB - SITES d'UTILISATION & REJET							page 1					
N°	NOM	Zone	REF. BIBLIO.	Type	Nature	CHRONO	NR	%	MRB	MSP	OLYNTHÉ	autres
3	Région de TOULOUSE	FR, Midi-Pyrénées	THOMAS 2006	UTILISATION	varia	LT - C2 / D2	98		98			
6	CERRO de la CRUZ	ESP, Sud-Est	QUESADA <i>et al.</i> 2014	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	Proto IIaC (+ Islam)	28		28			
7	ALORDA PARK & MOIXENT	ESP, Catalogne	ASENSIO <i>et al.</i> 2001	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT (450-200 aC)	23		23			
10	pays NANTAIS	FR, Ouest	POLINSKI 2009	UTILISATION	varia	ROM	52		52			
20	LATTES	FR, Languedoc, 34	PY 1992, RAUX 1999	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT + ROM	74		74			
21a	Villes ROM. du Nord CAT.	FR, Nord	PICAVET 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM	71		71			
21b	Villes ROM. du Nord MET.	FR, Nord	PICAVET 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM	107		107			
22	TRENTINO	Italie, N-Est	DONNER 1992	UTILISATION	RURAL + AGGLOM.	LT + ROM	112		111			1
23	PECH MAJO	FR, Languedoc, 11	PORTILLO 2006	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT (550-200 aC)	41		41			
24	PUIG CASTELLAR Gramenet	ESP, Catalogne	PORTILLO 2006	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT (III ^e s. aC)	21		21			
25	PUIG St ANDREU Ullastret	ESP, Catalogne	PORTILLO 2006	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT	22		22			
26	MRB LT PICARDIE	FR, Est Picardie	POMMEPUY 1999	UTILISATION	Ruraut + AGGLOM.	LT - C2 / D2	75		75			
27	Martigues	FR, Provence	CHAUSSERIE-LAPRÉE 1998	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT (II ^e s. aC)	20		20			
28	BOLUNBURU	ESP, Nord, Biscaye	CEPEDA <i>et al.</i> 2014	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT (III ^e s. aC)	6		6			
30	ENTRAMMES	FR, Ouest, 53	GUILLEMER <i>et al.</i> 2009	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT-C2/D1 + ROM	11		11			
31	CHARTRES	FR, Centre, 28	ROBIN <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM	29		29			
32	MEAUX	FR, Ile de France, 77	LEPAREUX <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM	35		35			
35	SILCHESTER	UK, Sud	SHAFFREY 2003	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM	48		48			
36	BIBRACTE, <i>Catilli</i>	FR, Bourgogne	JACCOTTEY 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT - D2	23		23			
37	TOMBLAINE	FR, Est, Lorraine	DEFRESSIGNE, TIKONOFF 201	UTILISATION	RURAL	LT - D1	2		2			
39	LEVROUX	FR, Centre, 36	BUCHSENSCHUTZ 1994	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	LT - C2 / D1	7		7			
41	PACÉ Les Touches	FR, Ouest, 35	LABAUBE-JEAN <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	RURAL	ROM	5		5			
42	ALSACE, divers sites	FR, Est, Alsace-Vosges	BUCHSENSCHUTZ <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	varia	ROM	19		19			
43	Meules de l'Ouest	FR, Mayenne & Bretagne	HAMON, DONNART 2008	UTILISATION	RURAL	LT	11		11			
44	Le MORMONT	SUISSE, Ouest	BOYER <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	SANCTUAIRE	LTD	6		6			
45	les HERBIERS	FR, Ouest, 85	GAULTIER 2013	UTILISATION	RURAL	LT - C2 / D	5		5			
46	ARGENTOMAGUS	FR, Centre, 36	GAULTIER 2009	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ	ROM (I-ive s. pC)	71		71			
47	BOURGOGNE divers sites	FR, Bourgogne	BUCHSENSCHUTZ <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	RURAU + 1 Agglo.	LT-D + ROM	11		11			
48	FRANCHE COMTÉ, divers	FR, EST, Franche-Comté	BUCHSENSCHUTZ <i>et al.</i> 2011	UTILISATION	50% RURAUX	LT - D (+ ROM?)	19		19			

49. La troisième série correspond aux meules provenant d'ensembles d'utilisation et de rejet de meules (FIG. 7-25A et 25B). Elle regroupe 1.965 individus issus de 57 sites répartis de l'Ebre au Rhin. Les contextes peuvent être subdivisés en collections, établissements ruraux, agglomérations protohistoriques ou antiques, éventuellement sites industriels. Les meules en contexte strict d'utilisation sont peu fréquentes⁴⁰ et rares sont les moulins appariés confirmés.

On comprendra aisément que selon le degré de conservation, selon les irrégularités d'enregistrement ainsi que selon les stades divers de notre traitement⁴¹, le total disponible varie pour chaque paramètre (tel les Diamètres, Hauteurs, Angles, Œil, Bordure, Volume, Poids etc.) et sera toujours inférieur au maximum du corpus, sauf à être parfois complété par quelques

⁴⁰ Quelques cas comme au Cerro de la Cruz en Espagne méridionale (QUESADA *et al.* 2014) ou à Vié-Cioutat (FR, Gard, DEDET, PY 1976, Fig.23 p. 32) ainsi qu'à Nages (Gard : PY 1978) pour les appariements on peut régulièrement douter de ceux présentés en musée, plus souvent dus aux gardiens qu'à l'archéologie ; il en est de même des « moulins de bord » publiés en contexte d'épave qui résistent mal à une analyse critique (usure, roche, dimensions...).

⁴¹ Le traitement homogène des différents assemblages aurait demandé un travail considérable, aussi avons-nous le plus souvent extrait et traité les paramètres essentiels que sont le Genre (*Meta* ou *Catillus*), le Diamètre et la Hauteur, ainsi que –lorsque les dessins ou les tables des auteurs le permettaient– la Conicité et le Diamètre de l'œil ; un traitement plus approfondi (métrologie, roche, stade de façonnage, poids, volume ainsi que divers rapports entre paramètres) a été en revanche consacré à des ensembles privilégiés, notamment les ateliers.

individus isolés mais intéressants. Les sites ont été choisis à la fois en fonction de l'accessibilité des données, de la quantité de meules, de la chronologie et de la position géographique. Cela justifie parfois la présence d'assemblages à effectif limité (inférieur à 10) afin de référencer certaines zones rares en données (par ex. la Lorraine ou le Massif Central) ou éviter une sous-re-

FIG 7-25B **Corpus de Comparaison MRB : liste des sites d'Utilisation-Rejet & quantités (p.2)**

CORPUS de COMPARAISON MRB - SITES d'UTILISATION & REJET							page 2					
N°	NOM	Zone	REF. BIBLIO.	Type	Nature	CHRONO	NR	%	MRB	MSP	OLYNTHE	autres
30	49	BASSE NORMANDIE	FR, N-W Normandie	LEPALMIER, 2012; ZAOUR et al. 2011, BESNARD-VAUTERIN 2013	UTILISATION	RURAUX + 2 Agglo.	15		15			
	51	ROANNE	FR, Massif Central, 40	LAVENDHOMME, GUICHARD 1997	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT - D	11		11			
	52	Villa de CHAMPION	Belgique	Van OSSEL et al. 1997	UTILISATION	RURAL ROM	5		5			
	53	Le PATURAL	FR, Massif Central, 63	DEBERGE et al. 2007	UTILISATION	RURAL LT - C2 / D1	23		23			
	54	MAZIERES-en-MAUGES	FR, Ouest, 49	BOYER, BUCHSENSCHUTZ 2001	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ ROM (II-IIe s. pC)	25		25			
	55	VERTAULT	FR, Bourgogne, 21	BOYER, JOUIN 2001	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ ROM	40		40			
	56	BIBRACTE Rebout	FR, Bourgogne	BUCHSENSCHUTZ, BOYER 1999	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT - D2	51		51			
	57	PUY du TOUR	FR, S-W, 19	PESTEIL 2007	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT - D	28		28			
	59	PROVENCE, Coquerel	FR, Sud Est, Provence	COQUEREL 1992	UTILISATION	surtout AGGLOM. LT (+RO?)	64		64			
	60	ENSÉRUNE	FR, Languedoc, 34	CHARTRAIN inédit	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT (IV-II aC) (+ROM)	58		51		6	1
40	61	FINISTÈRE	FR, Ouest, 29	MORNAND 1987	UTILISATION	RURAL Lt + ROM	7		7			
	62	ITALIA, varia	Italie	varia	UTILISATION	LT ROM + At/HMA?	51		51			
	63	MAGALAS, Terrasses Montfo	FR, Languedoc, 34	GINOUVEZ 2016	UTILISATION	RURAL ROM	6		6			
	65	CARCASSONNE Dépôt	FR, Languedoc, 11	CHARTRAIN inédit	UTILISATION	RURAL + AGGLOM. LT + ROM	16		16			
	66	PEYRIAC-de-MER	FR, Languedoc, 11	CHARTRAIN inédit	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT	17		16	1		
	69	TUNGRI	Belgique	HARTOCH 2015	UTILISATION	RURAL + AGGLOM. LT + ROM	46		46			
	70	AVENCHES, Musée	SUISSE, N-Ouest	ANDERSON et al. 2004	UTILISATION	varia (LT) + ROM	134		134			
	72	OSTIA Antica, dépôt	Italie, Centrale, Lazio	CHARTRAIN inédit	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT + ROM	14		12	2		
	77	SENS	FR, Bourgogne, 89	PERRUGOT 2008	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ ROM	1		1			
	80	REIMS	FR, Champagne, 51	JODRY et al. 2017	UTILISATION	RURAL + AGGLOM. LT + ROM	11		11			
	81	BÉZANNES	FR, Champagne, 51	ETCHART-SALAS 2017	UTILISATION	RURAL LT-D / Ile s. pC	26		26			
50	91-B	LONDON POULTRY	UK, Londres	WILLIAMS, PEACOCK 2011	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ ROM (Ier s pC)	212		212			
	93	GONDOLE	FR, massif Central , 63	DEBERGE pers. Comm.	UTILISATION	AGGLOMÉRÉ LT-D2	8		8			
	94	YMONVILLE	FR, Centre, 28	ROBIN 2012	UTILISATION	RURAL LT -B2/1 à D2	18		18			
	95	PRASVILLE	FR, Centre, 28	ROBIN 2010	UTILISATION	RURAL LT - C2 / D	8		8			
	96	SARAN	FR, Centre, 45	ROBIN 2014	UTILISATION	RURAL LT - D1 à AVG	22		22			
	97	VOVES, Moulin Geargeot	FR, Centre, 28	ROBIN 2009	UTILISATION	RURAL LT - D1	6		6			
	98	F.TAINE-la-GUYON, Déserts	FR, Centre, 28	ROBIN 2010	UTILISATION	RURAL LT - D	1		1			
75					UTILISATION							
							1976		1965	3	6	2

présentation de certains types de sites (non agglomérés notamment). Un autre souci dans la constitution du corpus de comparaison des MRB a été de largement référencer la période laténienne, siège principal du mouvement de diffusion du moulin rotatif bas et intervalle privilégié pour tenter de saisir des mises en place (normes, métrologie, angulation, modèles, apparition de l'anille etc.).

50. Au total le Corpus de Comparaison réunit 2.616 Meules Rotatives Basses correspondant à 75 sites ou collections soit en moyenne 34,9 meules par référence. La série Ateliers et Epaves regroupe 651 meules pour 18 sites soit une moyenne de 36,1 MRB par référence. La série Sites d'Utilisation et Rejet rassemble 1.965 meules pour 57 sites, soit 34,4 MRB par référence. Chacune des 81 MRB enregistrées à Orvieto trouve donc globalement 32 comparatifs dont 8 parmi les ateliers et épaves (651/81) et 24 parmi les meules utilisées (1965/81). S'il n'est pas possible de détailler le référencement chronologique, la plupart des MRB n'étant pas datées individuellement dans les sources, on peut en revanche noter que 7 des 18 sites d'Ateliers et Epaves comprennent des MRB laténiennes (soit 39% des références) et que celles-ci sont présentes sur 40 des 57 sites d'Utilisation et Rejet (soit 70% des références). Ceci est conforme à notre souci d'ancrer l'appréhension des phénomènes dans leurs manifestations les plus anciennes même si les ateliers laténiens sont nettement moins nombreux et que le total de leur représentation doit beaucoup à la seule épave d'Illa Pedrosa : en réalité, la documentation archéologique actuellement disponible souffre d'un net déficit concernant la

production meulière de l'Age du Fer et un effort particulier devrait être déployé dans cette optique⁴².

FIG 7-26A Corpus de Comparaison MRB : Principaux Paramètres exploités (Ateliers) - en noir les données auteurs, en rougeâtre celles extraites par nos soins -

NR= Nombre de Restes, D. pour Diamètre, H. Hauteur, DOE Diamètre de l'œil, HCo Hauteur du Cône, HTr hauteur de Trémie, HFL hauteur du Flanc, HP ou HU Hauteur Passive et Hauteur Utile – cf. Partie II CHAP.17

Total CORPUS de COMPARAISON MRB - Principaux PARAMÈTRES RENSEIGNÉS														ATELIERS & EPAVES								
N°	NOM	NR	Stades		D	ANGLE	ROCHE	CHRONO	H	DOE	HCo	HTr	HFL	HP ou HU	% CON-SERV	POIDS	VOLUME					
			Façon.														Capable	M. Finie	PERTE	Métrol.	% USURE	
5	ELS VILARS	28	20	26	6				27	7							26			6		
29	AVRILLY	22	22	15	22	17	21	20											13	6		
33	HERTFORDSHIRE	10		10	10	10	9	10												5		
34	Le CHAUDRY	52	50	52	40	48			50	22	40		40	44		4	50		42	26	12	
38	les FOSSOTTES	65	65	61	5	65	1	62	10			10			56	52	60			61	12	
40	PORTUS	25	25	25	20	21	5	24									25			24	8	
58	AGDE	23	23	23	21	23			21	15				9			23		15	23	10	
64	La MARÈZE	12	11	12		12			12						11	11	12		12	12	9	
67	CHÂBLES	106	106	106	3	106	32	24	6			24	7	105		24				24	12	
68	EIFEL, Mangartz	51	51	51	24	51	12	51	10			51	28	51						51	11	
73	La LANDE, La VERNHE	25		14	2	25	10	15	2					3	3	13	13		14	13	12	
74	AUTUN, Arroux	11	10	11	6			10				11					10				6	
76	OBERNAI	6	6	6	3	6	6	6	4	1			6	6	6		6		1	8	6	15
85	PURPURKOPF	6																				
86	BAD NAUHEIM	42	14	21	26	42	42	27	22	14	10	18	13	29	28	27	27	27	12	13	18	
87	BORKEN	12	12	12	2	12	11	12	1						12	12	12			12	12	12
4	ILLA PEDROSA	130		130	129			130	59							128						5
88	WANZENAU	25		25		25	25	25												25		
		651	415	600	319	463	304	455	99	55	10	163	107	273	248	288	27	28	140	278	4272	
			10%	14%	7%	11%	7%	11%	2%	1%	0,2%	4%	3%	6%	6%	7%	0,6%	0,7%	3%	7%	6,6	

Exploitation du Corpus de Comparaison des MRB & Création de Nouvelles Notions

51. Dans le dépouillement des différents paramètres caractérisant les meules (Diamètre, Hauteur etc. cf. Partie II CHAP.9 : Géométrie des MRB) nous avons utilisé les données fournies le plus souvent sous la forme de tableaux de mesures par les auteurs. Lorsque cela n'était pas possible⁴³ ou pour compléter ces données (par exemple fréquemment concernant la Conicité ou le Diamètre et la Profondeur de l'œil), nous avons récupéré ces informations à partir des dessins (en procédant à partir d'un grossissement-écran suffisant pour que les mesures graphiques ne sont pas multipliées par plus que 2 ou 3 pour rétablir les dimensions réelles, soit une précision à 0,2-0,3 cm près).

52. Cette saisie d'une série minimale de paramètres nous a permis de travailler plusieurs questions. Les tableaux qui suivent (FIG.7-26A, B, C et D) illustrent de manière synthétique les données extraites et la manière plus ou moins approfondie dont elles ont été traitées. Ces tableaux présentent ainsi 18 paramètres principaux qui ont été saisis. D'autres attributs, plus

⁴² C'est ce qui motive, outre notre attachement au site d'Argentomagus, notre intérêt pour l'atelier de St. Christophe le Chaudry ; l'exploration du Chaudry devrait s'accompagner de celle des centres voisins (Champillet et Ste Sévère dans l'Indre et Le Châtelet et Ardenais dans le Cher) ainsi que de l'étude des meules de sites environnants tel que Châteaumeillant, Hérisson, Drevant et Nérès-les-Bains.

⁴³ La publication des ensembles meuliers pêche globalement par 2 lacunes : d'une part la quasi absence de pesée des meules et d'autre part la rareté des tableaux de données primaires, que la publication professionnelle de dessins techniques réduits, moins précis, ne saurait remplacer et que l'on trouve en revanche dans les mémoires universitaires de Master.

rares, n'y figurent pas dont nous donnons ici une idée ⁴⁴: ainsi le caractère Perforé ou non de l'œil des *Metae*, l'Angle de la Trémie des *Catilli*, le rendement en Hauteur Utile, la Hauteur d'Evidement de la base des *Metae* ou un certain nombre de rapports comme la hauteur de l'œil sur la Hauteur totale ou le Diamètre de l'œil sur le Diamètre, le type de la Base des *Metae*, le type d'Emmanchement des *Catilli* ou le type d'Oeillard, la Pression de Pose, l'existence d'un Rhabillage, la Hauteur et Largeur de la Bordure éventuelle des *Catilli*.

FIG 7-26B Comparaison MRB : Principaux Paramètres (sites d'Utilisation, page 1)

Total CORPUS de COMPARAISON MRB - Principaux PARAMÈTRES RENSEIGNÉS										Sites d'UTILISATION & REJET					Page 1		
N°	NOM	NR	Stades		ROCHE	CHRONO	H	DOE	HCo	HTr	HFL	HP ou HU	% CON-SERV	VOLUME			% USURE
			Façon.	D										ANGLE	POIDS	Capable	
3	Région de TOULOUSE	98		95	92	97	48		40								5
6	CERRO de la CRUZ	28		17	16	23	23										4
7	ALORDA PARK & MOIXENT	23	17	11	19	23	20										5
10	pays NANTAIS	52		45	51	52		39			36					23	6
20	LATTES	74		64	64	71	28	6	2							3	7
21a	Villes ROM. du Nord CAT.	71		65	49	55	26										4
21b	Villes ROM. du Nord MET.	107		96	85	107	28										4
22	TRENTINO	111		107	68	19	3									106	5
23	PECH MAHO	41		23	23	23	2	23	21							21	23
24	PUIG CASTELLAR Gramenet	21		27	27	27	27	27									27
25	PUIG St ANDREU Ullastret	22		20	22	22		21									17
26	MRB LT PICARDIE	75		67	72	72	72	68									67
27	Martigues	20		19	17	17	11	20				17				19	19
28	BOLUNBURU	6		6	6	6	6	6								6	6
30	ENTRAMMES	11		10	7	7	6	7									7
31	CHARTRES	29		28	28	29	9	15								10	15
32	MEAUX	35		35	31	21		31								5	10
35	SILCHESTER	48		41	45	45		45								20	27
36	BIBRACTE, Catilli	23		23	23	19	14	23									23
37	TOMBLAINE	2		2	2		2	2									2
39	LEVROUX	7		7	7	1	6	7								7	7
41	PACÉ Les Touches	5		5	5	5		5								5	5
42	ALSACE, divers sites	19		18	19	8		18									18
43	Meules de l'Ouest	11		11	11	1	10	11								11	6
44	Le MORMONT	6		6	5	6	6	6								6	6
45	les HERBIERS	5		5	4	5	5	5								5	7
46	ARGENTOMAGUS	71		60	61	71	30	58									55
47	BOURGOGNE divers sites	11		10	10	10	3	8									6
48	FRANCHE COMTÉ, divers	19		19	19	17	2	18									18
49	BASSE NORMANDIE	15		13	11	10	6	11				2					6

53. Cette vue d'ensemble permet, notamment par les totaux apparaissant sur la FIG.7-26D, de visualiser les paramètres les plus présents dans l'étude actuelle des meules et ceux sur lesquels nous avons choisi de porter plus particulièrement notre attention.

Les paramètres généralement les plus renseignés sont le Diamètre (pour 91% des MRB), la Roche (83%), l'Angulation (également dénommée Pente ou Conicité, pour 73%) enfin la Hauteur (60%) et, moins fréquemment, la chronologie (46%).

54. Le poids des meules apparaît en revanche très peu renseigné : sur notre échantillon de comparaison de 2.616 MRB seuls 14 sites sur 75 (18%) comportent des indications de poids pour 388 individus soit 15%⁴⁵. Mise à part l'exception de 1997 due à des scientifiques (MORASZ, PULOU 1997), le poids des meules fait son apparition dans nos sources en 2006 pour des ateliers (FARGET pour les Fossottes en Alsace et THOMAS pour les meules protohistoriques du Toulousain) tous deux en contexte d'archéologie protohistorique. A partir des années 2010 l'attention pour le poids des meules ou des fragments devient plus régulière (oppidum de Gondole, MRB de Basse Normandie, meules des ateliers de l'Eifel, épave d'Ila Pedrosa, meules

⁴⁴ Le nom des paramètres sera le plus souvent exprimé avec des Majuscules, indicatrices de leur abréviation ou codage, ainsi HU pour Hauteur Utile, HP pour Hauteur Passive, DOE ou D.OE pour Diamètre de l'œil ou Oeillard, HCo pour Hauteur du Cône, Hc pour Hauteur ou Profondeur de Creusement etc. ; on a cherché dans la mesure du possible à ce que ces sigles soient directement intelligibles en Anglais (malgré la difficulté de l'inversion du génitif) et en Italien (moyennant la traduction intuitive –aisée- de Altezza par le H de Hauteur/Height) : ainsi HCo = Altezza Cono / Height of Cone, HU = Altezza Utile / Height for Use ; HNF pourrait se transformer en HN (Altezza Nuova / Height when New) etc.

⁴⁵ Dont 4% (88 pesées) constitués par nos propres mesurages sur 5 des 14 assemblages, hors Orvieto.

belges des Tungri, frange urbaine de Bourges)⁴⁶. Comme on peut le constater à travers les volumes de 2011 (Evolution), 2016 (Lons-le-Saunier) et 2017 (Reims), l'intérêt pour le poids semble étranger au « Groupe Meule » français chez qui la primauté va à la morphologie, au dessin technique⁴⁷ et au comptage en NR.

Afin d'avancer dans la comparabilité des assemblages et dans la quantification de l'équipement meulier des établissements ruraux ou urbains (~~voir Partie VI, CHAP.10~~), il conviendrait vraisemblablement de ne pas trop tarder à passer à une double quantification (en NR et NEM)⁴⁸ comme l'ont opéré à un moment donné l'archéozoologie et la céramologie. Le poids en revanche sert à apprécier des paramètres techniques tels que la pression active d'un *Catillus*, la pression de pose d'un couple de meules sur un support, ou les implications en termes de manipulation et de transport.

FIG 7-26C Comparaison MRB : Principaux Paramètres (sites d'Utilisation, page 2)

		Sites d'UTILISATION & REJET																Page 2
51	ROANNE	11	10	10	11	10	10										8	6
52	Villa de CHAMPION	5	4	3	5		4										3	5
53	Le PATURAL	23	39	37	38	20	37										37	6
54	MAZIERES-en-MAUGES	25	18	24	25	10	22										15	6
55	VERTAULT	40	40	39	40		40										40	5
56	BIBRACTE Rebout	51	51	51	1	51	51										17	51
57	PUY du TOUR	28	19	14	28	28	27	14									7	19
59	PROVENCE, Coquerel	64	69	68	69	22	67										36	6
60	ENSÈRUNE	51	51	49	51		50	36		19			51	51				38
61	FINISTÈRE	7	7	7	7	2	7											5
62	ITALIA, varia	51	39	15	30	3	37	10									6	31
63	MAGALAS, Terrasses Montfo	6	5		6	6	5	3									4	7
65	CARCASSONNE Dépôt	16	16	16	16	16	16						16	13			16	9
66	PEYRIAC-de-MER	16	16	16	16	2	16	16					16	10			7	16
69	TUNGRI	46	46	39	46	46	46	24	35	21	22	34	46	46	43	23		44
70	AVENCHES, Musée	134	18	128	60	134		117	63	52	9	62	7	17			17	15
72	OSTIA Antica, dépôt	12	12	12	12		12	11	4	4	8	4	12	10	4		4	15
77	SENS	1	1	1		1	1	1	1				1				1	10
80	REIMS	11	11	11	11		11	11	11	8	11	11						11
81	BÉZANNES	26	26	24	20	24	25	9	24	11	26	19	26					25
91-B	LONDON POULTRY	212		167	143	212	212						144				166	8
93	GONDOLE	8	8	4	4	8	7	4	3	4	3	1	4			8	4	17
94	YMONVILLE	18	14	16	17	18	18	13	13	13	6	7	13	14			12	12
95	PRASVILLE	8	8	8	8	8	8	6	8	7	1	8	8			8	8	17
96	SARAN	22	6	6	6	21	20	5	4	6	4	6	6			3	3	16
97	VOVES, Moulin Geareot	6	6	6	6	6	4	4	1	4			1	5			6	13
98	F.TAINE-la-GUYON, Déserts	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	12
1965		123	1771	1580	1709	890	1116	294	174	100	325	108	402	140	91	46	38	476
		1,2%	17%	15%	17%	9%	11%	3%	2%	1,0%	3%	1%	4%	1%	1%	0,4%	0,4%	5%
		10350	5,3															
Stades		D	ANGLE	ROCHE	CHRONO	H	DOE	HCo	HTr	HFL	HP ou HU	% CON-SERV	POIDS	VOLUME	PERTE	Métrol.	% USURE	
Façon.													Capable	M. Finie				

FIG 7-26D Comparaison MRB : Principaux Paramètres Renseignés et Etudiés

NR	21%	91%	73%	83%	46%	60%	15%	9%	4%	19%	8%	26%	15%	14%	3%	3%	24%	48%	
Total	2 616	538	2371	1899	2172	1194	1571	393	229	110	488	215	675	388	379	73	66	616	1245
		4%	16%	13%	15%	8%	11%	3%	2%	1%	3%	1%	5%	3%	3%	0,5%	0,5%	4%	9%
Stades		D	ANGLE	ROCHE	CHRONO	H	DOE	HCo	HTr	HFL	HP ou HU	% CON-SERV	POIDS	VOLUME	PERTE	Métrol.	% USURE		
Façon.													Capable	M. Finie					

55. La FIG.7-26D permet également de cerner les paramètres sur lesquels, principalement à partir de l'analyse des Meules Rotatives Basses, nous avons mis l'accent dans cette thèse, paramètres souvent issus des attributs fondamentaux que sont le Diamètre, la

⁴⁶ Attention accordée au poids des objets par des auteurs comme Y. DEBERGE (Auvergne), St. WEFERS (Rhénanie), A. VIVAR LOMBARTE (Catalogne) et E. HARTOCH (Belgique).

⁴⁷ Avec semble-t-il une certaine fascination pour la reproduction des meules par le dessin.

⁴⁸ Nous calquons la notion de Nombre Equivalent Meule (NEM) sur celles de NEV ou NEB en céramologie : Nombres Equivalent Vase ou Bord qui sont mesurés en % du périmètre et remplacent objectivement le NMI : on a 1 Equivalent Bord chaque fois que les fragments de bord totalisent 100% de la circonférence –les Diamètres *ad hoc* sont téléchargeables sur le site anglais www.potsherd.net tenu par Paul TYERS, rubrique « Tools / Radius Measuring Charts ».

Hauteur et la Conicité (Hauteur du Cône et de la Trémie). Il s'agit, outre naturellement de ces 3 premiers paramètres, du degré de Conservation (ou Intégrité) d'une MRB (renseigné à 26% et correspondant à 5% des données), des Stades de Façonnage (renseignés par nos soins à 21% pour 4% des données), de la Métrologie⁴⁹ (renseignée par nous-même à 24% pour 4% du volume des données), enfin de l'Usure (renseignée par nos soins à 48% pour 9% du volume des données). Stades de Façonnage, Métrologie et Usure sont des concepts jusqu'ici inusités en archéo-molinologie et que nous avons développés. Ils seront expliqués et mis en œuvre dans les Chapitres adhoc (Partie II). Parmi ces premiers centres d'intérêt figure aussi le Diamètre de l'Œil et de l'Œillard (renseigné à 15%). Malgré la rareté des Œils parvenus à l'état d'achèvement à Orvieto, devant le constat de l'existence d'ouvertures larges ou étroites notamment sur des *Metae* relevant d'un même assemblage (par ex. Ensérune), on a en effet souhaité explorer la question de savoir si l'Œil était proportionnel au Diamètre de la meule ou bien une valeur fixe valant *n* Digitus. L'Œil est en effet une partie technique importante, siège de l'axe du moulin et d'entrée des denrées soumises au broyage.

56. Nous avons par ailleurs créé d'autres notions, appliquées cependant sur des échantillons plus restreints et à titre de perspectives, ce qui n'en fait pas pour autant à nos yeux des éléments obligatoirement mineurs de la présente thèse. Il s'agit notamment du concept fondamental des Hauteurs Utile et Passives (renseignées par nos soins à hauteur de 8% soit sur un effectif de 215 meules) qui permet de mesurer la durabilité d'une meule. Cette notion permet de calculer, de manière plus précise que l'Indice de Rectangularité⁵⁰, le degré d'Usure des meules utilisées. Elle permet aussi de comparer la longévité entre meules tournantes (*Catilli*) et dormantes (*Meta*) et donc d'aborder la Balance Dormantes/Tournante ce qui conduit à discuter du taux de renouvellement égal ou différentiel entre *Catilli* et *Metae*. Cette notion de HU-HP permet aussi d'apprécier le Rendement en Hauteur Utile d'une meule, d'examiner si le paramètre longévité était maîtrisé ou s'il constituait la résultante « passive » de la combinaison d'autres paramètres (tels notamment que la Hauteur du Cône ou la profondeur de la Trémie (dépression supérieure accueillant le grain)).

57. Parmi les raisons qui expliquent le caractère quantitativement limité du sous-échantillon des MRB pour lequel on a extrait ces données figurent en première position, dans le temps, le fait que ces notions sont apparues et ont été formalisées au fur et à mesure de notre travail. En seconde position figure le fait, comme on l'aura perçu au paragraphe ci-dessus, que ces notions se décomposent en une multiplicité de paramètres (une douzaine) à saisir, mesurer ou calculer⁵¹. Il n'était donc pas possible, voire pas utile, de systématiser la saisie. On a préféré se concentrer sur les concepts, leur définition, leur formule de calcul et leur portée, cela sur la base d'un nombre restreint d'assemblages et de données chiffrées (qui varient toutefois d'un minimum de 200 à 600 pour chacun de ces paramètres non principaux –voir **FIG.7-26D**). Ces derniers ont en revanche été systématiquement calculés pour les 81 MRB d'Orvieto.

⁴⁹ Par Métrologie on se place ici dans le concept de « Science de la Mesure » et non dans l'acception restreinte généralement en vogue chez les Antiquisants (Système des mesures de poids et monnaies) : il s'agit donc dans ce travail de l'étude du système de comptage (par ex. par 16 ou par 20), et de mesure (Pied, *Digitus* ou Pouce, Palme) ainsi que des proportions (3 x 4, 4 x 5 etc.) et normes manipulées (ainsi 18, 20, 22, 24 et 32 DGT).

⁵⁰ Le concept d'IREC que nous proposons sera abordé au **CHAP.18** de la Partie II, il permet également de déterminer le modèle des meules et d'identifier des meules plus adaptées au domaine « industriels » ou bien plus proches du modèle médiéval et moderne.

⁵¹ Notamment HTR, HCo, Hc, HU, HP, HUr, HUnf, HNF, REND.HU, Usure /220%, Usure H/HNf, Usure HUr/HUNf (soit : Hauteur de Trémie, Hauteur de Cône, Hauteur de Creusement de la Base, Hauteur Utile, Hauteur Passive, Hauteur Utile restante, Hauteur Utile à Neuf, Hauteur à Neuf, Rendement en Hauteur Utile, Taux d'Usure sur norme IREC à Neuf 220%, Taux d'usure en % de la Hauteur sur la Hauteur à Neuf, Taux d'Usure en % de Hauteur Utile Restante sur la hauteur Utile à Neuf).

Auteurs cités dans ce Chapitre : ANDERSON, CASTELLA *et al.* 2003 – ANDERSON *et al.* 2016 – ANTONELLI *et al.* 2014 – ARRIBAS 1987 – BELTRAME, BOETTO 1997 – BINACO 2010 – BRUN 2016 – BUFFONE 1999 – BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI *à par.* – CHARTRAIN, FLOTTÉ, HENRI 2013 – CRISAFULLI 1996 – DEDET, PY 1976 – De VOS *et al.* 2011 – DONNER 1992 – ETCHART-SALAS 2017 – FARGET 2006 – GLUHAK *et al.* 2016 – HARTOCH 2015 – JACCOTTEY, FARGET 2011 – JODRY, HOLDERBACH 2017 – LONGEPIERRE 2012 – MANGARTZ 2008 – MONTEIX 2013, 2016 – NARDÒ 2017 – PEACOCK 1989, 2014 – PICAUVET, FRONTEAU, BOYER 2011 – PORTILLO 2006 – PY 1978 – QUESADA *et al.* 2014 – SATTÀ, LOPEZ 2010- SPOSITO 2008 – THOMAS 2006 – TYERS (www.potsherd.net) – VIVAR LOMBARTE 2013 – WALDHAUSER 1981 – WEFERS, MANGARTZ 2014 – WILLIAMS, PEACOCK Poultry 2011/s.d. –

PARTIE II

**Les MEULES ROTATIVES
BASSES à ORVIETO :**

**Géométrie
Comparaison
Usure**



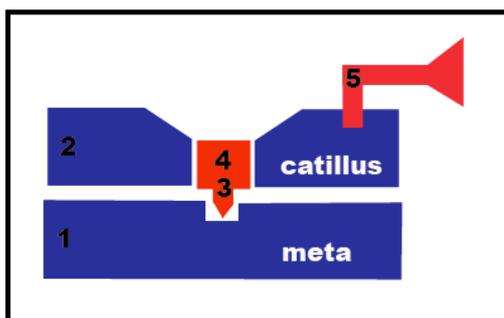
INTRODUCTION

1. Sur les MEULES : NOTIONS ILLUSTRÉES

A. Un couple de Meules

Un moulin, qu'il soit protohistorique ou médiéval et moderne et ce jusqu'à l'invention de la mouture aux cylindres à la période industrielle, se compose d'une paire de meules. L'une, à priori celle du dessous, est fixe. L'Antiquité romaine la désignait par le terme *Meta* (jalon, borne, forme en pointe arrondie - Fig.2²) elle sera dite « dormante » ou « gisante » après l'Antiquité³. Son centre est percé (Fig.3) d'un trou circulaire, l'œil, qui recevait l'axe. L'œil peut être aveugle ou traversant comme il sera de règle à partir du I^{er} s. aC ce qui permet de à l'axe de venir du dessous et donc de régler l'écartement des deux meules ou de transmettre la rotation provenant d'une roue hydraulique.

La seconde meule tourne au-dessus de la première (Fig.4a)⁴, elle est appelée en latin « *Catinus* » ou « *Catillus* » et c'est ce dernier terme qu'a



retenu l'archéologie. Le non spécialiste étant souvent perdu entre ces deux vocables qui demandent un petit temps de familiarisation, on proposera ici un moyen mnémotechnique :

CT comme *CaTillus*
comme « Ça Tourne ».

Le *Catillus* (Fig.4b) est percé en son centre d'un large œillard qui permet à la fois



¹ Depuis la gauche : **1-** moulin manuel à pois dans une série tv coréenne (*Lovers in bloom*, KBS drama, 2017) ; **2-** meule filante et son logement d'anille en 2016 au Domaine Daumas-Gassac (FR, 34) ; **3-** moulin à décortiquer le riz mû par une bielle manuelle, Tonkin 1885 (internet non sourcé) ; **4-** moulin manuel mécanisé à manivelle, USA (www.millsowashingtoncounty.com) ; **5-** *Catillus* n° 4 du dépôt archéologique de Carcassonne.

² Fig.2: *Meta* de style pompéien d'Orvieto R.9 correspondant au sens premier du terme *meta* ; Fig.3: *Meta* n°13 dépôt archéologique de Carcassonne.

³ Il est intéressant de noter que cette appellation fait référence à la conicité, ignore les meules plates et renvoie assez précisément (Fig.1) aux *Metae* de style Pompéien. Pour sa part le terme le *Catillus* semble faire référence à un récipient et renvoie plutôt à la cuvette à grain (trémie) des *Catilli* classiques.

⁴ Fig.4a : représentation schématisée d'un couple de meules rotatives basses avec, en-dessous, la *Meta* fixe, et au-dessus le *Catillus* mobile, sont figurés en rouge les dispositifs de rotation et de liaison des deux meules ; Fig.4b : *Catillus* ACH-15 du dépôt de Carcassonne.

l'entrée des denrées à broyer ou à moudre et l'arrimage de la meule à l'axe. Le *Catillus* peut être mis en mouvement à partir de son centre ou à partir de la périphérie⁵. Les modalités de cette liaison axe / *Catillus* constituent à nos yeux l'un des points faibles de l'archéomolinologie actuelle. Il existe des moulins à axe fixe et d'autres à axe tournant comme il existe des moulins rapides et des moulins lents. L'archéologie débute à peine sur ces questions qui pourtant s'inscrivent probablement en partie dans la physionomie des meules elles-mêmes.

2. Axe et rotation

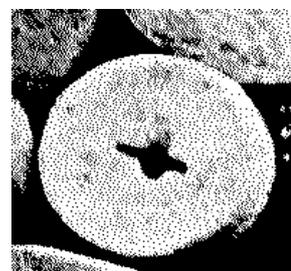


Les deux meules sont en effet traversées d'un axe, fixe ou tournant (Fig.5), qui devait être en bois ou en os plus souvent qu'en fer car seuls quelques rares exemplaires en ont été trouvés (Fig.6)⁶. Le *Catillus*, meule volante, est arrimé à cet axe par des dispositifs divers, d'ailleurs plus connus par l'ethnographie (Afrique du grain au Nord du Sahara, Inde et Asie des légumineuses et du riz -Fig.7)⁷ que par l'archéologie.

Trois configurations techniques nous paraissent envisageables :

- L'axe est fixe et scellé solidement dans la *Meta* ; l'axe est réduit à une fonction de centrage, le *Catillus* tourne alors librement autour de lui, il n'est pas particulièrement exposé à des contraintes mécaniques et c'est la *Meta* qui porte (avec le grain ou le minerai) le poids du *Catillus*. La rotation provient du pourtour de cette meule mobile, sans doute le plus souvent par l'intermédiaire d'un manche à poignée. Cette configuration technique correspond au moulin manuel restitué au petit musée de Peyriac-de-Mer et que nous avons tourné sans peine (Fig.8)⁸.

- La seconde catégorie technique en revanche solidarise axe et *Catillus* et c'est la meule qui communique son mouvement à l'axe. Celui-ci tourne dans la crapaudine que constitue l'œil de la *Meta*. La transmission de la rotation entre l'axe et la pierre s'opère par divers dispositifs basés sur le principe de l'ailette (Fig.9)⁹ : deux protubérances fixées à l'axe mobile et encastrées dans le *Catillus*. S'il équipait des meules voltigeant sur des *Metae* non perforées, l'œil « celtique » (Fig.10) serait une bonne illustration de cette transmission à axe tournant. Cette technique expose sans doute le



⁵ Les réflexions de Paul Picavet semblent les plus avancées sur cet enjeu (PICAVET 2019, vol. I notamment p.153-169 puis le Chapitre 9 p. 170-198).

⁶ Fig.5 : axage graphique des meules appariées trouvées à Cournonterral près de Montpellier (FR, 34), aimable courtoisie de Florent Mazières ; Fig.6 : moulin en place avec ses deux meules et son axe en fer, oppidum de Vié-Cioutat (FR, 30), DEDET 1976, fig.23).

⁷ Fig.7 : mouture de lentilles dans un moulin traditionnel en Inde, le *Catillus* est mû par la périphérie au moyen d'une poignée-manche en bois, il n'y a pas d'ailette mais un boîtard c'est-à-dire un corps transverse (principe des ailettes) qui est bloqué dans l'œillard et entoure l'axe, ce dernier peut être fixe ou plus probablement ici tournant puisqu'il semble encastré par forme conique dans le boîtard (source : www.ulkie.free.fr)

⁸ Fig.8 : moulin restitué avec les meules 1 et 2 au petit musée de Peyriac-de-Mer (FR, 11) ;

⁹ Fig.9 : reconstitution d'une transmission à ailette dans la restitution expérimentale d'un *Catillus* à « œil celtique » (JODRY, THOMANN 2012) ; Fig.10 : *Catillus* à « œil celtique » (meules de Strasbourg : FÖRRER 1927, PL.XLV).

Catillus plus fortement que la première à l'oscillation, ce qui pourrait avoir favorisé le développement compensatoire de la conicité des meules protohistoriques et romaines. On peut aussi envisager que le remède à cette tendance à l'oscillation du *Catillus* ait résidé dans la suspension de la meule tournante au-dessus de la gisante sur laquelle elle reposerait au moyen d'une pointe ou d'une aiguille, les *Catilli antiques* munis d'encoches ou de manchons pourraient répondre à cette technique. L'entraînement a lieu par la meule et donc le plus souvent par sa périphérie (poignée, bielle, bâton sur un anneau ou un cerclage-**Fig.11**)¹⁰ mais une transmission de la rotation par le milieu et par le haut est sans doute aussi envisageable.



- La troisième configuration technique correspond également au principe de solidarisation entre l'axe et la meule tournante, mais cette fois c'est l'axe qui communique la rotation à la pierre. L'entraînement a lieu par le centre. La *Meta* est alors percée d'un œil traversant (ci-contre **Fig.12**)¹¹ qui laisse passer l'axe de bois puis de fer lequel, mû par en-dessous, transmet le mouvement au *Catillus*. Cette meule mobile est raccordée à l'axe tournant par le principe des ailettes selon



diverses solutions de matériau (fer, bois, os), de raccord ou d'encastrement avec l'axe (**Fig.13**)¹². La solution reine de cette configuration technique sera en vigueur jusqu'à nos jours pour des meules de plusieurs tonnes jusqu'à 2 m d'envergure : elle est constituée par l'anille par-dessous (**Fig.14, Fig.15 et 16**)¹³.

Fig.14

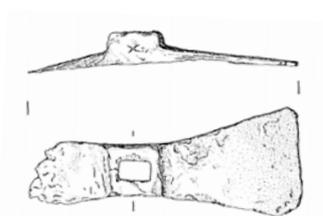
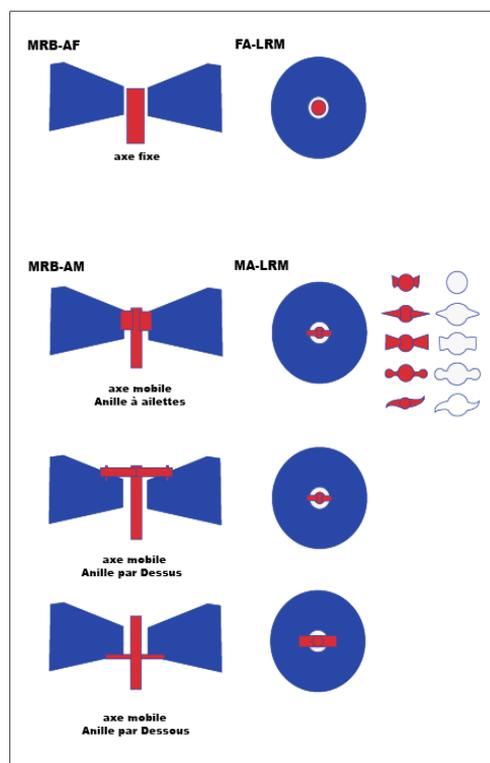
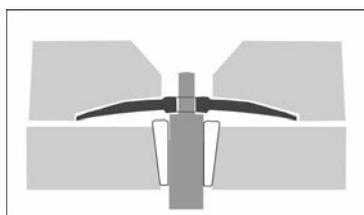


Abb. 8: Zeichnung der Mühle Kat. - Nr. 19 von einem römischen Gutshof in Kirchberg. Das Eisen diente als Mitnehmer und Lager für einen Mühlenstein von ca. 75 cm Durchmesser. Maßstab 1 : 2 (F. Lörken).

Fig.15



Fig.16



L'anille est un fer plat robuste, encastré ou soudé sur l'axe moteur qui provient du dessous et traversante la meule gisante (**Fig.16**).

¹⁰ **Fig.11** : vignette représentant un moulin sur table de bois, muni d'une hausse par le dessous (donc une *meta* perforée) et mû par un bâton attaché en hauteur, le raccord avec la meule et le point haut se fond par un anneau de métal, cuir ou fibre (liaison de type bras de fléau), la rotation est dite « conique », le bâton présente l'avantage de minimiser l'effort en réduisant le rayon de rotation manuel, il permet de plus à l'opérant d'adapter à sa stature la hauteur de sa prise en main (vers 1300-1340, manuscrit royal MS 10 E IV : *Decretals of Gregory IX with gloss of Bernard of Parma*).

¹¹ **Fig.12** : dessin technique de la *Meta* à œil traversant du moulin de Courmonterral (Fl. Mazières), la meule très usée est ici réduite à son épaisseur minimale (HPi : Hauteur Passive incompressible).

¹² **Fig.13** : planche illustrant en section les principaux dispositifs de liaison entre l'axe et le *Catillus*, sur la droite est figurée (en rouge) la vue de dessus de ces dispositifs en bois, os ou métal tels que l'on peut les déduire (en trait noir) de la forme des œillards archéologiquement attestés.

¹³ **Fig.14** : anille en fer d'époque romaine (SANDEK 1992); **Fig.15** : a anille en acier actuelle, moulin hydraulique (source : www.moulinde lamousquere); **Fig.16** : schéma en section montrant la place relative de l'anille, du *Catillus* et de l'axe traversant la *Meta*.

L'anille prend place dans deux logements rectangulaires creusés en sous-face de la meule tournante et axés selon le diamètre (ci-contre **Fig.17**)¹⁴. Elle occupe 25 à 45% du diamètre de la meule. L'anille permet autant le moulin manuel que la motricité hydraulique et autorise de surcroît le réglage d'écartement. Elle reporte la totalité du poids de la meule volante sur l'axe. Dans le cas d'un *Catillus* antique, ce poids dépasse rarement 100 kg et se situe en moyenne plutôt sur les 40 kg pour un exemplaire neuf.

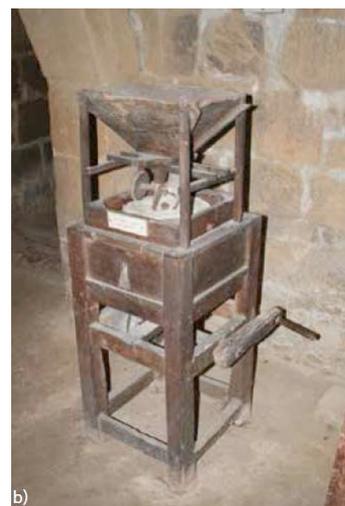
3. Motorisation

Enfin, la meule supérieure, qu'on dira en effet

« tournante », « volante » ou « filante » après l'Antiquité¹⁵, est actionnée par une force motrice. Le moteur peut être humain, lorsque l'énergie est fournie par les bras appliqués à un manche que l'on tourne, à une bielle que l'on pousse (ci-contre



Fig.18)¹⁶ ou à un bâton reliant la meule à une poutre (**Fig.11 supra**). Le moulin peut enfin, comme le tour, être actionné plus indirectement par une manivelle (ci-dessous **Fig.19**)¹⁷ ou une pédale.



Le moteur fut très rapidement, peut-être dans les deux ou trois siècles aC¹⁸, de nature hydraulique : une roue, disposée verticalement (moulin vitruvien) ou plus souvent (ce que l'on a oublié) horizontalement (moulin à rodet)¹⁹ est entraînée par l'eau. Elle se prolonge par un arbre moteur qui transmet,

¹⁴ **Fig.17** : logement d'anille sur la face inférieure (surface de travail) d'un grand *Catillus* en grès trouvé à Amiens (HUBERT 2013).

¹⁵ En Anglais le *Catillus* correspond au *Runner* ou *Upper-stone* moderne, la *Meta*, dormante, est appelée *Bedstone* ou *Lower-stone* (un glossaire complet et fiable, multilingue Français, Allemand, Anglais et Néerlandais figure dans HARTOCH 2015, 386-397 - qu'on aurait avantage à compléter par l'Italien et l'Espagnol ainsi que si possible par le Polonais et le Tchèque).

¹⁶ **Fig.18** : moulin manuel traditionnel en usage au Maroc actuel, inséré dans une banquette et débouchant par un versoir à farine frontal, il est mù par une bielle fixée à un emmanchement vertical (type 8, C) ; la bielle se terminant en arc formant poignée, est poussée et tirée pour transmettre l'énergie manuelle au *Catillus*, sa suspension au plafond l'allège et lui donne l'élasticité nécessaire au mouvement de va-et-vient qu'elle transforme en mouvement circulaire, l'opérant est assis pour la manœuvrer et un aide doit alimenter régulièrement le moulin par l'œillard (source : www.geotraces.net , cliché André M. Winter, 2007) ; il faut probablement voir un tel dispositif derrière la plupart des moulins antiques à emmanchement et *Meta* non traversée que l'archéologie actuelle dit pourtant « manuels » ou « à bras » sinon à mouvement « semi-alternatif » quand placés contre un mur, alors qu'il s'agit de moulin manuel, semi-mécanisé et à bielle.

¹⁷ **Fig.19** : source : CORTELAZZO 2015, 123 : moulin à manivelle, actionné par dessous, le mouvement rotatif vertical est converti en rotatif horizontal par un engrenage situé sous les meules et à la base du fer (axe) ; rien ne s'oppose à ce qu'un tel type de mécanisation « domestique » ait pu exister à la fin de l'Age du Fer et dans l'Antiquité, pièces et techniques étant disponibles, c'était le cas sur les grands moulins vitruviens et probablement toute une série de machines utilisant l'engrenage en bois ou peut-être en bronze.

¹⁸ Cette datation, incertaine, est un objet majeur des recherches, le présent mémoire souhaite modestement y contribuer à travers l'éclairage fourni par les meules étudiées (notamment **CHAP.13** et **21**).

¹⁹ Egalement appelé « norsk mill » ou « greek mill ».

directement ou par l'intermédiaire d'un engrenage, le mouvement rotatif au couple de meules. A partir du Moyen Age, la motorisation sera aussi assurée par le vent.

On qualifie abusivement de « moulin » toute découverte d'une roue entraînée par l'eau. Or cette partie ne désigne que le moteur hydraulique, à l'extrémité duquel il peut y avoir un moulin mais aussi un marteau pilon, une pile, un marteau à tan, une scierie, un pétrin, une cuve à brasser et chauffer le fromage, c'est-à-dire autant de machines variées utilisant un moteur hydraulique et combinées ou non à un engrenage, un arbre à cames, une bielle, une roue démultiplicatrice.

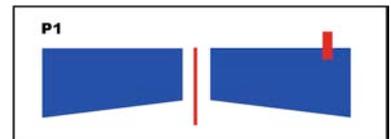
Dans la motorisation hydraulique des meules, le mouvement provient d'en-dessous et l'axe traverse la meule dormante. Le moulin, en tant que machine, fonctionne sur deux niveaux et, en tant qu'architecture, il s'organise en deux unités spatiales et fonctionnelles (Fig.20)²⁰. Une *Meta* à œil traversant signifie l'existence d'un niveau inférieur, qu'il s'agisse d'une table, d'un coffre ou d'une salle basse.



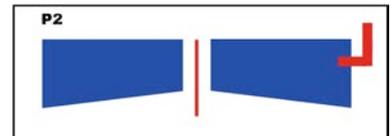
4. Entraînement de la meule

On distingue communément deux modes d'entraînement de la meule mobile :

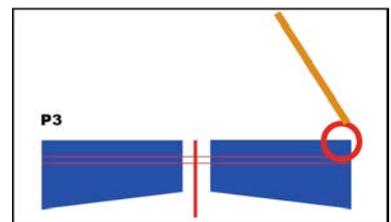
- un entraînement par la périphérie²¹, lorsque la force motrice est appliquée sur un point proche de la circonférence de la meule, en général à partir d'une poignée emmanchée directement à la surface ou sur le côté (modalités P.1 et P.2 sur les Fig.21 et 22 ci-contre)²². La meule courante peut être solidarisée à un axe fixe ou à un axe tournant.



Cette modalité est l'une des plus communes et elle est toujours en vigueur dans des pays où l'on emploie encore le moulin manuel. Cependant du fait de la disparition des parties organiques du moulin, elle ne se distingue archéologiquement pas de l'entraînement par une bielle qui s'applique au même endroit mais constitue un premier degré de mécanisation.



On relève également la motion par l'intermédiaire d'un anneau inséré dans une mortaise d'emmanchement ou sur un cerclage, et articulé à un bâton ou perche (modalité P.3 Fig.23) fixé à une poutre au-dessus du moulin. Elle constitue également l'une des modalités les plus courantes d'un entraînement par la périphérie. Elle est discutée pour la période Romaine (intéressants *pro* et *contra* dans (PICAVET 2019, 170-175) mais rien dans le système technique antique ne s'y oppose²³. Ce moulin manuel et mécanisé à perche semble s'être développé au Haut Moyen Age.



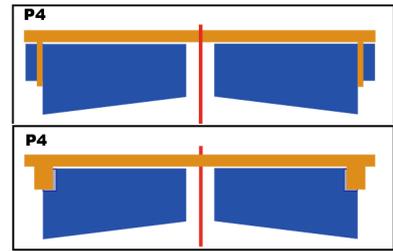
²⁰ Fig.20 : moulin à rodet entièrement en bois, avec axe (arbre) vers le couple de meules, roue à pales inclinées et douche d'arrivée en bois évidé située sur la droite (Roumanie, internet non sourcé).

²¹ Nous avons codé P.1 à P.5 les différents modes d'entraînement par la périphérie.

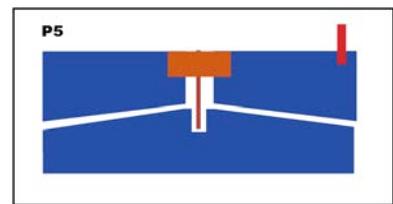
²² Fig.21 : P.1 entraînement périphérique par manchon supérieur, Fig.2 : P.2 par manchon latéral ; Fig.23 : entraînement périphérique P.3 par bâton.

²³ Cette réticence à l'égard de la possible existence du moulin à perche dans l'Antiquité se retrouve exprimée envers la bielle, ces dispositifs sont pourtant tout à fait possibles dans le système technique. Ces réticences –qui tendent à bloquer l'observation et la recherche d'indicateurs de telle ou telle technique, ou maintiennent un caractère trop global et non décomposé à nos approches (comme celles de l'axe, de l'entraînement, de la motricité par-dessous)- nous paraissent d'ordre idéologique et liées à un certain refus d'envisager l'existence de tout un machinisme antique dans le cadre, très finleyien, d'une croyance au caractère primitif du niveau technique de cette (vaste) époque.

Un mode particulier de mise en mouvement de la meule, qui semble surtout avoir été en vigueur à la période d'invention du moulin, en Catalogne et Languedoc occidental, réside dans l'enserrement du *Catillus* par un cadre de bois (modalités P.4 sur les Fig.24 et Fig.25)²⁴ : un madrier diamétral est disposé juste au-dessus de la meule qui est lui est solidement attachée à partir de manchons latéraux protubérants ou d'encoches verticales situées sur le bord supérieur. Une intéressante étude a été récemment publiée sur ce type d'entraînement dans l'aire catalane que les auteurs (ALONSO, PEREZ, LOPEZ 2016) proposent d'appeler le « moulin rotatif ibérique poussé ». Il nous semble par ailleurs que ce dispositif est compatible avec une suspension au-dessus de la *Meta* d'un *Catillus* qui serait alors fixé à un axe provenant du plafond, système qui pourrait avoir été celui du Moulin de Style Pompéien²⁵.



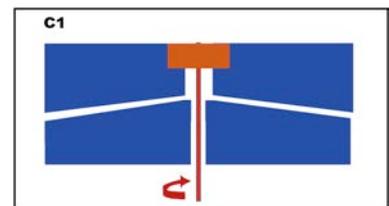
Enfin un cinquième dispositif semble permettre l'entraînement par la périphérie mais ne se distingue pas, archéologiquement (à partir de la seule meule), d'un entraînement par le centre : il s'agit du système d'axe à ailettes (modalité P.5 sur la Fig.26). L'axe est tournant ou fixe, le *Catillus* y est raccordé par le biais de deux ailettes insérées dans une fente diamétrale pratiquée sur le côté de l'œillard (voir supra Fig.13). Les *Catilli* portant ce logement diamétral sont dits à « œil celtique ». La même mise en mouvement peut être obtenue avec une pièce d'os, de bois ou de métal coincée à force entre les parois de l'œillard et raccordée à l'axe (voir supra Fig.7)²⁶. L'entraînement peut être périphérique (par poignée ou bâton).



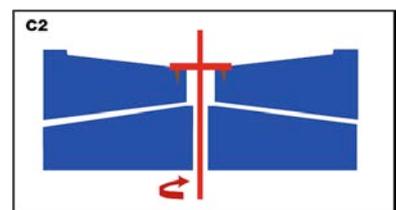
Ce dispositif, qui semble préfigurer l'anille²⁷, paraît cependant tout aussi compatible avec un entraînement par le centre. Il implique alors que l'œil des *Metae* soit traversant.

. **l'entraînement par le centre** constitue en effet le second mode de mise en mouvement de la meule tournante, lorsque la force motrice lui est transmise par l'axe qui est fiché dans l'extrémité de l'arbre moteur. Cet entraînement est propre aux moulins à motricité hydraulique ou mécanique (manivelle, pédale). Il suppose que la *Metae* soit perforée afin de permettre le passage de l'axe en rotation.

Une première modalité de l'entraînement par le centre pourrait résider, comme nous l'avons vu, dans les *Catilli* munis d'un logement pour ailettes (Fig.27)²⁸. Ces mortaises montrent des formes très variées en plan : rectangulaires, à queue d'aronde, carrées, circulaires, en triangle (œil celtique), en spirale etc. (voir supra Fig.13).



Une seconde modalité d'entraînement par le centre réside dans ce que les Français appellent une « anille par-dessus ». Il s'agit (Fig.28) d'une barre plate diamétrale, fixée transversalement sur l'axe et scellée à la surface du *Catillus*, à quelque distance de l'ouverture de l'œillard. La technique s'apparente à



²⁴ Fig.24 : P.4 entraînement périphérique par enserrement avec manchons ou encoches.

²⁵ Hypothèse brièvement évoquée par WILLIAMS-THORPE 1991, 30 ; sur le terme *suspensa mola* employé par l'agronome latin Columelle, voir SAEZ 2013.

²⁶ Solution de type moyeu qui est souvent appelée « boïtard ».

²⁷ L'anille par-dessus est identique mais remplace le blocage dans une fente par un scellement au plomb, parallèlement on peut considérer que l'anille par-dessous, située à la base de l'œillard et non plus dans le haut, constitue une migration du logement à ailette vers le bas. Cependant il semblerait que la chronologie d'apparition de l'anille (au III^e-II^e s. aC semble-t-il par ex. à Puig Castellar où sont présentes des anilles par-dessus) soit d'une part similaire à celui du système à ailette et d'autre part méditerranéenne, l'œil celtique apparaissant quant à lui semble-t-il à la Tène D en zone septentrionale Seine/Rhin. Les anilles, qu'elles soient par-dessus ou par-dessous, sont absentes de Pech Maho, site abandonné un peu avant 200 aC.

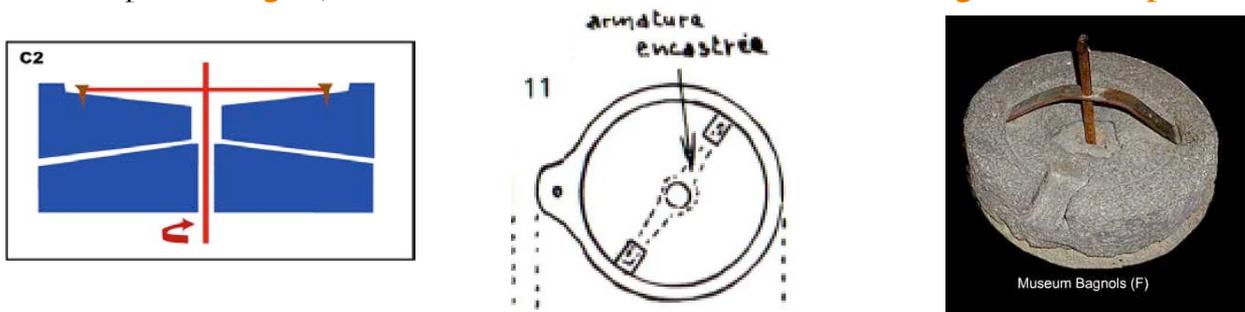
²⁸ Fig.27 : entraînement par le centre, modalité C1.

celle du cramponnage. On retrouve assez fréquemment des *Catilli* munis d'une anille par-dessus notamment courte (modalité que nous appelons C2a – exemples ci-dessous en Fig.29)²⁹.

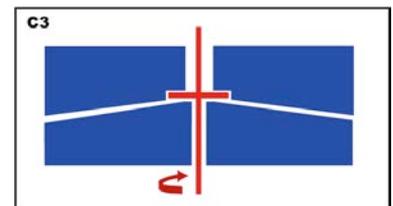


Lorsque la barre est longue et le scellement placé en partie distale, proche du rebord du *Catillus* (modalité C2b - Fig.30) les Italiens la désignent par le terme imagé de « *ponte* », celui de « anille-pont » nous semblerait en effet tout à fait adapté en français (exemples divers d'anilles-pont en Fig.31)³⁰.

Fig.31 : Anilles-pont



Une modalité majeure de l'entraînement par le centre est constituée par l'**anille par-dessous** (Fig.32), souvent appelée simplement anille³¹. Une robuste lame plate est solidarisée à l'axe moteur et s'encastre en sous-face du *Catillus* auquel elle transmet le mouvement (voir *supra* Fig.14-16)³². Il s'agit d'une variante du système à ailettes mais disposée cette fois dans le plan horizontal et non plus vertical comme avec C1 ou P5. La différence est que l'anille par-dessous porte tout le poids de la meule volante. Il est probable qu'elle constitue le meilleur remède à l'oscillation par rapport à tous les autres systèmes de liaison entre l'axe et la meule tournante. L'anille par dessous semble apparaître au Ier voire au IIe siècle aC et n'arrêtera pas de gagner du terrain au cours de la période Romaine. Elle apparaît généralisée au Moyen Age et à la période moderne, en association avec les meules plates. La découverte d'anilles en contexte archéologique est rare³³, ce qui amène à penser qu'elle était souvent réalisée en bois³⁴ voire en bronze bien qu'il faudrait voir en ce cas la compatibilité inter-matériaux avec



²⁹ Fig.29a : anille par-dessus du *Catillus* Ostia ACH-7 ; Fig.29b : anille par-dessus du *Catillus* Ostia ACH-10 ; Fig.29c : anille par-dessus du *Catillus* n° 78 de Puig Castellar (Esp, Cat.) PORTILLO 2006.

³⁰ Fig.31a : *Catillus* n° 1 d'Agde avec encastrement de lame de fer (ARIS 1974) ; Fig.31b : reconstitution au Musée de Bagnols (FR, 83) source : www.antike-tischkultur.de (Kochtechnik, mola - die römische Mühle).

³¹ Anille ou parfois Nille : en Anglais *Rynd*, en Italien *Navtola* ou *Navilla* (NEJROTTI 2009).

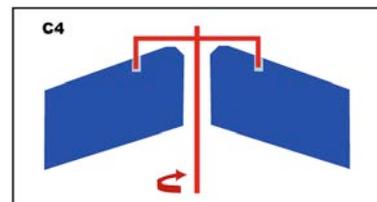
³² Collection d'anilles archéologiques comme il est rare dans voir dans FORT, TISSERAND 2016, fig.4 et 5.

³³ Voir les remarques à ce sujet de FORT, TISSERAND 2016, p. 779-781.

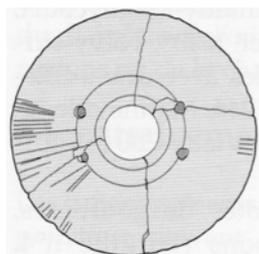
³⁴ L'anille en bois, parfois évoquée ou reproduite lors de reconstitutions de moulins antiques, semble encore attestée en Grèce par exemple si l'on en croit la présentation à l'Exposition universelle de 1855 (BENOIT 1863, 774).

l'axe moteur (fer ou bois). Archéologiquement l'anille est détectée à travers ses mortaises de logement caractéristiques, situées sur la face active du *Catillus* et de part et d'autre de l'œillard.

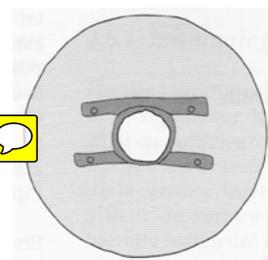
Dans le domaine des moulins hydrauliques, également mûs par le centre, l'anille par-dessous a été employée concurremment avec une autre modalité, celle du cramponnage du *Catillus* par le dessus. Ce système est appelé « anille-crampon » (Fig.33).



Techniquement il s'agit d'un pont et la meule est suspendue à la potence formée par la barre transversale. Matériellement, l'anille-crampon se marque dans la meule par la présence d'au moins 4 trous de chevillage ou de scellement d'une pointe (Fig.34)³⁵. Ils correspondent à deux tiges disposées de manière tangente aux bords de l'œillard. Il est fréquent que ces 4 trous soient reliés 2 à 2 dans le sens le plus long par 2 mortaises correspondant au logement des deux tiges (Fig.35). Ce caractère souvent double de l'anille-crampon suppose une sorte de cadre ou de cercle en métal ou bois qui solidarise les tiges-crampon avec l'axe moteur³⁶. Le fait étonnant est que cette anille-crampon est très large (souvent une trentaine de cm et de 30 à 50% du diamètre) et qu'elle portait une meule généralement très lourde. Cette configuration introduit à priori un fort risque d'oscillation et de choc du *Catillus* en rotation contre les bords de la meule géante.



Devant la présence, assez régulière mais non systématique, d'une anille-crampon et à la fois d'une anille par-dessous, plutôt que le remplacement sur une même meule d'un système de suspension par un autre ne faudrait-il pas voir une tentative de réponse technique au problème de l'oscillation ?



2. sur la MÉTROLOGIE

_____ Dans le présent mémoire nous aurons très régulièrement recours à des notions de métrologie, science des systèmes de mesure³⁷. L'objectif sera le plus souvent de définir le pied (qu'il soit meulier, régional ou impérial) qui régit les dimensions des meules ainsi que de déterminer les unités divisionnaires manipulées (telles que le pouce, le doigt, le palme la coudée). Enfin on s'intéressera aussi au système des proportions utilisées, notamment dans l'approche des relations entre le diamètre et la hauteur des meules ou par exemple entre diamètre et œillard. Il apparaît donc nécessaire d'une part de préciser le vocabulaire et les notions qui vont être utilisées et d'autre part à quelles méthodes de détection du pied et des unités on aura recours.

³⁵ Fig.33 : 4 trous de scellement d'une anille-crampon sur un *Catillus* hydraulique de Toul (FR, 54) BUSCHSENSCHUTZ *et al.* 2016, 758 ; Fig. 34 : 4 trou et rainure de scellement d'une anille-crampon sur un *Catillus* hydraulique de Reims (*idid*).

³⁶ Sur ce point voir à nouveau les remarques de FORT, TISSERAND 2016, p. 781.

³⁷ Avant de devenir, assez récemment, une telle discipline la métrologie a longtemps été, comme chez les Anciens, entendue comme système des poids et monnaies.

Métrologie régionale, importée ou spécifique aux meules ?

Le premier objectif de l'approche métrologique des meules vise à identifier le pied générateur des diamètres et hauteurs d'une série de meules. Cela permet tout d'abord de situer une production dans son contexte régional et dans celui plus global de la production meulière. Identifier le pied régissant une série de meules antiques permet de savoir si ce pied s'inscrit dans le système régional des mesures, s'il correspond à un emprunt ou bien s'il constitue l'application d'un pied spécifique aux meules qui ignore donc la métrologie régionale. Cette approche suppose donc deux points d'appui : identifier le pied d'une série meulière et disposer parallèlement d'un référentiel des pieds utilisés dans une région. Ni l'un ni l'autre de ces appuis n'étant disponible nous avons dû amorcer la constitution d'une métrologie pour les meules d'Orvieto, pour sa région et pour une série limitée d'assemblages meuliers.

Quels gabarits de meules et quelle gamme de gabarits³⁸ ?

Le second objectif de l'approche métrologique des meules vise à appréhender le gabarit des meules afin de comparer les ateliers sur la base de la gamme des gabarits qu'ils ont produits. On manipulait en effet dans l'Antiquité les petites dimensions tantôt en 16^e du pied, c'est-à-dire le doigt (latin *digitus* et grec *dactylos*), tantôt en 12^e du pied c'est-à-dire le pouce (latin *uncia*)³⁹. On peut supposer que dans l'Antiquité une meule était ainsi caractérisée par son envergure (rayon ou diamètre) par exemple de 24 doigts, ou par son épaisseur (qui transcrit sa durée de vie) par exemple 8 dgt (1/2 pied). Il est probable que les meuliers utilisaient ces unités pour mesurer ou désigner leurs produits. Notons que si le pouce et le doigt sont attestés dans l'Antiquité, des auteurs anciens comme Caton mentionnent surtout le doigt à propos du moulin à olives et de ses différentes pièces de pierre ou de charpenterie (voir *infra* CHAP.9 -géométrie). En revanche de nombreux pieds pliants ou étalons de bois, de bronze ou de pierre gravée (voir *infra*) portent des incisions correspondant autant au pouce qu'au doigt. Pour notre part nous avons rapidement abandonné le test du pouce sur les séries de mesures des meules car elles répondent visiblement bien mieux au doigt⁴⁰.

Cependant pour identifier la métrologie des longueurs définissant les meules antiques, il convient de s'affranchir du cm et de retrouver les gabarits antiques en doigt ou en pouce. En effet, un atelier O qui produit des meules de 20 doigts dans un pied de 28,2 sortira des meules de 35,25 cm de diamètre. Un atelier A produisant des meules de même gabarit (20 dgt) mais dans un pied de 29,56 émettra des diamètres de 36,95 cm. On comprend ainsi que des meules identiques pour l'Antiquité (20 dgt soit 1 pied ¼) apparaissent trompeusement différentes à nos yeux. Inversement, deux meules de même diamètre (par exemple 44,25 cm) et donc identiques à nos yeux modernes seront en réalité deux meules différentes : la première mesurait 25 dgt au sortir de l'atelier O qui fabriquait dans un pied de 28,2 et la seconde était une meule de 24 dgt (1 pied ½) émanant de l'atelier A qui fabriquait dans le Pied romain de 29,56 et même 23 dgt dans un autre atelier fabriquant dans le pied de

³⁸ D'une manière générale nous parlerons de Diamètre pour les mesures en cm et de Gabarit pour les valeurs en unité antique (dgt pour Doigt / *digitus*, ou pce pour Pouce ou *uncia*).

³⁹ Ces divisions du pied correspondent à deux des trois ou quatre systèmes de numération en vigueur dans l'Antiquité : le système par 16 (hétéradécimal) qui correspond à un partage naturel (couper ou plier en 2 réitéré 4 fois), il permet de manipuler des quarts et des demis, le système par 12 (duodécimal) qui permet des tiers, enfin les système décimal (par 10) d'où proviennent trente, quarante ou ottante, et le système vigésimal (par 20) d'où provient par exemple quatre-vingts et qui est souvent imbriqué dans le décimal ou l'héxagésimal (60). Ces système de numération et partage s'articulent sur certaines grandeurs : 6 pouces égale ½ pied soit 8 doigts ; 24 dgt égale 1 pied ½ et 18 pce ; 32 dgt égale 2 pieds soit 24 pce etc.

⁴⁰ Peut-être parce que le pouce est une unité plus grande (2,3 à 2,5 cm) qui n'autorisait pas une aussi grande finesse de travail ou de divisibilité que le doigt qui permet de diviser un pied par 2, 4 et 8 contre seulement par 2 et par 4 au pouce. Quoiqu'il en soit le développement des approches métrologiques en archéologie devrait systématiquement tester également le pouce, que ce soit sur les briques et tuiles, la pierre de taille, la céramique ou la charpenterie par exemple.

Manching (30,9 cm). La comparabilité des meules ne peut donc se faire que si l'on restitue leur gabarit antique. Comparer des cm aboutit à une impasse.

Identifier le Pied d'une série meulière : entre idéal mathématique et méthodes empiriques

La métrologie antique, dans une tradition remontant au XIX^e siècle, s'est principalement développée dans le domaine de l'architecture, à travers une recherche du pied basée sur les régularités observables dans l'urbanisme ou sur les monuments⁴¹. Elle met en relief la récurrence de certaines longueurs au sein des séries de mesures⁴². Ces longueurs répétées, souvent désignées par l'école Allemande de métrologie⁴³ par le terme *modulus*, sont considérées comme des Pieds antiques et leurs unités divisionnaires. En Egypte et en domaine oriental il s'agit plus souvent de coudées⁴⁴, étalons qui correspondent généralement à 1 pied 1/2 ou 1 pied 1/4.

Cependant, les choix opérés dans ces études, l'incertitude des mesures, une insuffisante maîtrise des outils mathématiques en particulier statistiques par des archéologues de formation littéraire⁴⁵, ou encore les liens de dérivations entre étalons antiques ont conduit à beaucoup de confusion. Ainsi pas moins de 14 pieds différents ont été proposés pour le Parthénon à Athènes (FREY 2001, 23). Rottländer écrivait en 1996 à ce sujet que « *Many prehistoric units of length have been described by archaeologists and much confusion has been produced by giving them different names, even to units of similar lengths that were discovered on different sites. These units are reviewed, beginning with the oldest, the Megalithic yard. Two mathematical methods are described, one based on statistical analysis, which is hoped will bring order to this research* »⁴⁶.

Il apparaît notamment qu'une série de mesures est souvent susceptible de correspondre à plusieurs pieds générateurs, comme le remarquent Pierre Moret sur l'urbanisme pré-romain de la Péninsule ibérique (MORET 2008, 118) ou L. Frey pour la Porte Noire de Besançon (FREY 2001)⁴⁷. La raison n'en semble pas connue mais pour les objets manufacturés cela nous semble pouvoir être dû tout d'abord à la pluri-métrologie qui résulte d'une composition en objets issus de fabrications et de provenance différentes et relevant de pieds différents. Par ailleurs, certaines mesures répondent à plusieurs pieds (par exemple 44,5 cm correspond à 26 doigts du pied de 27,5 et à 25 dgt du pied de 28,5 ainsi qu'à 24 dgt du *Pes monetalis* et à 23 dgt du Pied de 30,9). A cela s'ajoute l'insuffisante précision des mesures concrètes obtenues en archéologie qui produit souvent des pics de fréquence des mesures trop voisins et tendant à se superposer tout en générant un bruit de fond assez épais⁴⁸.

Ce phénomène de coalescence et de largeur des pics est particulièrement évident sur la **Fig.1** qui regroupe l'ensemble des diamètres des 522 meules provenant de notre corpus

⁴¹ Par exemple DINSMOOR 1961, HALLIER 1971, DUNCAN-JONES 1980, PETERSE 1984, ROTH CONGES 1985, TREZINY 1989, ROTTLÄNDER, AHRENS 1991, SCHUBERT et SCHUBERT 1993, WILSON-JONES 2001, SALVATORI 2006, MORET 2008, OLMOS BENLLOCH 2009, WEDELL 2010.

⁴² Il s'agit, au sein d'une série de mesures, de détecter une (ou plusieurs) structure périodique et les liens de proportion entre les pics de fréquence des mesures (voir LANOS, JUMEL 1992).

⁴³ Notamment autour de Friedrich Hultsch (1882) à propos des temples grecs et du Pied Romain (voir BRIDGER 1984), plus récemment représentée par les travaux de Rolf C. A. Rottländer entre 1975 et 1995 (bibliographie disponible sur : <https://vormetrische-laengenheiten.de/html/publikationen.html>); en France les travaux de Louis Frey sont remarquables, et méconnus (par ex. FREY 2001).

⁴⁴ La coudée ou *cubitus* vaut en principe 1, 5 pied ; la littérature archéologique cite régulièrement la *coudée égyptienne* ou la *coudée punique* (HALLIER 1996).

⁴⁵ Limitation à laquelle nous n'avons pas non plus échappé malgré nos efforts jusqu'en 2019 pour collaborer avec un mathématicien ou un géométricien.

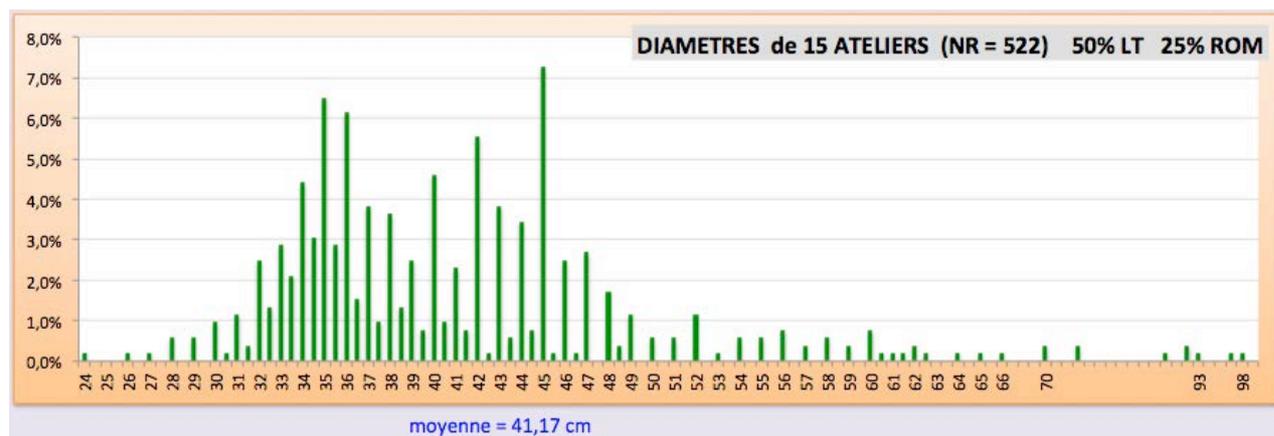
⁴⁶ ROTTLÄNDER 1996a.

⁴⁷ Avec honnêteté L.Frey montre (p.34-35) que la Porte Noire de Besançon peut relever aussi bien du Pied romain de 29,56 qu'il privilégie que du Pied de 28,2 (fréquent sur les meules) détecté par J. Bruchet lors de la publication de H. Walter.

⁴⁸ En effet, pour reprendre l'exemple O supra, une meule d'un gabarit de 20 dgt régi par un pied de 28,2 donnera un diamètre de 35,25 cm. En réalité archéologique, cette envergure sera mesurée 35,0 et 35,5 cm sinon 34,5 et 36 pour peu que le pourtour de la meule soit un peu irrégulier ou la roche un peu grenue.

d'ateliers. La distribution montre deux pics de fréquence très nets (diamètres de 45 cm et diamètres de 34-36 cm) ainsi qu'une structure bimodale de fond axée d'une part sur 34-36 cm et d'autre part sur 42-44 cm. Si l'on considère le fait que par exemple pour le pied de 28,2 ces deux pics correspondent à 20 et 24 dgt (35,25 et 42,3 cm) et que pour le Pied romain ces deux gabarits donnent un résultat sensiblement voisin (36,95 et 44,34 cm), on en déduit que la fabrication meulière antique était caractérisée par la dominance de 2 gabarits séparés de 4 doigts soit 1 palme. Les meules antiques étaient donc *grosso modo* de 2 calibres, 20 et 24 doigts soit 1 pied $\frac{1}{4}$ et 1 pied $\frac{1}{2}$. Un tel histogramme apporte donc une donnée très importante.

Figure 1 : Distribution des 522 diamètres des meules provenant des ateliers



_____ Cependant on remarque que le pic centré sur 35 cm est large ce qui traduit soit des fabrications approchées à 1 ou 2 cm près, soit l'existence de meules de même calibre (20 dgt) mais fabriquées dans des pieds différents⁴⁹. On note également qu'en dessous d'une fréquence de 4% et surtout de 2% il devient difficile de détecter un module en doigts puisque chaque valeurs est représentée de manière quasiment constante. L'histogramme ne permet donc que de détecter empiriquement les gabarits et les pieds correspondant à des pics de fréquence nets. On note cependant, et c'est le second apport majeur d'un tel histogramme, que les gabarits de 1 pied (16 dgt) n'ont pas été fabriqués : en effet, les diamètres de 17,5 à 30 ou 31 cm sont quasi-absents. Enfin, un troisième enseignement réside dans l'observation du fait que les meules antiques atteignaient peu souvent 2 pieds d'envergure (soit de 55 à 64 cm. Mais ces valeurs rares (au-delà de 48-50 cm) nous aident à détecter les pieds : par exemple le micro pic de fréquence sur 54-56 cm traduit l'emploi des pieds de 27,5 et 28,2 cm dont le gabarit de 2 pieds (32 dgt) mesure 55 et 56/56,5 cm. De même, le micro-pic sur 60 cm traduit l'existence de meules d'un gabarit de 2 pieds réalisés en pied de 29,56 ou de 30,1. Enfin, le petit pic sur 52 cm indique la production de meules de 28 dgt (1 pied $\frac{3}{4}$) dans un pied de 29,56 ou 29,8 cm, confirmant que les meules antiques dépassaient rarement le gabarit de 1 pied $\frac{1}{2}$ (24 dgt).

L'exploitation d'un tel diagramme montre qu'au plan méthodologique on a intérêt à « dépalimpsestiser » de tels histogrammes afin d'aboutir à une distribution plus apurée (moins de superpositions, moins de bruit de fond) qui fasse ressortir les pics de fréquence d'intensité variable. Les histogrammes les plus apurés et expressifs se trouvent dans les ensembles homogènes, en premier lieu ceux issus d'un atelier. Ils renvoient cependant presque toujours vers 2 pieds.

_____ Seul un traitement mathématique (tel que proposé par LANOS, JUMEL 1992) semble susceptible de séparer les pics voisins et de les attribuer à un pied donné ainsi qu'à

⁴⁹ Le calibre de 20 doigts donne 34,37 cm en pied de 27,5 et 35,25 cm en pied de 28,2 ainsi que 36,95 cm dans le *Monetalis* de 29,56 ou encore 38,62 cm en pied de Manching (30,9).

ses divisions régulières. Une seconde difficulté rencontrée dans l'approche métrologique tient probablement au caractère court de ces séries qui, sur les objets, se situent seulement sur quelques dizaines de cm empêchant une perception « large bande » de la structure périodique. Cela explique qu'il soit par exemple difficile d'identifier pied et nombre de doigt sur les hauteurs des meules, lesquelles se situent entre 7 et 25 cm. L'urbanisme, parce qu'il offre de « grands multiples » (JODIN 1975), possède en revanche sur les objets manufacturés l'avantage de pouvoir valider les unités de base (pieds ou coudées) plus petites employées par exemple pour la réalisation des moellons ou des briques.

Par ailleurs deux autres écueils n'épargnent pas la métrologie archéologique. Devant la difficulté de la tâche et sans doute sous l'empire de l'idée d'unité du monde romain, on a sous-estimé la diversité et focalisé les travaux par exemple sur le Pied attique ou ionique ainsi que sur le pied dit Romain ou Impérial (*Pes monetalis*⁵⁰ de 29,56 ou 29,62 cm) ou encore sur le Pied de *Drusus* (33,27)⁵¹. Il est au passage intéressant de voir que certains pieds, tels ceux découverts en 1990 sur le relief de Salamis en Grèce (30,1 et 31,2 cm), n'ont pas été prédits sur la base de cette métrologie appliquée aux architectures. Ce fut cependant le cas du Pied de Pyrgi-Bolsena (30,9) publié en 1971 par Hallier. Les pieds régionaux n'ayant donc guère été étudiés⁵², lorsque la monographie d'un monument romain aboutit à un pied différent du *Pes monetalis*⁵³ ou à un autre pied, que l'on attribuera préférentiellement à l'intervention d'un maître d'œuvre grec, on ne dispose d'aucune série spatialisée pour le situer et pour établir s'il s'agit d'un étalon courant dans la zone ou d'un pied emprunté. L'approche métrologique des meules ou de tout autre objet manque donc de référentiel tant pour tester prioritairement les pieds en vigueur dans la région que pour comparer le pied caractérisant ces meules à celui d'autres séries meulières.

En second lieu, les situations de pluri-métrologie devaient être fréquentes dans l'Antiquité. En témoignent, notamment en Afrique du Nord comme à Announa ou à Leptis Magna, les *mensae*, tables de mesures-étalons, ou notamment en Orient, les reliefs tels celui de Salamis. Ces représentations ou tables gravées⁵⁴ publiques figuraient plusieurs *regulae* ou pieds différents afin que chacun puisse s'y référer et établir les correspondances entre les différentes unités de mesures utilisées, régionales, extérieures ou impériales. (Fig.2).

Figure 2 : *Mensa* de Thibilis / Announa (G. Hallier -Encyclopédie berbère, revue.org)

Les logements engravés correspondent à l'emplacement des étalons en bronze. Il est probable que comme souvent ceux-ci portaient des incisions indiquant les sous multiples de type palme, pouce et doigt sinon demi-doigt.

Table de mesures de Thibilis (Announa). Photo Jouane



Agrandir Original (png, 439k)

⁵⁰ A Rome l'étalon de référence, en métal, était conservé dans le temple de Junon *moneta*.

⁵¹ Voir la querelle *Pes monetalis* vs *Pes Drusianus* à propos du camp légionnaire de Xanten sur le Rhin (Duncan-Jones 1980, Millet 1982, Bridger 1984).

⁵² Des mesures « provinciales » ou « pérégrines », par exemple la *Libra* ou la *Parallela* en Narbonnaise, sont parfois mentionnées dans les textes antiques, chez les arpenteurs (RUBINI 2004).

⁵³ Voir la discussion Pied de 29,56 vs Pied de 28,2 pour la porte de Besançon (FREY 1989).

⁵⁴ Dont la tradition s'est poursuivie au Moyen Age par exemple en Italie (CORTI 2001) où l'on trouve les étalons locaux figurés dans la pierre des palais communaux sous forme gravée ou sous celle d'un logement encavé pour recevoir le bronze coulé comme à Announa.

_____ Apparaissent en définitive les aspects ou difficultés suivantes en matière de métrologie meulière :

- 1- la détection du pied régissant une production de meules rencontre des difficultés dues aux effectifs très limités sur lesquels travaille l'archéologie
- 2- la mise en évidence du pied nécessiterait des procédures mathématiques souvent inaccessibles à l'archéologue ou entravées par le caractère réduit des effectifs
- 3- la mesure du diamètre et de la hauteur des meules à 1 cm ou ½ cm produit un élargissement des pics de fréquence qui amoindrit la perception de la structure périodique
- 4- le fait qu'une série de meules ne soit pas de provenance homogène, qu'un atelier ait employé 2 pieds différents et que par ailleurs il livre des ratés, produit un brouillage de l'histogramme des valeurs qui accroît la difficulté d'identification du pied et de ses divisions
- 5- enfin, certaines dimensions, moins fréquemment produites, se traduisent par des pics faibles qui n'émergent pas du bruit de fond d'un histogramme, ils ne peuvent de ce fait contribuer à définir la structure périodique et les gabarits qui leur correspondent sont alors sous-estimés. Pourtant le seul tableau de la divisibilité des diamètres de meules entre 15 et 48 dgt montre que certains gabarits, autres que ceux de 20, 24, 28 ou 32 dgt sont géométriquement avanta-gés et donc susceptibles d'avoir été produits en quantité régulières.

La métrologie archéologique s'avère être ainsi une matière complexe et délicate, sur laquelle il ne semble par ailleurs exister en France ni manuel ni enseignement malgré une tradition de recherche en archéologie antique⁵⁵ et médiévale⁵⁶. Néanmoins la métrologie nous a semblé à la fois nécessaire et féconde dans l'approche des meules.

Choix d'une méthode empirique : tester les dimensions des meules par une liste de Pieds

_____ La nécessité d'établir si les meules produites à Orvieto ou ailleurs relevaient d'un pied local ou spécifique nous a conduit à explorer la situation métrologique de Toscane et d'autres zones. Pour cela nous avons préféré explorer le pied utilisé et ses divisions en partant préférentiellement de séries d'objets manufacturés plutôt que d'architectures⁵⁷. Il nous a en effet semblé que des fabrications de masse en série opérées selon des normes proposaient un meilleur accès à la métrologie du pied, parce qu'outre leur aspect normé et la standardisation dont elles font souvent preuve, elles offrent une moins grande imprécision dans les dimensions par rapport à ce qui est mesuré sur l'architecte ou l'urbanisme⁵⁸. Cette précision explique sans doute que de l'urbanisme aux monuments, la focale de la métrologie monumentale se déplace parfois vers l'étude du module des nombreux parpaings des remparts étrusques ou hellénistiques⁵⁹. En parallèle des meules nous avons donc étudié

⁵⁵ Dont témoignent de nombreux articles, dont ceux de I Hairy sur la stauaire (HAIRY 2004) et par exemple la table ronde FAVORY ed. 2003..

⁵⁶ par ex. LAVIGNE 2004.

⁵⁷ Il est intéressant de remarquer que l'une des premières publications de Rottländer était consacrée à la standardisation des céramiques (ROTLANDER 1967).

⁵⁸ Quiconque a déjà pratiqué un relevé planimétrique de bâtiments antiques connaît la variabilité du tracé d'un mur ou d'un solin de bois, selon le niveau de conservation et de relevé, selon que l'on prenne la mesure à la fondation, à la semelle ou à l'élévation, sur une pierre ou sur 4 et qu'en outre un travail métrologique basé sur des dessins au 1/1000^e ou au 1/200^e offre de larges marges de variation des mesures et des modules que l'on peut en tirer. Un mur large de 45 cm ou de 47,5 ne donnera pas le même pied alors que ces deux dimensions sont relevables sur le même mur. Sur ces questions et le traitement des relevés planimétriques voir par ex. CAMPOREALE 2014 à propos des unités de mesure employées dans l'urbanisme de Maurétanie Tingitane.

⁵⁹ En témoignent le titre de travaux tels ceux de G. Hallier sur la « pierre de taille et mesures normalisées : les encientes hellénistiques d'Apollonia de Cyrénaïque et de Massalia » (HALLIER 1996) bien qu'ils ne comportent pas de table de mesures de blocs et se concentrent sur l'expression d'un module dans le tracé ; JODIN 1975 livre cependant 10 mesures de moellons du rempart hellénistique de Volubilis (note infrapaginale 30 p.17). Tout cela reste timide et il faut plutôt espérer des études quantitatives en provenance de l'archéologie du bâti, en plein essor.

métrologiquement quelques séries de tuyaux, briques et tuiles, blocs de pierre et autres parpaings de remparts étrusques.

Parvenue à ce point, l'approche métrologique se trouve confrontée à un choix de méthode résumé par deux pôles : soit rechercher, comme il est fréquent mais risqué, un pied donné (souvent le « Pied romain ») soit extraire de la série de mesures le pied dont elle procède. Nous avons retenu, entre la première voie scientifiquement peu admissible, et la seconde, mathématiquement exigeante, une voie intermédiaire, prudente ou peureuse comme on voudra. En effet, la transcription de chaque pic de fréquence sur une valeur (par ex. les diamètres) donnant rarement un même pied nous avons choisi de soumettre chaque série, à commencer par ses pics de fréquence, à une liste-type de 21 pieds à priori solidement établis (Fig.3) puis de discuter empiriquement le ou les pieds qui rendent compte le plus probablement de la série des mesures.

Liste des PIEDS			Année de Publication		Auteur		CHRONOLOGIE de PUBLICATION	
PIED	NOM							
27	Gudea Lagash		1933	FRIGERIO	29,567	1882		
27,5	Osco-Italique		1984	PETERSE	33,27	1882		
27,75	Equerre Ma'agan M.		2006	STIEGLITZ	34,9	1883		
28,2	meulier		-	-	29,8	1918		
28,5	Glanique		1985	ROTH	33,93	1918		
28,8	Regula Polybi Pompei		1996	Di PASQUALE	27	1933		
29,25	Vindonissa / Bolsena		1991	HEINZ	32,65	1961		
29,35	Regula Polybi Pompei		1996	Di PASQUALE	34,3	1967		
29,567	Pes Monetalis		1882	HULTSCH	30,9	1971		
29,8	Table Announa	10	1918	GSELL, JOLY	33,83	1971		
30,1	Salamis 1		1990	DEKOULAKOU SIDERIS	27,5	1984		
30,9	Manching / Bolsena-Pyrgi		1971	HALLIER *	28,5	1985		
31,1	Ibérique courant		2009	OLMOS BENLLOCH	30,1	1990		
32,2	Salamis 2		1990	DEKOULAKOU SIDERIS	32,2	1990		
32,65	Dorique		1961	DINSMOOR	29,25	1991		
32,75	Solonien Regula Ma'agan		2006	STIEGLITZ	28,8	1996		
33,27	Drusus		1882	HULTSCH	29,35	1996		
33,83	Madaure		1971	DUVAL	27,75	2006		
33,93	Fabrillis Announa		1918	GSELL, JOLY	32,75	2006		
34,3	Punique	20	1967	IOPPOLO	31,1	2009		
34,9	Samos		1883	MICHAELIS	28,2	-		

en rouge : découverte de pieds concrets ou de mesures
* pied trouvé sous forme d'un rod en bronze (SCHUBERT, SCHUBERT 1993)

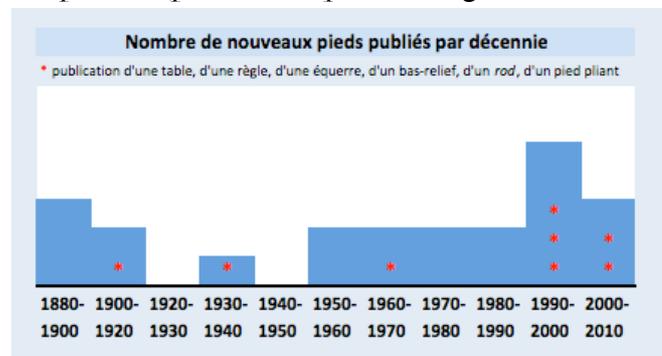
FIG.3 Liste de référence de 21 pieds

Pour établir cette liste de pieds nous avons dressé un panorama référencé et le plus complet possible des pieds qui étaient attestés non pas par déduction lors d'études d'architecture ou d'objets mais par leur témoignage archéologique direct. Nous avons recensé les représentations matérielles du pied et des étalons figurant sur une *menwa*, un bas-relief, une *regula*, une équerre ou un bâton-étalon. Ces figurations sont réalisées dans des matériaux variés, pierre, bronze ou assez souvent en bois comme il est fréquent dans les épaves (celle de Ma'agan Mikael, datant de 400 aC au large d'Isarel a par exemple livré deux *regulae* et une équerre en bois – STIEGLITZ 2006). Il n'est en effet pas rare qu'aient été découverts des étalons ou instruments de mesures antiques. Une grande partie est de publication assez récente, depuis les années 90 comme c'est en particulier le cas des Pieds de Salamis ou de nombreux pieds ou demi-pieds pliants (par ex. cinq mesures gravées en bois dans PREVOT 2008). La chronologie

Figure 4 : Chronologie de publication de pieds non répertoriés

de publication (Fig.4) montre un net afflux de découvertes dans les deux décennies récentes.

Il s'agit tantôt de pieds nouveaux, non répertoriés⁶⁰, comme celui de Manching (SCHUBERT, SCHUBERT 1993), semble-t-il bien plus fréquent que le Pied « drusien » ou « *Pes drusianus* » mentionné par Hygin⁶¹ et dont une représentation en bronze a été trouvée à Mâcon – BARTHELEMY, DUBOIS 2007). Tantôt la découverte porte sur des mesures



⁶⁰ Ils sont indiqués par un astérisque rouge sur la Fig.4.

⁶¹ *De condicionibus agrorum* II,5

relevant de pieds connus (notamment le *Pes monetalis*). Ces réglats sont fréquemment des demi-pieds (PREVOT 2008). Plusieurs pieds proviennent de Pompéi (DI PASQUALE 1996) ainsi que de nombreux autres sites et sont souvent pliants (FEUGERE 1983 et 1995 ou GOSTENCNIK 2000 pour un exemplaire en bronze sur l'oppidum du Magdalensberg -Fig.5). Parfois il s'agit de *rods*, bâtons-étalons généralement en bronze tel celui de Manching ou les deux cylindres du IIe s. pC à Enns (NOWOTNY 1931).

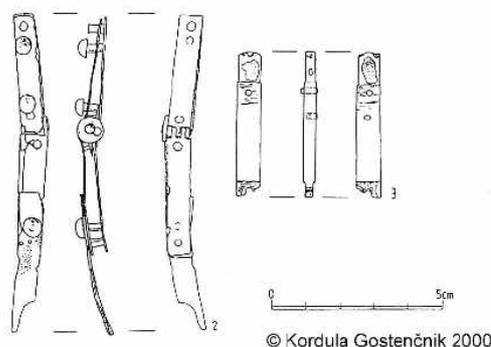
Figure 5 : Le pied pliant du Magdalensberg (Autriche, Carinthie)

Ce dépouillement (cf. ANNEXE n°26), incomplet mais semble-t-il encore jamais réalisé à ce jour, nous permet de disposer d'une vingtaine de pieds de référence, assez régulièrement échelonnés entre 27,5 cm (pied Osco-italique) et 34,95 cm (pied de Samos).

Notons d'emblée que les pieds longs, tels ceux de Drusus (33,27 cm) ou les Pieds Dorique (32,65 ou 32,75) et de Samos se trouvent rarement rendre compte de nos séries de mesures, qu'elles soient sur meules ou sur d'autres séries d'objets. Remarquons aussi que le Pied de Salamis 1 (30,1 cm – DEKOULAKOU SIDERIS 1990) trouve une bonne résonance dans les séries meulières mais qu'il s'avère souvent en concurrence⁶² avec le *Pes monetalis*. Le pied pompéien de 28,8 (DI PASQUALE 1996) est également assez présent. Le pied ibérique courant de 31,1 cm, intégré tardivement à notre démarche, a été assez marginalement testé, il ressort cependant assez bien sur les assemblages d'ateliers (*infra* Fig.8). Ceux de 27,75 ou 28,8 et 29,8 ont été testés occasionnellement lorsque la réponse était mauvaise de la part des pieds de 27,5 à 30,1. Nous avons en revanche assez systématiquement testé le Pied dit Punique (IOPPOLO 1967) en raison de l'idée assez répandue d'une origine punique des MRB (PY 1992, 195 et MOREL 2001) ou du Moulin de Style Pompéien (JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011, 98). Les résultats sont rarement intéressants.

On signalera également ici sans plus s'y arrêter car la question est mathématique et probabiliste, qu'à notre expérience certains pieds semblent être avantagés par la méthode des tests. Nous avons dû écarter d'emblée le pied dit ibérique de 32 ou 32,2 cm (MORET 2008, 106 ; OLMOS BENLLOCH 2008, 2009, 2012) et de même peu testé le Salamis 2 (32,2) car ces peids tendent à justifier automatiquement environ 50% de toute série de mesures de diamètres (mesures paires...). Par ailleurs il semble que devant des séries archéologiques mesurées au cm entier ou au demi-cm, soient aussi avantagés des pieds mesurés en 0,5 (tels que l'Osco-italique 27,5 et le Vindonissa 29,25 ou le *Monetalis* 29,56) ainsi que les pieds en décimales paires (tels que 28,2 ou 29,56).

Enfin les moyennes ont souvent été testées, elles s'avèrent comme on s'y attend, de mauvais indicateurs métrologiques car les populations sont plurimodales : elles sont en effet composées de plusieurs gabarits obéissant à des fréquences variées et peuvent superposer des meules de provenances et de métrologie différentes (surtout dans les assemblages d'utilisation). En revanche la métrologie des moyennes apparaît souvent fiable pour déterminer le nombre de doigts des petits paramètres (diamètre de l'œil, profondeur de la trémie, hauteur du cône voire hauteur totale) au sein d'assemblages d'ateliers.



⁶² Il tend en effet à rendre compte des mêmes mesures.

Figure 6 : Etudes métrologiques d'objets réalisées pour constituer un référentiel

Etudes métrologiques pour référentiel Pieds				
N°	SITE	Source	Mesures	Chrono
TEGULAE ou IMBRICES				
1	SARAN Tegulae	JESSET 2014	-	VII - IX AD
2	Les CLOUZEUX Vendée	SERIS, NAULEAU 2012	22	
3	PETRIOLO (Chiusi, IT)	GASTALDI 2009	14	
4	CHATEAUBLEAU	BONTROND 2013	168	II - IV AD
5	JUBLAINS	REBUFFAT 1997	-	
			204	
BRIQUES				
1	SARAN BRIQ.	JESSET 2014	49	VII - IX AD
2	ISERA BRIQ. & COL.	GARDUMI 2012	26	
3	CHASSENON Thermes		-	
4	Gironès (ESP.) BRIQ.arc	TREMOLADA 2000	2	
5	JUBLAINS	REBUFFAT 1997	-	
			77	
CANALISATIONS				
1	PUISSEGUIER	GINOUVEZ 1998	42	
			42	
ADOBES				
1	enceinte TARRAGONA	AQUILUÉ et al. 199, p. 296	-	100 BC
2	LATTARA	CHARTRAIN inédit	60	IV s. aC
			60	
CÉRAMIQUE				
1	St PARGOIRE, US 3068	ACH 2010-2016	35	70-250 AD
2	St PARGOIRE, US 3064	ACH 2010-2016	100	70-250 AD
3	St PARGOIRE, US 1024	ACH 2010-2016	31	70-250 AD
4	BOLSENA La Pescara	PELLEGRINI 2011	47	50-100 AD
			213	
BLOCS Colonnes Moellons				
1	Monum. CONCORDIA S.	VIGONI 2011	15	III AD
2	Piliers de VERNEGUES	AGUSTA-BOULAROT ...	58	I aC ?
3	Marbre Epave Scifo D	MEDAGLIA 2015	161	III AD
4	Blocs POPULONIA Bu.Fate	CAMPORALE, MASCIONE 2010	9	III-II aC
5	Mura POPULONIA	MASCIONE 2013	2	-300/-270
6	Mura BOLSENA La Pesc.	PELLEGRINI et al. 2011	6	II aC
7	Urba. BOLSENA La Pesc.	PELLEGRINI et al. 2011	10	II aC
8	Mura ETRUSCHE	FONTAINE 2008, 2014	92	V-II aC
9	Mura BOLSENA La Pesc.	PELLEGRINI et al. 2011	14	II aC
10	Autels & Blocs Pont-à-M.	GEORGES-LEROY 2011	22	I-IIè AD
11	Col.etc Alésia En Curliot	ESCHBACH 2016	20	H.E
12	Mensae Algérie	REZKALLAH 2014	28	I-IVè AD
13	épave BONETTO, ZARA		-	
			437	
EPIGRAPHIE				
1	OSSAIA epigr.	BUONOPANE 2014	32	
2	Bolli SAN MARINO	BIGI, PEDINI 2010	88	
3	Bolli OSTIA	GONZÁLEZ MURO 2013	80	
4	VENETICA	QUAD. ARCH.VEN. 2010-11	8	V-IV BC
5	Glyphes MURA Bolsena	PELLEGRINI 2011	24	II aC
			232	
POTEAUX & SABLIERES				
1	CORENT Poteaux	POUX 2011-2015	94	LTD
2	CORENT Sablières	POUX 2011-2015	52	LTD
3	RICHEMONT 57 Poteaux	MAMIE 2015	40	50 - 250 AD
4	FRANKENBOURG remp.	FELIU,CICOLANI, Van ES 2016	15	LTD1
5	STRASBOURG Mésange	BAUDOUX, CANTRELLE 2007	41	90 - 140 AD
6	Manching	SCHUBERT, SCHUBERT 1993	-	
			242	
OBJETS				
1	PETRIOLO moules brze	GASTALDI 2009	14	
2	JUBLAINS Dodécaèdre	GUILIER et al. 2008	25	II AD
3	JUBLAINS Balance	GUILIER et al. 2008	12	II AD
4	TESIS di VIVARO peso	LUCIANI, LUCCHELLI 2011	5	imperiale
5	Plaquettes Pb Mutina	BARATTA 2017 <i>Mutina Splend.</i>	4	H.E
			60	
TRANCHANTS & EMPREINTES de				
1	ZEUGMA V	FEUGERE et al. 2013	14	III-VI AD
2	ORVIETO meta Peacock	CHARTRAIN inédit	133	
3	ORVIETO grotta Medici	CHARTRAIN inédit	-	VI - V BC
			147	
			1714	
			41,8	

8 ensembles non quantifiés ont été pris en compte pour le pied qu'ils indiquent

Amorce d'un référentiel de métrologies régionales

Afin de disposer d'un minimum de référentiel pour évaluer le caractère régional, emprunté ou éventuellement spécifiquement meulier du pied relevé sur une série meulière, nous avons été amené à réaliser plusieurs études métrologiques empiriques (Fig.6)⁶³. Plus ou moins élaborées, elles ont porté sur des objets en matériaux variés tout en privilégiant ceux qui pouvaient le mieux témoigner du pied, à savoir les terres cuites architecturales, la pierre de taille et les briques crues. Pour la région d'Orvieto on s'est concentré sur les enceintes pré-romaines. On a également exploré (14% des mesures) le domaine de l'architecture de bois et terre qui a donné de bons résultats à Manching (SCHUBERT, SCHUBERT 1993) et constitue a priori une formidable source pour la connaissance des pieds protohistoriques, de leurs unités divisionnaires ainsi que des proportions manipulées. La quarantaine d'études ainsi réalisée a permis d'évaluer la fréquence des pieds (Fig.7), que l'on

Figure 7 : Récurrence des principaux pieds relevés sur 41 études d'objets

⁶³ 41 sont récapitulées dans le tableau, une douzaine d'autres n'ont pas été mises en forme, et les études sur les tegulae de Saran ou les TCA de Chassenon ont disparu dans le naufrage d'un disque dur. Le total des mesures (1.714) est faible et les séries les plus fournies sont constituées de 100 à 170 mesures.

Chrono.	PIEDS observés													
	27,5	28,2	28,5	29	29,56	30	30,9	31	32	32,6	33,27	33,6	34,3	
Total =	11	3	5	7	9	3	6	2	2	2	2	2	2	2
	+3 ?	+2 ?	+2 ?	+1 ?	+6 ?	+4 ?			+2 ?	+1 ?	+1 ?	+2 ?		
maximum =	14	5	7	8	15	7	6	2	4	3	3	4	2	2
% =	17%	6%	9%	10%	18%	9%	7%	2%	5%	4%	4%	5%	2%	82

peut comparer, même si les catégories sont moins fines, avec celle que livrent les ateliers meuliers (Fig.8).

Figure 8 : Fréquence des pieds relevés sur 11 ateliers meuliers dont Orvieto⁶⁴

La composition essentiellement protohistorique du panel des ateliers explique la relativement faible représentation meulière du *Pes monetalis* (29,56 cm) par rapport au référentiel des études d'objets (Fig.7). Si la récurrence du pied Osco-italique (27,5) se confirme d'un corpus à l'autre ainsi que celle de la métrologie centrée sur 28,2/28,5, en revanche les meules des ateliers font ressortir de manière insoupçonnée les Pied de Vindonissa et par ailleurs le pied ibérique de 31,1 cm. On reviendra à l'occasion de l'étude de différents assemblages ou atelier sur ces accents métrologiques.

Classement des PIEDS par Fréquence	occurrences	incertain	
Vindonissa	8	22%	1
Osco-Italique	6	16%	2
Impérial	4	11%	
Glanum	4	11%	
Salamis 1	3	8%	
Ibérique	3	8%	
Meulier	2	5%	1
Salamis 2	2	5%	
Manching	1	3%	
Regula Polybii	2	5%	
Punique	1	3%	
Solonien	1	3%	
	37		4

L'intérêt de la démarche métrologique est de faire apparaître à la fois l'étalon du système de mesure, le système divisionnaire (par 16^e soit le Doigt, par 12^e soit le Pouce, décimal ou par 20^e), le système des proportions (par ex. des briques de 5 x 4 unités) enfin les modules utilisés (la proportion 7 x 5 peut ainsi se décliner en briques de module 35 x 25 dgt ou bien de module 28 x 20 dgt). Appliquée aux meules cette approche nous permet d'envisager des communautés ou des distinctions entre les différentes fabrications considérées, l'espoir étant de définir des domaines qui partagent pied, proportion ou modules ou bien de définir des trajets de ces caractères dans l'espace ou le temps. Enfin, rapporter des standards ou des normes de fabrication d'une meule à une métrologie permet d'aborder la standardisation : par exemple une meule de 23 DGT pose la question de savoir si plutôt qu'une fabrication en gabarit de 23 dgt elle ne correspondrait pas plutôt à la réalisation approchée, à -1 doigt près, d'une norme en fait établie sur 24 dgt soit 1 pied 1/2⁶⁵. De manière plus générale, les gabarits impairs, notamment ceux qui se situent à 1 dgt d'une valeur canonique (16/20/24/28/32 dgt) posent la question d'une réalisation approchée à 1 dgt près tout autant que celle du pied : un diamètre de 23 dgt dans un pied donné n'est-il pas en réalité un diamètre de 24 dgt dans un autre pied ?

Application de la démarche empirique

⁶⁴ Il s'agit des ateliers primaires ou secondaire de Els Vilars, Orvieto, Agde, Obernai, Bad Nauheim, Borken, Le Chaudry, Les Fossottes, Eifel 2008 et Châbles ainsi que des *Metae* de l'épave III^e s. pC de la Wanzenu. Le total porte sur 364 mesures. Cet ensemble comporte peu de meules au-delà du I^{er} s. pC. Pour chaque atelier on a comptabilisé les 2 pieds les plus plausibles et souvent un ou deux autres lorsqu'il s'avère difficile d'en écarter l'éventualité.

⁶⁵ c'est naturellement l'existence d'un pic de fréquence plus ou moins resserré autour de la valeur centrale qui donne la réponse relative à l'existence ou non de la norme et au degré de standardisation autour d'elle. La standardisation peut être appréciée empiriquement (au vu des valeurs basses situées de part et d'autre du pic) ou de manière statistique par l'indice de Coefficient de Variation σ / μ (ROUX 2003) adapté à des échantillons de distribution non normale l'utilisation de la moyenne, indifférente à la structure d'un échantillon, pouvant cependant poser des problèmes (STARK 1995, 238).

Le traitement métrologique des ensembles meuliers, réalisé à des moments, avec des préoccupations ou des outils variés, a été modulé, les étapes successives suivantes ayant été réalisées de manière plus ou moins complète. Il s'est agi en effet de :

- ⇒ traduire les pics de fréquence en doigts, ce qui donne en même temps le Pied (Fig.9 et 10).

Figure 9 : Histogramme des diamètres des meules du Chaudry

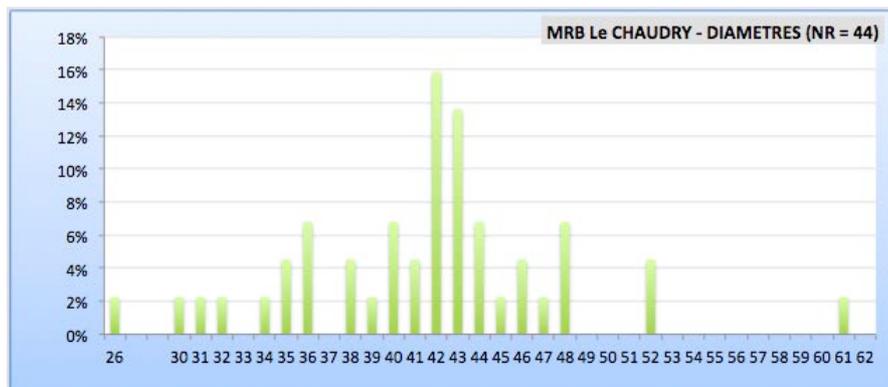


Figure 10 : Test de métrologie du pic principal (42 cm)

Le CHAUDRY - Test MÉTROLOGIQUE des DIAMÈTRES					
42 cm	25 DGT	pic de	26,88		erreur
pic	24 DGT		28,00	Pied meulier de	28,2 -0,71%
	23 DGT		29,22	vindonissa	29,25 -0,11%
	22 DGT		30,55	Salamis 1	30,1 1,48%
	21 DGT		32,00	Salamis 2	32,2 -0,62%
	20 DGT		33,60		

On sait que la mesure 41-48 cm correspond à la coudée, c'est à dire à 1 pied ½ soit aussi 24 doigts⁶⁶. Par conséquent on teste empiriquement les valeurs en doigts : pour 24 dgt 42 cm propose un pied de 28,00 cm qui renvoie

ainsi au pied de 28,2 avec cependant une erreur assez forte (0,71%)⁶⁷. Une meilleure adéquation est obtenue si 42 cm correspond à 23 dgt puisque ce gabarit donne le pied de Vindonissa (29,25) avec une faible erreur (0,11%). On peut donc considérer comme probable le fait que le pic de fréquence sur 42 cm traduise une fabrication de meules régies par le Pied de Vindonissa et d'un gabarit de 23 dgt.

Cependant, ce gabarit n'est pas canonique contrairement à celui de 24 dgt (6 palmes ou 1 pied ½). On considérera donc que les pieds les plus voisins (en orangé sur la Fig.10 : 28,2 et 32,2 Salamis 2) ne peuvent être écartés. Par ailleurs l'élection du pied le plus probable doit prendre en compte les autres pics de fréquence du Chaudry : 43, 48, 52 et 36 cm ainsi que la valeur rare 61 cm. Cette dernière renvoie par exemple à un pied centré sur 30,5. Le pic sur 48 indique quant à lui 26 dgt dans le *Pes Monetalis* (29,56) possibilité suivie de celles de 27 ou 28 dgt dans les pieds respectifs de 28,5 et de 27,5 cm. Le pic 36 propose 20 dgt dans le pied pompéien de 28,8 ou 21 dgt dans l'osco-italique de 27,5 cm. Enfin, le pic de fréquence sur 52 cm propose pour sa part 25 dgt dans un Pied de Drusus absent des autres pics (sauf celui de 48 cm) ou 30 dgt dans un pied de 27,75 ou 27,5 ainsi que, avec une marge d'erreur similaire, 3 gabarits centrés sur la valeur canonique 28 dgt dans le *Pes monetalis*, 27 dgt dans le pied de Manching de 30,9 cm et 29 dgt s'il s'agissait du pied de Pompéi 28,8.

On voit que rien n'est immédiat et l'on pressent que 2 pieds différents pourraient être à l'origine des diamètres du Chaudry. Il faut donc tenter dans un premier temps de

⁶⁶ De même qu'un peu de pratique enseigne vite qu'un diamètre de 34-38 cm se situe dans les 20 dgt.

⁶⁷ Rapport entre la valeur attendue (28,2 cm) et la valeur observée (28,0) soit le calcul $(28,0 - 28,2)/28,2 = 0,709\%$.

trouver le ou les pieds qui rendent compte du plus grand nombre de pic et qui si possible privilégient les valeurs métrologiquement canoniques (16/20/24/28 dgt soit le palme) ou les valeurs paires (18/20/22/24/26/28/30 dgt soit le demi-palme). Enfin, si aucun pied ne justifie la totalité des pics de fréquence, on cherchera un second pied qui rende compte des autres pics délaissés par le premier.

Cette démarche métrologique empirique fera l'objet d'exemples détaillés dans le **Chapitre 10** consacré aux Diamètres des Meules rotatives Basses. On retiendra à ce stade que les diamètres en cm feront l'objet d'une transcription systématique en doigts antiques, conversion qui permet d'en appréhender le gabarit et de définir la gamme des dimensions fabriquées par un atelier ou utilisée sur un site. Les MRB ayant principalement été produites en 2 gabarits (1 pied $\frac{1}{4}$ et 1 pied $\frac{1}{2}$) il s'agira de mesurer la fréquence de chacun sur les ateliers ou assemblages meuliers. On pourra également dégager la part des meules de grand gabarit, celles dont l'envergure se situe sur l'intervalle 1 pied $\frac{3}{4}$ / 2 pieds voire au-delà.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO, PEREZ 2014 – ALONSO, PEREZ, LOPEZ 2016 – ARIS 1974 – BARTHELEMY, DUBOIS 2007 – BENOIT 1863 – BRIDGER 1984 – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2006, 747-773 – CAMPOREALE 2014 – CORTELAZZO 2015 – CORTI 2001 – DEDET 1096 – DEKOULAKOU SIDERIS 1990 – DI PASQUALE 1996 – FAVORY 2003 – FEUGERE 1983 – FEUGERE 1995 – FORRER 1927 – FORT, TISSERAND 2016 – FREY 1989 – FREY 2001 – HALLIER 1986 – HALLIER 1996 – HAIRY 2004 – HARTOCH 2015 – HUBERT 2013 – HULTSCH 1882 – IOPPOLO 1967 – JACCOTTEY, LONGEPIERRE 2011 – JODIN 1975 – LANOS, JUMEL 1992 – LAVIGNE 2004 – MOREL 2001 – MORET 2008 – NEJROTTI 2009 – NOWOTNY 1931 – PORTILLO 2006 – PREVOT 2008 – PY 1992 – ROTTLANDER 1967 – ROTTLÄNDER 1996a – RUBINI 2004 – SAEZ 2013 – SANDEK 1992 – SCHUBERT, SCHUBERT 1993 – STARK 1995 – STIEGLITZ 2006 – PICAVET 2019 – WILLIAMS-THORPE 1991 –

CHAPITRE .7

Le FAÇONNAGE des MRB : ORVIETO & Les ATELIERS Primaires et Secondaires

**Figure 1 Orvieto - ébauche
R.13-24 : stade IV**

La familiarité acquise avec les meules et les ébauches nous a permis de percevoir que chaque pierre pouvait être reconduite à un stade principal de l'élaboration meulière. Il devient dès lors possible de positionner une meule dans la chaîne opératoire globale, indépendamment d'ailleurs des variations qui peuvent être propres à différentes périodes, différents ateliers, différents modèles ou différentes aires de travail d'un même atelier, voire au genre de la meule (tournante ou dormante). Une fois le stade de chacune des ébauches ainsi caractérisée on est



alors en mesure de définir le profil d'un assemblage et d'examiner à quelle ou quelles étapes du process de fabrication il correspond : étape unique ? étape initiale ? toutes les étapes ? deux étapes successives partielles ? étapes finales seulement ? On déplace ainsi le regard depuis l'objet singulier vers les séries auxquelles il appartient et vers l'appréhension du processus de fabrication. Il est alors envisageable de positionner chaque assemblage et de définir sa place dans le processus d'ensemble, comme d'approcher plus en détail ce qu'on appelle de manière assez mal définie « atelier » ou « carrière ». On verra que, bien que limitée, notre approche permet de concevoir un registre plus

large et plus précis de phases et de lieux de fabrication. Ce travail nous permet en dernier lieu de situer les zones meulières d'Orvieto du point de vue de la chaîne opératoire globale de fabrication et d'examiner leur éventuel profil propre.

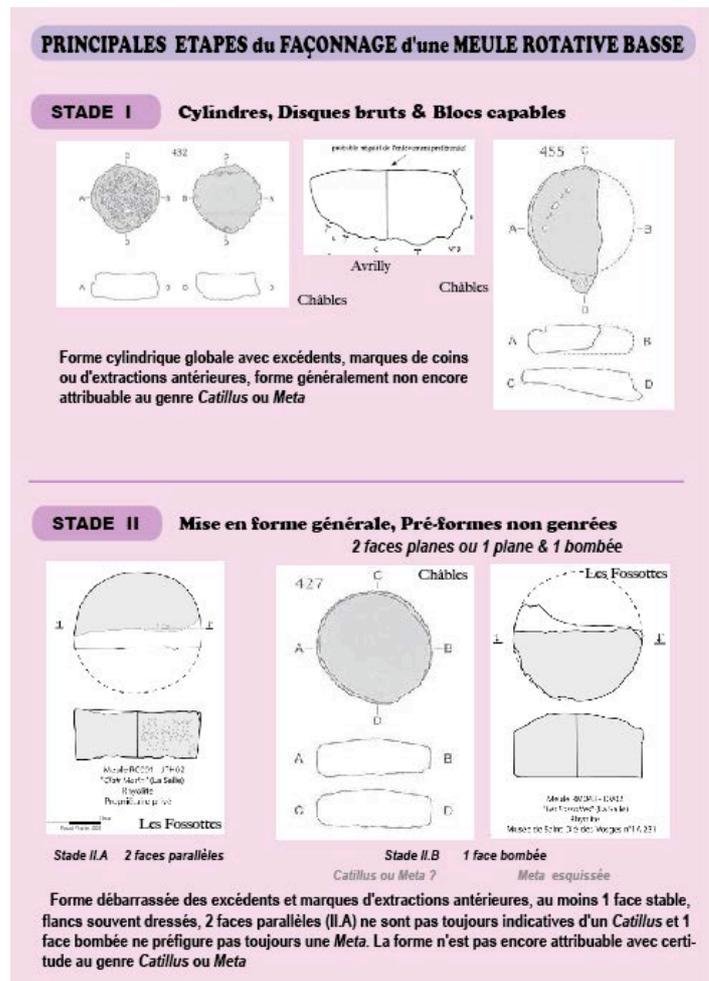
1. Les étapes du façonnage d'une meule rotative basse

A. Méthodologie

1- La familiarité avec les meules et la variété des ébauches conduit à percevoir de grandes étapes dans le façonnage des meules depuis le bloc initial détaché sur le fond ou le front de la carrière jusqu'à la meule achevée et prête à l'appariement. Nous proposons dans les lignes qui suivent une succession d'étapes que l'on pourra également nommer « phases » ou préférentiellement « stades » de façonnage.

2- La fabrication obéit en effet à une succession technique obligée au sein de laquelle les variations sont assez minimes. On note ainsi que le percement central (Eil ou Oeillard) peut intervenir parfois avant la réalisation complète du cône et de son angulation définitive. Il en est de même de certains attributs, fonctionnels ou non, tels que les éventuels trous d'emmanchement, la bordure voire la finition de la base¹. Les principaux stades de la fabrication ont assez bien été cernés par différents auteurs, notamment ceux ayant publié d'atelier d'Avrilly² qui d'ailleurs ne font pas référence au genre de la meule (p. 207).

3- La typologie que nous proposons est préliminaire dans le sens où elle constitue une première approche n'entendant aucunement clore ou épuiser la question. En effet elle ne procède pas d'une analyse détaillée de diverses chaînes opératoires et d'une mise en évidence de variations entre phases d'élaboration qui pourraient révéler d'éventuelles différences chronologiques, techniques ou culturelles, ou bien faire apparaître différentes filières techniques dans la fabrication des meules. Nous pensons que ce sujet mérite un approfondissement basé sur un corpus d'ateliers



¹ Voir CHAP. 15 - Typologie des bases des *metae*.

² GUILLIER, BIARD, CHEREL 2005.

plus vaste que la dizaine ici prise en considération³ et vraisemblablement une thèse spécifique qui aurait pour avantage de maîtriser les réquisitions techniques propres à chaque étape et de reposer sur l'établissement ainsi que sur la comparaison entre plusieurs chaînes opératoires précisément établies. Notre typologie se limite à explorer ce domaine afin de situer les assemblages d'Orvieto dans un *modus operandi* global et d'examiner ce que ce centre producteur aurait de commun ou au contraire de spécifique par rapport à d'autres. On doit à cet endroit préciser que cet examen est situé au niveau de l'assemblage de site et non de celui, moins global et moins brouillé par des mélanges et palimpsestes, qui caractériserait une ou plusieurs aires de travail, aucune de ces dernières n'ayant encore été fouillée.

4- Nous sommes donc parti des étapes mises en évidence par différents auteurs ayant publié des assemblages meuliers et s'étant penchés sur les stades du façonnage⁴. Notre première originalité en la matière se limite à ne pas prendre en compte la seule morphologie de la meule mais aussi le stade technique auquel l'ébauche est parvenue, par exemple la définition du Genre de la meule (*Catillus* ou *Meta*) ou encore la réalisation de l'Angulation voire l'atteinte de rapports morphométriques importants (tels que H/D ou HFL/H)⁵. Nous avons testé et ajusté nos stades notamment à partir de l'ensemble helvétique de Châbles⁶ qui a l'avantage à la fois d'être numériquement fourni et de bien refléter la phase carrière, c'est à dire la racine du process de façonnage. En effet les archéologues ont tendance dans les publications à favoriser les ébauches ou meules les plus informatives, qui relèvent naturellement des stades les plus avancés.

5- Notre seconde originalité réside dans le choix de ne pas considérer séparément le genre *Catillus* et le genre *Meta*⁷ mais de les confondre dans un même stade de fabrication. Ce qui nous est en effet apparu « parlant » a été non pas la morphologie mais le stade technique auquel la pierre est parvenue dans le process d'élaboration. En d'autres termes, peu importe si l'on en est au travail du cône à la pointe fine ou plus grossière, si l'on en est ou non à l'étape de finition, notre critère sera le suivant : ce cône a-t-il ou non atteint sa norme d'angulation ? L'un des apports, nous semble-t-il, de cette approche détachée de la prégnance de la morphologie réside dans ma mise en évidence de stades où les ébauches ne sont pas encore genrées puis de ceux où leurs attributs techniques essentiels (angulation, rapports entre différentes H et D) sont acquis ou non. De tels rapports, parfois mesurés⁸ mais rarement exploités en archéomolnologie, sont, plus que le diamètre, constitutifs des caractéristiques techniques de la meule et en déterminent par exemple l'angulation ou la durée de vie.

B. Les 5 stades techniques de l'élaboration

Ces stades mêlent attributs morphologiques et technologiques. Il s'entendent à caractère en cours ou acquis.

³ Toutefois probablement proche de l'essentiel du nombre des ateliers actuellement disponibles et dont sont accessibles plus que quelques ébauches ou exemplaires achevés choisis pour la publication.

⁴ En particulier, outre Avrilly déjà cité, ALONSO *et al.* 2011 pour les fabrications Age du Fer de Els Villars (ESP.), GAULTIER 2011 pour les productions de St. Christophe le Chaudry en Berry, FARGET 2007 pour l'atelier des Fossottes à la Salle dans les Vosges, JACCOTTEY *et al.* 2011 pour la carrière de Portus en Charollais, THOMAS 2006 pour la taillerie de La Marèze dans le Tarn.

⁵ D pour Diamètre, H pour Hauteur, HFL pour Hauteur du Flanc.

⁶ ANDERSON *et al.* 2003.

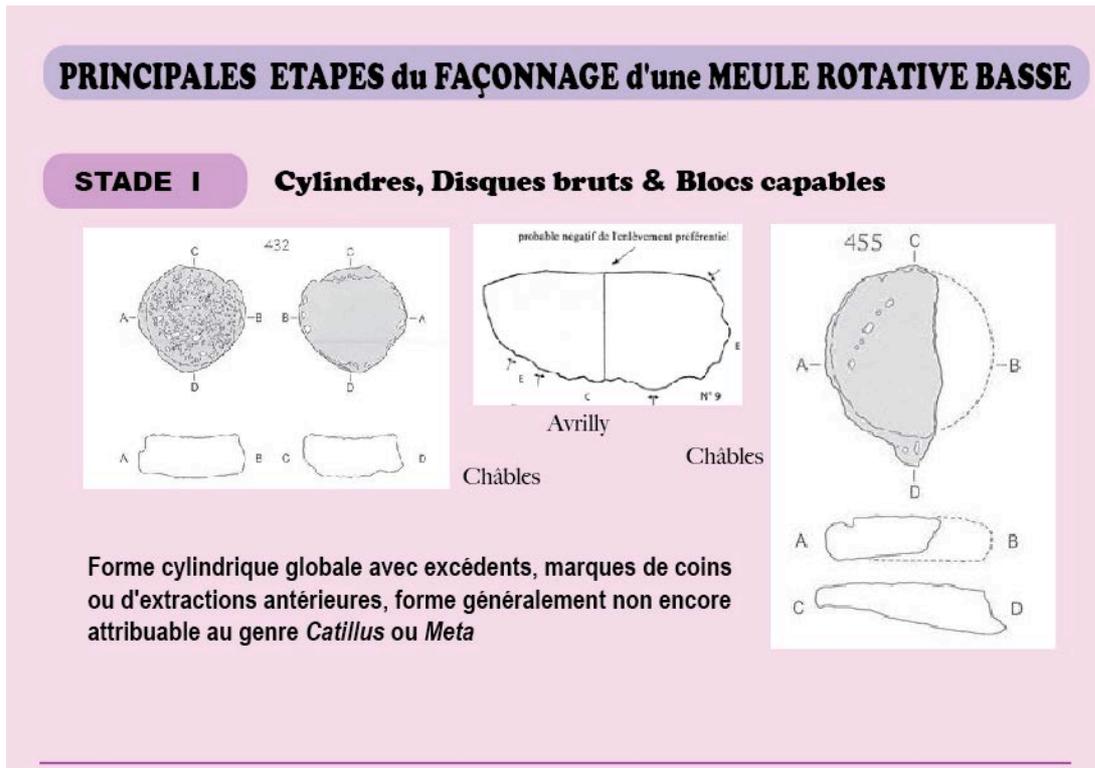
⁷ Ce que nous avons fait au départ mais qui n'apporte rien, au contraire cela brouille l'approche technique d'ensemble en privilégiant la morphologie.

⁸ Sans qu'il soit toujours accordé attention au fait qu'il s'agisse de longueurs neuves ou non, or les hauteurs sont affectées par l'utilisation et seules des hauteurs neuves (ébauches avancées) sont pertinentes pour comprendre la fabrication de l'angulation, les déterminations géométriques des meules ou les hauteurs utiles et passives.

6- STADE I : CYLINDRES extractifs (Fig.2)

Cette première étape de la fabrication regroupe les ébauches à l'état de **cylindre plutôt brut, correspondant au bloc détaché du plan de carrière**. La forme est globalement cylindrique, souvent pourvue d'appendices, parfois de cassures biaises notamment en face inférieure (plancher).

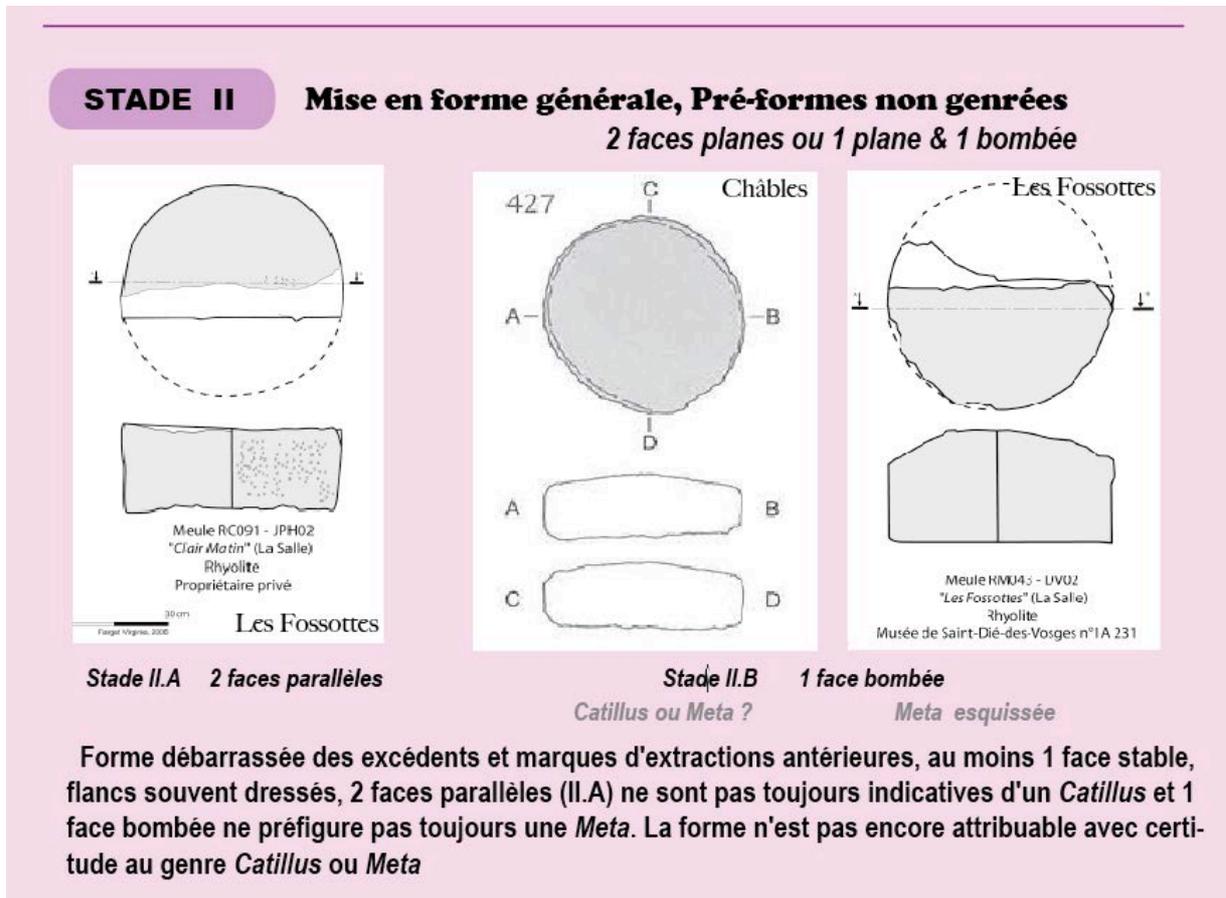
Figure.2 : Cylindres et fabricats de Stade I - la forme n'est généralement pas attribuable au genre *Catillus* ou *Meta*.



Le cylindre ou disque peut porter des traces extractives, notamment de fond de tranchée d'extraction, de meules précédentes ou de logements de coins. Il est possible que dans l'Antiquité les carriers aient pu pratiquer une orientation de ces blocs capables vers un genre ou l'autre, sur la base par exemple du rapport H/D ou de la seule hauteur. En revanche l'exploitation de l'épaisseur par l'archéologue en vue d'identifier le genre apparaît souvent risquée, de même que l'existence d'un bombement n'est pas toujours signe d'une future *meta*.

7- STADE II : PRÉ-FORMES non-GENRÉES (Fig.3)

Ce stade vise à l'obtention d'un bloc bien circulaire et d'au moins une face stable. Ces deux caractères sont indispensables pour aborder le stade ultérieur. Ils correspondent techniquement à la définition du Diamètre, à une approche de la Hauteur finale et à la réalisation d'un plan d'appui qui permettra le centrage.



A ce stade la meule n'est généralement pas encore genrée car le cône de la surface active, négatif (*Catillus*) ou positif (*Meta*), n'est pas encore profilé. Nous préférons alors parler de « Pré-formes ».

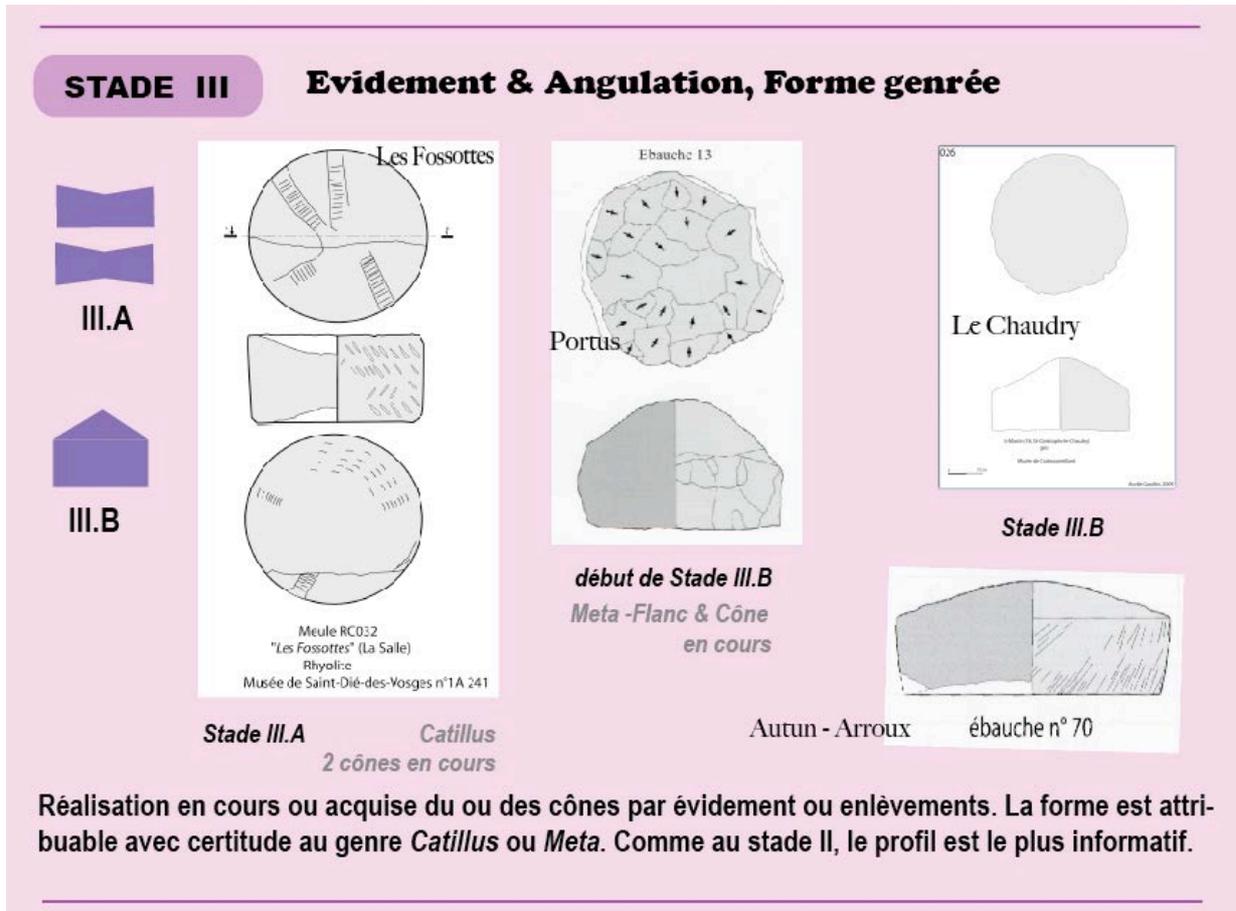
On y distingue assez souvent une classe II.A et une II.B, l'une à 2 faces parallèles et l'autre à 1 face plane et l'autre bombée. On est loin de pouvoir assurer que cette dernière préfigure une *meta* (voir Châbles 427 sur la Fig.3).

Le cône peut cependant être parfois esquissé notamment pour certaines *Metae* (par ex. Les Fossottes HM043 sur la Fig.3), cela dépend sans doute de la technique des enlèvements et de la face attaquée en premier. Si l'on ne peut établir une égalité entre II.A = *Catilli* et II.B = *Metae*, le taux de II.B en particulier peut parfois constituer une approche du genre *Meta* pour ce stade II. Mais il peut aussi traduire une technique de définition du rebord circulaire à partir d'éclats centripètes laissant un relief central qui va diminuant au cours de la fabrication.

8- STADE III : ANGULATION & GENRAGE (Fig.4)

La distinction avec le Stade II s'opère dès lors que le genre de la meule est établi sans ambiguïté.

Le Stade III correspond à une meule centrée et à la réalisation de l'Angulation par un cône positif (*Meta*) ou évidé (*Catillus*).



On distinguera une classe III.A correspondant au genre *Catillus* d'une classe III.B correspondant aux *Metae*.

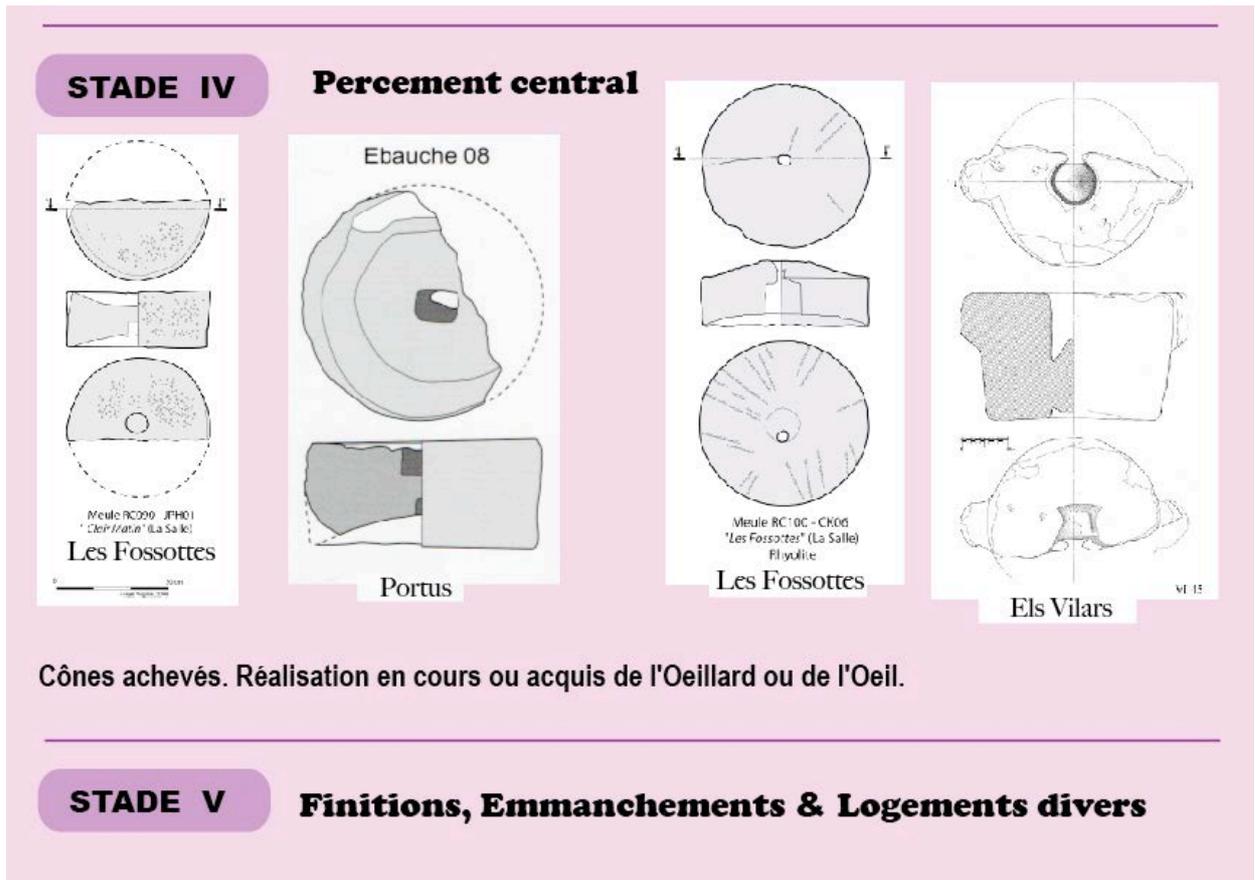
Si en théorie l'existence d'un seul évidement (vignette III.A supérieure sur la Fig.4) ne suffit pas à indiquer un *Catillus*, en réalité un évidement partiel (et généralement faible) de la base avant la réalisation du cône actif est rare à ce stade. Par ailleurs de nombreux *Catilli*, notamment pré-romains sont dépourvus de trémie et ne comportent donc qu'un seul évidement, lequel forme le cône de travail.

On notera que sur certains ateliers le percement central (ou du moins une amorce qui dépasse le simple marquage du centre-meule) précède l'achèvement du cône alors que généralement -et c'est le schéma ici adopté- il intervient postérieurement (Stade IV). Dans ces cas on peut inverser sans dommage les stades (III = percement et IV = ou considérer que le percement se produit en deux étapes, l'une étant anticipée en phase III. En effet la configuration définitive de l'œil et surtout de l'œillard (*Catillus*) nécessite une reprise et un formatage ultérieurs, après finition du cône actif sinon de la trémie.

9- STADE IV : PERCEMENT CENTRAL (FIG.5)

La réalisation de l'Œil de la *Meta* et de l'Œillard du *Catillus*, ce dernier souvent plus complexe, est une étape technique essentielle.

Elle est bien plus déterminante pour le bon achèvement de la meule que ne le sont la réalisation du diamètre et du portour ou encore celle de la hauteur, voire de l'Angulation (la conicité souffre en effet une certaine variabilité et peut s'ajuster jusqu'à un certain point). En effet, la réalisation de l'œil expose la meule au risque de bris ou de mé-centrage.



Le percement central de la meule s'accompagnait sans aucun doute d'un soin certain. Il est de ce fait possible qu'il ait fait appel à une qualification particulière. La technicité de cette étape l'expose à une réalisation en officine spécialisée, éventuellement distincte de la phase proprement carrière de la fabrication meulière (voir *infra*).

Au plan technique le Stade IV suppose le centrage de la meule et donc un bon parallélisme des plans supérieur et inférieur de l'ébauche avancée. Il correspond très probablement à l'application de normes, centimétriquement fines qui concernaient le diamètre et la hauteur des percements et leurs rapports avec le diamètre et la hauteur de la meule. Signalons également que la hauteur de l'Œil et de l'Œillard ont une forte incidence sur la longévité de la meule. (voir **CHAP. 14** et **17** ainsi que **18**).

10- STADE V : FINITIONS, EMMANCHEMENT (Fig.5)

Ce stade regroupe des réalisations morphologiques ou fonctionnelles variées dont certains modèles sont parfois dépourvus : bordurage, éventuels trous d'emmanchement, d'anneau ou de logement d'anille, finition de surfaces, rayonnage, configuration définitive de la base. Il ne comprend pas les éventuels traits (tels par exemple que des marques d'ajustage ou de couplage, un certain poli de surface active ou un chanfreinage du bord) qui pourraient correspondre à l'installation ou au rodage d'un couple de meules appariées et axées.

Cette étape confère son caractère achevé à une meule. Celle-ci est alors prête à l'installation.

Comme pour le Stade IV, cette phase dernière peut parfaitement être réalisée dans des officines secondaires par rapport à la carrière ou à l'atelier de mise en forme essentielle. Elle peut aussi en partie intervenir sur le lieu d'installation (par exemple concernant les emmanchements ou logements d'anille voire la configuration finale de l'Œil et de l'Œillard selon le type, la complexité ou le matériau du dispositif de centrage et d'entraînement dont la Fig.6 nous donne un aperçu). Sur ce point on peut escompter de réels progrès des recherches à venir lorsqu'elles procéderont, à partir des assemblages d'ateliers, à un examen attentif de l'état des percements centraux et à une comparaison avec des meules neuves ou peu usées⁹.



Figure. 6 Formes d'Œillards & systèmes d'entraînement

à droite en vertical : Œillards dans CASTELLA, ANDERSON 2004 (Avenches)

d'en Haut à gauche à en Bas à droite :

- | | | | |
|------------------|--|--|---------------|
| 1- POMMEPUY 1999 | 2- FORRER 1927 | 3- JODRY, THOMANN 2012 | 4- JODRY 2007 |
| 5- FORRER 1927 | 6- BAATZ 2015 | 6- axe calé par un os
(2014 AmS-Skrifter 24) | 7- BAATZ 2010 |
| 8- FARGET 2009 | 9- moulin à lentilles
actuel (Inde) | 10- anille par-dessus
(BUCHSENSCHUTZ <i>et al.</i>
2014 AmS-Skrifter 24) | |

⁹ Notre incursion dans le domaine du traitement de la forme des assises de *Metæ* (CHAP. 15) donne une idée du potentiel de ce type d'approche à partir du matériel issu des ateliers qui, par nature exempt de tout stigmate d'utilisation et d'usure, fournit les caractéristiques significatives des meules.

2. Profils de Façonnage des Ateliers

A. Objectifs, Méthodologie, Corpus

11. L'objectif de ce développement est d'établir le profil de différents ateliers¹⁰ à partir du spectre des stades de façonnage qui y sont représentés. La question est de savoir si tous les centres producteurs sont identiques ou si des groupes apparaissent qui soient susceptibles de traduire diverses phases de la fabrication et donc l'organisation de la production.

Figure 7 : Les Stades de façonnage : corpus des ateliers - (sont figurés en rose les 9 assemblages pour lesquels les étapes du façonnage peuvent être établies, voir Fig.8)

Notre corpus de comparaison totalise, outre Orvieto, 2.234 meules¹¹ dont 557 (soit 25%) correspondent à 16 ateliers ou centres producteurs (Fig.7) soit 19% des sites¹².

Le stade de façonnage peut être caractérisé pour 458 meules ou ébauches dont 348 relèvent d'assemblages étudiables, c'est-à-dire complets ou faiblement susceptibles d'être affectés par des tris de publication¹³.

corpus des ATELIERS				Meules		Stades Façonnage	
N° site	NOM	source	CHRONO	Total	%	Total	%
1	ORVIETO	A. CH	IV ? aC - I ? pC	51	9%	51	11%
5	ELS VILARS	ALONSO et al. 2011	V - IV aC	28	5%	14	3%
29	AVRILLY	GUIBIER, BIARD, COQUEREL 2005	AUGUSTE	22	4%	22	5%
33	HERTFORDSHIRE	GREEN 2011	50 - 100 pC	10	2%	10	2%
34	Le CHAUDRY	GAULTIER 2009, 2011	LT - II pC ?	47	8%	43	9%
38	Les FOSSOTTES	FARGET 2006	LT - (ROM)	65	12%	65	14%
40	PORTUS	JACCOTTEY et al. 2011	LT - ROM	25	4%	25	5%
50	La SALLE	LAGADEC 2008	LT - ROM	8	1%		
58	AGDE	ARIS 1974; REILLE 2000	IV ? aC - II ? pC	21	4%	21	5%
64	La MAREZE	THOMAS 2006	LT - ROM	70	13%	24	5%
67	CHABLES	ANDERSON et al. 2003	70 - 120 pC	106	19%	106	23%
68	EIFEL Mangartz	MANGARTZ 2008	I - IV pC	57	10%	57	12%
73	La LANDE, La VERNE	MORASZ, PULOU 1997	I pC	25	4%		
74	AUTUN Fbgd' Arroux	JACCOTTEY, BOYER, ALIX 2017	I pC	11	2%	10	2%
76	OBERNAI	FELIU, JODRY 2017	LT - D	6	1%	6	1%
16	PURPURKOPF	JODRY, HOLDERBACH 2015	I aC - I pC	5	1%	4	1%
				557	100%	458	100%
						82%	
La Marèze : 70 Meules et 59 Ebauches en 2006				Hors Orvieto : 9 ateliers étudiables =		348	76%
				557 =>		348	62%

12. Il a ainsi été

possible d'examiner un ensemble de 9 ateliers qui comporte 7 assemblages d'une certaine importance numérique (Fig.8) totalisant 305 meules ou ébauches. De ces assemblages 4 regroupent environ 20 meules, 2 en totalisent près de 60 et un dernier (Châbles) autour de 100.

Viennent s'ajouter (pour un total de 16 éléments¹⁴) 2 sites, l'un rural l'autre urbain (Obernai et Autun Fbg d'Arroux), dont on sait par la fouille qu'ils sont non pas implantés sur des carrières mais qu'ils constituent des ateliers secondaires, consacrés à une partie seulement de la fabrication. Le premier est rural et pré-romain, le second prend place dans un milieu urbain du Haut Empire.

Figure 8 : Nombre de meules avec établissement des stades de façonnage sur 9 ateliers

Q. EBAUCHES	
14 - 16	ca. 20
22 - 25	
57	ca. 60
65	
106	ca. 100
+ 10 & 6	

¹⁰ Nous n'entrons pas dans la définition et la discussion des différentes acceptations de la notion archéologique d'atelier (voir par ex. COSTIN 2020) ; par atelier on entend ici des lieux ou aires de production meulière caractérisés par des ébauches, semi-produits, déchets de taille et le cas échéant des traces d'extraction *in situ*. Les assemblages mobiliers d'atelier s'opposent par définition aux assemblages des sites d'utilisation caractérisés par un cortège principal de meules portant des stigmates d'utilisation et d'usure et le plus souvent par une fraction importante de meules brisées à très fragmentées (voir le développement sur le taux de conservation dans le Chap.6 en Partie I).

¹¹ A la date de Mai 2018, correspondant à 84 sites répartis de l'Ebre au Rhin.

¹² Etant donné la grande importance des sites producteurs pour l'étude de celui d'Orvieto, nous avons naturellement rassemblé le maximum de sites d'atelier à partir de la documentation publiée ou de mémoires universitaires soit accessibles en ligne soit communiqués par les auteurs (à cet égard un grand merci à Virginie Farget, Emilie Thomas et Aurèle Gaultier).

¹³ On entend par là un choix d'exemplaires illustratifs qui a pour inconvénient d'ôter la représentativité quantitative de l'assemblage. Ainsi, si pour la zone méridionale Agde présente les stades I à V en revanche la publication (1974) préférentielle de meules aux stades IV et V interdit toute exploitation quantitative des stades et donc l'établissement du profil de la production ; il en est de même pour le riche ensemble de La Marèze (70 meules dont 59 ébauches) faute de présentation ou d'accessibilité à un catalogue et malgré le travail de qualité.

¹⁴ La différence entre 348 et 321 s'explique par le fait qu'il faut éliminer de l'étude des Stades de Façonnage 27 des 43 meules de St. Christophe Le Chaudry car elles correspondent à des meules urbaines utilisées et non à des fabricats neufs ou ébauches.

13. Une bonne moitié de ces ateliers (Fig.9) proviennent de carrières (5 sur 9) tandis que 2 sont localisés dans des établissements ruraux (Avrilly et Obernai) et 2 en milieu urbain : le premier dans une agglomération de l'Age du Fer (Els Villars) et l'autre dans une ville romaine (Autun).

Figure 9 : Type de site des 9 ateliers retenus

Leur publication (Fig.10) s'est étalée assez régulièrement depuis la période de renouveau des études meulières (1976 –cf. Partie I du présent mémoire), ce qui au regard de l'essor des fouilles archéologiques depuis les années 80-90 tend à indiquer une chute de l'archéologie des ateliers¹⁵. Toutefois la récente thèse de Paul Picavet montre la capacité des études territorialisées croisant matériau et typologie à faire ressortir non seulement des aires mais des meulières anciennes (exemple des poudingues Normands, PICAVET 2019, p. 90 sq.). La chronologie du corpus étudié (Fig.11) associe la période Laténienne et le Haut Empire romain (I-IIèmes siècles pC).

TYPOLOGIE des ATELIERS MEULIERS						
col.1	col.2	case	Etablis.	AGGLO.	VILLE	NR total
NOMS	CHRONO.	ERE	RURAL			NR Etapes de FAÇONNAGE
1 5- Els VILARS	V-IV aC			1		28 14
2 29- AVRILLY	AVG.		1			22 22
3 34- Le CHAUDRY total	LT / G-ROM					47 43
4 34- Le CHAUDRY Carrière	LT / G-ROM	1				47 21
5 38- Les FOSSOTTES	LT	1				65 65
6 40- PORTUS	AVG / HE / BE?	1				25 25
7 58- AGDE	IV aC - II pC?	1				23 23
8 67- CHABLES	I pC	1				106 106
9 68- EIFEL	I-IV pC	1				57 57
10 74- AUTUN Arroux	I pC			1		11 10
11 76- OBERNAI	LT-D		1			6 6
12 86- BAD NAUHEIM	LT	1				42 14
13 87- BORKEN	LT	1				12 12
						8 2 1 1 491 375
						76%

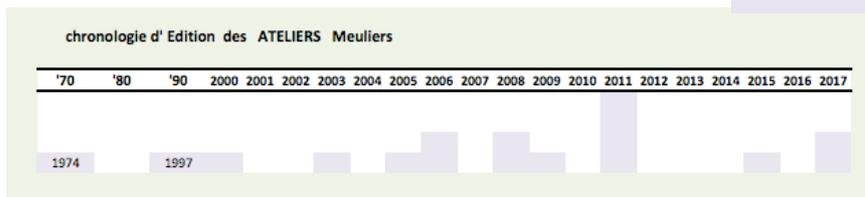
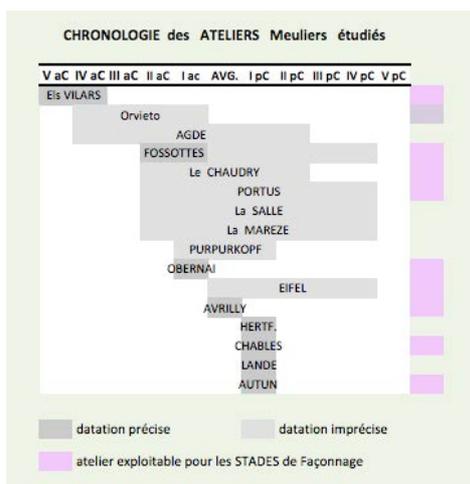


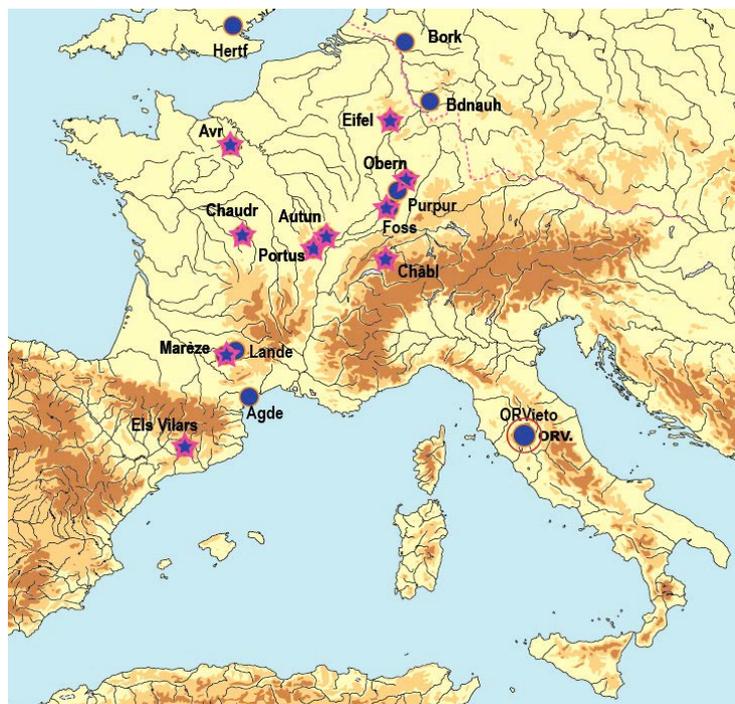
Figure 10 : Chronologie de la publication du corpus des ateliers

Figure 11 : Position chronologique des Ateliers



étoile rose : Ateliers avec Stades de Façonnage étudiés

Figure 12 : Répartition spatiale des Ateliers



¹⁵ Cet affaiblissement pourrait traduire des changements dans l'aménagement du territoire tels que la baisse du nombre des carrières de pierre massive ou leur concentration, le travail de Jan Van Moerkerke livre des indications argumentées (VANMOERKERKE 2018, notamment p.78 et 109-111) et plus généralement fournit matière à réflexion sur les articulations entre types d'aménagement et archéologie sur les 30 dernières années.

B. Classement des Ateliers selon leur Profil des stades

1- Méthode

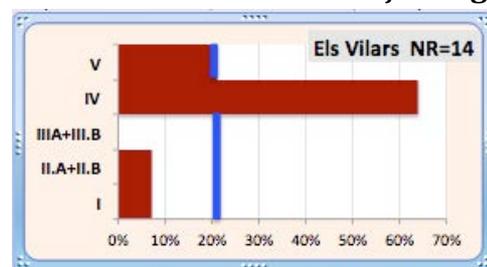
19. On a quantifié les meules ou ébauches pour chacun des stades de façonnage, ce qui permet de définir pour chaque atelier un profil des 5 étapes ou stades de fabrication précédemment définis. On peut ensuite interpréter chaque profil et en réaliser un examen comparatif.

Le caractère plus ou moins équilibré ou contrasté entre les 5 stades fournit généralement une vision intéressante de chaque atelier. Le profil est fourni en deux versions, l'une détaillant les étapes intermédiaires A et B (Fig.13A), l'autre agglomérant les données pour les 5 stades (Fig.13B). Un repère indique (en bleu) la fréquence normalement attendue pour les meules de chaque stade (20%), dans l'hypothèse que la fabrication entraînerait globalement un rejet équilibré entre *Metae* et *Catilli*, chaque étape connaissant un même taux de défectuosité.

Figure 13A : Profil détaillé



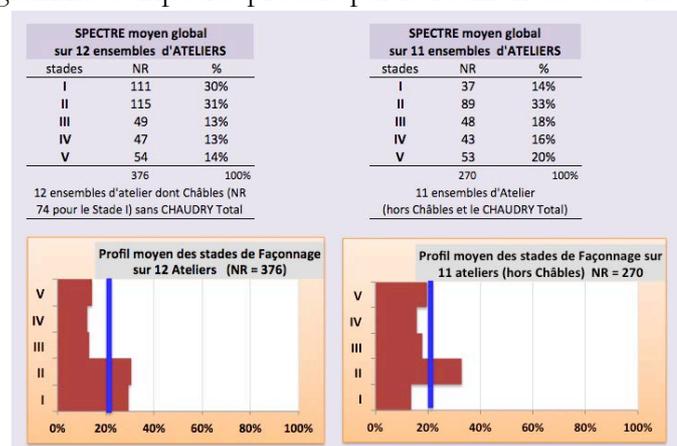
Figure 13B : Profil 5 Stades de Façonnage



20. Cette hypothèse des 20% n'est pas démontrée, pas plus que celle d'une sur-fréquence de certaines étapes. De multiples causes peuvent faire varier le taux de rejet de chacun des stades de fabrication (qualité et variabilité de la pierre sur un même site et entre sites, maîtrise technique des gestes et étapes d'extraction, bris par accident d'extraction ou dus à des défauts de la pierre, manipulation sur site ou transport entre aires ou sites de façonnage). Il n'est pas sûr que les risques particuliers de bris au moment, à priori délicat, du percement de l'orifice central (stade IV) se traduisent par une fréquence de mise au rebut plus élevée. Si tel était le cas, les ateliers livreraient une grande proportion de meules quasi-achevées et brisées par le centre. Or l'étape IV ne se distingue pas particulièrement en ce sens, du moins si l'on en croit l'échantillon, faible, dont nous disposons actuellement.

Celui-ci est très insuffisant et n'est pas stabilisé, il est par exemple sensible au retrait ou à l'ajout d'un ensemble, comme le montre le cas de Châbles qui enrichit à lui seul le Stade I. Toutefois une certaine stabilité de la partie médiane du diagramme composite produit par la réunion de tous les assemblages d'atelier (Fig.14) semble indiquer une tendance à l'équilibre pour les stades III à V et tend à valider la fréquence moyenne de 20%. La seule dérogation à cette moyenne tendancielle est représentée par le stade de façonnage II dont la fréquence est nettement supérieure (30% soit quasiment le double des autres stades).

Figure 14 : Spectre moyen des Stades de façonnage sur les ateliers (avec ou sans Châbles)



21. Il est probable que le Stade II (pré-formes avant la définition des genres *Meta* ou *Catillus*) fasse structurellement l'objet d'un plus grand nombre de mises au rebut. Chaque site observé y contribue en effet par une fréquence située au-dessus de la probabilité de 20% (mis à part des ensembles où les Stades I et II sont peu représentés, les scores du Stade II varient assez régulièrement entre 25% et 65% (voir FIG. 40 p. 202).

Il n'est pas impossible par ailleurs que le stade I se caractérise par une grande variabilité du rebutage, liée par exemple au comportement de la roche et aux techniques extractives. A cet égard Châbles semble constituer un cas hors moyenne (stade I : 70%), peut-être plus dû à une sélection des restes¹⁶ qu'à une sur-défectuosité de l'étape I (extraction).

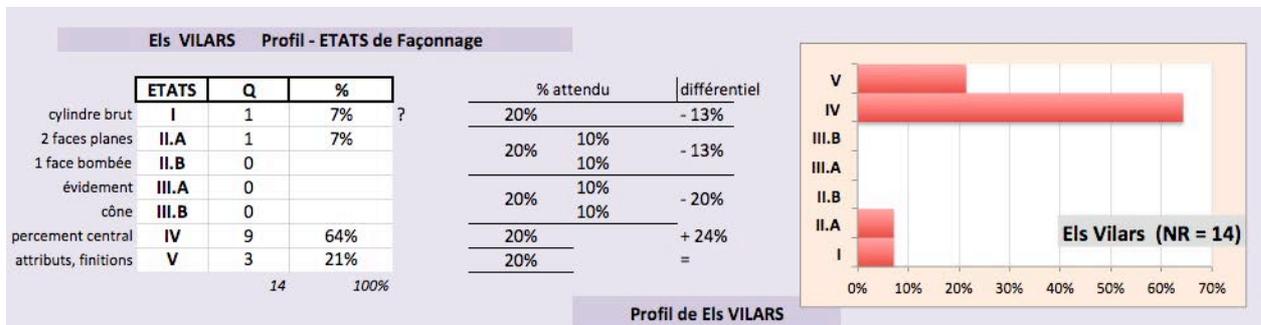
En définitive, en l'absence d'une part d'études expérimentales ou modélisées portant sur les accidents de fabrication, et dans l'attente d'autre part d'un enrichissement du corpus des données d'atelier qui vienne stabiliser notre échantillon, on retiendra par défaut et sur la base du caractère multifactoriel du risque, le repère de 20% entre les rejets de chaque étape du façonnage, au moins pour les stades I à IV inclus.

Nous livrons ci-dessous les tables de données et le profil de façonnage commenté de chaque assemblage d'atelier avant d'en opérer une comparaison dont on verra qu'elle esquisse une typologie des ateliers meuliers.

2- Profils de Façonnage des Ateliers

1- Profil de Façonnage d'Els Vilars

Figure 15



22. Les rebuts se concentrent à 85% dans les étapes IV et V (perçements centraux et finitions). Cela indique que l'assemblage du site d'Els Vilars correspond à un tri, soit un choix par les archéologues pour la publication (pièces les plus achevées et les plus informatives), soit Els Vilars n'accueillait que les dernières étapes de la chaîne opératoire de fabrication des meules. Dans ce cas Els Vilars pourrait constituer un atelier de production secondaire (phase post-carrière) en lien avec un habitat.

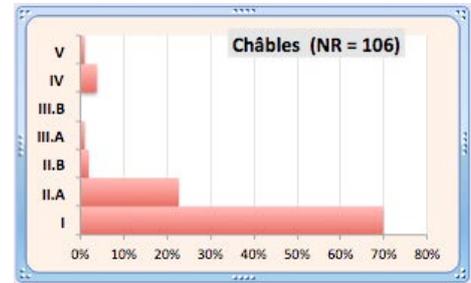
Le fait qu'il y ait au moins 2 meules relevant des étapes I et II.A tend cependant à infirmer cette éventualité ou à indiquer un apport dans l'assemblage de meules de provenance carrière. En revanche la surreprésentation de l'étape IV (perçement central) avec en particulier une importance des forages en cours, favoriserait l'hypothèse qu'Els Vilars ait abrité un atelier secondaire particulièrement consacré au forage des meules (sinon d'autres pierres ou matériaux). Des données supplémentaires sur le spectre de ce site sont nécessaires pour trancher sur cette possibilité.

¹⁶ Il semble en effet possible qu'une partie notable des rebuts de stade I (cylindres bruts) ait été sélectionnée peut-être à des fins de remploi ou bien, mais c'est moins probable, que les ratés des stade sI à IV ou V aient été largement emportés pour réutilisation. A Châbles une fraction notable des restes meuliers ont été trouvés remployés dans la voirie.

Il est toutefois également envisageable que la surproportion du stade IV corresponde à une particularité de la chaîne opératoire d'Els Vilars : que le forage central intervienne avant la définition des cônes (convexes pour les *Metae*, concaves pour les *Catilli*), ce qui a pour résultat de fondre le stade III dans le IV. On observe en effet, notamment sur les *Catilli* de forte hauteur à machons proéminents ou à encoches que le cône est très faible ou non amorcé.

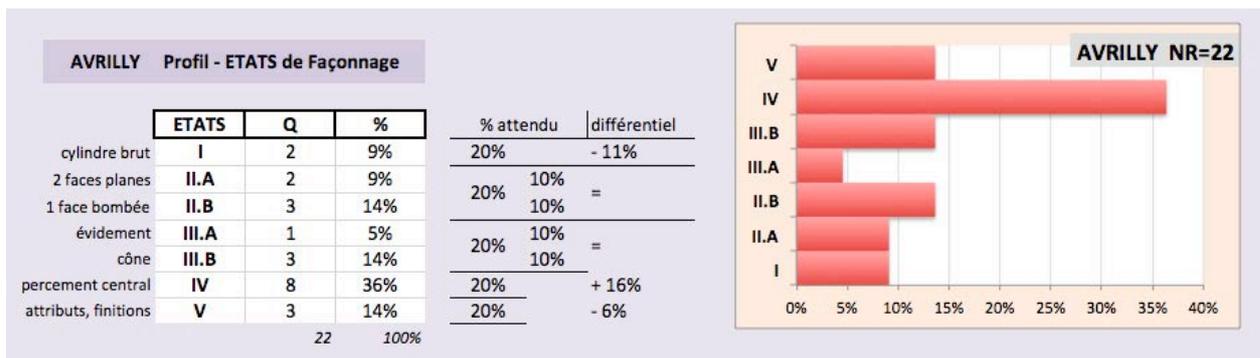
Figure 16 : profil de Façonnage de la carrière de Châbles

Cette éventualité n'est pas contradictoire avec celle d'un atelier de production secondaire : si en effet la moitié de l'étape IV doit être restituée au profit de l'étape II, le profil alors rétabli (stade V 21%, stade IV 32%, stade III 32%, stades II et I 15%), tout en se rapprochant de celui d'un atelier complet (20% pour chaque étape), reste marqué par un net déficit des 2 premières phases de travail. A cet égard, la comparaison avec Châbles, atelier de carrière, est éloquent (Fig.16).



2- Profil de Façonnage de l'atelier d'Avrilly

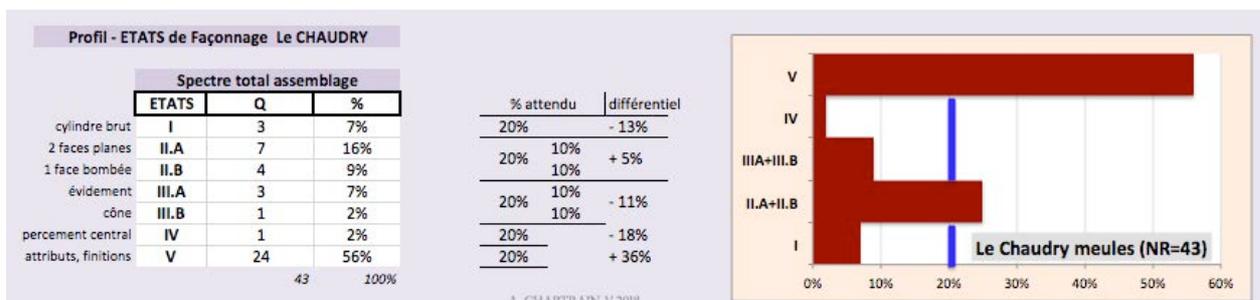
Figure 17



23. Avrilly présente un spectre proche des fréquences attendues pour chaque étape (20%). Le déficit du stade de façonnage I (blocs bruts) comme la surreprésentation du stade IV (perçement central) pourraient être dus à des choix de publication.

3- Profil de Façonnage du Chaudry – totalité de l'assemblage

Figure 18



24. Le spectre des meules attribuables au centre producteur de St. Christophe-le-Chaudry (Fig.18) associe d'une part des meules issues de contextes d'utilisation (agglomération d'Argentomagus) et d'autre part des ébauches plus ou moins avancées issues de la carrière. Cette

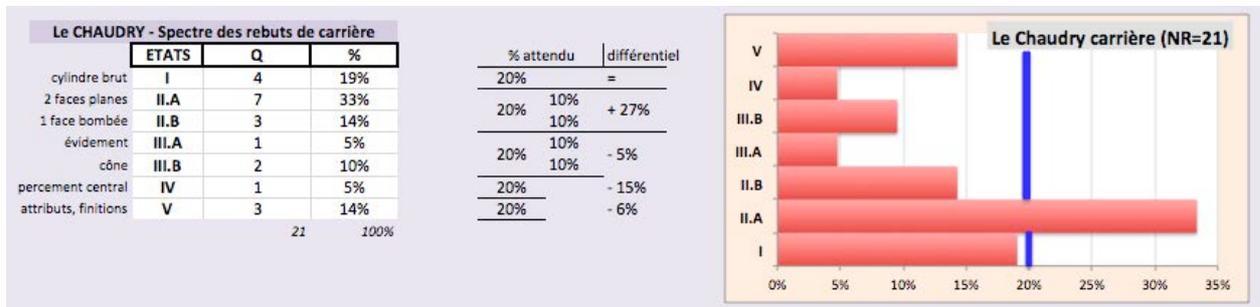
composition explique que domine très largement l'étape V (meules finies ou utilisées : 56%) et que le second pic soit représenté par le stade II (ébauches non encore genrées *Catillus* ou *Metae*) qui renvoie quant à lui à l'étape carrière.

Ce caractère bi-compositionnel contrasté disparaît (Fig.19) si l'on considère le spectre spécifique des rebuts issus du site de la carrière elle-même, largement dominé par les meules des étapes I et II (totalisant 14 des 21 ébauches soit 65%). Le stade II représente à lui seul 47% de l'assemblage et se trouve donc doublement représenté sur la carrière.

Au sein du spectre carrier, cette dominance à priori anormale des ébauches d'étape II sur celle de stade I s'explique probablement par une difficulté à bien identifier l'Etat I consécutivement au fait que le bombement caractéristique des *Metae* pourrait déjà être souvent acquis ou presque dès l'étape de façonnage I (or 12 des 16 meules correspondent en effet à des *Metae*).

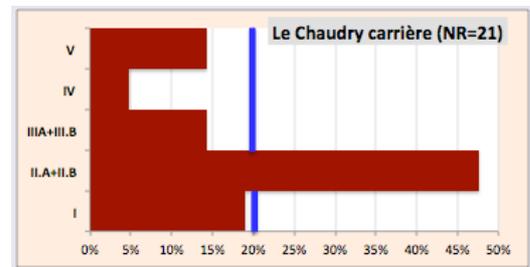
4- Profil de Façonnage du Chaudry – assemblage de carrière

Figure 19



25. Une autre caractéristique du spectre des rebuts de la carrière réside dans une relative faiblesse des étapes finales (Fig.20) et particulièrement du stade IV qui correspond au perçement central. Ce trait pourrait indiquer soit une accidentologie moindre du segment final de la fabrication, soit une réalisation externe d'une partie du travail. La fréquence des stades III et V rend peu probable cette hypothèse à moins que seul le perçement des œils ait été réalisé sur une aire éloignée ou dans un atelier externe. Il conviendrait de voir si la particularité que représente la faiblesse du stade de façonnage III au sein d'un profil qui tend à équilibrer l'ensemble des étapes de fabrication, se maintiendra lorsqu'on disposera d'un échantillon numériquement plus important¹⁷.

Figure 20

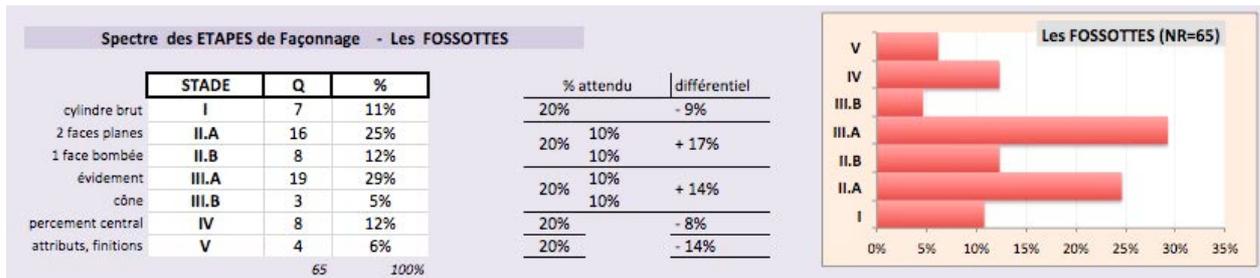


En conclusion on peut dire que la carrière du Chaudry semble montrer une représentation équilibrée des 5 stades de façonnage des meules, sauf celle du perçement central (stade III) qui apparaît faible. La confirmation de cette faiblesse par un échantillon quantitativement élargi conduirait à envisager pour la réalisation de l'œil un transfert des meules dans un atelier ou sur une aire éloignés.

¹⁷ Nous souhaitons d'ailleurs ouvrir une fouille exploratoire sur la carrière de St. Christophe-le-Chaudry afin de réunir un échantillon de l'ordre de 50 à 100 ébauches qui soit ainsi plus représentatif, d'observer un éventuel front ou plancher d'extraction pouvant montrer les formes et techniques, afin également d'apprécier la liaison entre les meules antiques et l'activité carrière moderne (les ébauches antiques et laténiennes sont-elles *in situ* ou principalement contenues dans des remblais et remaiements post-antiques et subactuels ?

5- Profil de Façonnage de l'atelier des FOSSOTTES

Figure 21



26. Les rebuts de la zone carrière des Fossottes se concentrent sur les étapes II et III du façonnage (mise en forme générale et des faces ; réalisation des cônes et évidements) qui regroupent 71% des rebuts découverts. La phase extractive (stade I) et les étapes finales (IV et V) sont représentées de manière assez équilibrée (ca.10%) mais deux fois moindre par rapport à la valeur à priori attendue (20% sauf peut-être pour l'étape des finitions stade V).

Le spectre des rebuts des Fossottes tend ainsi à désigner un atelier primaire complet où toutes les étapes sont représentées, de la phase carrière à celle des finitions.

Il est néanmoins possible que l'assemblage renvoie à une zone de travail particulière et quelque peu éloignée voire distincte de la carrière. En effet (Fig.22), l'extraction (étape I) est sous-représentée de même que les phases de fabrication finales (IV et V : percement des œils et finitions). En fait le profil de façonnage est marqué par la surreprésentation des étapes intermédiaires II et III qui correspondent à la mise en forme et au genrage *Meta/Catillus*.

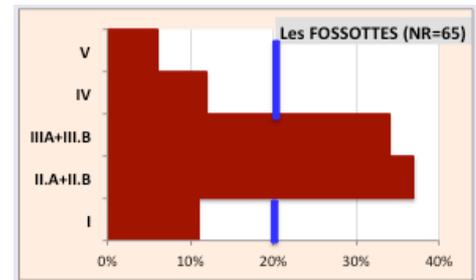
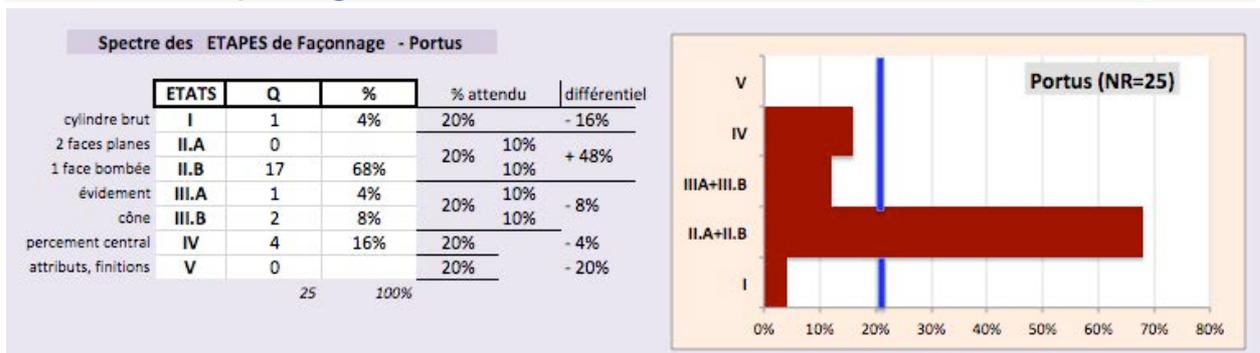


Figure 22

Si cela venait à être confirmé, ce trait ouvrirait pour les Fossottes l'éventualité d'une fabrication organisée de manière zonée avec spécialisation des aires de travail, ou sur celle d'une sur-accidentologie du façonnage lors de ces deux stades intermédiaires.

6- Profil de Façonnage de l'atelier de PORTUS

Figure 23



27. La zone carrière de Portus en Charolais est caractérisée¹⁸ par la quasi absence de l'étape de fabrication I, c'est à dire l'extraction des cylindres. Elle l'est tout autant par l'absence de la phase extractive (stade I). En cela le profil de façonnage de la partie actuellement connue de l'atelier de Portus est très proche de celui que nous venons de voir aux Fossottes. Le spectre est en effet dominé de manière écrasante par la phase II (mise en forme) et particulièrement par l'Etape II.B

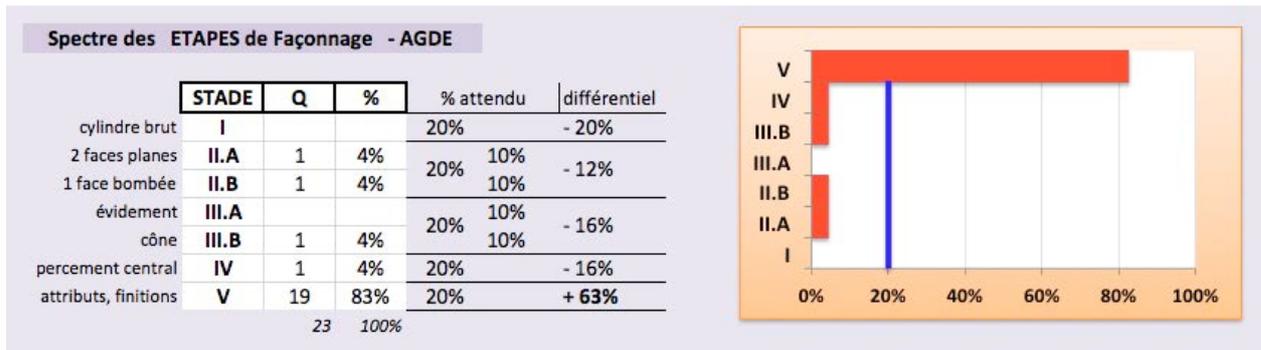
¹⁸ Outre par de grands diamètres de plus de 41 cm (moyenne 50,16 cm sur 25 individus soit un gabarit de l'ordre de 28 dgt), il s'agit de la 5è plus grande moyenne de notre corpus de 82 assemblages.

relative à des pré-formes bombées, à priori plutôt orientées vers un devenir de genre *Meta* bien qu'il faille être prudent en la matière, mais il se trouve que l'assemblage est de fait dominé par les *Metae*¹⁹.

Il apparaît ainsi que le spectre des meules rejetées au Portus correspond à une aire consacrée presque exclusivement à la fabrication des *Metae*.

7- Profil de Façonnage de l'assemblage d'AGDE

Figure 24



28. L'assemblage d'Agde correspond pour 21 de ses 23 éléments à des productions de la zone d'Agde-Embonne ou de celle, voisine, attestée à St. Thibéry/Bessan²⁰. De celles-ci 15 meules, entières et parfois seulement ébauchées ont été publiées en 1974 dans une note comportant une planche de dessins (ARIS 1974), 6 autres meules ont été identifiées en 2000 sur l'oppidum provençal de La Cloche comme provenant du basalte agathois (REILLE, CHABOT 2000) enfin un moulin provient de l'épave des Riches Dunes au large d'Agde²¹.

La quasi-totalité de l'assemblage correspond à des meules de stade terminal V, c'est à dire achevées ou utilisées. Un tel profil n'est pas conforme à un assemblage de production, il correspond manifestement à des choix de publication (meules entières). Les quelques individus de stade antérieur (II, III voire IV) proviennent de la planche Aris. Toutefois, il existe dans les musées d'Agde (Fig.25) plusieurs dizaines de meules qui témoignent pour le moins des stades II et III : le profil de faonnage d'Agde est donc amené à évoluer ces prochaines années²².

Figure 25 : Ebauches de meules rotatives basses dans la cour d'un des musées d'Agde



¹⁹ 10 *Metae* ont été identifiées contre 4 *Catilli*, proportion que l'on retrouve avec 7 meules possiblement *Metae* et 2 possiblement *Catilli*; il s'agit d'un déséquilibre assez rare d'autant que les fragments de *Catillus* sont plus diagnostiques que ceux de *Meta*.

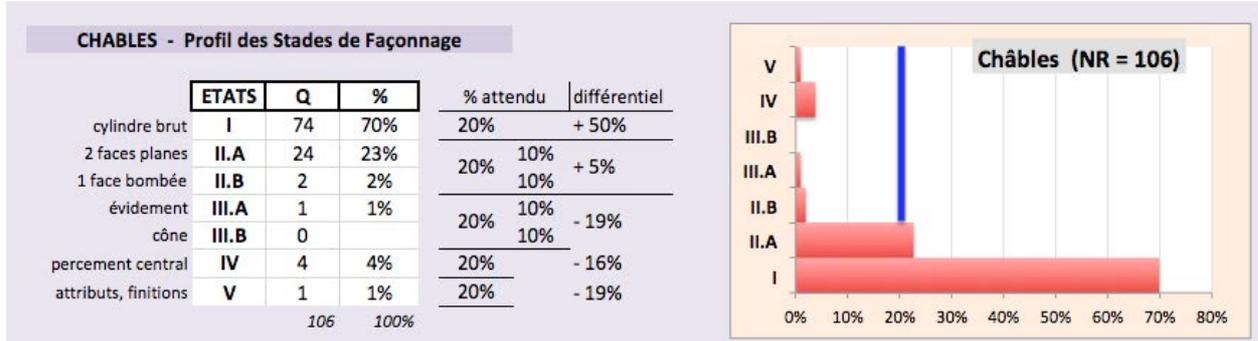
²⁰ Voir à ce sujet les travaux de Jean-Louis Reille et notamment REILLE 2000 in BUXO 2000.

²¹ Tous nos remerciements à M-P. Jézeou pour son aimable transmission des dessins au format .ai et des informations.

²² Enregistrer et publier les meules et ébauches d'Agde fait partie de nos toutes premières priorités à peine cette thèse achevée.

8 - Profil de Façonnage de la carrière de CHABLES

Figure 26



29. Grâce à la précision de sa monographie (ANDERSON *et al.* 2003) la carrière de Châbles en Suisse romande permet d'établir un profil des étapes de façonnage sur la base de 106 restes meuliers. La caractéristique de Châbles est que les stades I et II concentrent 95% des pertes tandis que la mise au rebut est quasi inexistante (5%) aux phases IV et V (perçement et finitions). Le stade I (cylindres) est particulièrement sur-représenté (+50% en sus des 20% attendus).

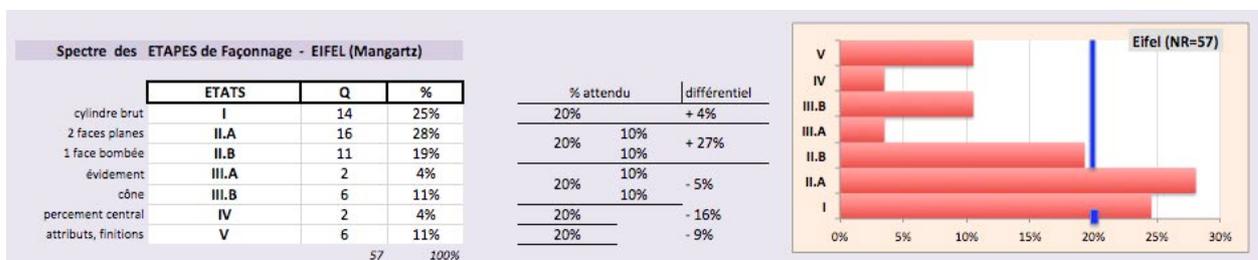
Ainsi à Châbles, l'opération qui semblerait avoir été la plus délicate et la moins maîtrisée serait le détachement d'un cylindre conforme. La raison peut tenir à la roche ou à une mauvaise maîtrise du geste technique. Toutefois, compte tenu de la quasi absence des autres stades de façonnage, il nous semble plus probable que cet assemblage ne renvoie qu'à la phase extractive du façonnage, les autres étapes ayant été réalisées ailleurs, soit sur d'autres aires du site soit sur un autre site.

L'assemblage de Châbles apparaît typique des rebus accumulés au plus près de l'aire d'extraction (profil très long et tassé vers le bas sur les Stades I et II) ? Si cette interprétation est juste, la raréfaction extrême des rebus avec le stade II.B indiquerait un premier dressage des proto-meules en carrière (pré-formes non genrées) suivi d'un emport des ébauches pour réalisation des étapes plus fines du façonnage.

30. Châbles pourrait ainsi témoigner d'une organisation segmentée et spatialisée de la fabrication, indiquant au passage que, sur certains ateliers et à certaines époques, le métier de carrier-meulier et de meulier n'était sans doute pas le même, la mise en forme et le genrage des meules (stades II.B et III) nécessitant une technicité particulière et se trouvant alors réservé à des opérants spécifiques, distincts de carriers. Dans cette éventualité on peut même envisager que les carriers n'aient pas été particulièrement spécialisés dans l'extraction de meules mais le cas échéant affectés à une extraction de cylindres meuliers.

9 - Profil de Façonnage des carrières de l'EIFEL

Figure 27



31. L'assemblage des rebus des carrières meulières en basalte de l'Eifel (MANGARTZ 2008) situées en rive Nord de la Moselle près de sa confluence avec le Rhin, présente la configuration typique d'une fabrication primaire en carrière. En effet, le spectre est très largement dominé par les rejets issus des stades I et II (extraction des cylindres, mise en forme générale) qui regroupent 72% du total.

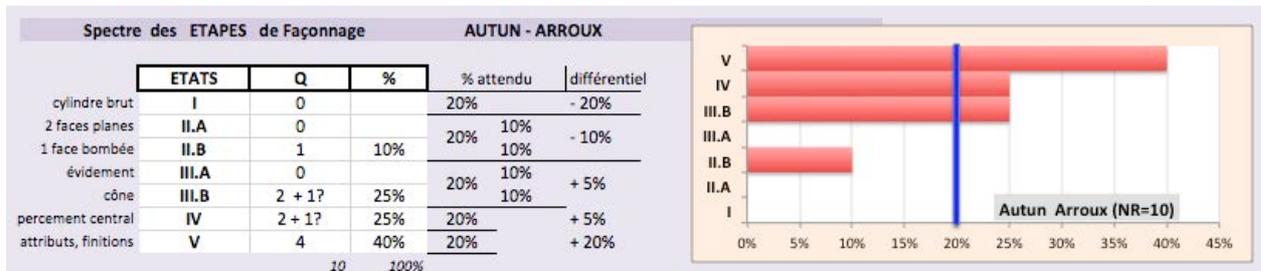
Le fait que les phases suivantes (stades III à V) soient présentes (autour de 10%) sans être vraiment marginales indique que l'assemblage n'est pas uniquement carrier et que les étapes proprement meulières étaient réalisées sur place ou du moins dans l'aire de collecte de l'étude.

La forte représentation des phases de travail I (extraction des préformes) et II.A (façonnage à 1 ou 2 faces planes, soit une approche du genre *Catillus* ou *Meta*) qui livrent à elles seules 53% des rebuts, peut traduire deux réalités :

- . soit une certaine difficulté technique en début de chaîne opératoire, difficulté sans doute liée à la roche (basalte dur et cassant) facteur de sur-accidentologie avec surproduction de rebuts,
- . soit une spatialisation de la chaîne opératoire globale et une collecte archéologique principalement centrée sur les aires de travail primaires (extractives). Cette collecte pourrait s'expliquer par un phénomène bien connu des carrières à longue durée d'exploitation : l'enfouissement progressif des fronts et planchers de taille antérieurs sous les déchets d'extraction et de façonnage les plus récents²³, topographie qui laisse accessible (dans le meilleur des cas) les seuls fronts les plus récents ou les plus éloignés.

10- Profil de Façonnage de l'atelier urbain d'AUTUN, Faubourg d'Arroux

Figure 28



32. Il s'agit d'un atelier de fabrication de meules situé en contexte urbain (JACCOTTEY *et al.* 2017), donc d'un atelier secondaire. De fait il manque à son profil de façonnage la phase d'extraction (stade I) et même la phase II.A de dressage des pré-formes. Dominant au contraire les phases de façonnage avancées (stades III.B et IV de configuration de l'angulation et de perçement central) et surtout la phase de finition des meules (stade V).

En total contraste avec Châbles (dont le profil est long et tassé en bas), Autun nous propose le spectre typique d'un atelier secondaire (profil allongé mais tassé vers le haut) consacré aux dernières phases de la chaîne opératoire.

Ce qui est frappant ici est l'importance des rebuts de phase III.B, d'autant qu'ils représentent la totalité de la phase : autrement dit, l'atelier voyait arriver des blocs préparés (faces planes, forme générale acquise) et dont le genre est amorcé, principalement des *Metae* (III.B correspondant à des cônes saillants) qu'il avait pour charge de porter à leur terme. Il est ainsi intéressant de noter que cet atelier urbain ne prend pas en charge seulement le segment final de la fabrication : non seulement il opère le perçement central puis les finitions, mais auparavant il réalise le genrage (*Meta / Catillus*) des ébauches à partir de pré-formes où le genre est **seulement** amorcé.

33. Ce faisant, le cas d'Autun nous propose une réflexion sur la notion d'atelier secondaire et sa labilité. Ainsi il n'est pas certain que la limite séparative entre production primaire et atelier de production secondaire soit toujours fixée à l'étape III. En effet on pourrait attendre, dans une logique d'éloignement par rapport à la technique carrière et de rapprochement avec la technique plus spécifiquement meulière, que les ateliers secondaires accueillent généralement des formes genrées (*Catillus* ou *Meta*), à l'angulation définie et dont il reste à effectuer le perçement (opération à

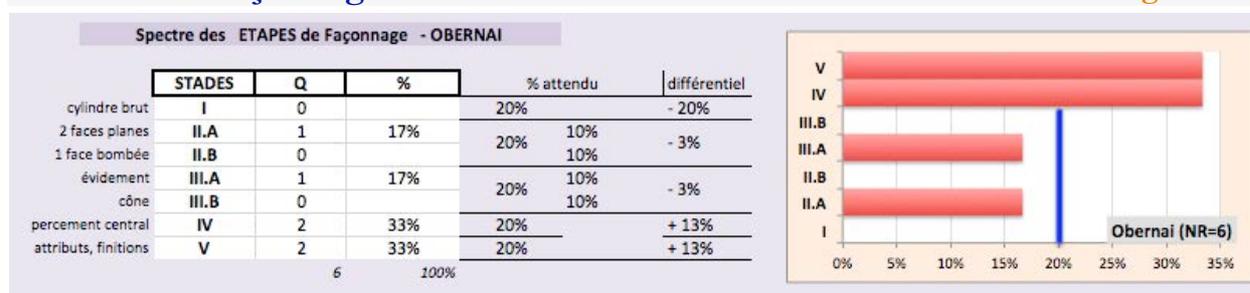
²³ Comme le suggèrent notamment les découvertes du site 13 à Orvieto (modèles pompéiens découverts par Peacock à la fin des années 70 et petites MRB sorties dans les années 2014 sur la maison voisine) ou les terrasses d'extraction et haldes de niveau avec les coulées de basalte qui surmontent la leucite, les zones d'extraction antiques d'Orvieto ont très probablement été affectées par ce phénomène et sont pour la plupart enfouies.

priori délicate) ainsi que les finitions (bordures, flanc, emmanchement etc.), c'est-à-dire une production secondaire correspondant aux étapes IV et V.

Par ailleurs le cas d'Autun propose une réflexion sur la spatialité de cette deuxième partie de la chaîne opératoire effectuée dans un atelier urbain. En effet, l'absence des phases II.A et III.A, qui correspondent généralement à des *Catilli*, indique que les rebuts concernent très majoritairement sinon exclusivement des *Metae*. Une sur-mortalité des *Metae* au cours du façonnage apparaissant peu probable (elles sont à priori moins délicates à réaliser que les *Catilli*), cette prépondérance indique que l'atelier (ou la phase ou bien l'espace qui en ont été conservés) s'occupait peut-être principalement de meules dormantes. Cela dit, les aires de travail consacrés à la définition des *Catilli* (étapes II.A et III.A) pourraient avoir été voisines (notamment au-delà du quadrant Est qui concentre les ébauches) mais non observées par la fouille. Malheureusement la publication ne référençant pas les meules dans leurs espaces, il n'est pas possible de développer une approche plus détaillée, par exemple pour savoir où se localisent les ébauches d'étape II.B ou III.B .

11- Profil de Façonnage de l'atelier d'OBERNAI

Figure 29



34. L'atelier d'Obernai est passionnant et a été récemment publié en détail, assorti d'intéressantes réflexions (FELIU, JODRY 2017). Il concerne 6 ébauches, 3 en rhyolite et 3 en grès, toutes rapportables à la période de la Tène D et que leur faible épaisseur (13 à 17 cm avant finition) intègre parfaitement à ce que nous appelons la tradition rhénane (voir **CHAP.17**, notamment en C.2 les § 104, 150 et 152). Le profil de façonnage doit cependant être analysé avec prudence du fait de sa faiblesse quantitative (6 meules). Il apparaît marqué par plusieurs anomalies et correspond vraisemblablement à un tri, parfois opéré par les auteurs d'une publication, parfois d'origine proprement archéologique.

En effet, la prépondérance des stades IV et V (perçement central puis finitions, emmanchements etc.) qui totalise 4 des 6 restes pourrait correspondre au choix de faire connaître les seuls éléments les plus informatifs, mais l'ensemble publié paraissant couvrir l'intégralité des découvertes, cette prépondérance indique un assemblage correspondant à un atelier de production secondaire, hypothèse retenue explicitement par les auteurs. L'atelier, peut-être temporaire, prend place dans un contexte multifonctionnel d'habitat en enclos laténien.

La fraction des rebuts de carrière (stade I : cylindres et pré-formes) est totalement absente et de fait la fabrication n'intervient pas sur une aire d'extraction. Elle concerne même deux lithotypes différents. Compte tenu du caractère très réduit de l'échantillon, il est délicat d'interpréter l'absence des stades II.B et III.B qui correspondent le plus souvent à des *Metae*. Compte-tenu de la présence de la phase II.A, Obernai appartient à la catégorie des ateliers secondaires dont les fabrications, concernant les meules en grès, débutent dès la phase II (mise en forme et amorce du genre de la meule) et non pas seulement au stade II.B ou III.A (genrage des ébauches par réalisation des cônes).

35. Il reste dans ce cadre à expliquer la proportion anormale des meules abouties ou quasi-achevées (stades de façonnage IV et V). Cette phase de fabrication n'ayant pas de raisons techniques particulières d'aboutir à une surproduction de rebuts, on doit envisager que ces meules auraient dû quitter l'atelier et ne pas figurer au sein des rebuts. C'est notamment le cas des deux meules en voie d'achèvement (*Meta* n° 2 et *Catillus* n° 3) qui pour les auteurs relèveraient d'un

couple apparié (en revanche, une fracturation explique la présence parmi les rebuts de phase V du *Catillus* n° 1). Des conditions particulières de formation de l'ensemble doivent alors être invoquées pour expliquer l'anomalie de la présence de ces 2 meules presque achevées. Il peut s'agir d'un abandon prématuré ou *in medias res*. Les meules n'étant pas complètement finies, le lieu de la découverte a pu correspondre à une installation (provisoire ou durable) de finition et de réglage d'appariement de moulins en livraison sur le site.

Notons que si les 2 meules de stade V avaient quitté l'atelier, le spectre serait composé de 3 phases comportant 1 meule (stades II.A et III.A) ou 2 (stade IV), conférant ainsi une physionomie "égalitariste" qui au fond structure en effet le spectre. Toutefois, seconde anomalie d'Obernai, cette configuration « égalitariste » n'est jamais représentée sur les 9 ateliers que nous avons pu étudier. L'examen des meules selon les roches montre que ce spectre "égalitariste" est celui des éléments en grès local.

Enfin une dernière anomalie du profil d'Obernai a trait à la sur-représentation des *Catilli* (n° 1/2/5 et n° 4/6 probablement). Cette configuration suggère une distorsion ou une amputation de l'assemblage, à laquelle nous verrions deux causes possibles : soit les *Metae* ont été travaillées dans un autre lieu (peut-être juste à côté) non observé ou non conservé, soit l'atelier visait principalement à installer ou remplacer des *Catilli*. Cette dernière éventualité est favorisée par l'attestation, pour les phases II et III, des seules modalités II.A et III.A (formes à 2 faces parallèles, le plus souvent promises au genre *Catillus*).

36. La prise en compte des roches par étape de façonnage éclaircit l'interprétation : elle montre en effet que les meules de stade V correspondent en fait aux rhyolites, pour lesquelles manquent toutes les autres étapes. Comme le soulignent les auteurs, l'atelier de seconde production d'Obernai remplissait donc 2 fonctions : d'une part la finition (ou l'installation) de meules en rhyolite de provenance déjà lointaine (ca. 50 km, Vosges carrières de La Salle/Les Fossottes), d'autre part l'usinage post-extractif (stades II à IV) de meules locales en grès.

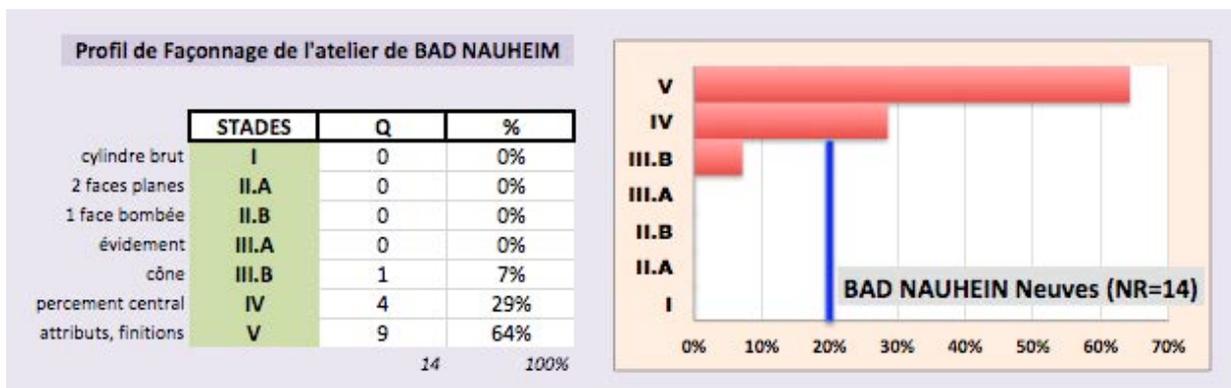
Sur l'exemple d'Obernai on peut donc envisager de distinguer parmi les ateliers de seconde production,

- . des ateliers de seule finition (stades IV et V) voire d'installation (seul stade V),
- . des ateliers de fabrication (stades III et IV, parfois également stade II).

Obernai reste un des trop rares exemples, laténien qui plus est, de fabrication et finition de meules en contexte de domaine rural et en dehors de la zone d'extraction.

12- Profil de Façonnage de l'atelier de BAD NAUHEIM

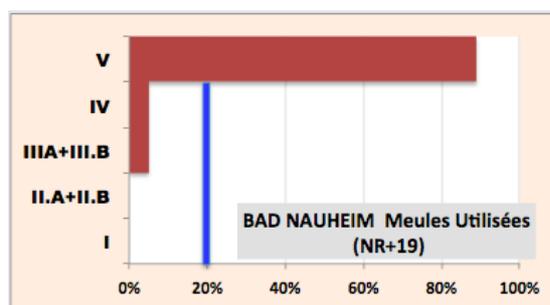
Figure 30



37. Les ébauches et meules neuves de l'atelier de Bad Nauheim situé à l'Est du Rhin (WEFERS 2012) regroupent 93% d'éléments relevant des stades ultimes du façonnage (IV et V) et aucun de l'étape extractive (stade I voire II.A). Elles renvoient ainsi à un pur atelier secondaire, spécialisé dans le perçement (stade IV) et les finitions (stade V). Le spectre est comparable à ceux de Els Vilars, Autun Arroux et Obernai (rhyolites).

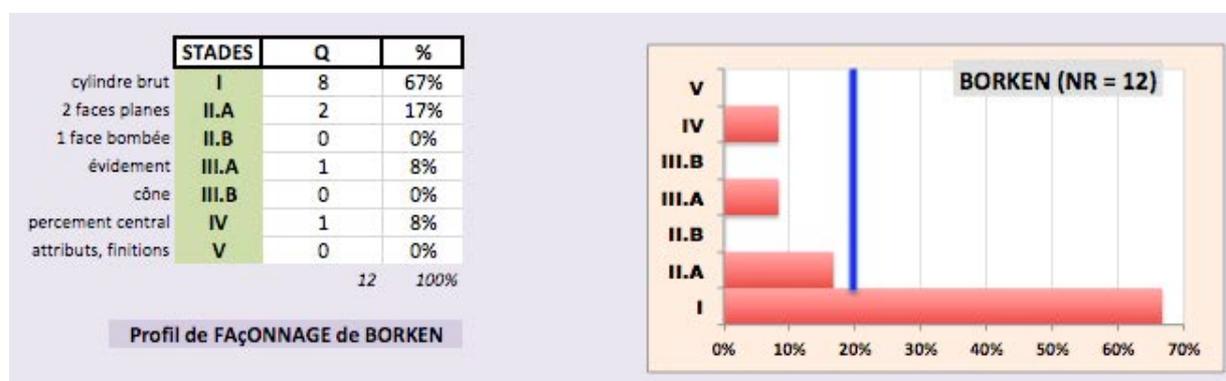
L'absence d'ébauches primaires issues de carrière (stades I et II) renforce l'idée, proposée par l'éloignement entre Bad Nauheim et les gisements, qu'il s'agisse d'un atelier secondaire délocalisé, intégré dans une production spécialisée, voire qu'il s'agisse d'un assemblage issu directement d'une cargaison. Cet ensemble particulier serait, dans la collection étudiée qui regroupe des découvertes variées, mêlé à des meules issues de sites d'utilisation comme en témoigne (Fig.31) le spectre global ci-dessous où 89% des meules relèvent du stade achevé V).

Figure 31 : Bad Nauheim – Profil de façonnage des meules utilisées



13- Profil de Façonnage de l'atelier de BORKEN

Figure 32



38. L'atelier laténien de Borken (WEFERS 2012) est situé dans la basse vallée du Rhin, au Nord de Dortmund et près de la frontière entre l'Allemagne et les Pays Bas. Ce site de carrière²⁴ a fabriqué des meules dans une lave locale. Son profil de façonnage comporte 84% d'éléments relevant des phases primaires d'extraction du cylindre (stade I) ainsi que de façonnage du pourtour et des faces (stade II). Les meules n'y sont pas générées. Ce profil est typique d'un atelier primaire ou d'un assemblage provenant directement des carrières.

3- Typologie des Ateliers selon leur profil de Façonnage

39. Bien que limité à 13 ensembles, le corpus de profils de façonnage que nous venons d'établir permet de proposer une interprétation et une typologie des assemblages d'atelier. Les 5 types définis reposent sur la fréquence et le contraste entre les différents stades de façonnage.

Deux pôles peuvent être distingués qui correspondent à des assemblages très contrastés : d'une part les ensembles composés presque exclusivement de cylindres bruts de carrière ou à peine travaillés (stade I) et d'autre part les assemblages composés presque exclusivement de meules achevées, neuves ou utilisées. Entre ces deux pôles prennent place des spectres différenciés mais le plus souvent typiques.

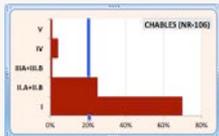
²⁴ Ma compréhension écrite de l'allemand ne dépassant pas une vingtaine de mots, je remercie Stéphanie pour les précisions qu'elle m'a gentiment fournies.

Type PROFA.1

Assemblage de carrière ou qui en provient

Le profil est très allongé et concentré sur le bas. Les stades représentés sont peu nombreux et l'assemblage est très largement composé d'ébauches de stade I (cylindres) souvent complétés d'une fraction de stade II (pré-formes non générées).

Exemple de PROFA.1 : Châbles



Borken

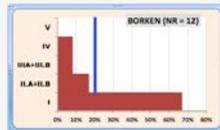
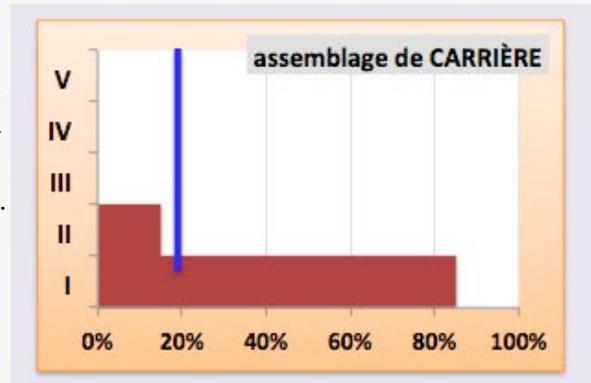


Figure 33 : Type 1 - assemblage de carrière



Type PROFA.2

Assemblage d'utilisation

Le profil est très allongé et concentré sur le haut du diagramme. Les stades représentés sont peu nombreux et l'assemblage est très largement composé de meules achevées. Si les meules ne sont pas neuves, il s'agit d'un assemblage de site d'utilisation.

Exemple de PROFA.2 d'Utilisation : Alorda Park (Fig.35 ci-contre)

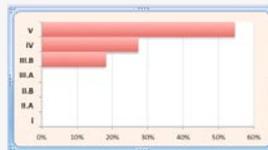
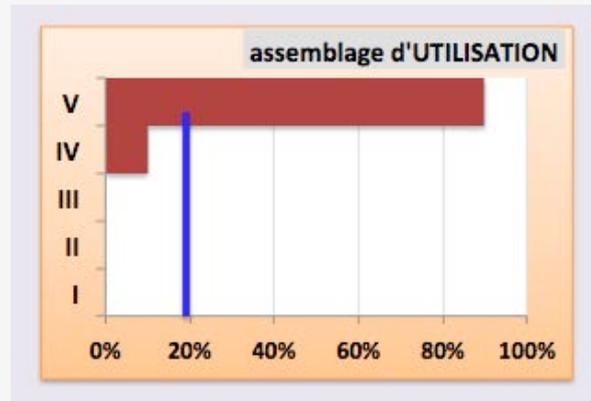


Figure 34 : Type 2 - assemblage d'utilisation



Type PROFA.3

Chaîne opératoire complète

Tous les stades de façonnage tendent à être représentés, et selon une fréquence équilibrée. Si l'échantillon ne résulte pas de choix de publication, il signifie que toutes les étapes du façonnage sont présentes, de l'extraction à la finition. Les aires de travail sont indistinctes ou proches et se situent à proximité immédiate de la carrière.

Exemple de PROFA.3 : Avrilly (Fig.37 ci-contre) et sans doute La Marèze

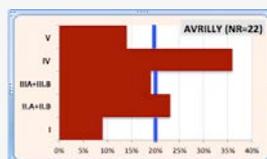
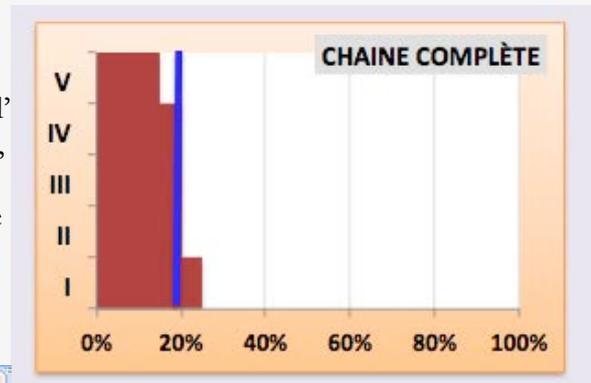


Figure 36 : Type 3- chaîne opératoire complète

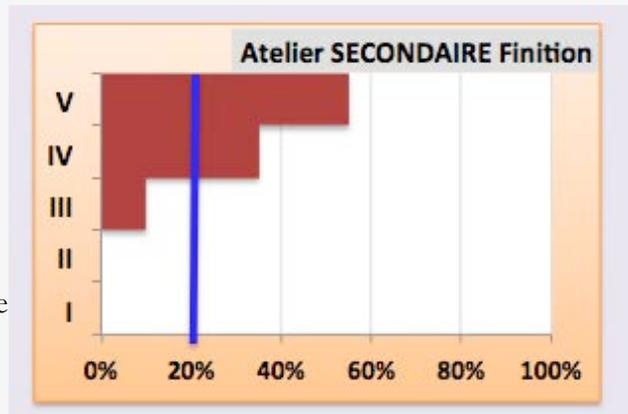


Type PROFA.4 Atelier secondaire

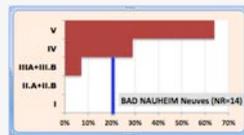
Les stades initiaux du façonnage, liés à l'extraction, sont absents. Le façonnage est concentré sur le percement (stade IV) ou la finition des meules (stade V). Certains ateliers incluent le genrage des meules (stade III).

Ce type de profil indique une segmentation et une spatialisation de la chaîne opératoire meulière : après extraction et premier ébauchage en carrière (stades I et II) les pré-formes sont transportées dans une aire éloignée ou dans un atelier meulier distinct de la carrière où elles recevront alors les étapes finales (IV et V ou III-IV-V) de leur façonnage.

Figure 38 : Type 4 – atelier secondaire

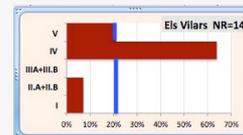


Exemple de PROFA.4 : **Bad Nauheim**



et

Els Vilars



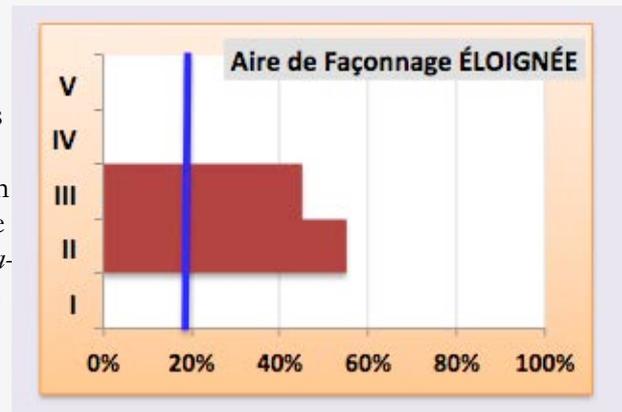
Type PROFA.5 Aire de façonnage distante

Le spectre est caractérisé par la présence ou la nette dominance de seulement 1 ou 2 stades médians de la chaîne opératoire meulière.

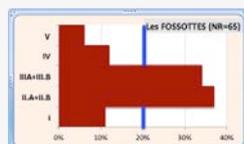
L'assemblage ne reflète ni les phases d'extraction ni les étapes finales. Il correspond donc à une aire de travail distante, consacrée au genrage *Meta / Catillus* par réalisation des cônes (positifs ou en creux) à partir des pré-formes.

Ce type de spectre témoigne d'une segmentation du travail, mais ne préjuge pas de la distance à la carrière : l'éloignement peut être faible, une organisation par aires spécialisées, situées autour des zones d'extraction suffit à produire ce type de profil. Mais une organisation segmentée et largement spatialisée, à l'imitation de ce qui a été montré pour la métallurgie du fer, aboutit au même spectre. C'est le cas si les phases médianes sont par exemple réalisées dans un établissement rural ou une agglomération située à quelques km de la carrière, et les phases finales dans d'autres sites.

Figure 39 : Type 5 – aire de façonnage distante

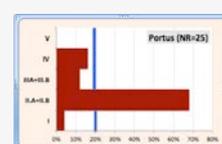


Exemple de PROFA.5 : **les Fossottes**



et

Portus



40. Comme le montrent les exemples associés à chaque type proposé, la réalité n'est pas aussi tranchée que la typologie. Ainsi la présence, comme aux Fossottes, d'une fraction de meules relevant du stade extractif I indique que l'aire dont témoigne l'assemblage, consacrée au façonnage intermédiaire, est très probablement proche d'une zone carrière. Elle n'est sans doute pas très éloignée non plus des aires où prennent place les étapes de percement central (stade IV) et de finition (stade V). En cela les Fossottes sont similaires à Orvieto et se distinguent nettement de Portus dont le spectre est plus tranché, soit que la production y soit très spatialement segmentée par phase du travail, soit que l'assemblage publié provienne d'une zone restreinte quelque peu éloignée des fosses d'extraction.

4- Ateliers Primaires ou Secondaires & Segmentation spatiale de la fabrication

41. Avant d'aborder la situation du façonnage à Orvieto, nous ferons quelques remarques supplémentaires à partir de la table des données des ateliers (Fig.40).

En sus d'Orvieto, le corpus de comparaison est composé de 13 assemblages dont 12 correspondent à des ensembles d'ateliers (on exclut en effet le *site assemblage* du Chaudry, n°3, pour n'en retenir que la fraction de meules neuves et d'ébauches : assemblage n° 4). Au total 491 meules fournissent 375 occurrences où le stade de façonnage peut être établi (stades I à V dont II et III subdivisés en A et B). De ces 12 ensembles, 8 proviennent de sites de carrières, 2 d'ateliers situés en agglomération protohistorique ou romaine, et 2 autres sur un établissement rural.

Figure 40 : Table des données des Ateliers – 1- Façonnage

TYPOLOGIE des ATELIERS MEULIERS														
NOMS	CHRONO	Etabliss.				NR total	NR Etapes de FAÇONNAGE	ETAPE I	ETAPE II	ETAPE III	ETAPE IV	ETAPE V	Dominante	
		CARRIÈRE	RURAL	AGGLO.	VILLE								I+II	IV+V
1 5- Els VILARS	V-IV aC			1		28	14	1 7%	1 7%		9 64%	3 21%	14%	85%
2 29- AVRILLY	AVG.		1			22	22	2 9%	4 23%	5 19%	8 36%	3 14%	32%	50%
3 34- Le CHAUDRY total	LT / G-ROM					47	43	3 7%	11 25%	4 9%	1 2%	24 56%	32%	58%
4 34- Le CHAUDRY Carrière	LT / G-ROM	1				47	21	4 19%	10 48%	3 14%	1 5%	3 14%	81%	13%
5 38- Les FOSSOTTES	LT	1				65	65	7 11%	24 37%	22 34%	8 12%	4 6%	48%	18%
6 40- PORTUS	AVG / HE / BE?	1				25	25	1 4%	17 68%	3 12%	4 16%		72%	16%
7 58- AGDE	IV aC - II pC?	1				23	23		2 9%	1 4%	1 4%	19 83%	8%	87%
8 67- CHÂBLES	I pC	1				106	106	74 70%	26 24%	1 1%	4 4%	1 1%	94%	5%
9 68- EIFEL	I-IV pC	1				57	57	14 25%	27 47%	8 14%	2 4%	6 10%	72%	14%
10 74- AUTUN Arroux	I pC			1		11	10		1 10%	2,5 25%	2,5 25%	4 40%	10%	65%
11 76- OBERNAI	LT-D		1			6	6		1 17%	1 17%	2 33%	2 33%	34%	66%
12 86- BAD NAUHEIM	LT	1				42	14			1 7%	4 29%	9 64%	10%	93%
13 87- BORKEN	LT	1				12	12	8 67%	2 17%	1 8%	1 8%		84%	8%
		8	2	1	1	491	375	totaux sans Le CHAUDRY Total					60%	27%
							76%	111	115	48,5	46,5	54		
						sans Le CHAUDRY total		30%	31%	13%	12%	14%		
								+ 10%	+ 11%	- 7%	- 8%	- 6%		
						269		totaux sans CHABLES						
								37	89	47,5	42,5	53		
								14%	33%	18%	16%	20%		

42. La quantification des stades de façonnage de chaque assemblage a permis d'établir les profils présentés *supra* ainsi que le spectre moyen de la Fig.14 dans la discussion de la fréquence normale de chaque stade. Elle permet en outre ici de définir 3 grandes classes d'assemblages d'ateliers d'après leur dominante (cadre orangé sur la Fig.40) : dans 6 des 12 ensembles ce sont les stades I et II, que l'on peut dire carriers ou extractifs, qui dominent souvent très nettement (75-90%) tandis que dans 4 autres la dominante revient nettement aux étapes finales (stades IV et V). Les contrastes sont assez marqués (le schéma est de type 80 vs 10%. Seuls 2 assemblages, les ruraux Avrilly et Obernai, se caractérisent par une domination toute relative des phases finales du façonnage et par la force des phases extractives (33%).

Il apparaît ainsi, contre toute attente, que les étapes carrières sont moins bien représentées dans les assemblages d'atelier que les étapes d'achèvement des meules. Cela peut être en partie dû au fait que sur les ateliers installés sur les carrières (il y en a 8 sur 12) les étapes extractives du façonnage sont probablement enfouies sous les remblais et les déchets issus des étapes postérieures. Cela tend cependant à rendre fréquente une sectorisation du travail en aires relativement spécialisées, consacrées à 1 ou 2 phases de la chaîne opératoire meulière.

43. On définit comme **Ateliers Primaires** ceux dont une partie notable du spectre est composée des étapes initiales du façonnage (ébauches de stade I et II). Les ateliers Primaires Complets sont ceux qui montrent toutes les étapes du travail (stades I à V). Lorsque font défaut les phases finales du façonnage ces Ateliers Primaires peuvent être précisés par les termes « Primaires I-II » ou « Primaires I-III » qui désignent les stades de façonnage qui y sont représentés.

On définit comme **Ateliers Secondaires**²⁵ les sites de façonnage qui ne comportent que les phases finales du travail meulier. Ces Ateliers Secondaires travaillent à l'achèvement de meules arrivées d'autres ateliers (Primaires) sous forme de semi-produits de type pré-formes (stade II) ou de type ébauches genrées (stade III). Certains ateliers secondaires peuvent être orientés sur des étapes particulières du façonnage (stade IV : percement des œils ou stade V : finitions, ou les deux comme Bad Nauheim) tandis que d'autres (comme Autun) assurent également la finition des cônes (stade III.B).

Figure 41 : Ateliers Primaires ou Secondaires et chronologie

43. La segmentation spatiale de la fabrication est attestée dès la période de la Tène, où les ateliers secondaires (Fig.41) sont bien présents (3 sur les 7 attestations laténiennes ou augustéennes) à travers les cas de Els Vilars, Obernai et Bad Nauheim (1 agglomération, 1 établissement rural et 1 carrière). Mais cette segmentation est également traduite *a contrario* par l'existence à cette période d'ateliers primaires limités aux étapes initiales du façonnage : c'est ainsi le cas du site de Borken.

Il semble par ailleurs que les Ateliers Secondaires aient pu correspondre à de petites unités si l'on en croit le fait que la moyenne des ébauches retrouvées y est 4 fois plus faible que sur les Ateliers Primaires (11 vs 44 par site).

44. Une dernière remarque doit être consacrée à la place de la technique du forage. En effet (Fig.42), le percement mécanisé du centre des meules est attesté sur les 2/3 des ensembles (7/12) et sur 6% du total des restes meuliers. Mais si l'on tient seulement compte des meules parvenues à

TYPES d'ATELIER		
N°	Ateliers Primaires	Ateliers Secondaires
Sites / 11 *	2 - 4 - 5 - 6 - 8 - 9 - 13	1 - 10 - 11 - 12
Sites	Avrilly - Le Chaudry - Les Fossottes - Portus - Châbles - Eifel - Borken	Els Vilars - Autun Arroux - Obernai - Bad Nauheim
occurrences de façonnage	308	44
meules / site	44	11
LT	2 - 4 - 5 - 13	1 - 11 - 12
ROM	2 - 4 - 8 - 9	10

* les 23 meules du site d'Agde (n°7) ne sont pas prises en compte en raison du caractère biaisé de l'assemblage (choix de publication)

²⁵ La notion d'atelier secondaire est très présente dans la littérature archéologique anglaise, par exemple chez FRESHWATER 1996 qui publie le « *lava quern workshop in late Saxon London* » et parle de « *quern finishing workshop* » ou chez PARKHOUSE 1997 qui à propos de Dorestadt et du commerce des meules en lave de l'Eifel au Haut Moyen Age indique que « *the exchange of querns was a two-stage operation, in which the querns did not travel directly from quarry to end-user (or the end-user's local market), but via the emporia.* ». La découverte d'épaves maritimes ou fluviales transportant dans l'Antiquité ou le Haut Moyen Age des meules semi-finies contribue à la mise en évidence d'une production qui peut être bi-phasée.

l'étape du percement (c'est à dire les stades IV et V) ce sont 24% d'entre elles qui portent la trace de la technique du forage. Celle-ci est par ailleurs attestée à l'Age du fer, fréquemment à la période LT-D/Augustéen mais aussi antérieurement comme semble-t-il à Els Vilars.

col.1 NOMS	col.2 TYPOLOGIE		col.5 des ATELIERS MEULIERS				col.6 TYPOLOGIE des ATELIERS			col.7 accent		col.8 Appellation		col.9 FORAGE		col.10 NR FORAGE		col.11 % FORAGE / total NR		col.12 % FORAGE / total IV-V		col.13 Notes d'interprétation	
	col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	col.20	col.21	col.22	col.23
1 5- Els VILARS	V-IV aC		14%	85%	2	Secondaire IV-V	Finition (IV-V)	Atelier secondaire Perfo & Finitions						1	3	11%	25%	Atelier en habitat et possiblement spécialisé en forage et finition					
2 29- AVRILLY	AVG.		32%	50%	3	Primaire Complet	faiblesse de l'extraction	Primaire Complet proche carrières						1	7	32%	64%	atelier avec toutes les étapes de la chaîne; sur-représentation de la phase IV - sur-incidence ou choix de publication?					
3 34- Le CHAUDRY total	LT / G-ROM		32%	58%	3	spectre composite												spectre composite : zone carrière + meules du Chaudry dans l'agglomération d'Argentomagus					
4 34- Le CHAUDRY Carrière	LT / G-ROM		81%	13%	1	Primaire Complet	importance pré-formes	Primaire extractif à Pré-formes						1	1	5%	25%	spectre de la seule zone carrière; possible aire de travail proche de la zone extractive (faiblement représentée)					
5 38- Les FOSSOTTES	LT		48%	18%	1	Primaire Complet	importance phases II-III	Primaire Complet sur carrières						1	4	6%	33%	la faiblesse des phases IV et V pourrait indiquer un export partiel vers des ateliers liaires de type D					
6 40- PORTUS	AVG / HE / BE?		72%	16%	1	Primaire Complet	importance pré-formes	Primaire à tendance complet, aire spécifique pré-formes ?						1	4	16%	100%	atelier Primaire à tendance complet; sur-représentation de l'étape II= sur-incidence ou aire de travail spécifique ?					
7 58- AGDE	IV aC - II pC?		8%	87%	4	assemblage de publication																	
8 67- CHÂBLES	I pC		94%	5%	1	Primaire I-II	quasi-absence étapes IV-V	Primaire extractif à Pré-formes						0	0			atelier de carrière visiblement complété par un atelier secondaire (absence des étapes III-IV-V)					
9 68- EIFEL	I-IV pC		72%	14%	1	Primaire Complet	importance pré-formes	Primaire Complet sur carrières						0	0			atelier de carrière comportant toute la chaîne; probable sur-accidentologie de la phase extractive I et de pré-forme II					
10 74- AUTUN Arroux	I pC		10%	65%	2	Secondaire III-V	quasi-absence étapes I-II	Secondaire complet						1	1	10%	15%	atelier urbain; retards des cotifs (travaillés sur aire voisine?); incidence particulière en phase V (finitions) ?					
11 76- OBERNAI	LT-D		34%	66%	2	Secondaire II-IV	2 filières	Secondaire II-IV pour Grès et V pour Rhyolites						0 ?				atelier secondaire à traitement différentiel des 2 roches : finitions pour les Rhyolites et phases II-IV pour le Grès local					
12 86- BAD NAUHEIM	LT		10%	93%	2	Secondaire IV-V	Finition stade V	Atelier secondaire Perfo & surtout Finitions						1	4	29%	31%	atelier secondaire de percement et surtout finition ; 4 forages certains sur 1,4 et 3 autres possibles; les 7 sur Metz					
13 87- BORKEN	LT		84%	8%	1	Primaire I-II	extraction	Assemblage localisé en carrière ou en provenant						0	0			atelier de carrière ou assemblage brut en provenant					
			60%	27%										7	24	6%	24/100,5						
														64%			24%						

Figure 42 : Table des données des Ateliers – 2- Forage

- sur la Fig.42 ci-contre les ateliers sont classés en Primaires ou Secondaires d'après leur profil de façonnage (données sur Fig.40) et d'après la dominance des stades initiaux ou finaux -

- les Ateliers Primaires apparaissent en bleu ciel dans les colonnes 5 et 6 - leur nature est précisée aux colonnes 7 et 8 -

- les colonnes 9 à 12 fournissent les données relatives à la présence et à la fréquence du forage dans chaque assemblage d'atelier et sur l'ensemble -

- les données ne sont pas disponibles pour Agde -

3. Orvieto parmi les Ateliers

45. On fournira ici les tables de données (Fig.43 et 45) ainsi que les diagrammes (Fig.44 et 46) relatives aux stades de façonnage des *Catilli* d'Orvieto (23 restes) et des *Metae* (32 restes) soit sur la totalité des 55 meules et ébauches.

Figure 43 : Table des données Façonnage des *Catilli* – Orvieto

ORVIETO - MRB : STADES de FAÇONNAGE			
A. CHARTRAIN V-2018			
CATILLI			
	STADES	Q	%
cylindre brut	I	0	
2 faces planes	II.A	7	30%
1 face bombée	II.B	0	
évidement	III.A	8	35%
cône	III.B	0	
perçement central	IV	7	30%
attributs, finitions	V	1	4%
		23	100%

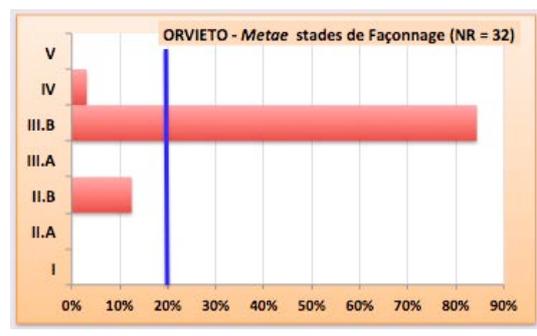
Figure 44 : Diagramme des stades de Façonnage des *Catilli* - Orvieto



Figure 45 : Table des données Façonnage des *Metae* – Orvieto

ORVIETO - MRB : STADES de FAÇONNAGE			
METAE			
	STADES	Q	%
cylindre brut	I	0	
2 faces planes	II.A	0	
1 face bombée	II.B	4	13%
évidement	III.A	0	
cône	III.B	27	84%
perçement central	IV	1	3%
attributs, finitions	V	0	
		32	100%

Figure 46 : Diagramme des stades de Façonnage des *Metae* - Orvieto



Ces restes meuliers proviennent de 10 sites (principalement R.10, R.13, R.16, R.40 et R.43) sans qu'il n'y ait de différence spatiale entre la provenance des *Metae* et des *Catilli* (Fig.47). L'examen des profils détaillés des deux genres (Fig.44 et 36) met immédiatement en évidence 3 traits : un contraste, une différence de composition, enfin une structure globale identique.

Figure 47 : Distribution des *Metae* et des *Catilli* selon les sites

46. Le contraste porte sur le fait que les *Catilli* livrent uniquement des ébauches de stade A alors que les *Metae* ne comprennent que des ébauches de stade B. Si cette association systématique *Catilli* / stades A et *Metae* / stades B n'est pas systématique, elle est tout à fait possible du moins sur certains ateliers. En effet, la catégorisation A correspond à l'existence de 2 faces parallèles en stade II et à 1 ou 2 cônes concaves en stade III, configurations généralement indicatrices d'un *Catillus* en voie de réalisation. A l'inverse, la catégorisation B (1 face bombée en stade II et de même en stade III) est plus susceptible de correspondre à une *Meta*. Ici l'absence de catégorie B chez les

répartition spatiale des MRB			
Sites	<i>Metae</i>	<i>Catilli</i>	Stade IV
R.10	8	5	3
R.13	2	7	2
R.16	9	5	2
R.26		1	
R.27	1		
R.30	2		
R.31	1		
R.39	1		
R.40	3	3	1
R.41	1		
R.43	4	2	
	32	23	8
			35%

Catilli et de catégorie A chez les *Metae* indique que les ébauches tendent vers un genrage précoce où une ébauche plate (A) deviendra un *Catillus* tandis qu'une ébauche bombée (B) fera inévitablement une *Meta*.

47. La différence réside dans le fait que le spectre de façonnage des *Metae* (Fig.46) est presque exclusivement composé par des éléments de Stade III (genrage des meules par réalisation des cônes, ici un dôme III.B). A l'opposé, le profil de façonnage des *Catilli* (Fig.44) associe de manière assez équilibrée les stades II, III et IV. Au-delà de cette différence sur laquelle nous revenons *infra*, profil des *Metae* et profil des *Catilli* sont tous deux caractérisés par la prépondérance de la phase médiane du process de fabrication meulière.

48. L'identité structurelle entre les deux profils réside dans l'absence ou la rareté des stades I et V qui constituent les deux pôles du façonnage : extraction (stade I) et finition (stade V). L'absence de restes de stade I (cylindres) est partagée à la fois par les *Metae* et les *Catilli*. Elle témoigne de l'éloignement entre les sites de découverte des meules et les sièges de l'étape carrière de la fabrication.

Par ailleurs, les deux spectres sont également marqués par l'absence (*Metae*) ou la rareté (*Catilli*) des meules de stade V. Cela montre que la finition des meules orviétanes prenait place dans des zones éloignées voire extérieures. En revanche la trace de restes de stade IV chez les *Metae* et leur présence soutenue chez les *Catilli* (sur les différents sites) pourrait indiquer une situation contrastée : le percement des *Catilli* était pratiqué au voisinage immédiat des aires de découvertes, c'est à dire au pied de la falaise de lave mais l'œil des *Metae* semble avoir été réalisé ailleurs.

49. Cette configuration est surprenante puisque l'on attendrait à l'inverse un emport des *Catilli* à l'issue du façonnage de stade III (genrage par réalisation des cônes) pour que le percement de l'œillard soit éventuellement réalisé sur des aires spécialisées voire dans des ateliers tiers. Or les *Catilli* sont percés sur place tandis que les *Metae* restent aveugles. Il est cependant une hypothèse qui expliquerait à la fois la forte représentation du stade III chez les *Metae* et l'absence de stade IV (perçement) : le stade IV (perçement de l'œil des *Metae*) n'existerait pas à Orvieto, cet œil étant réalisé postérieurement, sur les lieux d'utilisation (phase installation) ou au stade de la diffusion (phase *emporium*). Dans cette configuration, la phase IV (perçement) n'aurait pas d'existence ce qui explique son absence, au contraire de la situation montrée par les *Catilli*.

50. Si cette hypothèse est juste on devrait à terme, dans la zone de diffusion des Meules Rotatives Basses provenant d'Orvieto sur les sites d'utilisation (habitats et sites industriels éventuels) voire sur des sites de redistribution (entrepôts, boutiques) ou de transports (épaves, voirie²⁶), trouver une fraction de *Metae* non encore munies de leur œil.

De même, si un percement des *Metae* qui serait réalisé hors de la zone de fabrication venait à être confirmé, il pourrait également traduire l'emploi dans cette zone d'un système particulier de liaison entre la *Meta* et l'axe (peut-être celui de l'insertion en force par martelage d'un axe en fer acieré). On peut aussi envisager un système d'entraînement variable qui impliquerait que l'œil des *Metae* soit réalisé et ajusté sur place, en fonction de la modalité choisie pour la liaison entre le *Catillus* et l'axe. Dans ce cas on devrait trouver sur les sites d'utilisation, des *Metae* provenant d'Orvieto dont l'œil présenterait plusieurs types (large ou étroit, profond ou non, cylindrique ou en V, à paroi brute ou lissée etc.).

51. Le spectre des Meules Rotatives Basses d'Orvieto porte finalement à deux conclusions.

D'une part le façonnage orviétan semble montrer en premier lieu l'absence de traces de la technique du forage. Mais la probabilité d'observation apparaît faible sur l'échantillon disponible. En effet, l'œil des *Metae* n'est pas réalisé sur place et celui-ci n'étant pas traversant, la probabilité qu'il soit foré se trouve affaiblie. Les seules meules sur lequel le forage pourrait être observé sont les *Catilli* mais leur nombre est réduit (23) et plus encore celui des percements observables (7). Dans ces conditions l'absence du forage telle qu'actuellement constatée ne peut être réellement garantie. Par ailleurs la perforation centrale des petites meules R.10-38 et 39 (Fig.48) qui semble par son

²⁶ Tel ce chargement versé sur une voie à Choisey (Jura), inédit et signalé dans JACCOTTEY, BOYER, ALIX 2016, 184.

étroitesse constituer une amorce d'œillard pourrait peut-être, par sa régularité à large échelle voire par son léger décentrement, correspondre à un forage, opération qui n'aurait pas été effacée par la poursuite du façonnage les meules ayant ici été mises a rebut avant leur achèvement. Toutefois un examen oculaire rapproché montre un plan anguleux qui n'emporte pas la conviction quant à l'éventualité d'un forage.

Figure 48a : Amorce du percement central sur les *Catilli* R.10-38 et 39 & détail de R.10-38

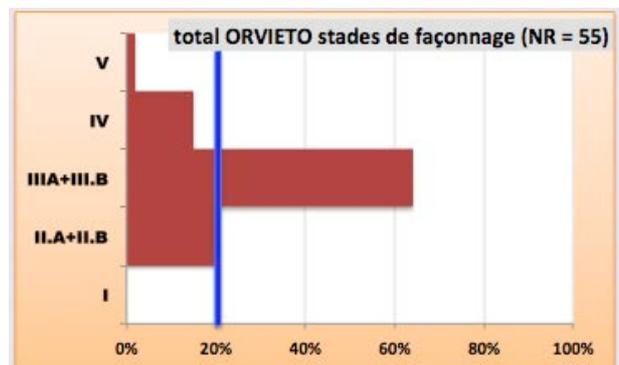


Figure 48b : Détail du percement central du *Catillus* R.10-39



52. D'autre part, si la confirmation qu'Orvieto constitue un atelier primaire n'est pas une surprise, en revanche tant dans le profil de façonnage des *Metae* que dans celui des *Catilli* l'absence (Fig.49) des phases initiales (stade I) et finales (stade V) est un fait nouveau. Cette absence montre qu'à Orvieto la fabrication des meules se déroulait selon des étapes spatialisées. Dans la mesure où les zones de découverte sont (à l'exception du riche site R.16) situées au pied de la falaise de leucite, l'absence dans les rebuts meuliers de la phase relative à l'extraction suggère que les sites d'extraction sont enfouis, probablement recouverts par les déchets dus à la progression de l'extraction ainsi que par les terrasses formées par l'agriculture ou pour ménager des aires d'exploitation carrière notamment médiévales et Renaissance.

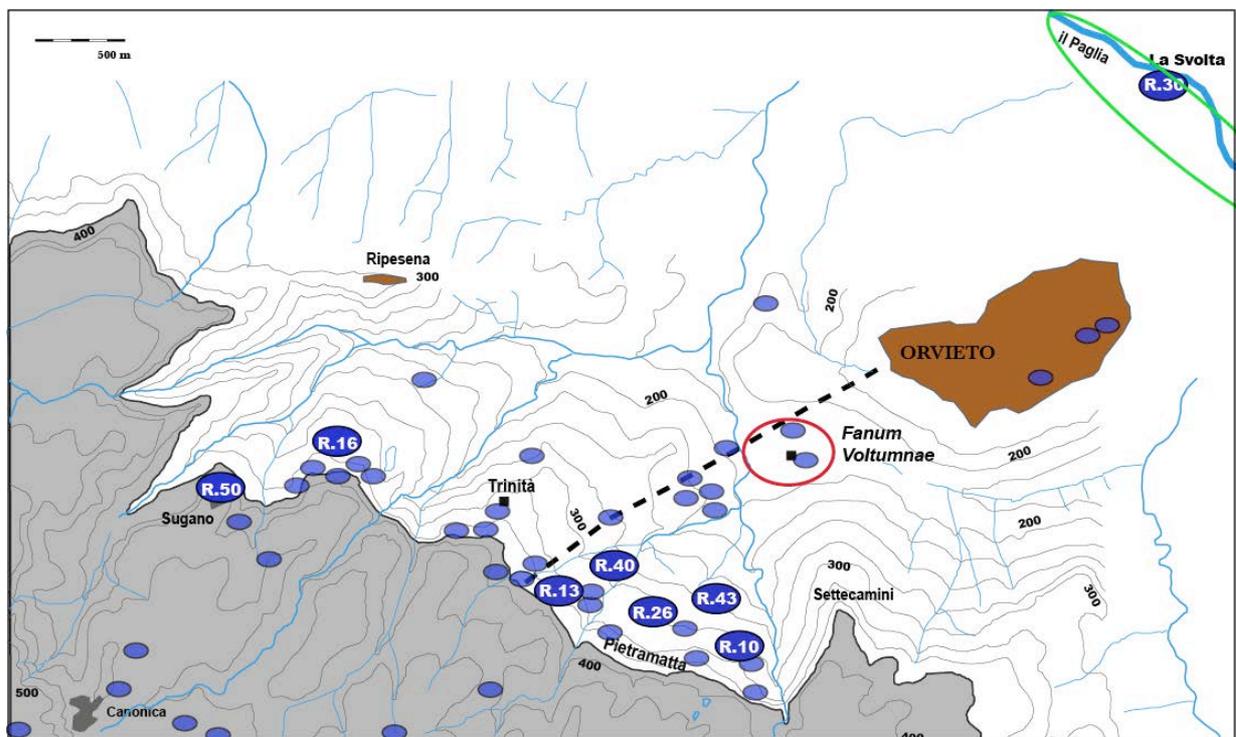
Figure 49 : Profil des stades de façonnage pour l'ensemble des 55 meules rotatives basses (MRB) d'Orvieto



53. L'interprétation de l'absence de rebuts de stade V et IV appelle des propositions plus diversifiées. Le fait que l'étape V du façonnage soit absente chez les *Metae* et réduite à 1 exemplaire (R.16-8) chez les *Catilli* suggère sa réalisation dans des aires qui échappent au piémont de la falaise.

Il peut s'agir soit d'ateliers extérieurs, installés sur un autre site ou par exemple à Orvieto mais à quelque distance : on pense ainsi aux zones basses, telles que le petit secteur urbain (en rouge sur la Fig.49) exploré par Paolo Bruschetti²⁷ le long de la voie rectilinéaire à proximité de la zone des sanctuaires du Campo della Fiera²⁸). Toutefois cette zone urbanisée est actuellement attestée pour le Haut Empire tandis que la production de MRB à Orvieto est très vraisemblablement antérieure. En revanche la finition des meules pourrait avoir pris place dans une zone de port fluvial telle qu'on la soupçonne plus au Nord-est encore (en vert sur la Fig.50), au long du Paglia c'est-à-dire au-delà du promontoire de tuf qui porte la ville étrusque et médiévale.

Figure 50 : Zones de découvertes de meules à Orvieto (en bleu), zone urbanisée de la période romaine (en rouge) et zone portuaire potentielle le long du Paglia (en vert).



52. Cependant, la présence du stade IV chez 30% *Catilli* indique que le siège du percement était plus probablement proche des zones de découverte situées en piémont des falaises de lave du secteur Ouest (entre Sugano et Pietramatta). En revanche la rareté chez ces mêmes *Catilli* des rebuts de stade V, indique que la finition devait s'opérer à plus grande distance, peut-être dans la zone urbaine ou portuaire et en lien avec l'expédition.

Enfin, comme nous l'avons vu, l'association chez les *Metae* entre l'absence des rebuts de stade IV et la surabondance des ébauches de stade III correspond vraisemblablement à une réalisation de l'œil des *Metae* lors d'une étape terminale du façonnage qui prenait place en dehors des aires orviétanes de fabrication, soit en lien avec l'expédition soit sur le lieu d'utilisation des meules.

²⁷ BRUSCHETTI 1999C.

²⁸ Fouilles récentes de Simonetta Stopponi (par ex. STOPPONI 2009a).

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO *et al.* 2011 – ANDERSON *et al.* 2003 – ARIS 1974 – BAATZ 2010 – BAATZ 2015 – BRUSCHETTI 1999c – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2014 – BUXO 2000 – CASTELLA, ANDERSON 2004 – COSTIN 2020 – FARGET 2007 – FARGET 2009 – FELIU, JODRY 2017 – FORRER 1927 – FRESHWATER 1996 – GAULTIER 2011 – GREEN 2011 – GUILLIER, BIARD, CHEREL 2005 – JACCOTTEY *et al.* 2011 – JACCOTTEY *et al.* 2017 – JODRY 2007 – JODRY, THOMANN 2012 – MANGARTZ 2008 – MORERO, PREVALET 2015 – MORERO 2016 – PARKHOUSE 1997 – PICAVET 2019 – POMMEPUY 1999 – REILLE 2000 – REILLE, CHABOT 2000 – STOPPONI 2009a – TENDRON 2009 – THOMAS 2006 – VANMOERKERKE 2018 – WEFERS 2012 –

CHAPITRE .8

en vert les corrections de forme apportées par rapport à la version de thèse déposée

APERÇU de la TECHNIQUE du FORAGE dans les ATELIERS MEULIERS

_____ L'examen d'un éventail d'ateliers producteurs de meules permet de proposer un aperçu relatif à un procédé jusque-là relativement peu évoqué à propos des meules antiques *lato sensu* (parmi les exceptions : GREEN 2011)¹ : la technique du forage pour la réalisation des percements centraux des meules (œils des *Metæe* et Oeillards des *Catilli*). Ce bref chapitre tente d'identifier et de mesurer le recours au forage au sein du corpus de comparaison puis du centre producteur d'Orvieto.

**Figure 1 : Orvieto - ébauche de *Catillus*
R.13-24**

- réalisation grossière des 2 cônes (trémie et cône de travail) et premier percement central, très étroit
- aucune surface n'est régularisée ou finie
- la mise au rebut peut être due à la fracturation médiane ou au caractère insuffisant de la hauteur utile (la hauteur de l'œil apparaît limitée : 5,5 cm soit 3 dgt)



¹ Une thèse toute récente comme par exemple celle de P. Picavet (2019) ne mentionne pas le mot *forage* dans les 628 pages du volume 1. Celui de *perçage* est employé pour exprimer un doute sur le forage au trépan des meules du Hertfordshire proposé par GREEN 2011. En revanche une grande importance est accordée à la *perforation* des emmanchements. Certes, chaque travail a ses accents et le recul est toujours plus aisé pour qui vient après. Toutefois ces focalisations, excessive sur les mortaises d'emmanchement et absente sur les techniques de percement des œils, nous paraissent assez typiques des tendances actuelles de l'archéomolnologie notamment en France où pourtant l'abondance des données devrait permettre un élargissement des centres d'intérêt.

1. Le forage sur les Meules Rotatives Basses entre Ebre & Rhin

Dans un premier temps nous donnerons, à travers plusieurs exemples, un aperçu de témoignage archéologique, avéré ou possible, du procédé du forage appliqué à la réalisation du percement central des meules rotatives de l'Antiquité. Ensuite nous aborderons les diamètres de forage et les indications de chronologie et de géographie technique fournies par notre corpus. Nous terminerons par la question de la présence éventuelle de techniques de forage dans la fabrication des meules d'Orvieto.

A. Quelques témoignages meuliers du recours au procédé du forage

1- Comme le montre la **Fig.1**, pour les *catilli* les meuliers procédaient sans doute souvent à un évidement de la meule à la broche en ménageant deux dépressions préfigurant le cône de travail d'une part et la trémie d'autre part. Le résultat en est une diminution de l'épaisseur centrale qui devait ensuite être perforée afin de créer l'œillard. La délicatesse de cette opération est souvent invoquée dans la littérature archéologique comme constituant un important facteur de risque de fracturation et de perte de meules lors du processus de fabrication. En effet, et selon la structure ou la dureté de la roche, les coups répétés pouvaient rencontrer des faiblesses du matériau et provoquer le bris. L'utilisation d'une pointe (la broche), d'un mode filant (percussion adoucie, à faible angle et répétée en saccades) pour réaliser comme à Orvieto un évidement très progressif du cône (concrètement par lignes d'épaisseur centimétrique et en 2 ou 3 paliers) vise sans doute à diminuer ce risque.

2- Si cette technique en percussion posée était certainement pratiquée, une approche critique apparaît néanmoins nécessaire, à partir notamment de 3 constats :

-1- notre examen des stades du façonnage (**CHAP.7**) bien que conduit sur seulement une douzaine d'ateliers tend à indiquer que la proportion des rebuts des étapes finales de fabrication des meules (Stades IV et V du percement et des finitions) n'est pas la plus importante : une sur-accidentalité à ces étapes est donc loin d'être démontrée² ;

-2- dans le même temps, nombre des ébauches abandonnées alors que le percement était en cours présentent un perçage étroit et vertical dont la réalisation avec une broche percutée axialement n'apparaît pas comme une évidence, à fortiori lorsque l'épaisseur à percer est couramment de l'ordre de 8 à 12 cm³ ;

-3- enfin, certaines séries meulières montrent comme nous allons le voir des traces claires ou probables d'une technique de forage.

3- Cette technique est cependant effacée par la finition ultérieure des percements : seules les ébauches de stade IV, qui représentent un potentiel de 20% des restes d'atelier, peuvent en

² La **Fig.40** du **CHAP.7** montre que les stades finaux IV et V regroupent chacun un peu moins de 20% des rebuts c'est à dire la même quantité que les autres étapes à l'exception du stade II qui se situe sur 30% ; une sur-accidentalité des phases finales apparaît donc peu probable et l'impression archéologique que l'étape IV (perçage) constituait une phase de travail risquée tend à être démentie.

³ En effet cône de travail et trémie tendent à occuper 50% de la hauteur totale d'un *Catillus*, celle-ci variant de 13 à 23 cm, parfois 11 ou de 25 à 30 cm (voir **CHAP.8** parties 5 et 6).

porter l’empreinte originelle. Sur les 13 ateliers pris en compte⁴, 24 à 27 *Catilli* sur 247 sont de stade IV (11%) et 58 de stade V (23%)⁵. Sur ces 85 on observe 70 œils amorcés ou achevés (soit 82%) avec une proportion équilibrée entre œils étroits (53%) et œils larges (47%). Les premiers ont un diamètre de 3 à 6,5 cm (les conduits les plus fréquents mesurent 5 à 6 cm) tandis que les seconds sont supérieurs à 7 cm.

Il est difficile, y compris sur un même atelier de déterminer les largeurs d’œil qui correspondent à un percement amorcé ou achevé, chaque atelier pouvant avoir son propre éventail ou ne produire par exemple que des œils achevés étroits. Par conséquent, une faible largeur d’œil ne fournit pas d’indication fiable quant à l’éventualité du recours à la technique du forage. En définitive la seule donnée que l’on retire est le fait que le possible emploi du forage n’est observable que sur 11% des *Catilli*, ceux de stade IV.

Figure 2 : Dessin de la trace d’un forage par carottage sur un *Catillus* du Chaudry

4- En revanche il est instructif d’examiner les perforations centrales au sein de chaque atelier car on dispose alors de sa propre gradation des largeurs de l’œil ainsi que de différentes étapes d’avancement de la fabrication.

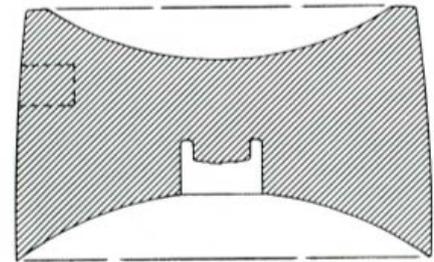


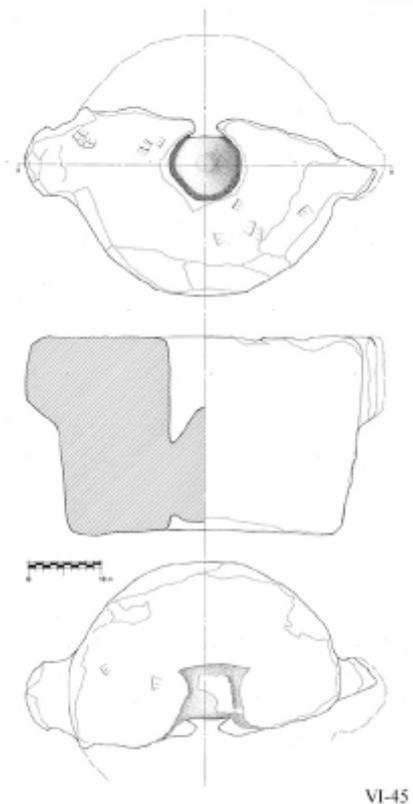
Planche 3, figure 1

Le Chaudry & Els Vilars

On donnera ici plusieurs exemples de traces de forage, en commençant (Fig.2) par celle d’un *Catillus* du Chaudry (BERNON 1987). Le dessin qu’on supposera fidèle montre en effet en fond de conduit une entaille annulaire au milieu de laquelle se trouve le reliquat d’un tube plein qui a ensuite cassé. Cette trace est typique d’un forage tubulaire ou carottage. On notera que le forage est ici appliqué après façonnage des deux cônes (celui de travail et celui de la trémie)⁶ et à partir de la surface active jusqu’à mi-hauteur. Il est probable que le *Catillus* devait ensuite être retourné pour que soit réalisé, comme on l’observe régulièrement, un second forage axial à partir du cône supérieur. Mais la mise au rebut est intervenue avant cette étape.

Figure 3 : Els Vilars, Ebauche de *Catillus* n° VI-45

5- Un second exemple de forage, également tubulaire (Fig.3), est fourni par un *Catillus* du site d’Els Vilars d’Arbeca (ALONSO *et al.* 2011). Cette fois la perforation axiale a débuté par la face supérieure. Celle-ci est dépourvue de trémie comme semblent l’être plusieurs modèles de ce site. La meule a été rebutée juste après qu’ait démarré le percement par la face inférieure où le forage semble avoir été préparé par un creusement au ciseau à tranchant courbe (de type gouge). L’empreinte



⁴ Pour ce décompte on a ajouté les 7 *Catilli* du Hertfordshire publiées dans GREEN 2011.

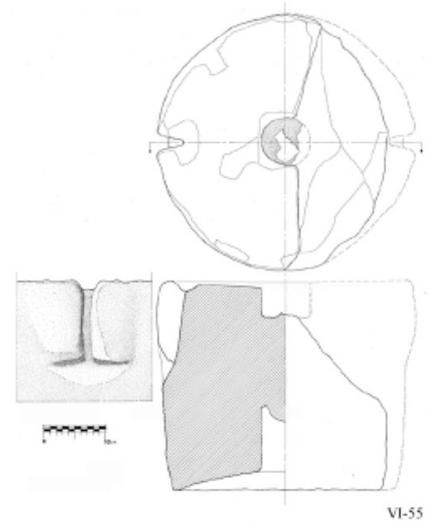
⁵ Malgré un déséquilibre dû aux choix de publication qui favorisent parfois (Hertfordshire, Avrilly, Agde) les pièces achevées sinon utilisées, les deux stades totalisent 34% des *Catilli* soit une fréquence peu éloignée du total voulu (40%) par la proportion attendue de 20% par stade (voir CHAP.7).

⁶ Ainsi qu’après la réalisation d’une mortaise latérale d’emmanchement, qui souvent relève du stade V voire est pratiquée en dehors de l’atelier, sa réalisation sur le site primaire semble une spécificité du Chaudry (nous l’observons également sur le *Catillus* ACH-1).

caractéristique qui atteste le carottage est un anneau circulaire aigü en fond de perforation et, au milieu de cet anneau, une pointe ou ombilic qui témoigne de ce que le cœur du tube demeurerait plein au moins sur environ 4 ou 5 cm de hauteur.

Figure 4 : Els Vilars, dessin d'une ébauche (*Catillus* n° VI-55) montrant l'empreinte d'un carottage

Un autre *Catillus* (n° VI-55), à encoches supérieures cette-fois et non à manchons, montre (Fig.4) un forage similaire mais pratiqué à partir de la face de travail, qui est légèrement concave, et sur un peu moins de la moitié de la hauteur (43%). Le forage a ensuite été conduit sur la face supérieure (dépourvue de trémie) mais la mise au rebut est intervenue après seulement quelques cm. L'ombilic du carottage est peu marqué sur cette face où le percement semble également avoir été préparé par une entaille de plan carré. A Els Vilars les œils paraissent souvent très circulaires (Fig.5) ce qui pourrait également indiquer un recours au forage sur d'autres meules, mais un seul trait capté sur photo ou dessin est insuffisant pour statuer.



Ces 3 exemples montrent l'intérêt de dessins ou de clichés précis et appellent un examen direct des œils avec souci du forage. Il faudrait également réfléchir aux techniques d'enregistrement adéquates car les moyens standards de l'archéologie apparaissent insuffisants à établir couramment la preuve.



Figure 5 : Vue de l'œil très circulaire de la *Meta* VI-46 d'Els Vilars⁷

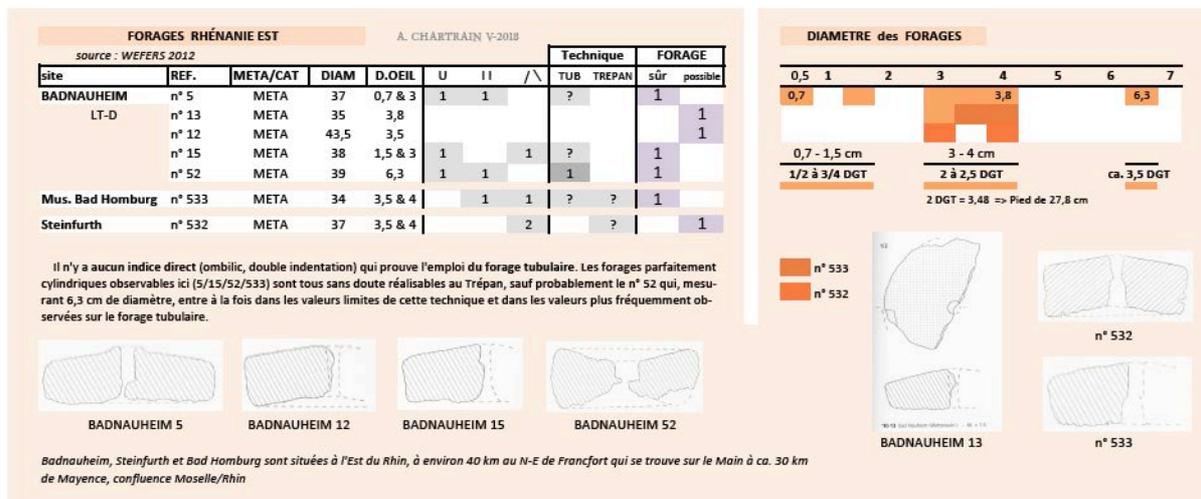
6- On notera que le percement central par forage de 2 tubes réalisés à partir des 2 faces pourrait très bien être pratiqué horizontalement, la meule étant couchée et les axes de forages œuvrer horizontalement, à la manière d'un tour à bois, plutôt successivement selon une disposition verticale impliquant un retournement de la meule. Un forage horizontal pourrait faciliter un bon centrage par l'intermédiaire d'un châssis solidarissant et axant les 2 mèches foreuses. Surtout, elle permet un entraînement par engrenage avec une petite roue démultiplicatrice actionnant la mèche et située dans le plan vertical, ainsi qu'une plus grande roue disposée soit verticalement soit horizontalement. Les deux roues dans le plan vertical permettraient un entraînement par bielle poussée, par manivelle ou pédale autant qu'hydraulique. L'axe horizontal est également compatible avec un entraînement par archet.

A l'Est du Rhin

7- La pratique du forage semble géographiquement ample puisqu'après le Vè siècle ibérique et La Tène finale du Berry elle semble observable en zone rhénane d'une part aux Fossottes dans les Vosges (*infra* Fig.11-12-13) et d'autre part à l'Est du Rhin (*infra* Fig.6 et 9-10).

⁷ Cliché très aimablement transmis par N. Alonso que je remercie vivement pour sa disponibilité.

Figure 6 : Planche de dessins illustrant des traces avérées ou possibles de forage de l'œillard des MRB par la technique du trépan sur des ateliers rhénans (WEFERS 2012)



En effet, sur les nombreuses meules publiées par St. Wefers, on observe régulièrement des œils tantôt larges tantôt étroits mais de profil très tubulaire alors-même que le percement n'est pas achevé ou non-traversant et que son caractère cylindrique a peu de chances de provenir d'une régularisation et/ou d'un élargissement à la pointe. Par ailleurs le percement prend parfois la forme de 2 tubes aboutés, l'un fin l'autre large comme sur la *Meta* n° 5 de Bad Nauheim où il semble (Fig.7-8) qu'un conduit tubulaire très étroit (0,8 mm soit 1/2 dgt) ait été suivi d'un autre, plus large (3 cm) et accolé à la paroi du premier à moins que ce ne fut l'inverse.

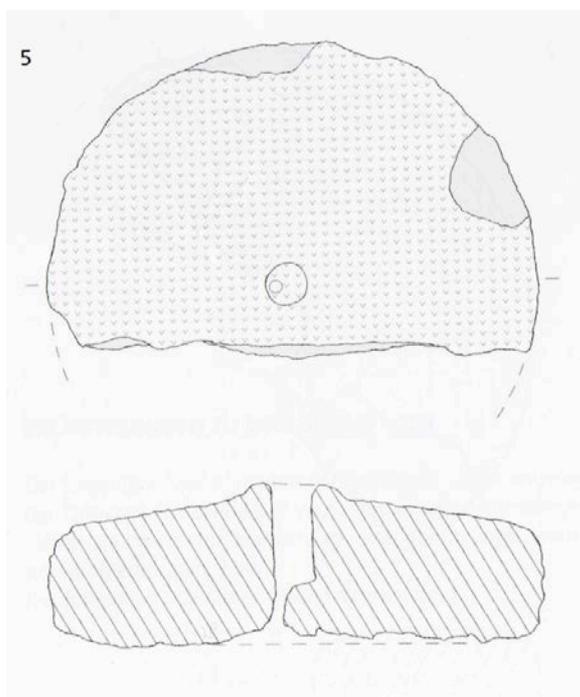
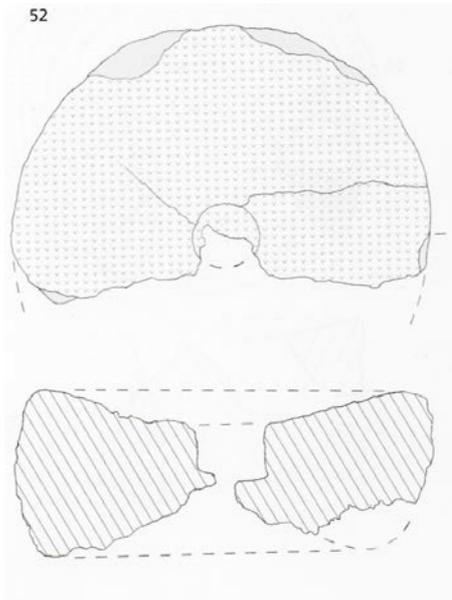


Figure 7-8 : Dessin et cliché de détail de la *Meta* n°5 de Bad Nauheim (WEFERS 2012) - l'œil semble susceptible d'une réalisation par une technique de forage

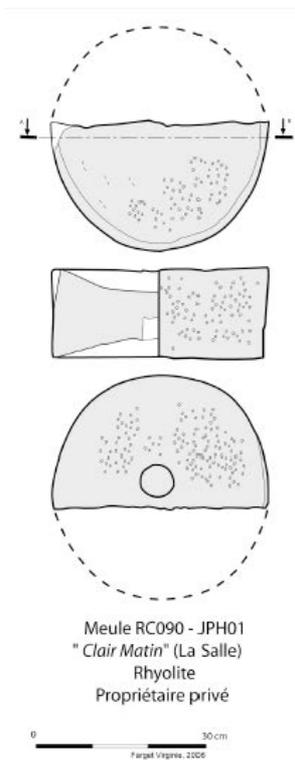


Figure 9-10 : Dessin et extrait d'un cliché (CD-Rom WEFERS 2012) de la meule n° 52 de Bad Nauheim



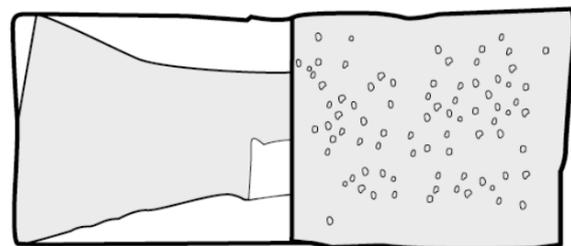
Les fossottes dans les Vosges

8- L'atelier des Fossottes (FARGET 2006) situé dans la zone meulière de La Salle livre 2 cas de forage. Le premier (Fig.11) est observable sur une ébauche de *Catillus* de stade IV : les 2 cônes ont été façonnés, très vraisemblablement à leur profondeur définitive. Au centre de l'un



deux, sans doute le cône de travail (bordure en arête vive, sans méplat), a été réalisé jusqu'à mi-hauteur de la meule une perforation tubulaire. Le dessin de son fond (Fig.11) montre deux traits caractéristiques de la technique du forage tubulaire : anneau périphérique incisé en fond au milieu duquel se trouve un relief correspondant au détachement du reliquat tubulaire central (carotte).

à gauche, Figure 11 :
Faces et profil du *Catillus* RC.090
des Fossottes (FARGET 2006)

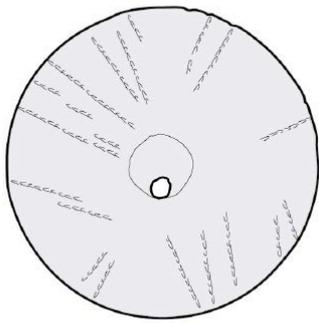
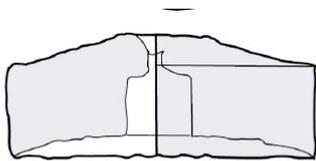


à droite, Figure 12 : Vue en section du
fond du percement central

Fig. 37

Le second cas de forage est observable quant à lui sur une *Meta* (n° RC.100-CK.06) également de stade IV dont le cône de travail n'est pas fini mais nettement formé (Fig.13). L'assise de la meule est légèrement creusée et ménage un anneau de pose sur arête (type 2C). A partir de cette face concave a été pratiqué un percement central en vue de créer un œil traversant (le grand diamètre de la perforation rend probable qu'il se soit agi du passage d'un axe moteur plutôt que de la fiche d'une simple hausse de réglage de l'écartement des meules).

Figure 13 : *Meta* RC.100-CK.06 des Fossottes (FARGET 2006)



Meule RC100 - CK06
"Les Fossottes" (La Salle)
Rhyolite

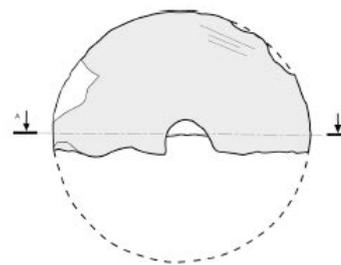
susceptibles d'avoir été produits par une taille de pierre à la pointe fine.

Le caractère régulier et tubulaire du percement, alors même qu'il n'est pas achevé et qu'il présente un fond plat, rend vraisemblable qu'il ait été réalisé par forage tubulaire.

Le conduit de cette perforation rejoint un minuscule percement qui pourrait avoir été constitué soit par une amorce de l'œil creusée à la pointe fine à partir du cône, soit par un premier forage tubulaire très étroit.

Un troisième cas de forage est possible aux Fossottes (Fig.14). Il concerne une *Meta* à base plate (type 2A) dont le cône n'est pas fini.

La meule montre un conduit central tubulaire dont la profondeur, l'étroitesse et le fond plat sont peu



Meule RM018
"Les Fossottes" (La Salle)
Rhyolite
Musée de Saint-Dié-des-Vosges n°1A 196



Fig. 31

Figure 14 : *Meta* RM.018 des Fossottes (FARGET 2006)

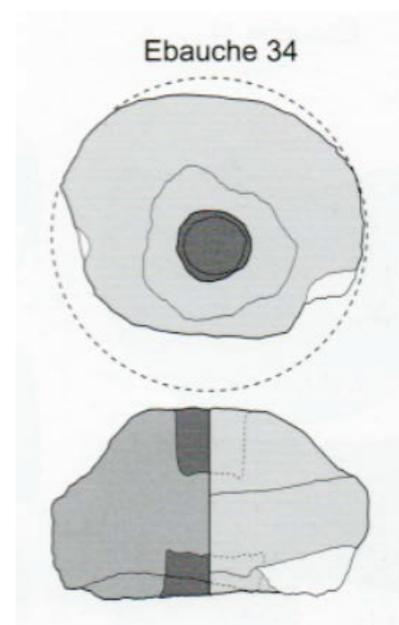
Les diamètres des ces percements centraux inachevés seront examinés avec l'ensemble des autres conduits dans un autre développement des pages qui viennent.

Forage en Bourgogne

9- L'atelier du Portus à Collonge-en-Charollais (JACCOTTEY 2011) dont l'activité pourrait s'être étendue de La Tène D au IV^e s. p.C, présente quant à lui deux ébauches de *Meta* de stade IV avec percement d'un œil traversant en cours (Fig.16 et 17).

Figure 16 : *Meta* n° 34 du Portus en cours de forage (JACCOTTEY 2011, Fig.35)

La *Meta* n° 34 est encore fruste, cône, flanc et base demeurant à l'état de taille grossière. Le percement axial est large, il a été mené depuis la face supérieure jusqu'à 1/3 de la hauteur, le conduit entrepris depuis la base étant moins

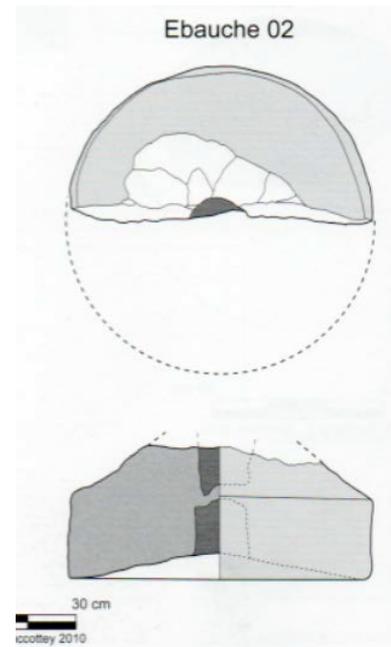


avancé. Le fond de la perforation supérieure semble morter la marque d'un forage tubulaire avec détachement de la carotte centrale. C'est moins net sur le dessin du forage inférieur mais là aussi la paroi est verticale et le fond du conduit est sub-plat. La meule montre une fracture non diamétrale mais il est possible que le forage ait pu être à l'origine de la cassure car il a été interrompu par la mise au rebut.

La *Meta* n° 02 a pour sa part fait l'objet d'une fracture diamétrale passant par le centre. Le flanc est régularisé, la base légèrement évidée (type 2C ou 2 D) forme un anneau de pose. Un forage a été réalisé depuis cette assise concave et jusqu'à mi-hauteur de la meule ou presque, en tout cas jusqu'à hauteur de l'amorce du cône de travail : il est donc probable que ce percement était arrivé à son terme. Le conduit en est tubulaire, à paroi verticale et fond en V large. Toutefois le fond semble-t-il ombiliqué du conduit supérieur indique une technique de forage par carottage.

Figure 17 : *Meta* n°02 du Portus en cours de forage (JACCOTTEY 2011, Fig.35)

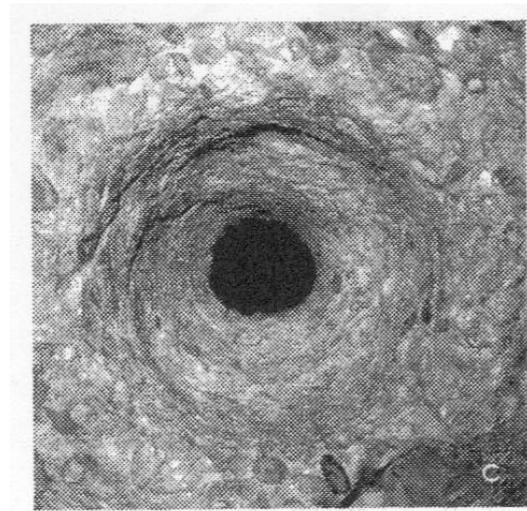
Le cône de travail, bien formé mais apparemment non fini, a subi une brisure avec éclatement autour de l'œil, il est donc possible que le percement central ait été à l'origine de la cassure et de la mise au rebut qui s'en est suivie. Le dessin du conduit axial montre les signes d'un forage tubulaire avec carotte centrale. Le perçage était quasiment arrivé à son terme et allait opérer sa jonction avec le conduit inférieur, il restait à enlever un plancher de quelques mm entre les deux percements pour que la perforation soit complète et forme un œil traversant de l'ordre de 9 cm de diamètre à l'état brut. L'auteur est précis dans sa description et remarque le léger désaxé qui existe parfois entre les deux conduits, en revanche il n'évoque pas la technique du forage⁸.



Le poudingue du Hertfordshire

Figure 18 : Vue rapprochée du conduit foré au trépan de l'œillard d'un *Catillus* du Hertfordshire (GREEN 2011, fig. 7c « showing undercut and eccentric drilling »)

10- Un cinquième et dernier exemple concernera les meules en dôme (le *beehive-type* britannique ou meule en ruche). Ces meules, à surface active souvent plate, sont fabriquées dans un conglomérat à silex (*puddingstone*) de la rive Nord de la Tamise dans le Hertfordshire et Chris Green a montré la réalisation de leur œil par forage au trépan⁹ (Fig.18). Ces meules présentent,



⁸ L'emploi ambigu en archéomolnogie du terme *perforation*, souvent au simple sens de *creusement/percement* tantôt au sens de *percement traversant*, contribue sans doute à ce que la question de la technique de perçage ne soit pas clairement posée. On proposera d'utiliser l'opposition des termes *percement traversant* (ou *perforant*) à la locution *percement aveugle*. Le mot *perforation* pourra être employé dans le seul but d'éviter des répétitions et lorsque son emploi est dépourvu d'ambiguïté.

⁹ Nous pensons que l'entraînement par cabestan proposé procure une vitesse de rotation nettement insuffisante et trop irrégulière pour le forage. On doit sans doute plutôt envisager une rotation rapide et donc démultipliée à partir de la combinaison d'une petite roue et d'un plus

à l'instar de certaines de celles des ateliers ici étudiés, une perforation menée en V à partir de chacune des deux faces du *Catillus*¹⁰. Il en résulte souvent, au moins sur les ébauches, la présence d'un rétrécissement ou goulot d'étranglement (Fig.19a) notamment sur des *Catilli* en dôme qui sont épais et ont été forés à partir des deux faces.

Un tel goulot¹¹ est généralement réduit ou amené à disparaître lors de la finition qui dimensionne l'œilard des *Catilli* et c'est vraisemblablement également le cas sur les *Metae*, notamment si elles devaient accueillir un axe moteur venant d'en-dessous. Il est en revanche possible que le simple passage d'une fiche servant à hausser la meule tournante puisse s'accommoder sur les *Metae* d'un œil étroit restant brut de percement ou formant goulot (exemple en zone rhénane sur la Fig.20).

Figure 19a : Goulot d'étranglement sur un *Catillus* quasi-neuf du Hertfordshire (GREEN 2011, Fig.5a)

11- Toutefois on doit prendre garde au fait que l'existence d'un étranglement n'est pas propre au forage, il est en effet obtenu dès que le percement central est opéré à partir des 2 faces d'une meule (Fig.19b). La trace d'un forage consiste principalement dans le caractère très circulaire de la section, dans la présence de stries caractéristiques sur la paroi de l'œil ainsi que, dans le cas de la technique du carottage, par la présence d'un ombilic en fond de percement. Ces empreintes ne sont

Figure 19b : Perforation en cours sur la face de travail d'un *Catillus* en poudingue trouvé à Gaddesden Row dans le Hertfordshire (GREEN 2011, Fig.6)

pas toujours aisées à observer ou à diagnostiquer et sont par ailleurs fortement susceptibles d'être effacées par le dimensionnement final de l'œil et par la finition.

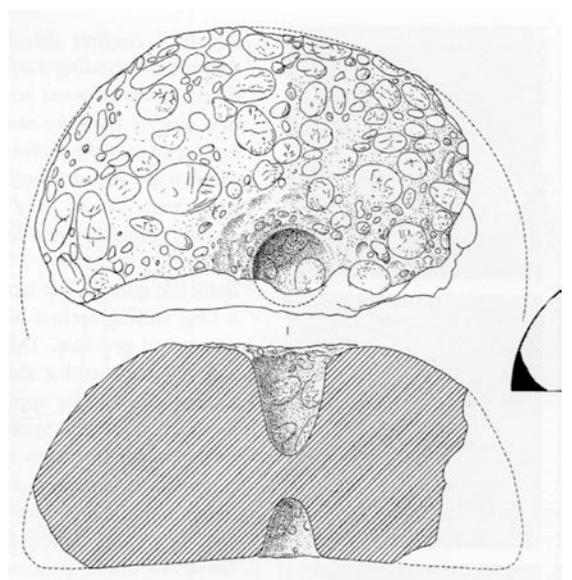
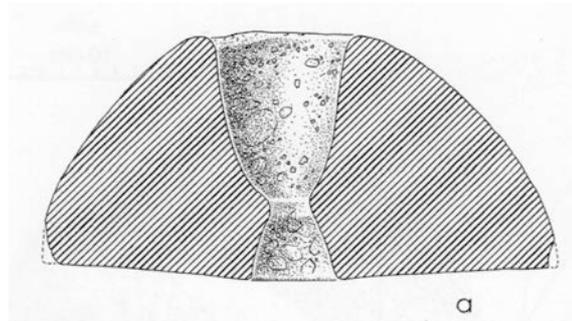
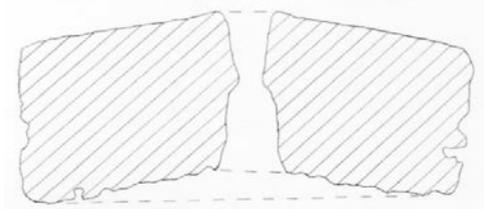


Figure 20 : Goulot d'étranglement entre 2 perçages (forés ou non) sur une *Meta* de Steinfurth (Allemagne – WEFERS 2012)

Le recours à une technique de forage a donc toutes chances d'être sous-estimé et seul un travail *ad hoc* qui serait mené sur les résidus d'atelier de stade IV ou parfois III peut permettre d'avancer sur cette question.

large tympan. Une motion hydraulique serait idéale mais un entraînement par mouvement alternatif transformé en rotatif par une bielle poussée à la main conviendrait sans doute tout à fait.

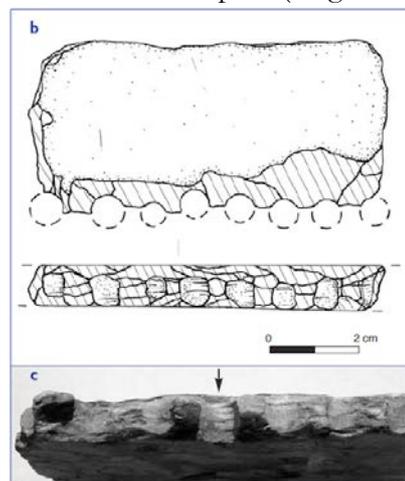
¹⁰ Ces deux conduits ne sont d'ailleurs pas toujours parfaitement axés.

¹¹ Cet étranglement n'est d'ailleurs étranglement pas toujours situé à mi-hauteur des meules neuves, ce qui mériterait d'être exploré dans la perspective d'une meilleure compréhension des techniques et phases de forage et de manipulation (retournement, placement sur un châssis de tournage, forage sur un cylindre dont une des faces a déjà été démaigrée etc.).

B. Fréquence du Forage des meules

12- Deux techniques apparaissent donc employées sur les meules. Connue de la Chine ancienne notamment pour le travail du jade, le **forage tubulaire** est courant dès le II^e millénaire en Egypte et Egée où il est employé pour l'évidage de vases en pierre dure (MORERO 2016). Si cette technique procède également par usure et rotation rapide (en général par archet) elle est néanmoins **différente du forage au trépan** lui aussi très ancien¹² et également attesté en période romaine sur une variété de matériaux dont l'os ou le marbre (TENDRON 2009 -Fig.21). Pourvu d'une mèche en V, le trépan fore un cylindre complet et ne laisse pas de reliquat central. Ces procédés techniques pourraient être bien plus courants ou plus anciens en Gaule qu'on ne le croit, comme le suggère l'étude en plein essor de petits objets ou de chutes de fabrication, mobilier naguère délaissé ou seulement objet d'étude typologique ou stylistique (épingles, charnière et tabletterie par exemple).

Figure 21 : Sanctuaire du Gué-de-Sciaux (Vienne, FR) : Plaque de marbre des Pyrénées avec rangée de forages au trépan (TENDRON 2009)



13- On examinera ici la fréquence du procédé de forage et si possible celle de chacune des deux techniques à travers le petit corpus d'ateliers dont nous avons pu disposer pour comparaison avec Orvieto. Ce corpus (Fig.22) se compose de 13 assemblages, dont 2 pour le Chaudry¹³, soit 12 ateliers. Il peut être fait appel à d'autres ensembles pour des données ponctuelles¹⁴.

Figure 22 : Le Forage sur les 12 ateliers étudiés

Sur près de 500 meules disponibles, le stade de façonnage peut être iden-

TYPOLOGIE des ATELIERS MEULIERS						col.9	col.10	col.11	col.12	
col.1	col.2	CARRIÈRE	Etablis. RURAL	AGGLO. VILLE	NR total	NR Etapes de FAÇONNAGE	FORAGE	NR FORAGE	% FORAGE / total NR	% FORAGE / total IV-V
1 5- Els VILARS	V-IV aC		1		28	14	1	3	11%	25%
2 29- AVRILLY	AVG.		1		22	22	1	7	32%	64%
3 34- Le CHAUDRY total	LT / G-ROM				47	43				
4 34- Le CHAUDRY Carrière	LT / G-ROM	1			47	21	1	1	5%	25%
5 38- Les FOSSOTTES	LT	1			65	65	1	4	6%	33%
6 40- PORTUS	AVG / HE / BE?	1			25	25	1	4	16%	100%
7 58- AGDE	IV aC - II pC?	1			23	23				
8 67- CHÂBLES	I pC	1			106	106	0	0		
9 68- EIFEL	I-IV pC	1			57	57	0	0		
10 74- AUTUN Arroux	I pC			1	11	10	1	1	10%	15%
11 76- OBERNAI	LT-D		1		6	6	0?			
12 86- BAD NAUHEIM	LT	1			42	14	1	4	29%	31%
13 87- BORKEN	LT	1			12	12	0	0		
					8	2	1	1	491	375
									76%	
					sans Le CHAUDRY total					
							7	24	6%	24/100,5
							64%			24%

¹² Notamment sur des éléments de parure du Néolithique Pré-céramique (voir par exemple ALTINBILEK *et al.* 2001) puis dans la sculpture de l'Antiquité gréco-romaine.

¹³ D'une part (GAULTIER 2009) l'assemblage total formé des meules du site de la carrière et ce celles qui en proviennent mais ont été trouvées à Argentomagus, d'autre part de l'assemblage strictement limité aux ébauches et meules issues de la carrière elle-même (GAULTIER 2009) complété de 5 éléments enregistrés sur place par nos soins.

¹⁴ Tels que les ateliers du Purpurkopf en Alsace, de La Marèze et de la Lande-La Vernhe dans le Nord toulousain et l'Aveyron ou le Herfordshire.

tifié pour 375 d'entre elles. Le procédé du forage est avéré ou probable pour 7 des 12 sites soit les 2/3.

Le nombre d'attestations du forage est de 24 meules soit 6%. Mais si l'on considère les seules étapes de fabrication où le percement central peut apparaître (stades IV et V) alors le taux de forage atteint 24% des meules. Il varie beaucoup (de 15% sur l'atelier urbain gallo-romain d'Autun à 100% sur la carrière de Portus également en Bourgogne)¹⁵ mais le plus souvent il atteint ou dépasse 25-30% des effectifs.

Ces deux indicateurs permettent de mesurer le déploiement spatial du forage (2/3 des ateliers auxquels il faut ajouter le Hertfordshire) ainsi que son intensité (1/4 des meules).

C. Indications de chronologie & spatialité du forage meulier

14- On trouvera ici un schéma chronologique des 12 ateliers (Fig.23) ainsi que leur carte de répartition (Fig.17). Ce petit corpus d'ateliers permet un premier regard sur la spatialité du forage et des ses deux techniques sans que l'on puisse toutefois en tirer de conclusions nettes faute de références suffisamment nombreuses dans l'espace du Rhin à l'Ebre.

Figure 23 : Chronologie schématique des Ateliers

En définitive, le procédé du forage pour réaliser le percement central des MRB est attesté sur 8 ateliers : Els Vilars, Les Fossottes, Bad Nauheim, Le Chaudry, le Hertfordshire, Avrilly, Portus et probablement Autun. La carte des 2 techniques (trépan et carottage) permet

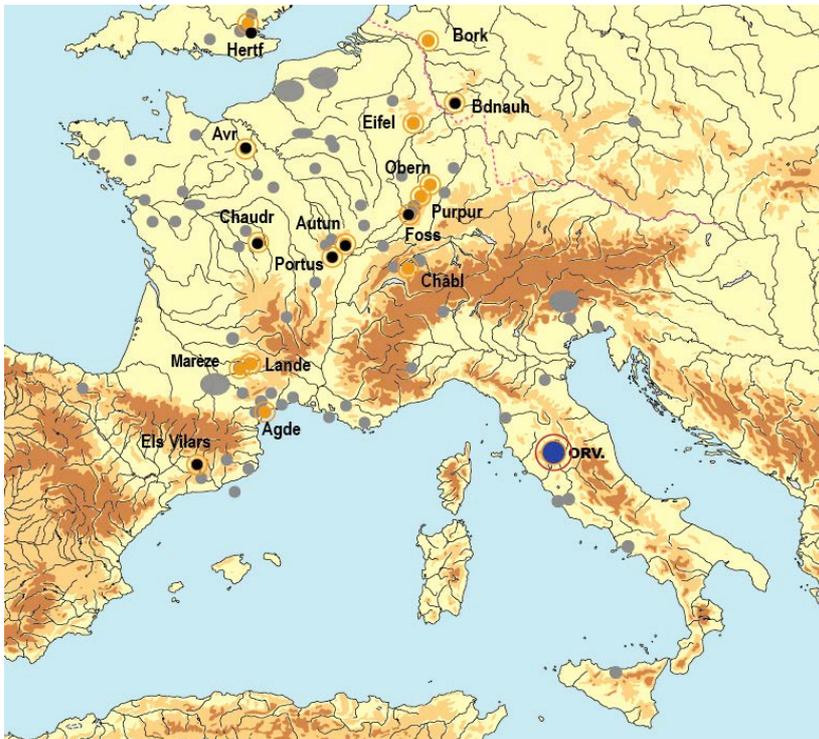
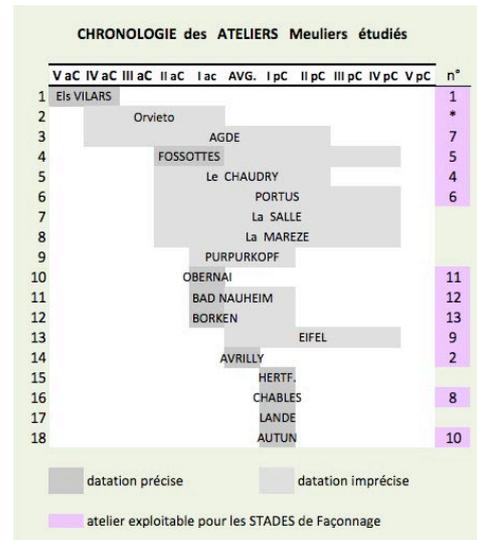


Figure 24 :

Répartition du corpus des ateliers (cercles orangé) et des attestations de forage (cercles noirs)

- les points gris représentent les assemblages du corpus de comparaison qui ne sont pas concernés par la carte -

tout d'abord de remarquer (Fig.25) que l'emploi du trépan accompagne la communauté de matériau et de typologie qui caractérise les meules anglo-normandes d'Avrilly et du Hertfordshire, ceci

¹⁵ Deux sites étudiés par Luc Jaccottey.

autour du changement d'ère.

Figure 25 : carte provisoire des ateliers et des 2 techniques (trépan et carottage)

Il apparaît en second point que la technique du carottage est beaucoup plus répandue dans l'espace, voire dans le temps. Elle est attestée sur 5 voire 6 des 9 ateliers du corpus (Fig.26) et sa présence est par ailleurs possible sur les meules de la période LT-C et D entre Seine et Loire. Le carottage semble ainsi constituer la technique majeure mise en œuvre lorsque les meuliers ont recours au forage pour réaliser les œils de leurs meules.

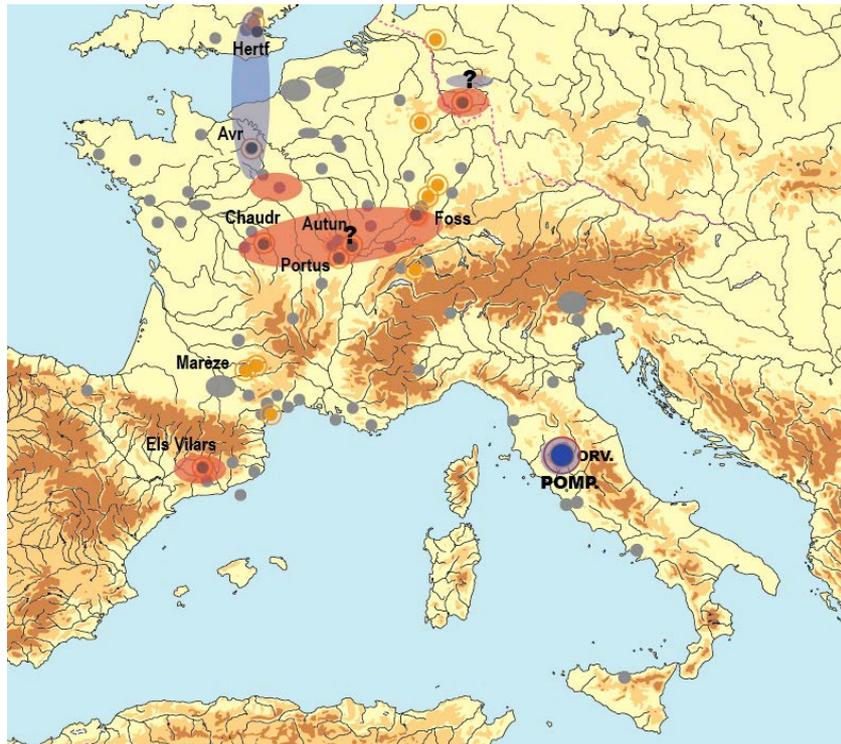


Figure 26 : Les 2 techniques de forage sur les ateliers

15- Enfin, malgré le caractère limité des données, on peut tirer deux enseignements et une interrogation dans le domaine de la chronologie :

- le forage apparaît dès les plus anciennes meules, au V-IV siècle aC avec l'exemple de Els Vilars,

- la technique tubulaire, employée sur la majorité des ateliers et dont on va voir qu'elle s'associe aux diamètres les plus larges, est attestée à la fois en période laténienne et romaine, sa présence à l'Age du Fer mériterait un examen plus détaillé¹⁶ ;

- l'on ne peut dire si la technique du trépan et ses petits diamètres (voir *infra* Fig.30), recouvre la même durée ou si elle se développe au Haut Empire, voire si elle n'est pas préférentiellement associée à une roche ou une aire : attestée en effet sur seulement 2 des 9 sites et au Ier siècle pC, elle est actuellement associée à un unique modèle de meule et à un unique matériau, les meules en dôme du domaine anglo-normand. Cette limitation nous paraît peu probable et des données nouvelles situées hors de cette aire culturelle permettraient d'avancer sur cette question.

Techniques de FORAGE		CAROT-TAGE	TREPAN
n°	Site		
1	ORVIETO		(POMP)
5	ELS VILARS	1	
29	AVRILLY		1
33	HERTFORDSHIRE		1
34	Le CHAUDRY	1	
38	Les FOSSOTTES	1	
40	PORTUS	1	
86	BAD NAUHEIM	1	?
74	AUTUN Fbg d' Arroux	?	

¹⁶ En effet, en dehors du site d'Els Vilars qui date de la protohistoire ibérique, la technique du forage par carottage est attestée sur des sites souvent de longue durée associant la période laténienne (en général plutôt LT-D) et la période romaine (les Fossottes, Le Chaudry, Bad Nauheim et Portus). Il conviendrait donc de rechercher des meules datées et portant les stigmates du forage tubulaire.

D. Diamètres : 2 modules pour chaque technique

Figure 27 : Table des 35 diamètres des forages

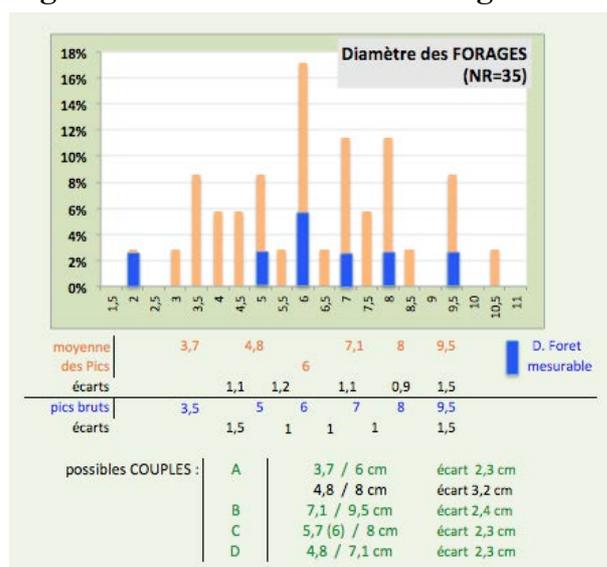
16- Quelques 35 mesures du diamètre des percements centraux ont pu être réunis sur le corpus des ateliers (Fig.27) dans le but d'établir l'éventail des dimensions pratiquées, d'éventuels pics de fréquence pouvant correspondre à des normes dans la dimension des outils ainsi qu'à des valeurs métrologiques (par ex. 2 cm soit 1 dgt ou 2,5 cm soit 1 pce). On souhaite également savoir si certaines dimensions peuvent être spécifiques à la technique du carottage et d'autres à celle du forage au trépan.

L'examen des diamètres des percements réalisés par forage sur les meules n'est pas sans enseignements même si l'histogramme (Fig.28) n'est pas d'interprétation très simple au-delà du fait qu'on y distingue une série de pics indiquant des récurrences et vraisemblablement des normes¹⁷.

Sa compréhension nécessiterait sans doute que l'on prenne en compte les diamètres et la typologie des meules considérées afin de vérifier si le diamètre du percement est lié à celui de la meule ou s'il reflète seulement l'outil. On verra en effet (CHAP.13) que l'oeillard des *Catilli* par exemple était proportionné à l'envergure de la meule. Mais il s'agit alors de la dimension achevée et non de celle du percement initial.

On a fait apparaître sur l'histogramme (en bleu) les forages pour lesquels on a pu mesurer le diamètre du tube forant lui-même et non seulement celui, plus large, du forage qui en résulte.

Figure 28 : Dimensions des forages



Cela est possible lorsque, dans la technique du carottage, la double indentation (ombilic de détachement du tubelief central) apparaît nette sur la section dessinée. On alors considéré que le diamètre interne, circonscrivant l'ombilic central, était celui de l'outil (dénommé « foret » sur le tableau).

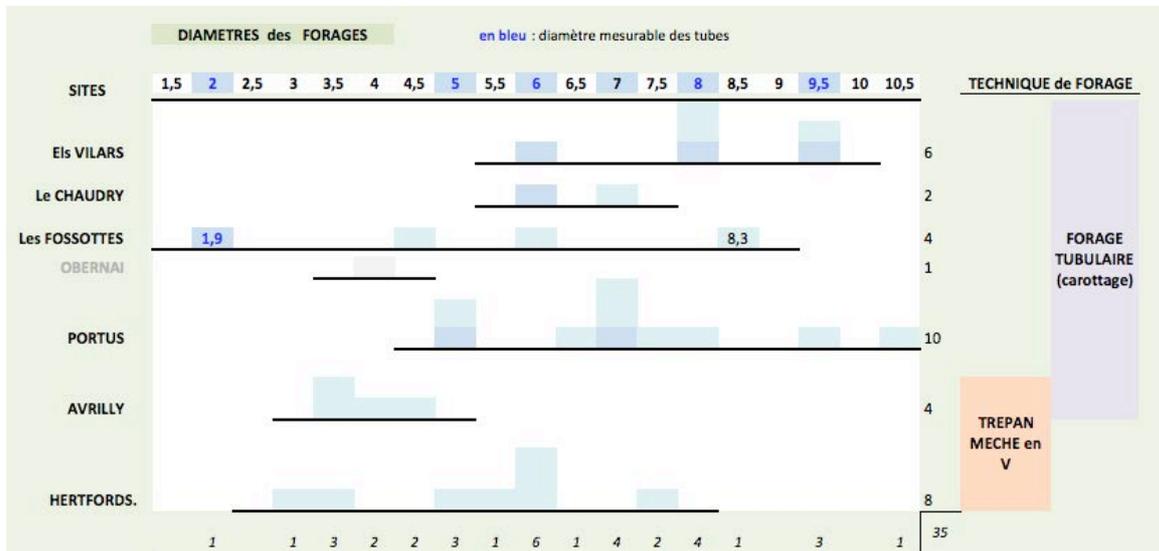
17- En premier lieu on remarque qu'à l'exception de celui de 3,5 cm, les pics de fréquence des diamètres du percement (figurés en orange) correspondent à des dimensions internes, considérées comme celle de l'outil (en bleu).

Par ailleurs, il est envisageable que les pics de fréquence observables sur les

¹⁷ La question des éventuelles normes de diamètre des oeillards des *catilli* et des oeils des *metae* ainsi que leur relation au diamètre ou leur métrologie est traitée dans un autre chapitre (CHAP.13).

diamètres des percements puissent fonctionner par deux. En effet, certains couples apparaissent si l'on décline l'histogramme par site (Fig.29). Ainsi, à Els Vilars, au Chaudry et aux Fossottes, la technique du carottage pourrait avoir eu à sa disposition une paire d'outils d'un gabarit d'une part de 6 cm (3 dgt) et d'autre part de 8 ou 8,3 cm (ca. 5 dgt), gamme peut-être complétée d'un petit outil de gabarit 1,9 cm (1 dgt) aux Fossottes. Il semble donc qu'on pouvait forer du « petit » et forer du « gros ».

Figure 29 : Diamètres des percements centraux déclinés par site



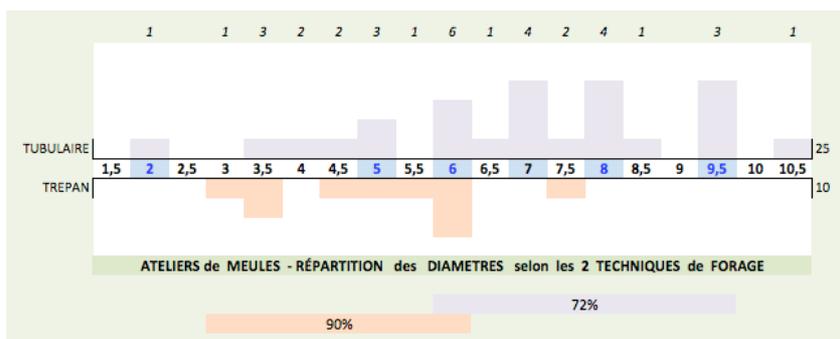
18- Ces dimensions sont importantes et conduisent à se demander si les meuliers antiques disposaient de machines pouvant forer de tels gabarits ou bien si ces valeurs ne font que refléter un diamètre d'œil final obtenu par une taille de pierre manuelle venant élargir une amorce plus étroite réalisée par un forage axial d'envergure limitée.

Pour sa part (partie basse de la Fig.29), la technique de forage au trépan semble avoir utilisé une paire de gabarits plus limités : 3,5 et 6 cm (soit 2 et 3/3,5 dgt). Ainsi, sur les ébauches du Hertfordshire (GREEN 2011, 126-127), le diamètre foré moyen semble observer deux voire trois dimensions : 3/3,5 cm (2 exemplaires), 5/5,5/6 cm (5 exemplaires).

19- De fait, le cumul des diamètres réparti selon les deux techniques (Fig.30) montre que 90% des conduits résultant du forage au trépan (figuré en orange) se situent sur l'intervalle 3 à 6 cm (2 à 3 dgt) et que 72% des percements liés au forage tubulaire sont compris entre 6 et 9,5 cm (soit 3 à 5 dgt). Le trépan a donc travaillé dans les petites dimensions ou, plus exactement, n'a pas travaillé à forer de larges conduits.

Cette différence entre les deux spectres de modules de forage est-elle liée à la technique (le carottage permettrait en ce cas un forage nettement plus ample) ou bien n'est-elle que le reflet provisoire de la faiblesse quantitative de nos observations ?

Figure 30 : Répartition des diamètres des forage selon les techniques du trépan ou du carottage



On remarque par ailleurs que la valeur 6 cm, c'est-à-dire 3 dgt, constitue un point d'articulation entre le domaine des modules dimensionnels du trépan et le domaine du carottage. Cette valeur de 6 cm ne correspond pas à une division métrologi-

que canonique en doigts (1 palme fait 4 dgt et ½ palme 2 dgt) pas plus qu'en pouces (1/12^e du pied soit ca.2,5 cm). En revanche elle correspond à des 10^e ou 20^e du pied (ca. 2,9 ou 1,5 cm) et mesurerait alors 2/10^e ou 4/20^e (sachant toutefois que plus l'unité est petite mieux elle **peut** ajuster n'importe quelle mesure). La question de l'interprétation de ce seuil de 6 cm est peut-être plus d'ordre technique que métrologique et appelle quoiqu'il en soit un approfondissement ultérieur, à commencer par sa validation sur un échantillonnage quantitativement plus fourni.

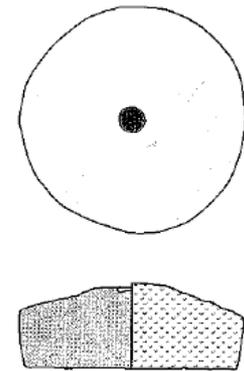
20. S'il venait à être confirmé, le fait que chacune des deux techniques de forage ait pu disposer d'un jeu de 2 modules dimensionnels rend concevable deux configurations qui pouvaient signifier un choix ou un phasage technique :

.1. les opérateurs pouvaient choisir de forer la meule en « petit » ou en « gros » (3,5 vs 6 cm au trépan ou 6 vs 8,5 cm en carottage), ce choix dépendait peut-être de l'envergure de l'œil qui **était** souhaitée,

.2. le forage pouvait débuter par une mèche¹⁸ étroite pour être ensuite agrandi par une mèche large. L'agrandissement pouvait semble-t-il être tangent au forage étroit ou en reprendre l'axe si l'on en croit certaines meules associant la perforation d'un petit et d'un grand conduit.

21. Nous finirons ce développement avec deux remarques. La première est que le forage s'applique à des roches variées, parfois dures, sédimentaires telles que grès et conglomérats ou poudingues ainsi qu'à une roche magmatique mais non effusive (rhyolite).

En second point, on constate sur certains ateliers une pratique de pré-marquage du futur œil ou œillard par un cercle central légèrement creusé, c'est par exemple à Obernai¹⁹ (**Fig.31**). Cette pratique n'est pas représentée sur les Meules Rotatives Basses d'Orvieto alors que le nombre d'ébauches de stade III disponibles peut être considéré comme représentatif (27 *Metae* sur 32 et 8 *Catilli* sur 23 soit un total de 64% des MRB orvietanes) : **en** effet, d'assez nombreuses *Metae* présentent un cône bien fini, pourvu de sa pointe souvent un peu écrasée mais privée de toute amorce ou marquage de l'œil. Il en est de même des *Catilli* de stade III dont les deux cônes ont atteint leur profondeur finale (5-6 cm).



2. 4837-1

Figure 31 : pré-marquage de l'emplacement de l'œil sur une *Meta* de l'atelier secondaire d'Obernai (Alsace, FR).

E. Derrière le forage, un équipement en machines rotatives ?

22. Imaginons un instant un atelier de meules antique qui, même sans tourner chaque mois que fait l'an, produit régulièrement une quantité soutenue de meules. On considère le cas d'une officine de production secondaire. Cet atelier reçoit, depuis les carrières qui assurent les premières étapes du façonnage, un flux de meules normées et genrées (Stade III) dont la forme est acquise et parfaitement régulière. Sa tâche consiste à assurer le percement central (Stade de Façonnage IV) ainsi que la finition formelle et fonctionnelle des *Metae* et *Catilli*

¹⁸ Nous ne donnons ici aux termes de *foret* ou de *mèche* aucun sens technique particulier.

¹⁹ FELIU, JODRY 2017.

(stade V). Le travail, qui requiert une certaine technicité, est effectué par plusieurs opérants qui réalisent un forage selon la technique tubulaire.

Chaque meule, dont le centre présente un commencement d'œil peu profond et amorcé en carrière, est placée sur une sorte de ban de tournage. Constitué d'un châssis charpenté permettant de caler, immobiliser et parfaitement centrer la meule à forer, cet outil comporte notamment un tour disposé verticalement qui agit très rapidement un axe lesté. Cet axe est muni d'un tube forant en bois dur dont la base est enduite d'une pâte abrasive très régulièrement renouvelée. Tant pour éviter l'échauffement et l'abondance de poussier que pour éliminer le broyat fait de fines et de micro-éclats, le tube est en permanence ou peu s'en faut soumis à un fin jet d'eau régulier. L'atmosphère est assez bruyante et sifflante, brumeuse et humide, poussiéreuse. Recouvert d'une boue plus ou moins auto-consolidante qui malgré les râclages fréquents s'accumule en encerclant les tours, le sol est en pente légère. Il verse dans un caniveau à fort pendage l'eau chargée de broyats qu'un égoût mène à la rivière. On procède régulièrement au retournement des *catilli* et au renouvellement des *metae* dont le forage n'est quant à lui pas perforant. Les tours à forer sont parfois couplés par paire ou tierce et actionnés par un même moteur grâce à un engrenage. L'un des tours de forage est disposé horizontalement et, muni de 2 axes entraînés chacun par une petite roue rapide lié à un rouet hydraulique, il peut forer les deux faces d'une meule en même temps.

23. Il faut sans doute en effet concevoir que le recours au forage entraîne sur les ateliers, proches de la carrière ou distants et spécialisés, la présence d'une batterie de machines ainsi que des manipulations (transfert éventuel de l'ébauche dans une partie de l'officine spécialement dédiée au forage, retournement de la meule pour forage de la seconde face) voire des aires de travail spécifiques. Par ailleurs, la technicité impliquée par le forage ainsi que l'emploi de machines, lesquelles peuvent sans doute très bien également tourner pour d'autres fabrications que les meules (tournage de colonnes ou de mortiers en pierre par ex.)²⁰, peut conduire à confier la phase de perforation centrale des meules (Stade IV, parfois III) à des officines spécialisées. À l'inverse, dans les ateliers primaires complets²¹, elle peut signifier la présence soutenue d'une main-d'œuvre qualifiée (foreurs sur tour) dans les ateliers meuliers, en liaison avec l'activité carrière (Stades I et II).

2. Le forage & les meules rotatives basses d'Orvieto

24. À Orvieto, cette fois sur un *Catillus* de Style Pompéien (Fig.32) on observe des perforations multiples, disjointes ou coalescentes et localisées au fond du cône supérieur du *Catillus* R.10-24. Une autre série est observable au fond du cône opposé, certains percements étant traversants et en correspondance entre les deux cônes. Ces perforations sont fortement susceptibles de correspondre à une technique de forage au trépan.

²⁰ La fabrication de *stone vessels* tels que les mortiers (voir ANNEXE 17) est en effet assez systématiquement associée à celle des meules sur les ateliers travaillant la lave ; la faible proportion de ces récipients, généralement bas et de faible diamètre, peut certes refléter une moindre fréquence par rapport aux meules ainsi qu'une longévité importante de ces mortiers. On peut toutefois se demander également si ces vases de pierre ne sont pas victimes d'une sous-identification : leurs fragments peuvent sans doute être confondus avec des *catilli* fragmentés. Aussi, lorsque ces derniers livrent un diamètre réduit (de type 21-27 cm), il convient alors d'être attentif à ce qu'ils ne correspondent pas plutôt à des écuelles ou des mortiers de pierre.

²¹ Voir le Chapitre sur la typologie des ateliers d'après les Stades de Façonnage qu'ils réalisent (CHAP.7).

Figure 32a et 32b : Photo et dessin interprétatif des trous observables au fond du cône d'un *Catillus* de Style Pompéien d'Orvieto (R.10-24) - œillard en cours de réalisation par coalescence de forages



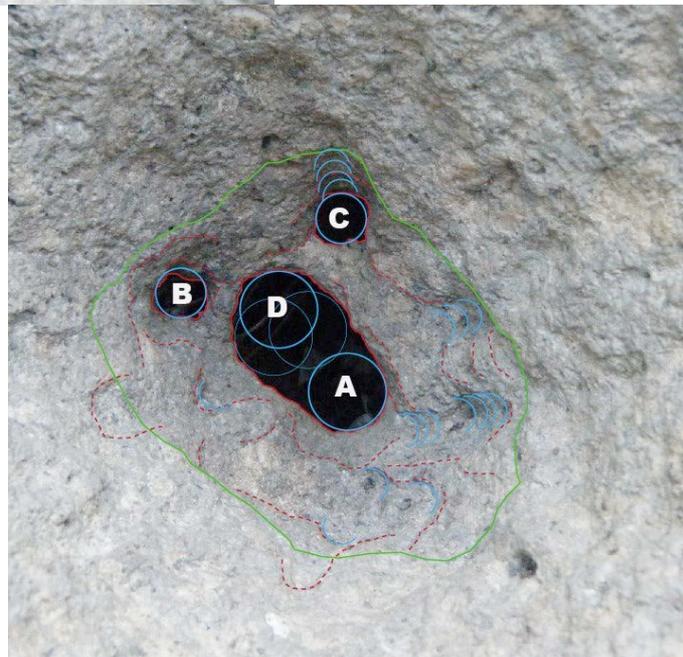
On observe au centre du cône de ce *Catillus* une large perforation bilobée dont le plan indique qu'elle correspond à la jonction d'au moins 2 percements circulaires (A et D) formant les pôles d'un ovale. L'axe long mesure 4,2 cm et l'axe court, transverse au trou D, mesure 2,5 cm. La perforation coalescente D-A n'est pas orientée sur l'axe des oreilles du *Catillus*, elle est bise. En revanche, D-A paraît correspondre à l'axe de

révolution de la meule.

En périphérie de ce trou central bilobé apparaissent, au Nord et au N-W, deux perforations de petit diamètre (ca.0,5 cm)²². Elles correspondent en réalité à toute une série d'étroits conduits subverticaux qui marquent la paroi du fond de cône (tracés bleus sur le dessin interprétatif). Ce fond prend la forme d'un rectangle de 7 cm (axe D-A) sur 5,5 (côté B-C) ou 4,8 cm (côté Sud-Est) à fond plat. Il pourrait correspondre à un creusement préparatoire.

Il est clair que la réalisation du percement de jonction entre les deux cônes aboutés a été opérée à travers la réalisation d'une pluralité de conduits forés, la plupart de petit diamètre et d'autres, au centre, probablement de plus fort gabarit (de type 1-1,5 cm). Cette multiplicité visait la coalescence des perforations ou la réalisation d'un fond résillé qu'il était ensuite possible de casser pour obtenir un percement central de plusieurs cm d'envergure. La broche ou le ciseau pouvaient ensuite élargir le tout pour former un œillard et en régulariser les parois à convenance.

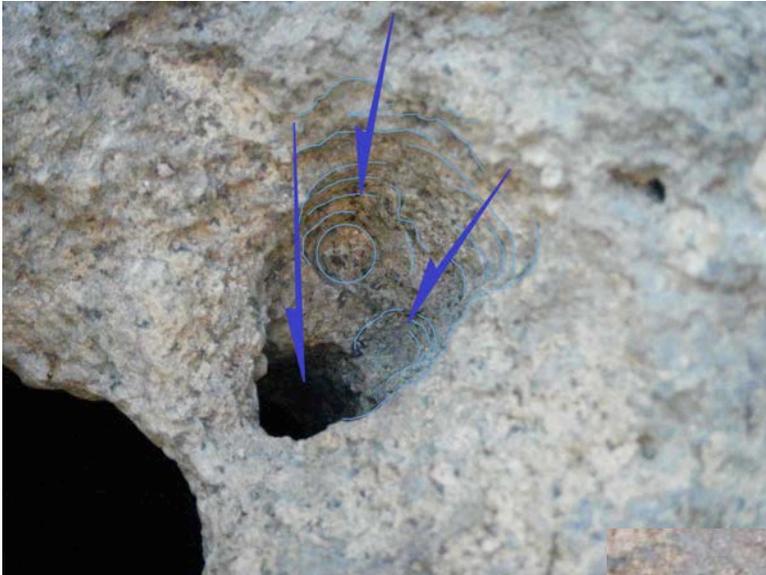
25. D'après l'empreinte des conduits de forage sur la paroi, l'opération de forage au trépan pratiquée en fond d'évidement conique initial concernait une épaisseur d'au moins 3 cm. Le plancher inférieur des forages (fond du rectangle) se situe à 2 cm du plan médian du *Catillus* : une épaisseur « matelas » de 4 cm était donc probablement ménagée entre les deux cônes et les forages appliqués ca. 3 cm au-dessus soit à peu près à 5 cm au-dessus du plan



²² Les dimensions de ces trous étroits et situés en fond de cône sont difficiles à mesurer sans compas adapté.

médian. L'enjeu d'épaisseur de percement était ainsi de ca.3 + 4 +ca.3 cm soit ca.10 cm et 5 à 6 dgt maximum.

Figure 33a et 33b : Dessin interprétatif et photo de l'un des conduits forés observables au fond du second cône du *Catillus* de Style Pompéien R.10-24



La différence entre les perforations observables au fond du premier cône et celles du second cône rendent probable un percement effectué à partir des 2 cônes, successivement ou de manière synchrone. La **Figure 33** montre l'un des petits conduits forés du cône inférieur ainsi que son dessin interprétatif : il fait ressortir la coalescence de 3 conduits forés entourés de

roche et donc percés dans la masse.

A Orvieto les *Metae* n'étant pas munies de leur percement central (sur cette anomalie voir **CHAP. 6** et **7** -§ 49) on se concentrera ici sur la réalisation par forage ou non de l'œillard des seuls *Catilli*.

26. Il faut noter que les configurations de type R.13-24 (*supra* **Fig.1**) ou R.23-14 (**Fig.34**) associant percement étroit et cône ne permettent pas de déduire l'antériorité de l'un sur l'autre. Seul d'une part la comparaison entre le nombre des *Catilli* dont les cônes sont réalisés mais pas le percement central, ainsi que d'autre part le dénombrement des *Catilli* dont le percement serait présent sur des cylindres sans cône formé, permet de préciser cette succession au sein de la chaîne opératoire.

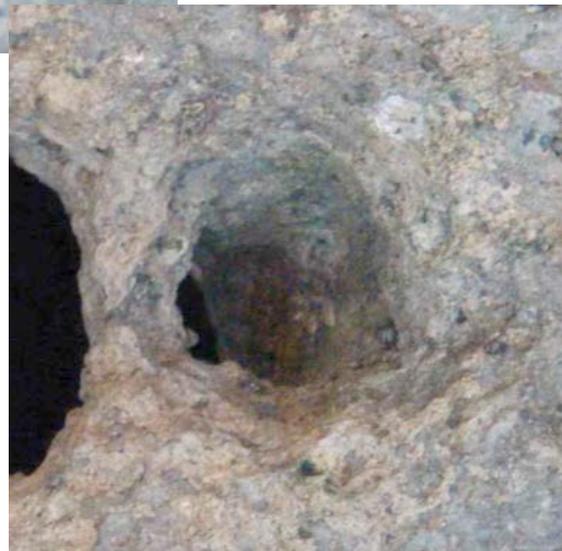


Figure 34 : Orvieto, MRB - *Catillus* du site R.13-14 avec cônes formés et étroit percement central

A Orvieto, les percements centraux très étroits observables sur les *Catilli* sont fortement susceptibles d'avoir été réalisés après le démaigrissement des cônes. On fournira ici une table illustrée de l'ensemble des *Catilli* afin de mettre en rapport le degré d'avancement du



façonnage des cônes et la présence ou non d'une perforation axiale (table Fig.35).

Figure 35 : Degré d'avancement du façonnage des cônes et présence ou absence de percement axial des 23 *Catilli* d'Orvieto

ORVIETO MRB - Percement central CATILLI													Notes		
N°	Avancement cônes & faces				Percement			Stade	D.	H.	DOE				
	2 cônes	1 cône + 1 amorcé	1 cône 1 f.plate	2 faces plates	0 / 1	traversant	étroit					large			
	R.10-38	1				1	1	1		IV	31	15,5	2	petite perforation décentrée	
	R.10-39	1				1	1	1		IV	30	14	2,2		
	R.10-8	1				1	1		1	IV	32	17,5	ca.3		perforation traversante ou non : 1 face obturée par du ciment gris
	R.10-37			1		0				III.A	30,5	17,5	0		
	R.10-6		1			0				III.A	39	26,5	0		

ORVIETO MRB - Percement central CATILLI													Notes	
N°	Avancement cônes & faces				Percement			Stade	D.	H.	DOE			
	2 cônes	1 cône + 1 amorcé	1 cône 1 f.plate	2 faces plates	0 / 1	traversant	étroit					large		
	R.13-14	1				1	1	1		IV	27	15	ca.2,5	ouverture supérieure et inférieure en entonnoir ; perforation tubulaire
	R.13-24	1				1	1	1		IV	36	21,5	1,3	
	R.13-23	1				0				III.A	35	18,5	0	creusement médian quadrangulaire large 11,5x13x H.4 cm
	R.13-6	1				0				II.A	33	23	0	2 cônes inachevés
	R.13-8	1				0				II.A	32	18	0	2 cônes inachevés
	R.13-20		1			0				II.A	33	23	0	1 cône avancé ou achevé et 1 amorcé
	R.13-22		1			0				II.A	30	19,5	0	1 cône avancé ou achevé et 1 amorcé; amorce de percement en cuvette (paraît plus profonde sur certains clichés)

Figure 35 –suite :

ORVIETO MRB - Percement central CATILLI														
N°	Avancement cônes & faces				Percement				Stade	D.	H.	DOE	Notes	
	2 cônes	1 cône + 1 amorcé	1 cône 1 f.plate	2 faces plates	0 / 1	traversant	étroit	large						
	R.16-8	1				1	1		1	V	35,5	13	6,5	seul <i>catillus</i> achevé mais HOE insuffisante (4,5 cm)
	R.16-24	1				1	1	1	1	IV	37	14	7 à 1,5	cônes grossiers assez plats
	R.16-34	1				0				III.A	32,5	16	0	Cônes achevés (H.5,5 +4 sur H.16)
	R.16-2			1		0				II.A	34	17	0	1 cône achevé (H. 5,5)
	R.16-33			1		0				II.A	36	23	0	1 face plate brute et 1 cône amorcé (HCo 3 cm)
	R.26-6			1		0				II.A	32	14	0	1 seule face observable, cône seulement amorcé
		15	4	4	0	8	8	6	3					
		65%	17%	17%		35%	35%	26%	13%					

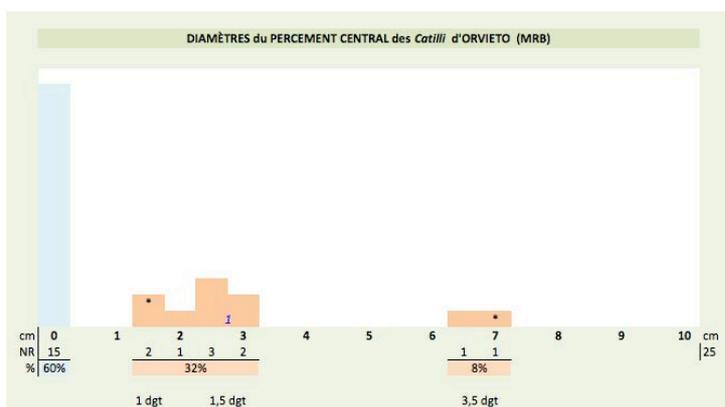
27. Les données de la table (Fig.35) permettent d'établir que 65% des des *Catilli* d'Orvieto se présentent avec 2 cônes façonnés, dans un état de réalisation plus ou moins avancée. Sur le total de 23, 8 *Catilli* (soit 35 %) sont parvenus au stade IV ou V et sont donc susceptibles de porter la perforation centrale. Celle-ci est présente sur ces 8 meules et y

apparaît toujours traversante. La probabilité qu'elle ait été conduite à partir des 2 cônes est donc faible. Ce percement axial est achevé seulement 1 fois (stade V – *Catillus* R.16-8) mais seulement amorcé dans 7 cas sur 8 si l'on admet que sa faible largeur correspond à un premier état qui devait être suivi pour arriver à une pleine largeur de l'œillard.

De fait, la distribution des diamètres de la perforation (Fig.36) fait apparaître 3 classes : celle des *Catilli* dépourvus d'œillard (diamètre 0) qui représente 60% du total, celle des *Catilli* munis d'un conduit traversant étroit (1,5 à 3 cm) qui regroupe 32% des, enfin les diamètres larges, situés sur 6,5/7 cm. Si l'on excepte la valeur 7 cm donnée par l'ouverture en entonnoir d'un conduit étroit (1,5 cm), cette classe est représentée par le seul achevé (R.16-8).

Figure 36 : Diamètres des percements centraux des *Catilli* d'Orvieto

L'un des *Catilli* présentant 2 diamètres (marqués *) et un autre occupant 2 valeurs (2,5/3 cm) on décompte 25 occurrences pour 23 *Catilli* -



28- On peut déduire de ces données les 7 faits et probabilités suivants :

.1. à Orvieto 35% des *Catilli* sont découverts rebutés porteurs d'une amorce de leur percement axial (stade IV) ; cela traduit une proximité importante entre les aires de réalisation de cette étape du travail et les aires des phases médianes du façonnage (II, III) ; cette fréquence soutenue du rebutage au stade IV²³ pourrait également indiquer une sur-accidentologie de cette étape du travail meulier à Orvieto ;

.2. l'achèvement du percement central est réalisé sur seulement 12% des *Catilli* (1 sur 8) ; cette rareté pourrait indiquer une faible accidentologie de la seconde partie de la phase IV de façonnage (élargissement des œillards ou un éloignement des aires de travail correspondantes ;

.3. la réalisation de l'œillard procède en 2 temps, elle est engagée par une perforation axiale étroite et traversante d'un diamètre de 1,5 à 3 cm, probablement réalisée à partir d'une seule face ;

.4. aucun raté intermédiaire (sur 8 disponibles) ne nous permet d'établir si ce percement axial initial était réalisé à la pointe fine ou par forage ; toutefois son caractère très étroit (1,5 à 3 cm) est favorable au recours à une technique de forage ; l'envergure réduite des conduits initiaux autant que finaux est plutôt susceptible de correspondre à la technique du trépan si venait à être confirmé le seuil séparateur entre les deux techniques qui semble se dégager sur la zone des diamètres de 6 cm (voir *supra* § D. et Fig.30) ; on vient par ailleurs de voir qu'à Orvieto la technique du forage au trépan était attestée sur des *Catilli* de Style Pompéien (à une période dont on ne sait toutefois si elle est synchrone ou postérieure à celle de la fabrication des petites Meules Rotatives Basses) ;

.5. dans un second temps le conduit initial étroit est élargi, vraisemblablement à la broche, pour conférer à l'œillard son envergure d'achèvement large d'environ 6-7 cm ;

.6. le diamètre du premier conduit axial comme celui de l'œillard final ne semblent pas relever de la métrologie du pouce mais plutôt de celle du doigt (16è du pied) et même d'une unité inférieure (demi-doigt voire moins) ;

²³ Une fréquence de 35% est en effet supérieure de moitié à la fréquence moyenne attendue pour chaque stade (20% pour 5 stades) en l'absence de sur- ou sous-accidentologie de chacun d'entre eux.

.7. ce percement central intervient toujours après réalisation ou amorce des 2 cônes du *Catillus*. Si ces amorces d'œillard étaient réalisées par forage, celui-ci serait donc opéré sur une épaisseur réduite à son minimum.

29- Cette intervention sur la moindre épaisseur peut recevoir plusieurs explications d'ordre technique ou économique.

. Démaigrissement central

Dans le cadre d'un percement réalisé à la main cette séquence démaigrissement des cônes / percement central est logique : en fait l'opérant prolonge sa taille à la broche mais l'exerce désormais sur la pointe des cônes aboutés, le changement réside dans le fait qu'il abandonne la forme conique pour passer en mode tubulaire. La percussion devient presque axiale ou du moins observe un angle très proche de la verticale sur l'axe. En principe cette opération est difficile sur de petites largeurs voire impossible. Toutefois, comme on peut l'imaginer pour des roches très vacuolaires et à texture micro-grenue, une certaine tendance de la roche à l'écrasement sous la percussion pourrait diminuer cette difficulté. Il faudrait le vérifier par expérimentation sur de la leucitite d'Orvieto.

. Anneau de pose

La réalisation préalable des 2 cônes a pour effet de ménager un anneau de pose constitué par la périphérie de la meule. Dans le cadre d'un percement réalisé à la main il n'est pas certain que cela joue un autre rôle que celui de diminuer l'épaisseur à perforer axialement. La concavité peut cependant faciliter le maintien d'un angle de percussion par rapport à la verticale, ce qui à priori diminuerait le risque de fissuration.

En revanche, dans le cas d'un forage de préfiguration de l'œil, l'anneau de pose créé de fait par le démaigrissement des cônes peut servir à répartir la pression exercée au centre par le dispositif de forage. Cette pression nous semble réelle et susceptible d'entraîner tout d'abord une rotation de la meule, laquelle doit donc être sertie dans un bâti charpenté ou argileux. Si cette pression était forte, elle pourrait tendre à un enfoncement du centre et donc à une fissuration du *Catillus*²⁴. L'anneau de pose pourrait alors servir à soulager la pression exercée au centre en la reportant sur la périphérie.

Figure 37 : Fracturation d'un bloc en carrière par fissuration à partir de 2 conduits verticaux réalisés à la pointe (source : Maiaismael Santos Paula : Cortar Pedra parte 2 www.youtube.com.)

. Anti-fissuration

30- La réalisation d'un conduit cylindrique étroit en taille de pierre n'est pas une opération spécialement aisée. Elle est utilisée en carrière, par enfoncement forcé de pointes ou de coins sur une profondeur toujours faible²⁵, afin de fendre de gros blocs (Fig.37). Elle provoque une fissuration, effet qui est recherché pour le débitage de blocs bruts mais qui constituerait un accident mortel pour une meule. L'attaque à la broche d'un percement central est cependant attesté dans les fabriques subactuelles pour la réalisation des œillards larges (20 cm ca.) qui équipent les grandes meules. Cette technique est probablement limitée à certaines qualités de roche et procède semble-t-il par creusement conique continu accompagné d'une régularisation verticalisant la paroi. Ce procédé n'est guère



²⁴ De fait on observe assez fréquemment des meules dont le percement central n'est pas achevé et qui ont été victimes d'un bris passant par le centre et suivant une ligne à tendance diamétrale. Cela dit ce type d'accident n'est pas spécifique aux *Catilli* ni aux meules dont le percement central est inachevé. Une étude mécanique approfondie de la fabrication d'une meule rotative basse (autant que celle de son fonctionnement) reste nécessaire.

²⁵ Du moins en taille manuelle et avant l'invention des foreuses pneumatiques servant à forer une ligne de conduits profonds qui permettent de loger des broches ou coins longs destinés à guider une fissure aussi régulière et verticale que possible. Ce procédé permet, en l'absence de grande scie de carrière, de débiter de grands ou gros blocs.

possible pour un conduit étroit de type meule rotative basse de petit diamètre dont l'oeillard mesure de 8 à 15 cm (voir **CHAP. 13**). S'il avait été pratiqué nous retrouverions des ébauches fracturées à cette étape et donc munies d'un petit cône central ou d'un œillard tubulaire *in progress*. Or ce n'est le cas ni à Orvieto ni ailleurs : on constate soit des conduits centraux tubulaires, étroits ou plus larges, soit des œillards dans leur configuration finale. Le petit vide central cylindrique qui résulte du forage pourrait jouer un rôle anti-fissuration en conduisant à l'extérieur de la pierre les ondes de choc de la taille manuelle qui suit.

. Temps ou coût

Dans le cadre d'un percement obtenu par forage, le fait que ce dernier intervienne sur une épaisseur minimale peut signifier, si la fabrication des meules prend place dans une économie marchande ou d'échange, que le forage était une technique coûteuse et que l'on cherchait en conséquence à la limiter.

Mais il est tout autant possible que le forage ait été simplement une opération assez longue parmi celles de la chaîne opératoire et que les meuliers aient considéré plus rapide de démaigrir au maximum les cônes des *Catilli* pour réduire le temps passé au forage. Ce dernier cas signifie que le temps de production constituait un paramètre important et, par exemple, que la production des meules n'intervenait pas dans les réserves du temps paysan²⁶ mais pouvait plutôt correspondre à une activité manufacturière permanente ou du moins régulière dans laquelle le temps et le nombre comme la qualité des pièces produites étaient gérés et faisaient l'objet d'une certaine rationalisation. Naturellement de telles problématiques nécessitent pour être montrées non pas un seul paramètre mais un faisceau de données convergentes.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO *et al.* 2011 – ALTINBILEK *et al.* 2001 – BERNON 1987 – ERDKAMP 2016 – FARGET 2006 – FELIU, JODRY 2017 – GAULTIER 2009 – GREEN 2011 – JACCOTTEY 2011 – MORERO 2016 – PICAVET 2019 – TENDRON 2009 – WEFERS 2012 –

²⁶ Voir à ce sujet le concept de l'*underemployment* rural développé par ERDKAMP 2016 à la suite de travaux comme ceux de Mendels et des historiens de la période moderne relativement au rôle de la paysannerie dans la première révolution industrielle.

CHAPITRE .9

Géométrie & Paramètres des Meules Rotatives Basses

_____ Le fait de travailler sur un atelier nous a, tout autant que l'approche métrologique, conduit à accorder une large attention à une dimension qui n'est pas très habituelle en archéomolnologie : l'usure et la consommation de la pierre. En effet les objets disponibles sur les ateliers sont des produits inachevés ou neufs. Ces derniers permettent d'accéder aux dimensions originales des meules et donc aux rapports originaux entre ces dimensions. Dans le même temps l'approche métrologique exige des dimensions inaltérées dès lors que l'on souhaite accéder au système de mesurage, de partition et de proportion entre les différentes dimensions. La Hauteur varie en fonction de l'usure *et*, à partir de sa valeur initiale (par exemple 23 cm), elle va adopter la forme d'un continuum en diminution (ainsi de 23 à 7 cm ou 4 cm en passant par toutes les valeurs intermédiaires). Il est par conséquent fondamental de pouvoir distinguer l'état d'usure et l'état à neuf d'une meule, quitte à reconstituer ce dernier et à le confronter aux valeurs disponibles en atelier.

_____ L'attention portée à l'usure conduit à une approche de la morphologie d'une meule qui soit à la fois moins syncrétique et moins prisonnière du détail, décomposant la forme en un certain nombre d'éléments signifians. Sans prétendre épuiser le sujet et parfaitement conscient de privilégier une perception par la section, on mettra ici l'accent sur les différents plans qui caractérisent une meule et dont les rapports définissent la morphologie. Ils nous permettront de définir les composantes de l'épaisseur globale puis d'appréhender la hauteur soumise à usure, donc la longévité de la meule. On se demandera pour finir si les meuliers antiques avaient connaissance de cette épaisseur consommable de la meule voire s'ils pouvaient la calculer.

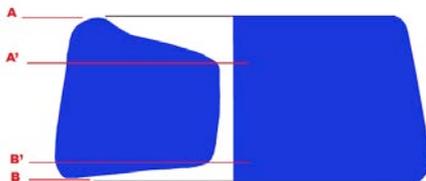
A. Les PLANS d'une MEULE

Plans Fixes, Plans Mobiles, Plans de Référence

1. Une Meule peut être définie par plusieurs plans (FIG.1) dont certains sont affectés par l'Usure, nous les qualifierons de Plans Mobiles, au contraire des autres que nous qualifierons de Plans Fixes. En effet, au fur et à mesure de l'Usure les Plans Mobiles vont monter (meule tournante dit *Catillus*) par rapport aux Plans Fixes ou descendre (meule dormante ou *Meta*).

Pour les *Catilli* (meule courante¹) nous définissons un Plan Fixe de Référence, qui est le plan supérieur de la meule. En effet ce plan et ses dimensions ne subissent aucune modification du fait de l'usage et de l'Usure de la meule qui s'en suit². Pour les *Metae* (meule gisante) le Plan Fixe de Référence est défini par la base, qui correspond le plus souvent au Diamètre Maximal.

Figure1 Plans caractérisant un *Catillus*



PLANS définissant un CATILLUS

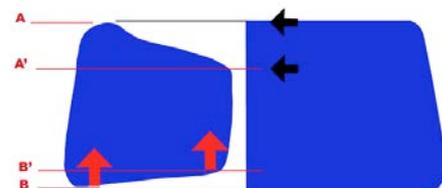
2. Les modifications entraînées par l'Usure de la meule sont tantôt limitées à la montée progressive ou à l'abaissement du plan mais peuvent aussi affecter les dimensions, c'est-à-dire toujours des Epaisseurs ou Hauteurs³, parfois également un Diamètre si la meule est à flanc oblique (tronconique) et non cylindrique (Fig.1).

3. Pour une meule tournante (*Catillus*) 4 plans minimaux peuvent être définis (Fig.1). Certains autres plans peuvent s'ajouter en fonction de la présence de trous d'emmanchement situés en surface de la meule ou dans son flanc). Le Plan Supérieur (codé A) est fixe car non affecté par l'Usure (Fig.2), il sera qualifié de Plan de Référence du *Catillus*. Le plan A', qui est donné par le sommet de l'Éillard est lui aussi fixe. Il est facultatif et peut se confondre avec le plan A si la meule est dépourvue de Trémie (cuvette d'entrée du grain).

Le Plan Inférieur B, constamment affecté par l'usure est un plan mobile, de même que son correspondant le plan B' qui est défini par la base de l'Éillard. Si la meule est plate, le plan B' se confond dans le plan mobile B.

Figure 2 : Plans Fixes et Plans Mobiles (*Catillus*)

4. La Hauteur entre les plans supérieurs A et A' donne l'Angulation (ou Conicité) de la Trémie, ce paramètre (codé HTr) est fixe. La Hauteur entre les plans inférieurs B et B' donne l'Angulation du Cône de mouture (HCo). Ce paramètre à priori fixe peut éventuellement changer selon les variations intervenant dans la rotation de la meule aux différentes étapes de l'usure ou des réglages de l'écartement.



PLANS définissant un CATILLUS

↑ Plans mobiles (soumis à USURE)
← Plans fixes

¹ Les termes Meule *Courante* et Meule *Tournante* ou encore Meule *Filante* ou Mobile sont équivalents, les deux premiers étant des termes de métiers du français moderne ; de même sont Meule *Gisante* et Meule *Dormante* ou Meule Fixe ; *Catillus* est le correspondant latin de Meule Courante comme *Meta* est le correspondant de meule Dormante ; ces deux termes antiques sont attestés dans le Digeste, compilation de Droit de l'Antiquité Tardive (529, Empereur d'Orient Justinien) : « est autem meta inferior pars molae, catillus superior » (DIG. XXXIII, 7, 18, 5 – soit p. 579 § 5 de l'édition numérique disponible sur www.histoiredudroit.fr).

² Plus que par une usure, l'usage se traduit par des stigmates qui sont loin d'être systématiques, il s'agit le plus souvent d'un poli développé sur un bord de la meule (exemplaires Olynthe de Martigues), sur la paroi d'une encoche ou de l'œil, ou encore sur celle de la gorge entourant certains manchons hispaniques (par ex. à Ensérune).

³ En matière de Meules Hauteur et Epaisseur expriment une même réalité ; dans les formules (type H, HCo, Hr, HFL etc.) on utilisera toujours H qui, en raison de l'anglais *Height*, est un codage internationalement plus mémorisable qu'un E. ou Ep.

Figure 3 : Mobilité des Plans due à l'Usure

5. Lorsque l'Usure est portée à son maximum le Plan Mobile inférieur B' est monté et finit par se confondre avec le Plan Supérieur Fixe A'. La Hauteur de l'Œillard est alors réduite à zéro (FIG.4). Si l'utilisation du *Catillus* se prolonge, entraînant une poursuite de la montée du Plan Inférieur B', ce dernier passe au-dessus du niveau du Plan Fixe A' ce qui conduit à un élargissement de l'Œillard. En effet ce dernier n'a plus la forme d'un tube mais celle d'un anneau à bord aigü peu à peu consommé par la poursuite de la rotation.

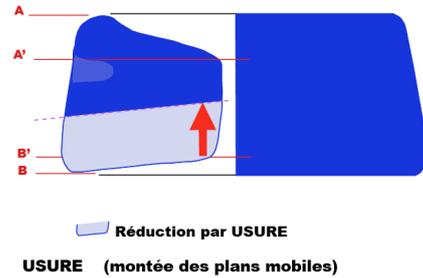
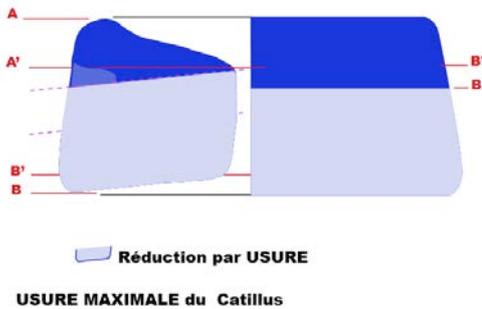


FIG.4 Situation des 4 Plans au stade d'Usure maximale d'un *Catillus*



Ce cas que nous qualifierons d'« archi-usure » se traduit dans les indices du degré d'Usure (voir CHAP.19) par une valeur dépassant les 100%. La présence dans les assemblages d'une fraction de meules archi-usées ainsi détectée est très intéressante pour l'interprétation fonctionnelle et l'étude des approvisionnements, à fortiori si elle est confrontée à la présence ou non d'une proportion de meules neuves et si l'on compare les Profils d'Usure des assemblages meuliers.

Plans d'une *Meta* et Questions spécifiques

6. Dans le cas des meules dormantes (*Metae*), la situation des différents plans est tout à fait semblable à celle des *Catilli* mais inversée : le Plan Fixe de Référence n'est pas le plan supérieur mais le Plan Inférieur, celui correspondant généralement au Plan de Pose de la *Meta* (FIG.5). Le plan B' va descendre au fur et à mesure de l'usure de la meule.

Notons que la base de l'œil (Plan A') peut se situer sous le Plan mobile B', notamment lorsque la conicité de la *Meta* est faible.

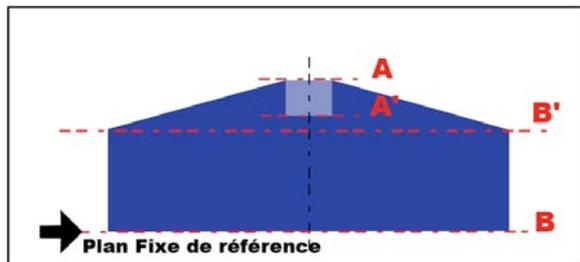


Figure 5 : Plans Fixes et Plans Mobiles d'une *Meta*

7. Pour les *Metae* cependant se pose la question, assez importante, de savoir si le Plan Supérieur A est fixe (et donc si la Hauteur de la Meule demeure la même tout au long de son utilisation) ou si ce plan descend lui aussi

progressivement. Dans ce dernier cas la Hauteur de la meule diminuerait au fur et à mesure de son utilisation, H serait un paramètre affecté par l'Usure.

Une question analogue est également soulevée pour l'œil de la *Meta* : le Plan A' qui correspond à la base de l'œil est-il fixe ? Dans l'hypothèse où le plan supérieur A descendrait au fur et à mesure de l'utilisation, la profondeur de l'œil tendrait à se réduire avec le progrès de l'usure, ce qui peut poser des problèmes de profondeur et de stabilité de l'axe inséré dans cet œil. Ces questions seront détaillées dans le CHAP. 18 consacré à l'Usure.

B. Les 3 PARAMETRES Fondamentaux d'une MEULE : Diamètre, Hauteur, Conicité

8. Toute meule peut être caractérisée par 3 paramètres qui suffisent à la définir sinon même à en dessiner la section pleine (i.e. sans l'œil), état qui est d'ailleurs le plus fréquemment trouvé sur les ateliers. Ces paramètres sont :

- le **Diamètre** de la meule (i.e son diamètre maximal) que l'on codera D.
- la **Hauteur** ou Epaisseur (H.), soit la hauteur maximale de la meule
- l'**Angle** latéral de la Surface Active ou du Cône (Fig.6)

A ces paramètres configurants, il faut en ajouter un 4^e, déduit des autres : la **Hauteur Utile** (HU), concept nouveau que nous introduisons et développons ci-dessous.

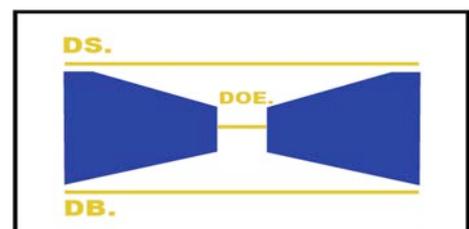
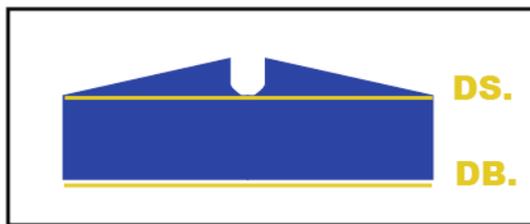
Figure 6 : Angle Latéral de la Surface de Mouture ou Conicité ou Pente (Orvieto Meta R.41)



On présente ici successivement chacun de ces 4 paramètres fondamentaux et leur expression sur les Meules Rotatives Basses (MRB).

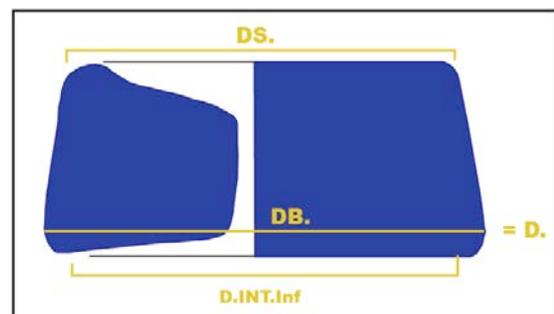
1. Le Diamètre

Figure 7 : Diamètre courant (D.) d'une Meule (profil droit : DS. = DB.)



9. Une meule se caractérise presque toujours par 2 Diamètres, un Diamètre Supérieur (DS.) et un Diamètre inférieur ou Diamètre de la Base (DB). Généralement $DB = DS$ (Fig.7) sauf si la meule est de profil tronconique (Fig.8). Par convention lorsqu'on parle du Diamètre de la meule (D) il s'agira du Diamètre Maximal, correspondant soit au DB soit, moins souvent, au DS. Si nécessaire, les tableaux de données du pré-

Figure 8 : Diamètres d'une Meule de profil tronconique



sent travail indiqueront 2 diamètres, à défaut seulement le Diamètre Maximal⁴.

10. D'autres Diamètres existent (Fig.9 et 10). Parmi les plus fréquents il y a notamment celui de l'œil (DOE.) ainsi que le Diamètre Interne d'un Cône (D.INT.Inf ou D.Co – Fig.8). D'autres Diamètres peuvent être mesurés selon la complexité des modèles (particulièrement dans la famille Pompéienne) ou selon les nécessités de l'étude : ainsi l'œil d'un *Catillus* peut, s'il n'est pas réellement tubulaire, se décliner (Fig.9) en un DOE.Sup, un DOE.Inf et un DOE représentatif voire un Diamètre minimal (DOE.m).

Figure 9 : Diamètres de l'Œil

Lors de l'étude métrologique, il est toujours nécessaire de se demander quel est le diamètre le plus susceptible de correspondre à la prise de mesure antique et si le diamètre retenu n'est pas susceptible d'avoir été affecté par l'usure, en ce dernier cas il ne pourrait alors être utilisé dans l'approche métrologique.

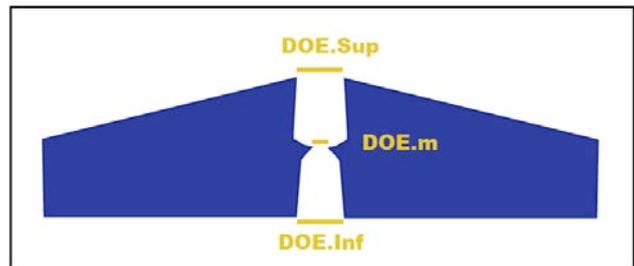


Figure 10 : Diamètres sur une meule de forme un peu complexe (Catillus de Longvic, type Avenches)

Il existe par ailleurs des cas (Fig.11) où le seul diamètre qui peut être considéré est celui de la Surface Active, ici le DS s'agissant d'une *Meta*. Il est recommandé de ne pas utiliser un tel Diamètre pour la métrologie car c'est peut-être le Diamètre de la Base, tronqué ou endommagé lors du détachement du cylindre en carrière, qui correspondait à la mesure tracée ou utilisée par les meuliers.

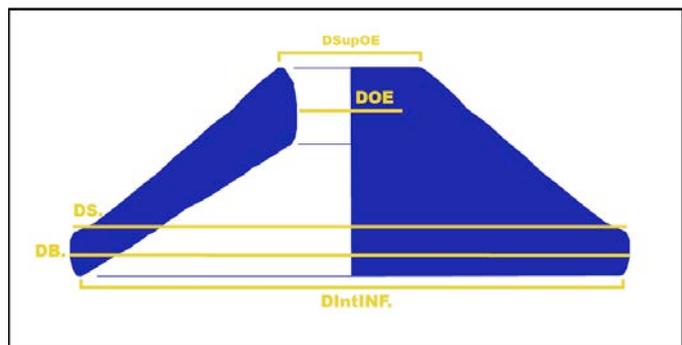


Figure 11 : Cas particuliers de Diamètre

11. Il va de soi que ces divers Diamètres seront utilisés différemment selon les calculs en jeu. Ainsi pour établir le Volume du Bloc Capable, on utilisera le Diamètre Maximal, soit en général le DB, parfois le DS. Pour le calcul de la surface de mouture on utilisera (outre le DOE qui entre dans la formule du tronc de cône) le DB pour les *Catilli* et le DS pour les *Metae* (FIG.11).

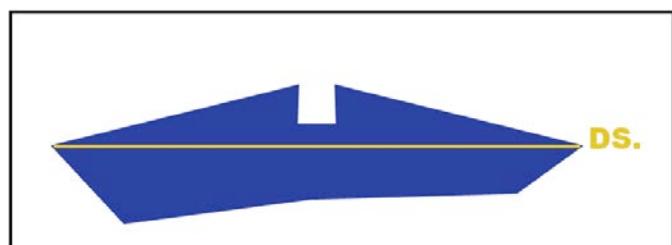
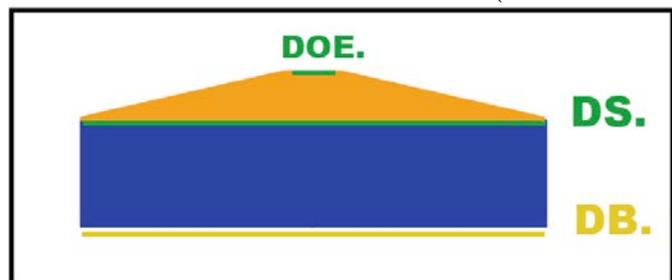


Figure 12 : Diamètres (en vert) mobilisés pour le calcul de la Surface de Mouture (en orangé)



⁴ Le Diamètre Maximal (si besoin codé DM) sera surtout utilisé s'agissant des *catilli* de style Pompéien pour lesquels la notion de « Base » est inexistante, tandis que souvent le diamètre de l'un des cônes est plus grand que l'autre.

Les relations entretenues par le Diamètre avec l'Angle et la Hauteur seront abordées plus loin, notamment à propos de l'Usure (**CHAP.18**). Le registre des Diamètres d'Orvieto et sa place dans le corpus de comparaison seront traités dans le Chapitre qui vient (**CHAP.10**).

2. La Hauteur

12. Il existe 3 Hauteurs primaires, c'est-à-dire directement lisibles sur une meule (**Fig.13 & 14**) et qui soient caractéristiques de sa morphologie. On peut leur ajouter la Hauteur de l'Œil (HOE.), fondamentale pour les *Catilli* :

- la **Hauteur** maximale (que nous coderons H.)
- la **Hauteur du Flanc** de la meule (HFL.)
- la **Hauteur du Cône** (HCo.).

Figure 13 : Hauteurs caractéristiques d'une Meta

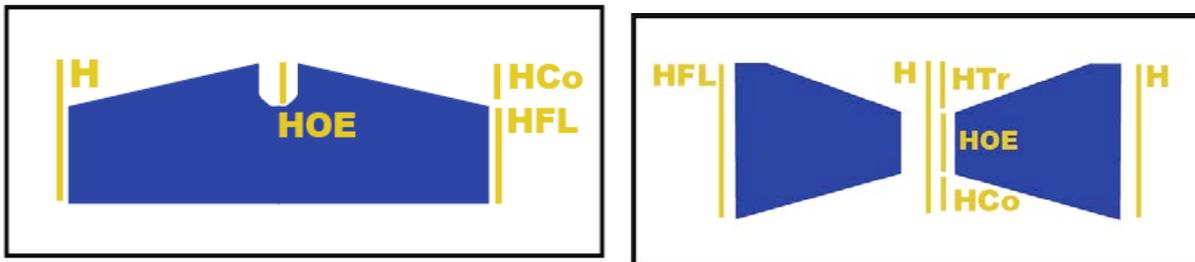


Figure14 : Hauteurs caractéristiques d'un Catillus

13. La Hauteur finie (maximale, H) est le reflet (diminué) du cylindre extrait à la carrière comme le Diamètre fini (maximal, D) est le reflet par diminution du diamètre tracé sur le plancher d'extraction. On dispose parfois de données permettant de comparer, avec plus ou moins de précision, les dimensions du cylindre brut et celle de la meule formée ou finie, ce qui permet d'apprécier la diminution. C'est ainsi le cas de la soixantaine de meules de l'atelier secondaire localisé en milieu urbain à Autun, Faubourg d'Arroux (JACCOTTEY 2017, 181-182). Le diamètre des Ebauches y apparaît supérieur de 4 à 7 cm à celui des meules finies, soit un excès de 2 à 4 DGT et une diminution correspondante. Nous revenons sur cet aspect au point 3. ci dessous.

14. Chez le *Catillus*, meule présentant généralement une morphologie plus complexe en raison de la présence de la trémie (cuvette d'entrée du grain) et d'un bord plat, la Hauteur maximale (H.) se confond avec la Hauteur du Flanc (HFL.). Par ailleurs il est parfois difficile d'y distinguer la profondeur de la trémie (HTr.) de la Hauteur du Cône (HCo.) lorsqu'il s'agit d'ébauches ou si le modèle est dépourvu de bordure. La connaissance de l'éventail des Angles (Conicités) pratiqué sur un atelier peut alors aider à y parvenir.

Dans les premières étapes du façonnage, il semble que sur certains modèles la réalisation des cônes de Mouture et de Trémie connaisse une même profondeur sinon un même diamètre, pour ne se différencier qu'aux étapes suivantes. Ainsi un Angle faible ne constitue pas une indication identifiant la Trémie, pas plus que l'absence de bordure plate ou qu'un Angle fort. Il existe en effet, à fortiori dans les rebuts de fabrication, des ratés dont un cône excessif ou l'oubli de façonnage du bord sont des figures potentiellement fréquentes.

15. La Hauteur du Cône détermine la Pente (également Angulation ou Conicité) d'une meule, ce paramètre est essentiel dans la configuration de la morphologie de la meule et sa valeur comme sa variation seront amplement développées dans le présent travail. HCo peut être soit mesurée directement par l'archéologue (règle et niveau à bulle) soit calculée à partir de la connaissance de l'angle et du demi-diamètre de la meule. Nous avons à cette fin mis au point un petit module (en ligne sur www.orviamm.com rubrique « Simulateur Angle ° et H. Cône » dans le 6è

bloc menu à gauche) qui permet de calculer HCo ou de varier cette Hauteur afin par exemple de définir quelles seraient, pour une ébauche, les valeurs finales de la Hauteur de l'Œil (HOE.) ou de la Hauteur Utile (HU. voir *infra*) à meule achevée. En effet, la HCo, valeur constante, est essentielle dans la définition de la H.Utile.

Les relations entretenues par la Hauteur avec le Diamètre et l'Angle seront abordées plus loin, notamment à propos de l'Usure (CHAP.18). Les relations avec les autres Hauteurs sont abordées dans la partie C du présent développement. Le registre des Hauteurs d'Orvieto et du corpus de comparaison seront traités dans le prochain Chapitre (CHAP.11).

3. Valeurs finies de Diamètre et Hauteur & Dimension en Carrière ou Norme métrologique

16. Nous avons vu au § 13 ci-dessus que les dimensions de D et H en carrière étaient obligatoirement supérieures à celles des meules finies en raison du processus de diminution ou de réduction que représente la taille de la pierre. A cet endroit se posent deux questions, l'une étant de savoir laquelle de ces deux dimensions matérialise la norme visée par la fabrication : s'agit-il du cylindre tracé en carrière ou bien de la meule finie ? La seconde question a trait à la relation entre la dimension brute de carrière et la dimension finie. On peut en effet tout à fait envisager qu'à plusieurs valeurs finies distinctes corresponde une seule dimension de cylindre, en particulier s'agissant de la réalisation de 2 gabarits voisins.

Ainsi, un diamètre fini de 18 dgt et un autre de 20 pourraient très bien procéder d'un modèle commun de cylindre de 22 dgt (un dgt mesure ca. 1,9 cm). A partir d'un tel patron brut, le meulier démaigrirait de 2 dgt pour obtenir la norme de 20 dgt (soit une diminution de 1 dgt tout autour de la meule ou 2 cm et donc de 2 dgt sur le diamètre). Le démaigrissement monte à 4 dgt (7 à 8 cm) pour un diamètre observant la norme de 18 dgt (c'est à dire une diminution de 2 dgt tout autour et donc d'environ 4 cm sur le rayon de la meule). De tels démaigrissements nous paraissent à priori tout à fait dans l'ordre des choses ordinaires de la taille de pierre et correspondent par exemple aux données observables à Autun Faubourg d'Arroux (cf. § 13.). Cela ne signifie pas pour autant que ces écarts constituaient la pratique dominante et que si tel était le cas dans un centre meulier cela l'était automatiquement dans tous.

17. Aussi serait-il intéressant d'identifier, pour chaque atelier étudié, le nombre de modules des cylindres et de le comparer avec le nombre des gabarits finis produit dans l'atelier. Peut-être certains centres producteurs préféraient-ils tracer et extraire autant de cylindres différents qu'ils fabriquaient de modèles, peut-être d'autres pratiquaient-ils une quantité limitée de cylindres-type et s'en remettaient à un démaigrissement plus important pour atteindre le gabarit exact de chaque modèle fabriqué ?

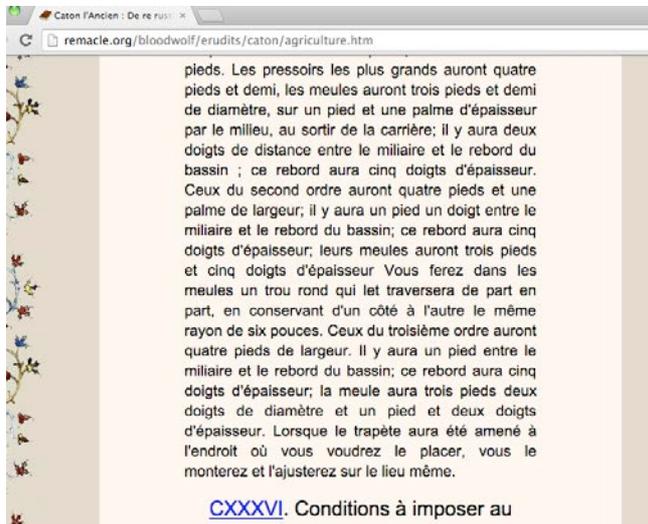
18. Revenons maintenant à la première des deux questions soulevées par le rapport entre dimension en carrière et dimension finie. Les valeurs finies⁵ des deux paramètres H et D sont en effet le reflet de la norme de gabarit et d'épaisseur qui caractérise le modèle produit.

A cet endroit s'introduit une discussion, importante pour la métrologie, celle de savoir si ce sont les dimensions du produit fini ou bien celles du cylindre en carrière qui correspondent aux normes dimensionnelles ciblées par la fabrication. Pour notre part nous inclinons à penser que les normes sont portées par la meule finie dans la mesure où il est plus aléatoire de les obtenir (et de les contrôler) au stade de l'extraction du cylindre brut voire à celui du bloc

⁵ Par convention, lorsque cela est nécessaire pour lever toute ambiguïté, nous indexerons *r* ou *n* (ainsi Hr ou Hu) les valeurs résultant de l'usure (Hr pour Hauteur restante et Hu pour Hauteur usée/utilisée) et Nf les valeurs à neuf (ainsi HNF pour Hauteur à neuf), un paramètre non indexé (tel que H) signifie qu'il s'agit de la valeur observée.

capable qui lui fait suite. Il nous paraît vraisemblable que les dimensions tracées sur le plancher de carrière soient augmentées (par ex. de 1 ou 2 ou 4 doigts) pour laisser place au procédé de diminution (qui est la loi de la taille de pierre) et permet d'atteindre avec la précision voulue la dimension requise.

Figure 15 : Caton, *Re Rustica*, CXXXV : dimensions des pressoirs (source : www.remacle.org)



19. On peut à cet égard invoquer Caton, dont la littérature est assez descriptive et technique (**Fig.15**) : lorsqu'il parle du pressoir ou du broyeur (*trapetum*) que toute bonne villa doit posséder pour le traitement des olives (*Re Rustica*, CXXXV) Caton fournit des dimensions précises en pied et en doigts, parfois en pouces.

Il indique que ces dimensions s'entendent « en sortie de carrière ». C'est à fortiori de dimensions finies dont il s'agit lors de percements (axe de la meule) pouvant être exécutés au moment de la pose : « vous ferez dans les meules

un trou rond qui les traversera de part en part, en conservant d'un côté à l'autre le même rayon de 6 pouces ».

20. Un ou plusieurs témoignages antiques écrits ne sauraient cependant suffire à faire loi et la preuve par les objets eux-mêmes reste nécessaire. Aussi, l'hypothèse que les dimensions finies correspondent aux normes antiques visées, de même que l'hypothèse contraire, appellent enquête et démonstration.

Aucune carrière n'ayant à ce jour été fouillée à Orvieto on ignore les dimensions des cylindres de ce centre producteur ainsi que celle de leur empreinte sur le plancher carrier, il est donc actuellement impossible de comparer la dimension des cylindres avec les valeurs finies des meules orviétanes. On peut néanmoins par exemple attendre des données du travail doctoral entrepris par Luc Jaccottey qui dispose en Bourgogne d'un référentiel archéologique en carrière et de possibilités de comparer avec les produits finis.



Figure 16 : Meta d'Orvieto - Angle Latéral ou Conicité (en bleu)

4. La Conicité ou Pente (Angle latéral)

21. La Conicité d'une meule (**Fig.16, en bleu**), dite aussi Pente ou Inclinaison, se mesure par l'Angle Latéral (L°) formé entre la face inclinée de la surface de travail et l'horizontale (soit le plan du diamètre).

L'Angle sommital ou pointe de la meule n'existe pas en pratique car il correspond à un état provisoire, cette pointe fragile étant détruite par le creusement de l'œil. L'Angle sommital est une réalité toute géométrique, éphémère sur les ébauches elles-mêmes où elle apparaît souvent endommagée par les manipulations du bloc lors du façonnage. Sa valeur peut en revanche être intéressante pour appréhender la géométrie pratiquée par les meuliers. Elle correspond naturellement à un triangle, soit 180° moins 2 fois l'Angle Latéral. La pointe théorique de la meule sera ainsi de 134° pour une meule rotative à pente forte (23°) et de 160° pour une angulation modérée de 10° . On remarque ainsi d'emblée que l'Angle sommital des MRB est très supérieur à l'Angle Droit et plutôt proche de l'Angle Plat. L'Angle Latéral d'une meule est non seulement une grandeur concrète mesurable sur l'objet lui-même y compris sur un fragment mais il exprime par un nombre faible une conicité faible. Il est donc préféré dans l'approche archéologique des meules.

22. En pratique il apparaît probable que les meuliers ne mesuraient pas des angles mais qu'ils les appréhendaient et les faisaient concrètement naître à partir de longueurs. Il leur suffisait en effet (Fig.17) de reporter la Hauteur de Cône sur le côté du tambour initial (bloc capable régularisé) pour que, sous l'outil et depuis le centre vers le bord, abaissant la pierre ils obtiennent un cône des plus réguliers.



Figure 17 : Définition de la Conicité d'une Meta par probable report de la longueur HCo sur le côté du tambour initial

La Hauteur de Cône (HCo) devait leur être fournie par une table à double entrée mettant en correspondance les Angles à fabriquer dans chacun des différents diamètres, la Hauteur de Cône étant inscrite à l'intersection D / Angle. Il est probable qu'une telle table était élaborée ou achetée par le contremaître technique (*conductor*) de l'officine, par le régisseur (*curator, officinator*) ou par son propriétaire (*dominus, possessor*).

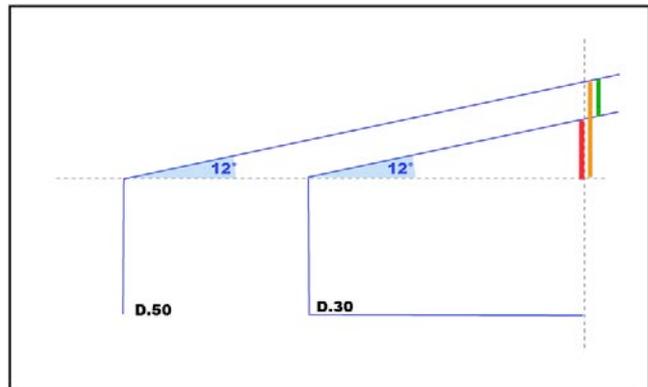


Figure 18 : Pour un même Angle, la Hauteur de Cône augmente avec le Diamètre

23. Pour un Angle constant la Hauteur du Cône va croître avec le diamètre. Ainsi par exemple (Fig.18) un Angle moyen de 12° génère un cône haut de 3,2 cm si le diamètre est de 30 cm mais le cône atteindra 5,4 cm si le diamètre de la meule est, avec le même angle, porté à 50 cm.

La première conséquence est qu'il est de ce fait possible que les meuliers antiques classaient les meules non pas selon leur Conicité mais plus probablement selon leur Hauteur de Cône dans un même diamètre ou gabarit (cf. CHAP.12 et 17).

La seconde conséquence qui en dérive est une contrainte. On remarque en effet, toujours avec l'exemple de la Fig.18 et une conicité de 12° , qu'aux diamètres de 30 et 50 cm correspondent une HCo de respectivement 3,24 et 5,40 cm. La différence est de 2,16 cm. Ainsi, entre ce qui constitue à peu de chose près les bornes minimale (30 cm) et maximale (50 cm) des diamètres d'une MRB la « course » de Hauteur de Cône s'avère très restreinte. Autrement dit, il s'avère difficile de réaliser une gamme de diamètres bien différenciés dans une même conicité.

Dans notre exemple de meules à 12°, fabriquer un diamètre de 40 cm signifie réaliser une Hauteur de Cône distante de 1,08 cm par rapport à la meule de 30 cm et à celle de 50 cm. Par conséquent seule une gamme de 3 gabarits distants est véritablement réalisable, qui privilégie d'ailleurs les grands diamètres (40 et 50 cm).

24. Il en résulte que la réalisation d'une gamme variée de Diamètres contraint un centre producteur à utiliser un registre varié de conicités. C'est justement ce que l'on observe sur à la fois les ateliers ou les sites d'utilisation où sont fabriqués plusieurs diamètres et plusieurs conicités. Dans ce cadre, un examen croisé des diamètres réalisés dans chaque conicité et des diamètres non fabriqués est riche d'enseignements sur les choix opérés par l'atelier et sur les paramètres qui sont privilégiés par chaque centre producteur. Nous réaliserons cet examen pour Orvieto (cf. CHAP.12) en opérant également quelques comparaisons.

Figure 19 : Ecart de la Hauteur de Cône (2,26 cm) entre diamètres distants de 10 cm si l'angulation est forte (ici 23°)

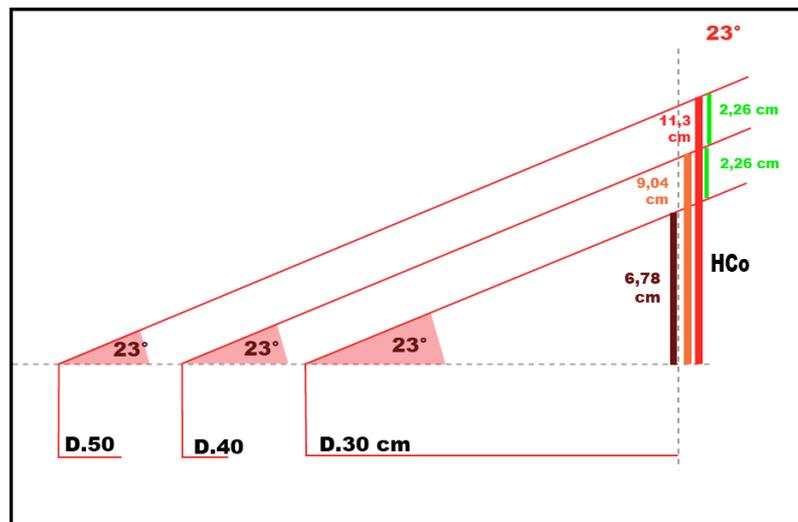
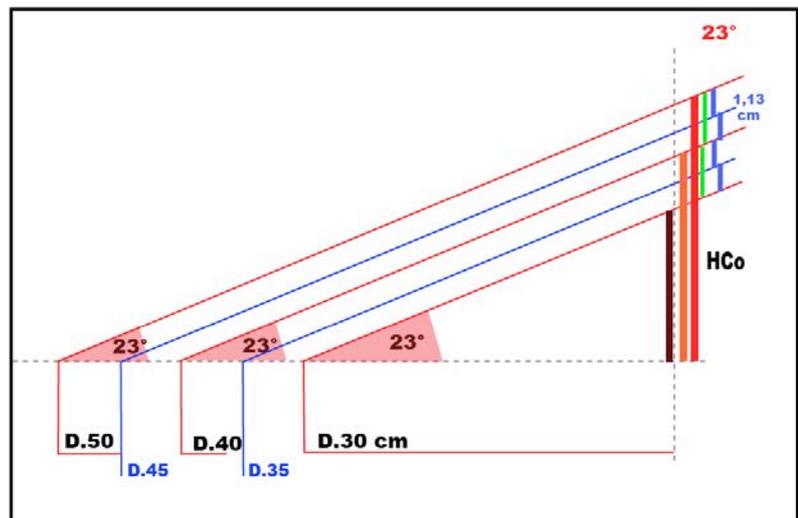


Figure 20 : Diamètres supplémentaires réalisables (HCo croissant de 1,13 cm) avec une angulation forte (ici 23°)



25. Une autre conséquence de la relation entre la conicité et le diamètre est qu'une angulation forte de la meule autorise en théorie la fabrication d'une gamme élargie de diamètres (Fig.19 et 20). En effet, avec l'angulation maximale observée sur les MRB (ca.

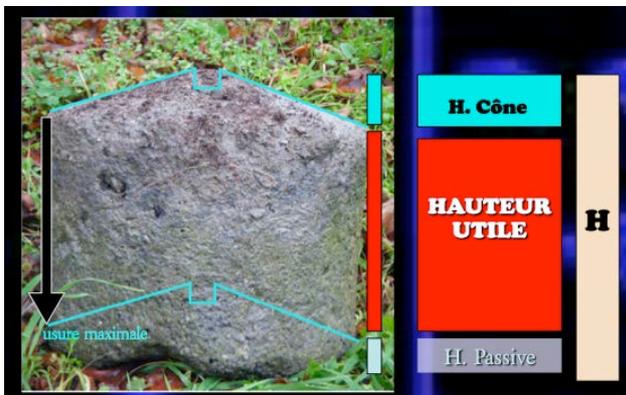
10% du corpus), on relève que l'écart de Hauteur de Cône entre les diamètres de 30/40/50 cm est de 2,26 cm (Fig.19). Si l'on considère, ce qui est raisonnable en taille de pierre dure, une finesse (précision) de travail de l'ordre du centimètre, alors sont réalisables avec cet angle 2 Diamètres supplémentaires par rapport à un angle de 12° : les diamètres de type 35 et 45 cm ont en effet une HCo distante de 1 cm (exactement 1,13) rapport à chaque diamètre voisin, soit le même pas ou écartement qu'avec la conicité de 12° (1,08 cm).

Au-delà de ce registre, la fabrication de diamètres supplémentaires tels que 27/32/37/42/48 cm, tout à fait couramment observés dans les séries meulières, réclame une finesse de taille au demi-centimètre près (soit ¼ de *Digitus*) afin de réaliser des Hauteurs de Cône de type moitié de 1,08 cm (HCo de la conicité 12° pour un écart de diamètre de 10 cm) ou moitié de 1,13 cm (écart de HCo de la conicité 23° pour des diamètres distants de 10 cm).

C. Le Temps, paramètre caché : Hauteur Passive, Hauteur Utile et Longévité des Meules

1. Composantes de la Hauteur

26. La Hauteur totale d'une meule se décompose en 3 segments, 2 non soumis à usure et donc invariables, et 1 autre variable car soumis à usure. Les 2 segments fixes sont d'une part la Hauteur du Cône (HCo) et d'autre part la Hauteur Passive (**Fig.21**). La troisième composante de la Hauteur, généralement la plus développée des trois, correspond à l'épaisseur usable, soit la hauteur de pierre consommable par usure. On l'appellera ici Hauteur Utile (HU).



Cette composante de la Hauteur totale transcrit, en cm de pierre, la longévité d'une meule neuve ou la durée restante d'une meule en cours d'usure⁶. La Hauteur Utile est donnée par la formule :

$$HU = H - (HCo + HP)$$

Figure 21 : Les 3 composantes de la Hauteur d'une meule

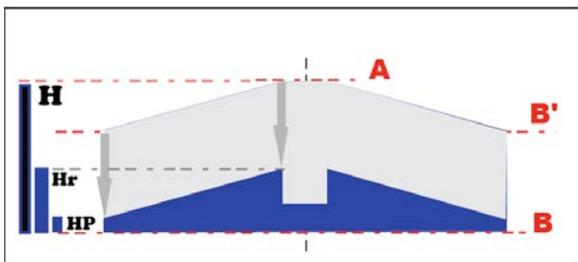


Figure 22 : L'Usure d'une *Meta* ou descente du cône (en bleu foncé la *Meta* résiduelle)

A. Hauteur Utile et Hauteur Passive d'une *Meta*

27. Le processus d'usure peut en effet se ramener, dans le cas d'une *Meta*, à la descente progressive du Cône (plan A et B') vers le plan fixe B qui constitue l'assise de la meule. L'usure est arrivée à son terme lorsque le Cône ne peut plus descendre et la *Meta* atteint alors une forme résiduelle (en bleu sur la **Fig.22**).

En théorie, la Hauteur finale de la meule usée (HR pour Hauteur Résiduelle) serait constituée par la Hauteur du Cône, le plan B' migrant vers le bas et rejoignant le plan fixe B avec lequel il se confond désormais.

En pratique, la Hauteur finale (HR) correspond rarement à la seule Hauteur du Cône (HCo) car il existe le plus souvent une seconde hauteur, incompressible et sans laquelle la meule se briserait. On appellera cette épaisseur incompressible la Hauteur Passive Incompressible (HPi), elle est régulièrement observée sur des *Metae* parvenues à leur terme d'usure (**Fig.23**). La Hauteur Résiduelle d'une *Metae* correspond donc au cumul de HCo et de HPi.

Figure 23 : Exemples de *Metae* en état d'usure maximale

⁶ Chaque meule possède ainsi une durée ou Capital Horaire, l'épaisseur s'usant en 1 heure d'utilisation dépend du type de pierre et pour partie des denrées soumises au broyage ; cet aspect est abordé dans l'**ANNEXE 20** « EXPERIML ».

Meta très usée d'Ensérune



Meta très usée d'Hyllestad (Norvège)

in BAUG, OYSTEIN 2013

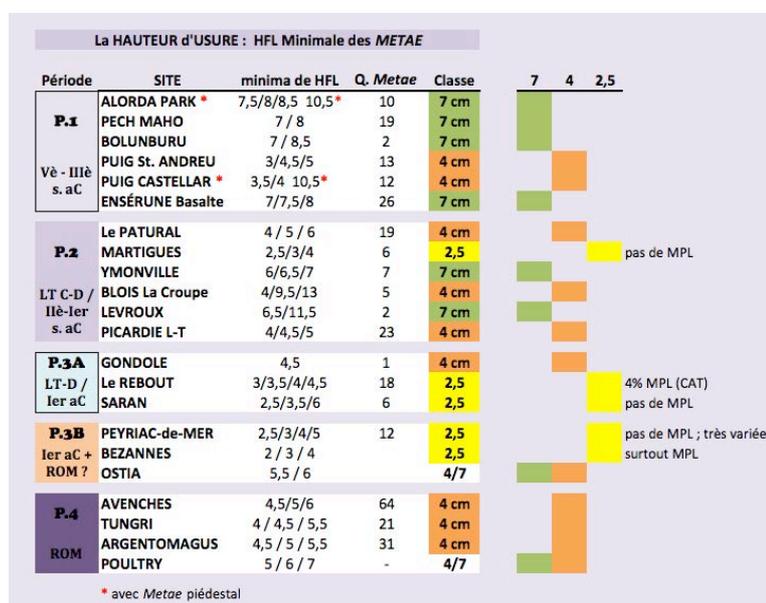


Fig.11. A beautiful, well-used quernstone (lower stone) from Hyllestad, Norway, on display at the National Museum of Iceland, Reykjavik. Diameter 44 cm. Photo: Øystein James Jansen.

28. Ainsi, en présence d'une *Meta*, on devient en mesure de calculer la Hauteur Utile qui reste inscrite dans son épaisseur, ceci en retranchant de la Hauteur observable (H) à la fois la Hauteur de Cône et la Hauteur Passive : $H_{Ur} = H - (H_{Co} + H_P)$.

La difficulté tient à notre ignorance de H_P , qui par définition ne peut être observée sur les pièces neuves ou ébauchées des Ateliers. Néanmoins, la valeur de H_P nous est fournie par les épaisseurs minimales observables sur des séries de *Metae* provenant des sites d'Utilisation et de Rejet. En effet, comme on le voit bien sur la Fig. 23, s'agissant d'une *Meta*, H_P est donnée par la Hauteur de Flanc (HFL) qu'il reste sur les exemplaires les plus usés.

Figure 24 : Exemples d'Épaisseurs résiduelles de *Metae* (usure maximale)



29. La Hauteur Passive d'une *Meta* se répartit en 3 classes, de 2,5 cm, 4 cm et 7 cm (Fig.24). Ces valeurs récurrentes semblent correspondre respectivement à 1 Pouce, à 1,5 et 2,75 PCE⁷. Sauf raison particulière de retenir une H_P de 2,5 ou 7 cm, on retiendra généralement que la Hauteur passive est de 4 cm.

30. Il devient dès lors possible de connaître la Durée restante d'une meule en calculant la Hauteur Utile restante (H_{Ur}).

Ainsi, en présence d'une *Meta* dont la Hauteur totale (H) observable est de 8 cm et dont la Hauteur de Cône (H_{Co}) est de 2,5 cm, la Hauteur de Flanc (HFL) sera de 5,5 cm ($H - H_{Co}$ soit $8 - 2,5$). Si sa Hauteur Passive (H_P) est de 4 cm, alors la Hauteur consommable restante ou Hauteur Utile restante (H_{Ur}) est de 1,5 cm ($H_{Ur} = HFL - H_P$). Le même résultat peut naturellement être obtenu par la formule $H_{Ur} = H - (H_{Co} + H_P)$ soit $8 - (2,5 + 4)$.

⁷ La correspondance en doigt (16è du Pied), plus habituellement rencontré sur les divers paramètres des MRB est ici moins bonne.

31. Il devient dès lors possible de calculer le degré d'Usure d'une *Meta* en rapportant la Hauteur Utile restante (H_{Ur}) à la Hauteur Utile à Neuf (H_{UNf}), cette dernière pouvant être soit connue à partir des exemplaires d'Atelier soit restituée sur une base statistique (voir **CHAP.18**).

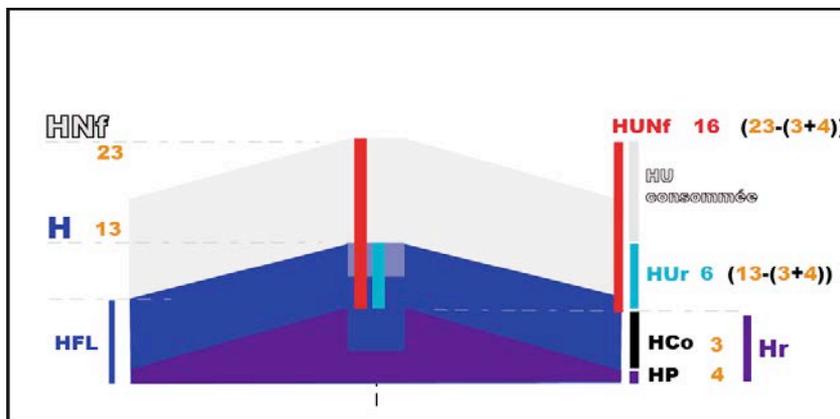
Ainsi devant une *Meta* dont la Hauteur est 13 cm et la Hauteur de Cône 3 le calcul de sa Hauteur Utile restante (H_{Ur}) s'établit comme suit :

$$H_{Ur} = H - (H_{Co} + H_P) = 13 - (3 + 4) = 6 \text{ cm}$$

La Durée restante de la *Meta* (H_{Ur}) est donc de 6 cm. Or sur les modèles similaires de l'Atelier correspondant la Hauteur maximale à Neuf (H_{Nf}) est de 23 cm. Je calcule donc la Hauteur Utile à Neuf (H_{UNf}) :

$$H_{UNf} = H_{Nf} - (H_{Co} + H_P) = 23 - (3 + 4) = 16 \text{ cm}$$

Par conséquent, l'**Usure** de la meule (*Meta*) est donnée par la formule : H_{Ur} / H_{UNf} soit 37,5 % (6/16) et le **Degré d'Usure** donné par la formule $(H_{UNf} - H_{Ur}) / H_{UNf}$ s'établit à 62,5% ((16-10)/16).



Les paramètres (H , H_{Nf} , H_{Co} , H_P , H_{UNf} , H_{Ur}) et les calculs sont indiqués sur la **Fig.25** selon les états d'usure de la *Meta*. Cette méthode de calcul du Degré d'Usure d'une *Meta* est la plus précise. Nous y reviendrons ultérieurement dans le Chapitre consacré à l'Usure (**CHAP. 18**).

Figure 25 : Etat Neuf (en grisé), en cours (en bleu) et totalement usé (en violet) d'une *Meta* : calcul du Degré d'Usure (H_{Ur} / H_{UNf}) soit Hauteur Utile restante divisée par Hauteur Utile à Neuf

B. Hauteur Utile et Hauteur Passive d'une *Meta* : cas particulier des *Metae* dont la base est évidée

32. Il est cependant des *Metae* pour lesquelles la définition de la Hauteur Utile (H_U) est un peu différente car ce n'est plus H_{Co} et H_P qu'il faut prendre en compte mais une autre hauteur partant elle aussi de l'assise de la meule : la Hauteur d'Evidement H_c , dès lors qu'elle est supérieure à H_{Co} . C'est ainsi le cas des *Metae* qui présentent un évidement de leur base, telles celles d'Orvieto (**Fig. 26**). Ces cas d'évidement sont plutôt rares et apparaissent comme un marqueur d'Orvieto.

Figure 26 : Meta R.27-1 d'Orvieto avec important évidement de l'assise

La *Meta in situ* dans un jardin de Tamburino: elle est disposée, comme souvent pour les *Metae*, de manière renversée (cône en terre ou au sol) afin que l'anneau de pose de la base originelle serve de calage pour un bac à fleur (les plantations directes dans une terre remplissant l'évidement sont très rares).

Cette *Meta*, d'un diamètre à la base (DB) de 34,5 cm devenant 31 cm à l'Epaule (DEp), présente une Hauteur de 34 cm. Elle s'inscrit donc dans un bloc capable cubique (34 x 34 cm soit 20 DGT³ du Pied de 28,2 cm). Le bloc capable initial mesurait 43.800 cm³ et pesait 96,350 kg⁸. La préforme cylindrique qui en a été tirée pesait 75,680 kg après une perte de 21,4% due au cylindrage. L'évidement de l'assise selon un diamètre de 25,5 cm et une hauteur de 16,5 (angle de 53°) a entraîné une perte supplémentaire de 2.809 cm³, le démai-grissement du bloc atteignant désormais 27,8% du volume initial (bloc capable cubique). Le diamètre du cône (31 cm) correspond à 18 dgt du Pied de 28,2 (31,72 cm attendus) soit une diminution de 2 dgt. Pour définir le cône les meuliers ont donc réduit le cylindre de 1 dgt sur tout le pourtour, le rayon passant de 10 à 9 dgt. Pour un cône haut de 3,5 cm soit 2 dgt (3,52 cm attendus) la conicité s'établit à 12,5°.

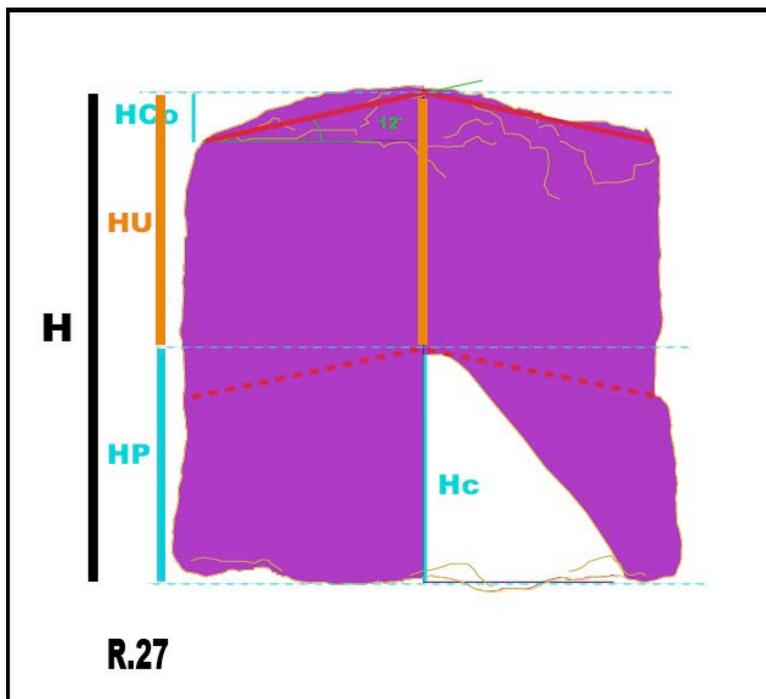


Figure 27 : Hauteur Utile de la Meta R.27-1

33. Dès lors que la Hauteur de l'Evidement Hc (figurée en orangé) est plus importante que celle du Cône (Hc > HCo), la Hauteur Utile correspond à la différence entre la Hauteur totale (H) et la Hauteur de l'Evidement (HC). La formule qui s'applique pour le calcul de la Hauteur Utile n'est plus en ce cas

$$HU = H - (HCo + HP)$$

mais :

$$HU = H - Hc$$

34. Si l'on revient à l'exemple de la *Meta* R.27-1 d'Orvieto, considérant ainsi la Hauteur totale H. 34 cm et celle de l'Evidement Hc. 16,5 cm, on obtient une Hauteur Utile (HU) de 17,5 cm (HU = H - Hc soit HU = 34 - 16,5 cm).

En l'occurrence il s'agit d'une HU à Neuf (HUNf) puisqu'il s'agit d'une ébauche et vraisemblablement d'un exemplaire neuf puis que, comme on peut le voir dans l'Encart suivant, ses paramètres semblent fixés (seul HCo pourrait baisser lors de la finition, passant 3,5 cm soit 2 dgt à 1,5 dgt soit 2,25 cm et donc une pente de 9,5°).

⁸ Poids calculé sur la base d'une densité de 2,2 g/cm³.

ENCART

La Meta R.27-1 d'Orvieto

Cette *Meta* nous servant d'exemple pour la définition des paramètres des Meules Rotatives Basses (MRB) nous avons choisi de la présenter ici en détail, analyses géométrique et métrologique comprises. Cela permet de présenter les notions que nous proposons ou utilisons de manière concrète, à travers l'application à un cas précis.

1- PHOTOS

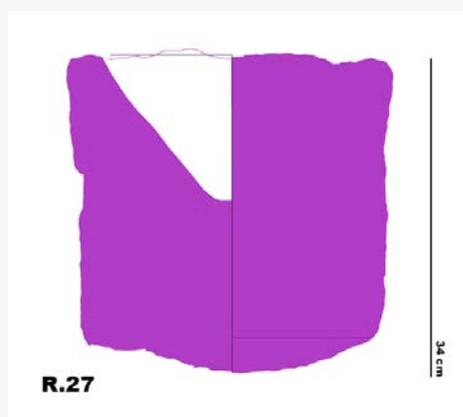
A- R.27-1 dans son contexte



B- Vue rapprochée

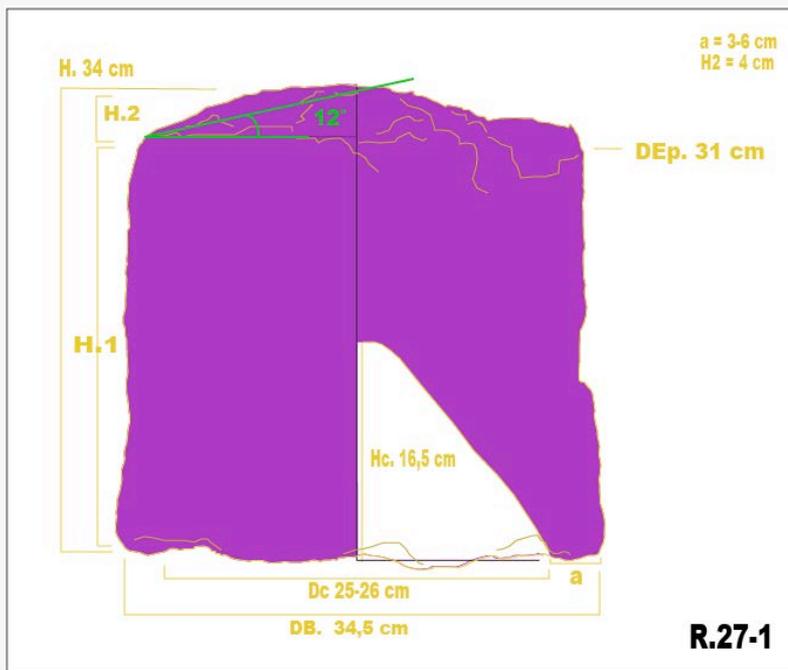


C- Profil



D- Dessin du Profil en position originelle

2- PROFIL & DIMENSIONS



DB. 34,5 cm
 DEp. 31 cm
 Dc. 25,5 cm
 H. 34 cm
 HCo. 4 cm
 HFL. 30 cm
 Hc. 16,5 cm
 a 3 à 6 cm

12°

La Hauteur totale (H) et le Diamètre Maximal (DB) étant équivalents (34 et 34,5 cm), la meule s'inscrit dans un volume cubique qui reflète le bloc initial d'où elle a été tirée (Bloc capable) même si ce dernier pouvait être d'une envergure légèrement supérieure.

Diamètre et Hauteur équivalents confère à cette *Meta* un Indice de Rectangularité du profil (IREC) de 101% qui est original puisque l'IREC des meules neuves s'établit en général autour de 220% (sans doute 225% c'est à dire un Diamètre valant 5/4 de la Hauteur ou $D = 2,25 H$).

3- ANALYSE Métrologique

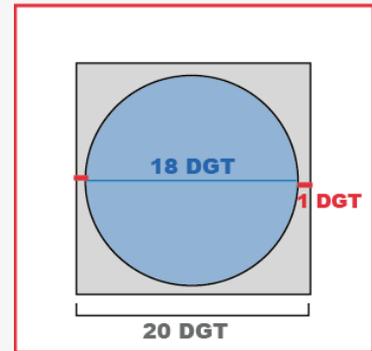
Les Meules Rotatives Basses d'Orvieto paraissent régies par une double métrologie : un pied principal (28,2 cm) s'avère complété par le Pied de 29,25 cm (dit de Vin-donissa et attesté également à Bolsena).

Ces 2 pieds permettent de réaliser dans principalement 3 conicités (10°-19°-22°) la totalité de la gamme des gabarits des MRB d'Orvieto. Le Pied de 29,25 ne fabrique pas de meules supérieures à un gabarit de 20 dgt tandis que le Pied de 28,2 réalise l'importante fraction que représentent les gabarits de 21 et 22 dgt. Les dimensions de la *Meta* R.27-1 renvoient

Métrologie de la Meta Orvieto R.27-1					
DB. 34,5	DEp. 31	H. 34 cm	Hc. 16,5 cm	HU. 17,5 cm	Dc. 25,5
Pied de 28,2					
18 DGT =	31,73	= DEp (- 0,73 cm)			
20 DGT =	35,25	= DB (- 0,75 cm) = H (- 1,25 cm)			
22 DGT =	38,78				
24 DGT =	42,30				
10 DGT =	17,63	= HU (17,5 cm)			
		= Hc (16,5 cm) (- 1,13 cm)			
9 DGT =	15,86	= Hc (16,5 cm) (+ 0,64 cm)			
2 DGT =	3,53				
2,5 DGT =	4,41	valeurs possibles de a (Anneau de Pose)			
3 DGT =	5,29				
3,5 DGT =	6,17				
4 DGT =	7,05				
Pied de 29,25					
17 DGT =	31,08	= Dep (+ 0,08 cm)			
18 DGT =	32,91	DEp (-1,91 cm)			
19 DGT =	34,73	= DB (- 0,23 cm) = H (- 0,73 cm)			
20 DGT =	36,56	DB (- 2,06 cm)			
10 DGT =	18,28	= HU 17,5 cm (- 0,78 cm)			
		Hc 16,5 cm (- 1,78 cm)			
2 DGT =	3,66				
2,5 DGT =	4,57	valeurs possibles de a (Anneau de Pose)			
3 DGT =	5,48				
3,5 DGT =	6,40				

toutes à ces deux pieds. Cependant, le fait que le Pied de **28,2** donne des gabarits pairs (18/20/10 dgt) correspondant à des palmes ou demi-palmes (2 dgt) suggère une plus forte probabilité que la meule ait été régie par le Pied de **28,2** cm.

Dans ce cadre, cette *Meta* aurait été tirée d'un bloc capable initial cubique mesurant 20 x 20 x 20 dgt, ensuite diminué en une pré-forme cylindrique d'un diamètre de 20 dgt pour une hauteur identique. Le diamètre du cône (31 cm soit 18 dgt) a enfin été obtenu en réduisant le diamètre général de 2 dgt, c'est-à-dire en retranchant 1 dgt au rayon initial de 10 dgt. Il est possible que le bloc capable de départ ait excédé la dimension canonique de 20 dgt.



Il est par ailleurs probable que l'Evidement de l'assise de la *Meta* (Hc) ait été calculé : en effet ses 9 dgt correspondent

presqu'à la moitié du diamètre général (DB 20 dgt) et à l'exacte moitié du diamètre du cône (18 dgt). Il est également possible que la Hauteur Utile (HU) ait été calculée puisqu'avec 17,5 cm elle correspond exactement à 10 dgt et à la moitié du diamètre (DB). Dans ce cas la HU, attribut indirect issu de la combinaison de plusieurs paramètres configurants constituerait, dans la production d'Orvieto, un paramètre perçu et contrôlé, ce qui traduirait une grande maîtrise géométrique et de préconception des objets.

On ignore si l'Evidement central (Hc) répond également à des normes ou s'il ne résulte pas simplement du choix assez aléatoire d'une profondeur qui serait sans grande incidence et largement laissée à l'appréciation du meulier. Sur la R.27-1, l'anneau de pose (a) endommagé ou inachevé, varie de 3 à 6 cm ce qui rend difficile une transposition métrologique. Néanmoins on peut, sur la base de notre tableau, tester différentes configurations, admettant par familiarité avec les MRB orviétanes qu'une largeur de 6 cm correspond vraisemblablement à un état d'inachèvement.

Sachant que le diamètre de l'Evidement (Dc) correspond au diamètre de la base (DB soit 20 dgt) moins 2 largeurs de l'anneau de pose (a), Dc varie de 16 à 14 dgt (a) mesurant 2/2,5/3 dgt pour une hauteur (Hc) de 9 ou 10 dgt. Il en résulte que l'angle de l'évidement de l'assise de la meule varie autour de 50° (28 à 55°). On semble loin des valeurs géométriques canoniques telles que 60, 45° ou même 67,5°. En revanche un angle de 53° pour la base de l'évidement donnerait un angle sommital (pointe interne de l'évidement Hc) de 74° correspondant à 73,125° (soit 13/16è de l'angle droit pour la pointe et 19/16è pour la base) tandis qu'un angle de 50° correspondrait à 50,625° (soit 18/16è) et à un sommet de 78,75° (soit 14/16è). L'angle de 53° serait produit par un diamètre d'évidement de 15 ou 14 dgt, c'est-à-dire un anneau de pose large de 2,5 ou 3 dgt (4,4 ou 5,3 cm) tandis que l'angle de 50° correspondrait à un diamètre de 15 ou 16 dgt et donc à un anneau large de 2,5 ou 2 dgt (soit 4,4 ou 3,5 cm).

Il est donc possible que l'angle du cône d'évidement de l'assise de la *Meta* R.27-1 réponde à une géométrie déterminée et que sa profondeur ne soit en rien aléatoire.

4- VOLUME, POIDS, RÉDUCTION

1/ Volume du Bloc Capable Cubique initial

$$20 \text{ dgt soit cm } 35,25^3 = 43.800,3 \text{ cm}^3$$

$$\text{Poids du Bloc Capable Initial pour } 2,2 \text{ g/cm}^3 : 96,360 \text{ kg}$$

2/ Volume du Cylindre

$$\begin{aligned} \text{volume} &= \Pi \times (10 \text{ dgt})^2 \times 20 \text{ dgt} & D. 20 \text{ dgt} \times H. 20 \text{ dgt} \\ & & = \Pi \times (17,62 \text{ cm})^2 \times 35,25 \text{ cm} \\ & & = 34.400,7 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

perte au cylindrage = 9.400 cm³ soit 21,4% du Bloc Initial

Poids du Cylindre pour 2,2 g/cm³ : 75,680 kg

3/ Perte à l'Evidement de l'assise

$$\begin{aligned} \text{Volume de l'Evidement} &= (\Pi \times (12,75)^2 \times 16,5 \text{ cm})/3 & Hc. 16,5 \text{ cm} \quad Dc. 25,5 \text{ cm} \\ &= 2.808,9 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Poids du Cylindre évidé pour 2,2 g/cm³ : 69,500 kg

perte à l'Evidement = 8,1% du cylindre et 6,4% du Bloc Initial

Total perte sur le Bloc Initial = 27,8%

4/ Perte au Façonnage du Cône de 12°

$$\begin{aligned} \text{Volume du cône} &= (\Pi \times (15,5)^2 \times 4 \text{ cm})/3 & HCo. 4 \text{ cm} \quad DEp. 31 \text{ cm} \\ &= 1.006,3 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume de la Perte = 2.012,7 cm³

= 5,8 % du cylindre et 4,6% du Bloc Initial

Total perte sur le Bloc Initial = 32,4%

5/ Volume de la Forme finale de la Meta :

$$(34.400,7 - 2.808,9 - 2.012,7 \text{ cm}^3 = 29.579 \text{ cm}^3)$$

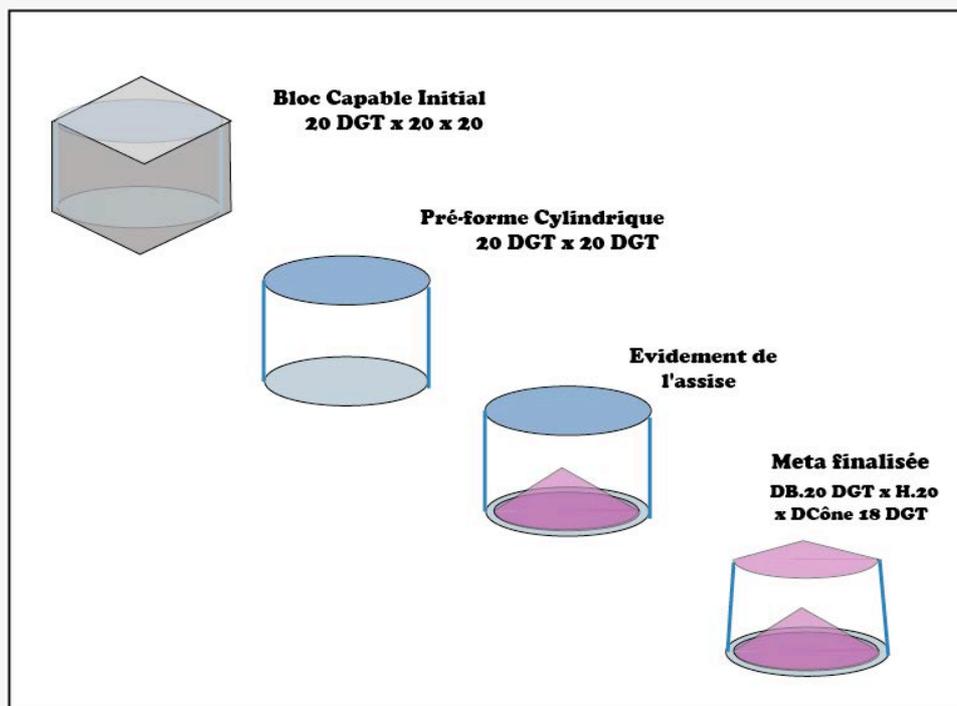
soit 67,5% du Bloc Capable Initial

Poids de la Meta finale pour 2,2 g/cm³ : 65,0 kg

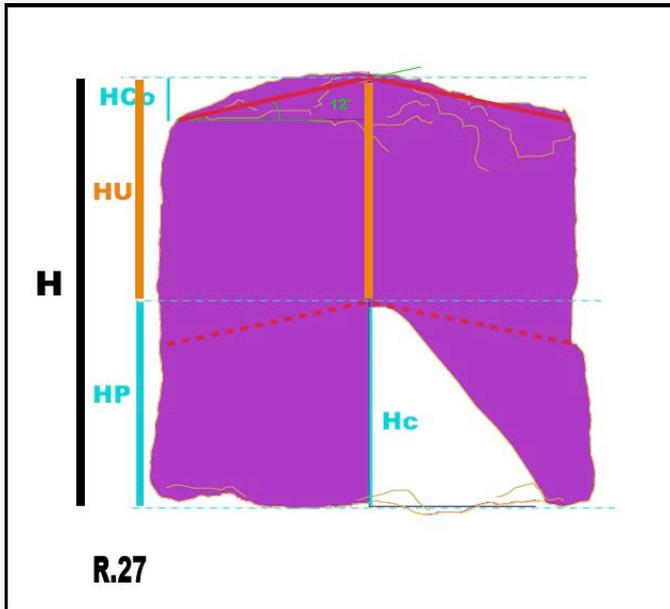
= 29.600 cm³

NB : la perte due au passage du Diamètre de la Base (DB) de 20 dgt à celui de 18 dgt pour le Diamètre du Cône (DEp) n'est pas prise en compte

5- CHAINE OPÉRATOIRE de la Meta R.27-1



6- Détermination de la HAUTEUR UTILE



H. 34 cm
 HCo. 4 cm
 HP = Hc. 16,5

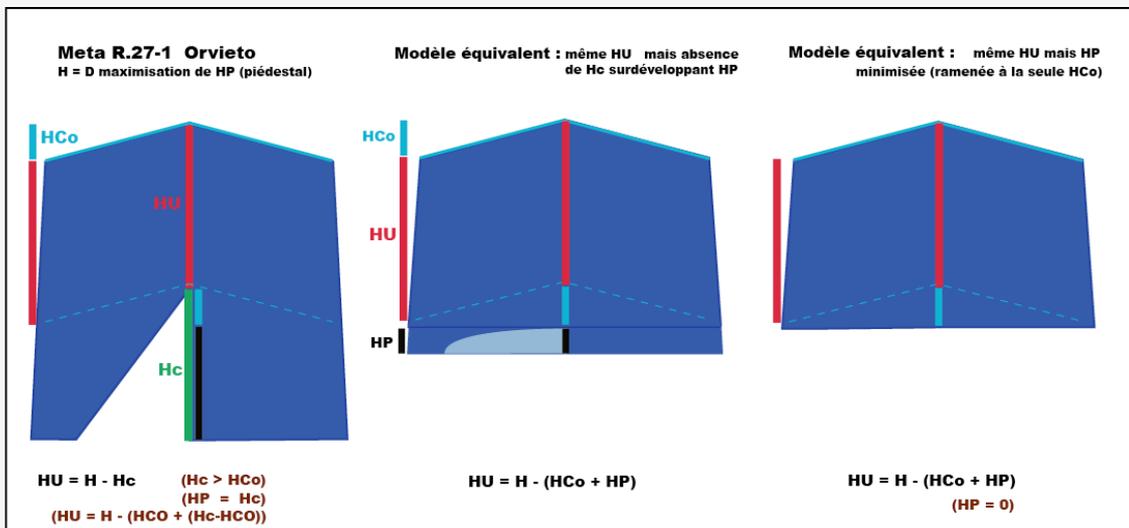
$H_c > H_{Co}$
 HP = Hc



$$HU. = H - H_c$$

HU = 34 - 16,5
 HU = 17,5 cm
 soit 50% de H.

7- Même MODÈLE (même H.UTILE) mais sans la sur-épaisseur qui développe la HAUTEUR PASSIVE et confère une fonction de support (piédestal)



HC étant supérieure à HCo, la formule qui s'applique est $HU = H - H_c$
 soit $34 - 16,5 = 17,5$ cm

La Hauteur Utile (HU) correspondant à 51,4% de la Hauteur totale (H), on dira que cette *Meta* présente un Rendement en Hauteur utile de 51 %.

Sur la Figure ci-dessus sont représentés 2 modèles strictement équivalents (mêmes diamètres, même conicité) et dotés de la même HU, seule diffère la Hauteur : le modèle du milieu comporte une Hauteur Passive de 4 cm tandis que celui de droite en est dépourvu, leur Hauteur totale s'établit respectivement à 25,5 et 21,5 cm.

Le modèle de type Orvieto R.27-1, à piédestal, est rare et caractérise Orvieto ainsi que toute une partie des MRB les plus anciennes, sur les sites d'Espagne du Nord-Est.

Le modèle du milieu, avec HP incompressible de 4 (voire 7 cm) est le plus commun dans les populations meulières de l'Age du Fer et de l'époque Romaine.

Le Volume de ce modèle du s'établit à **22.873 cm³**.

D. 20 dgt (35,25 cm) et H. 25,5 cm (HU 17,5 + HCO 4 + HP 4)

Soit un volume = $\Pi \times (35,25/2)^2 \times 25,5 \text{ cm} = 24.885,6 \text{ cm}^3$ diminué de la

Perte due au façonnage du cône de D. 18 dgt (31 cm) et H. 4 cm

soit $(\Pi \times (15,5)^2 \times 4 \text{ cm})/3 = 2.012,7 \text{ cm}^3$

Le poids de ce modèle courant s'établit donc (pour 2,2 g/ cm³) à **50,32 kg**.

Pour une même longévité, une même Surface Utile et un même encombrement, ce modèle (que l'on pourrait dire « Gaulois stabilisé ») réduit le poids de 22% et la hauteur de 25% par rapport à la même *Meta* en version piédestal (50 kg vs 65 et H. 25,5 vs 34 cm).

8- Le Rendement en HAUTEUR UTILE des 3 modèles

La *Meta* R.27-1 et les deux modèles sans piédestal correspondant présentés ci-dessus comportent une même Hauteur Utile mais diffèrent par leur Hauteur totale (H.25,5 et 21,5 cm contre 34 à la *Meta* R.27-1). On peut donc comparer le Rendement en Hauteur Utile de ces 3 fabrications :

Meta R.27-1 HU 17,5 / H 34 Rendement HU = 51 %

Modèle du milieu HU 17,5 / H 25,5 Rendement HU = 68 %

Modèle H. 21,5 HU 17,5 / H 21,5 Rendement HU = 81 %

Il apparaît ainsi que les modèles qui minimisent leur composante en Hauteurs Passives augmentent leur rendement en Hauteur Utile, économisant matière et travail. Cependant il convient de garder à l'esprit que la Hauteur Utile de ces 3 modèles est identique et que par conséquent ces 3 meules ont une même longévité. Elles ne se différencient donc pas du point de vue de l'utilisateur. L'optimisation éventuelle qui résulterait de l'augmentation du rendement en HU, d'une économie de matière et de temps de travail ne concernerait donc que la seule instance de production.

9- Le caractère trapu ou aplati des meules : l'IREC

Il n'est pas inutile par ailleurs de se pencher sur un autre aspect de ces 3 modèles, l'IREC (défini au **CHAP. 18**). En effet, les meules sont fabriquées de manière plus ou moins trapue selon l'importance donnée à leur Hauteur totale. La *Meta* R.27-1 d'Orvieto donne un exemple de meule où la Hauteur égale le diamètre et la tradition des plus anciens moulins, en Catalogne au Vè s. aC, fournit des modèles où la Hauteur dépasse largement le diamètre (par ex. sites d'Els Vilars d'Arbeca ou d'Alorda Park).

Le caractère plus ou moins trapu ou plat d'une meule peut se mesurer par ce que nous appelons l'Indice de Rectangularité du profil (IREC). Cet indice est constitué par le rapport D/H donné en pourcentage. Ainsi une *Meta* d'un diamètre de 30 cm et haute de

15 cm présente un IREC de 30/15 soit 200%. Cet indice permet de classer les meules, principalement les *Metae*, selon leur modèle morphologique essentiel.

La *Meta* R.27-1 d'Orvieto et ses 2 modèles de longévité identique mais de forme différente présentent ainsi un IREC distinct :

<i>Meta</i> R.27-1	D. 34,5	H. 34	IREC.Nf	101 %
Modèle du milieu	D. 34,5	H. 25,5	IREC.Nf	135 %
Modèle bas	D. 34,5	H. 21,5	IREC.Nf	160 %

Si l'on considère que la moyenne générale de l'IREC sur les meules neuves est de 221% (cf. **CHAP. 18** - soit sans doute 225% et un diamètre mesurant tendanciellement 7/4 de la hauteur neuve), ces 3 modèles apparaissent fortement trapus. Ils peuvent être ainsi comparés à d'autres fabrications, l'existence de groupes de même IREC à Neuf pouvant permettre de définir des zones et traditions techniques ainsi que des évolutions dans le temps. L'IREC peut également permettre de distinguer certains modèles par leur caractère très trapu ou au contraire très plat (certaines meules très plates sembleraient plus fréquentes en contexte minier).

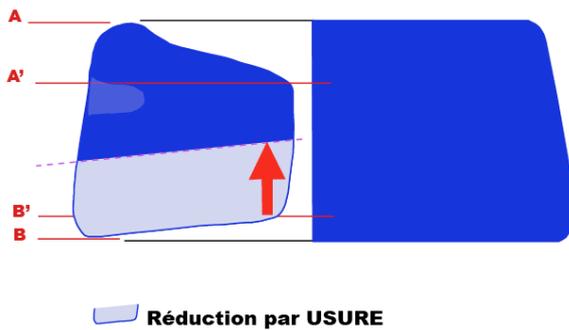
Mais un autre aspect intéressant de l'IREC réside dans le fait que la rectangularité du profil évolue (augmente) à mesure de l'usure subie par la meule : l'épaisseur diminuant avec la consommation de la pierre (diminution de la Hauteur Utile), le rapport D/H va croître, la meule s'aplatit. Ainsi la *Meta* de notre exemple précédent demeure, après un certain temps d'utilisation, d'un diamètre de 30 cm mais sa hauteur s'est réduite à 11 cm. Son IREC est donc désormais de 272%.

L'IREC permet donc d'estimer le Degré d'Usure des meules dès lors que l'on connaît l'indice de départ, c'est-à-dire l'IREC à Neuf (IREC.Nf) donné par les pièces trouvées sur les Ateliers de production voire, de manière plus approximative par référence à l'IREC.Nf moyen de 221% (cf. **CHAP. 18**).

2. Hauteur Utile & Hauteur Passive d'un Catillus

35. Dans le cas d'un *Catillus*, à mesure de son usure le Cône monte car sa base migre vers le plan supérieur fixe A (FIG.28). La Hauteur Passive d'un *Catillus* se compose de 2 épaisseurs qui correspondent à 2 évidements du cylindre : d'une part la Hauteur du Cône (HCo) et d'autre part (HTr) la profondeur de l'éventuelle trémie (FIG.27). La Hauteur Utile du *Catillus* (Fig.28) est donc définie par la formule $HU = H - (HCo + HTr)$.

Figure 28 : Usure du *Catillus*



USURE (montée des plans mobiles)

Figure 29 : Evidements du *Catillus*

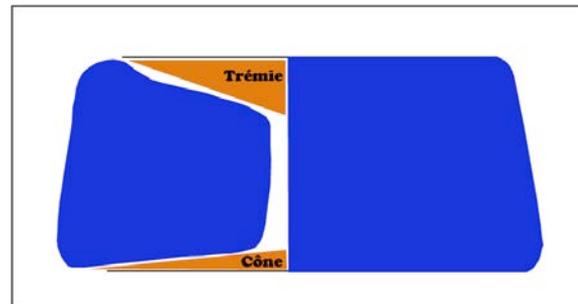
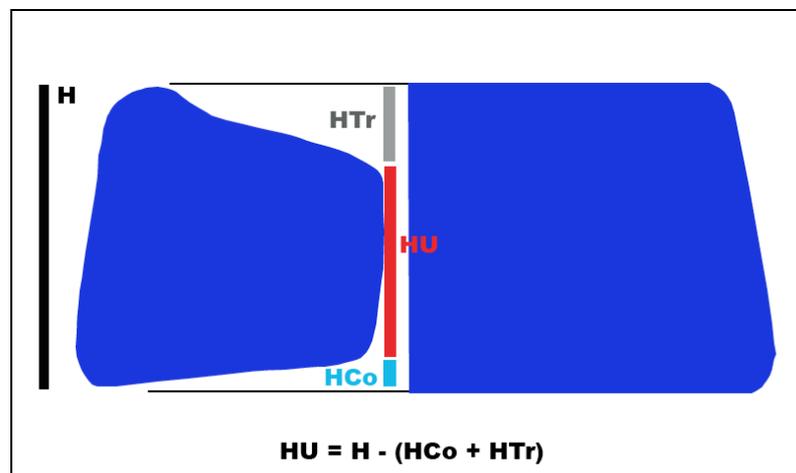


Figure 30 : Hauteur Utile du *Catillus*

36. Naturellement l'un et l'autre des deux évidements peuvent présenter une valeur nulle : $HTr = 0$ en l'absence de Trémie (assez régulière avant la période romaine) et $HCo = 0$ si la meule est plate.

En ce dernier cas, HTr et HCo étant nulles, la Hauteur Utile est assimilable à la Hauteur totale (H) du *Catillus*, à ceci près que demeure une épaisseur résiduelle (Hr minimale) incompressible dont la valeur se situe comme on l'a vu (*supra* Fig.24) sur 2,5 cm, 4 ou 7 cm.



$$HU = H - (HCo + HTr)$$

37. Eu égard à la présence ou non d'une trémie ou d'une conicité, et indépendamment du caractère droit ou oblique du flanc, on peut définir 3 classes de *Catilli* (Fig.31) :

<i>Catilli</i> de CLASSE I	avec Cône et Trémie
<i>Catilli</i> de CLASSE II	avec Cône mais sans Trémie
<i>Catilli</i> de CLASSE III	sans Cône ni Trémie

Figure : 31 *Catilli* de Classe I : avec Conicité & Trémie

CLASSE I : *Catillus* muni d'une Trémie et à Surface Utile en Cône

Figure 31A **Forme à neuf**

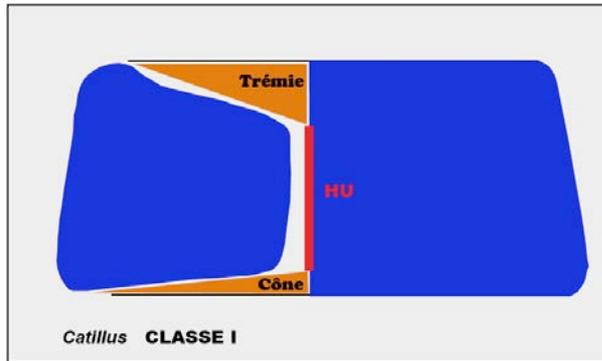


Figure 31B **Décomposition de la Hauteur**

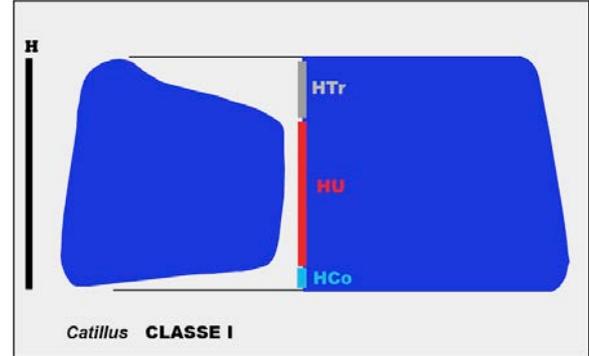


Figure 31C **Forme d'Usure maximale**

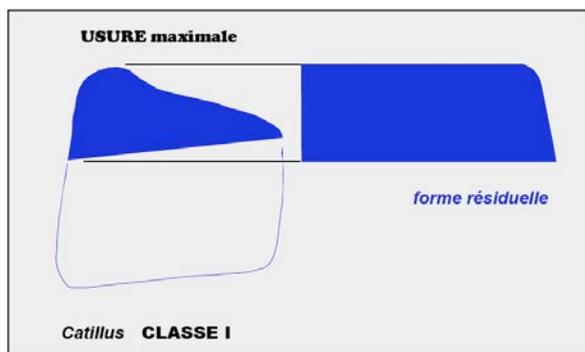
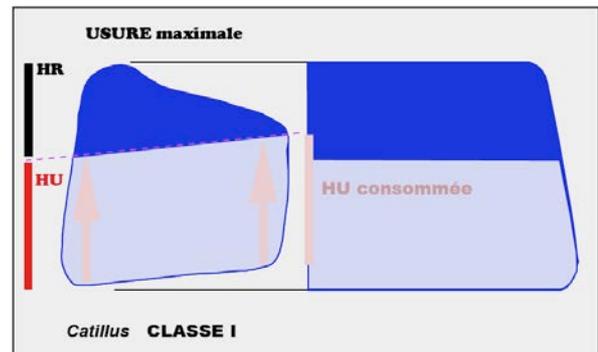


Figure 31D **Hauteur Résiduelle**



Cette forme, en version flanc oblique ou plus souvent encore à flanc droit, est la plus classique. Elle pourrait être dénommée « MRB Gauloise stable » ou « MRB continentale classique ».

38. Qu'un *Catillus* soit neuf ou usé, sa Hauteur est toujours composée de 3 segments : 2 fixes (HCo et HTr) et 1 variable car soumis à usure, qui est HU. La Hauteur d'un *Catillus* répond donc à la formule :

$$H_v = HCo_f + HTR_f + HU_v \quad \text{cette Hauteur est variable.}$$

39. La différence entre la Hauteur totale (H) et la Hauteur Utile (HU) correspond à une Hauteur Passive (HP). Sur un *Catillus*, cette Hauteur Passive est constituée (Fig.31B) du cumul de la Hauteur de la Trémie (HTr) et de la Hauteur de Cône (HCo). La Hauteur Passive d'un *Catillus* répond donc à la formule :

$$HP = HCo_f + HTR_f \quad \text{elle est donc fixe.}$$

Une fois le *Catillus* parvenu au terme de son usure, la totalité de sa Hauteur Utile (HU) a été consommée mais il reste une épaisseur de pierre incompressible ou Hauteur Résiduelle :

celle-ci (HR) correspond à la profondeur de la trémie (HTr) cumulée avec la Hauteur du Cône (HCo), elle est donc la même que la Hauteur Passive : $HR = HP = HCo + HTr$.

40. En présence d'un *Catillus* on en connaît toujours HCo et HTr ainsi que sa Hauteur observable (H)⁹. Il nous est ainsi constamment possible de connaître la Hauteur Utile restante d'un *Catillus*, en appliquant la formule : $H_v = HU_v + (HCo_f + HTr_f)$. Ainsi la **Hauteur Utile restante du *Catillus*** sera donnée par la formule suivante :

$$HU_r = H - (HCo + HTr) \text{ soit aussi } HU_r = H - HP.$$

Ainsi par exemple un *Catillus* dont la Hauteur conservée est 15 cm, dont la Hauteur de Cône est de 2,5 cm et la profondeur de trémie 3,5 cm, comporte une Hauteur Passive de 6 cm (2,5 + 3,5). Sa Hauteur Utile restante s'établit donc à 9 cm, soit le calcul :

$$HU_r = H - (HCo + HTr) \text{ donc } HU_r = 15 - (2,5 + 3,5)$$

41. La détermination aisée de la Hauteur Utile restante permet d'estimer le Degré d'Usure de tout *Catillus* : en effet une meule tournante dont la Hauteur Utile restante est de 2 cm est forcément plus usée qu'un exemplaire dont la HU_r est de 8 cm. Dès lors que l'on connaît la Hauteur à Neuf du modèle d'un *Catillus* tel qu'il est donné par les valeurs en Ateliers, on est en mesure non plus d'estimer mais de mesurer le Degré d'Usure.

La durée de vie restant au *Catillus* est donnée par la formule HU_r / HUN_f tandis que le **Degré d'Usure** est issu de la formule :

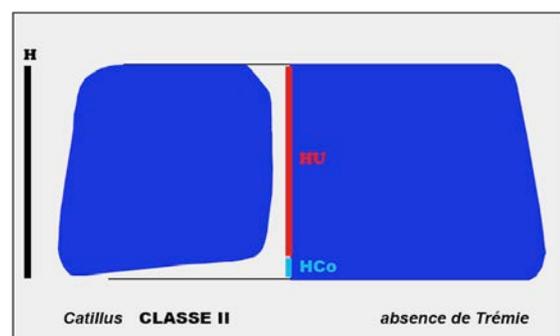
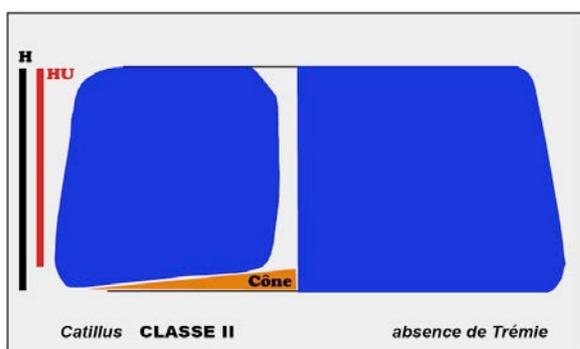
$$(HUN_f - HU_r) / HUN_f$$

Ainsi, dans l'exemple donné au ci-dessus au § 35., la partie de meule restant à consommer (HU_r) mesure 9 cm. Si la Hauteur Utile à Neuf (HUN_f) constatée en Atelier est de 12 cm -soit une Hauteur totale de 18 cm égale à $(HUN_f + (HCo + HTr))$ - alors la durée de vie restante est de 9 / 12 cm (HU_r / HUN_f) c'est-à-dire 75% et logiquement le Degré d'Usure du *Catillus* est de 25% (soit $(HUN_f - HU_r) / HUN_f = (12 - 9) / 12$).

Figure 32 *Catilli* de CLASSE II : sans Trémie et à Surface Utile en Cône

Figure 32A Forme à neuf

Figure 32B Décomposition de la Hauteur



⁹ Pour simplifier on conserve généralement le terme quotidien de « Hauteur » pour désigner ce qui est en réalité toujours, sauf meule trouvée en contexte d'Atelier, une Hauteur restante : H devrait en toute rigueur être notée Hr, c'est parfois indispensable pour la clarté et la transparence d'un raisonnement et du calcul qui l'appuie ou le fonde.

Figure 32C Forme d'Usure maximale

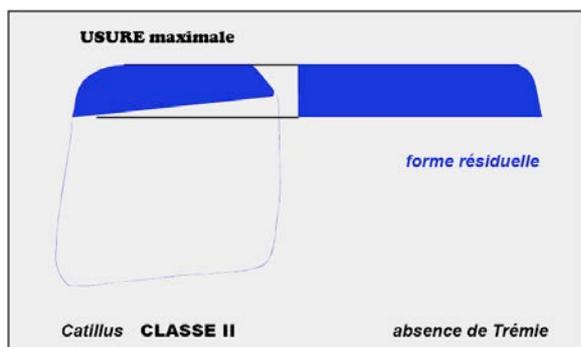


Figure 32D Hauteur Résiduelle

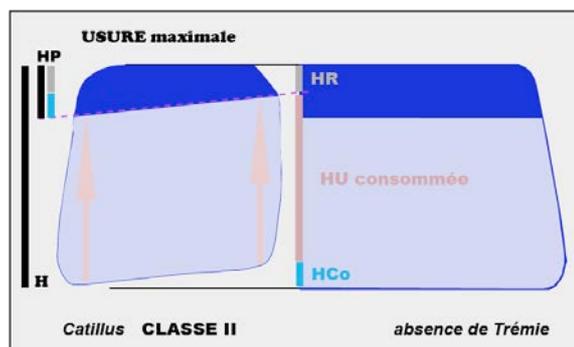


Figure : 33 *Catilli* de CLASSE III : sans Trémie ni Cône (Meule Plate)

Figure 33A Forme à neuf

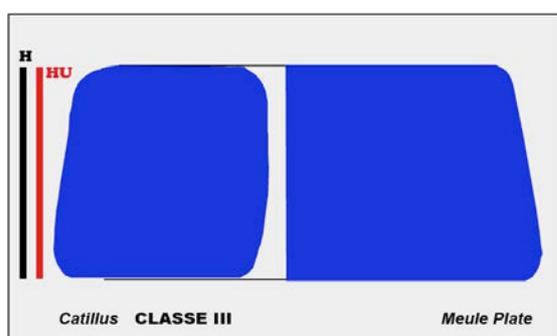


Figure 33B Décomposition de la Hauteur

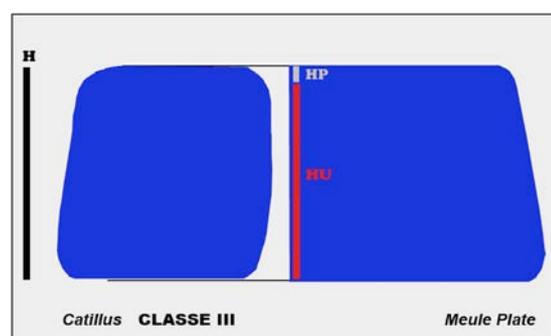


Figure 33C Forme d'Usure maximale

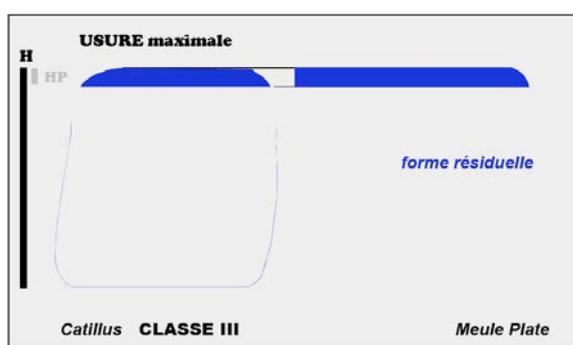
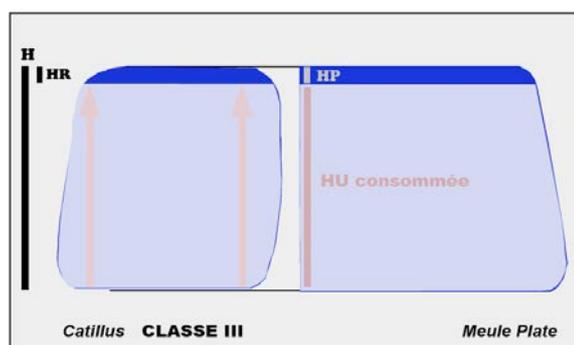


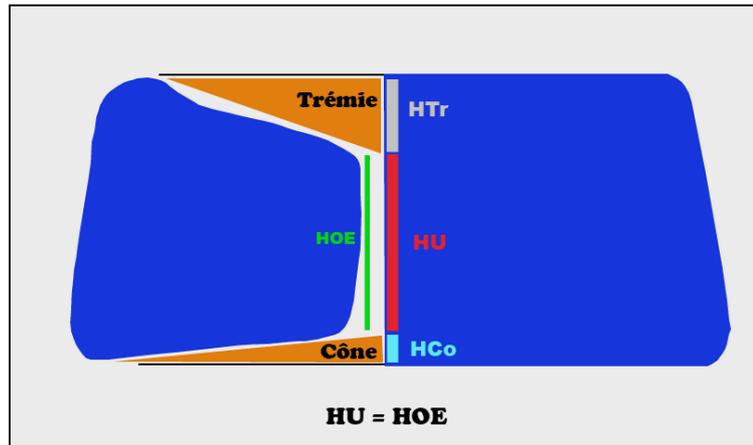
Figure 33D Hauteur Résiduelle



Cette Classe III de *Catilli*, qui correspond au Moulin Plat, présente une Hauteur Utile potentiellement égale à la Hauteur de la meule. En pratique, il existe une épaisseur incompressible (HP) au-delà de laquelle le *Catillus*, réduit à l'état de galette se brise. Cette épaisseur constitue la Hauteur Passive

42. Il vaut d'être noté à travers les 3 classes de *Catilli* qui viennent d'être définies, que pour un *Catillus* la Hauteur Utile est la même chose (Fig.34) que la Hauteur de l'Oeillard (HOE)¹⁰.

Figure 34 :
Catilli : Hauteur Utile
identique à Hauteur de
l'Oeillard (HU = HOE)



43. On retiendra également que la présence d'un Trou d'Emmanchement (EMM) peut, selon sa position, et notamment sous le plan A', avoir un impact réducteur sur la Hauteur Utile du *Catillus*. On reviendra *infra* sur cet aspect lorsque nous développerons la typologie positionnelle des Trous d'Emmanchement et les facteurs de réduction ou d'augmentation de HU.

En examinant la position des Emmanchements ou la présence ou l'absence d'une Trémie ou d'une Conicité de la Surface Active, on peut statuer sur le fait que les *Catilli* aient été ou non conçus avec un souci d'optimisation de leur Hauteur Utile et donc de leur longévité.

3. La notion de Rendement en Hauteur Utile d'une Meule

44. La mise en évidence de l'existence du paramètre Hauteur Utile d'une meule soulève plusieurs interrogations relatives à la fabrication :

- toutes les meules présentent-elles une même Hauteur Utile ?
- existe-t-il plusieurs standards de HU au sein d'un atelier ? ces éventuels standards sont-ils communs aux différentes officines ?
- la chronologie montre-t-elle une évolution vers un gain des meules en Hauteur Utile ?
- certains ateliers fabriquaient-ils des meules dotées d'une Hauteur Utile plus importantes que d'autres, proposant ainsi des produits plus durables pour certains et à cycle de renouvellement plus rapide pour les autres ?

45. On est ainsi conduit à interroger la fabrication sous l'angle de l'importance de la Hauteur Utile des meules et à comparer les productions. On utilisera pour cela la notion de **Rendement en Hauteur Utile**, qui indique la proportion de HU contenue dans la Hauteur totale (H) d'une meule. La formule du Rendement en Hauteur Utile se calcule sur les grandeurs à neuf et se transcrit de la manière suivante :

$$\mathbf{R.HU = HUNf / HNF}$$

Pour établir le Rendement en Hauteur Utile d'une meule, il est nécessaire de disposer de la Hauteur totale à neuf (HUNf) telle que donnée par les objets issus des contextes d'atelier.

46. On prendra ici comme exemple une *Meta* d'Orvieto ainsi qu'un *Catillus* de l'atelier de St. Christophe-le-Chaudry (Cher, France).

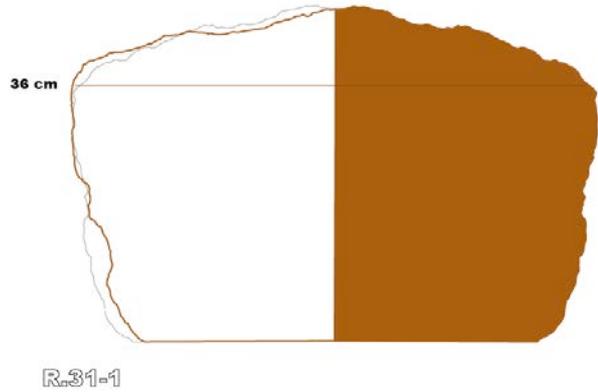
¹⁰ La situation est bien différente de celle des *Metae* pour lesquelles c'est la dimension de la Hauteur du Cône (HCo) qui est déterminante.

Figure 35 : Rendement en Hauteur Utile de la *Meta* R. 31-1 d'Orvieto

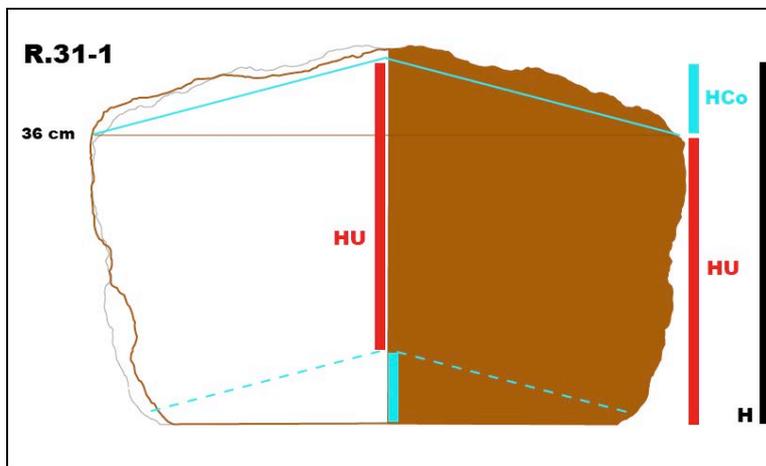
A- Photo



B- dessin du Profil



C- Hauteur Utile



Dimensions à neuf :

DB. 30,5 cm	DS. 36
H. 20	HCo. 4,5
HFL. 15,5	Conicité 13-15°

$$HU = H - (HCo + HP)$$

$$HCo = 4,5 \text{ cm} \quad HP = 0$$

$$HUNf = 20 - (4,5 + 0)$$

$$HU = 15,5 \text{ cm}$$

$$\text{Rendement en HU} = HUNf / HNF$$

$$= 15,5 / 20 \text{ soit } 77,5\%$$

Si le façonnage final de cette *Meta* inclut un évidement de l'assise (Hc) de par exemple 6 cm, cette HC étant supérieure à HCo le calcul de la Hauteur Utile devient $HU = H - (HC + HP)$ soit $20 - (6 + 0)$ ce qui donne une HU de 14 cm. Le Rendement en Hauteur Utile passe alors à 70% ce qui ne constitue pas une forte baisse et reste un niveau assez élevé. Seul un évidement de l'ordre de 8 cm diminuerait notablement le rendement en Hauteur Utile. Or on constate que la moitié des *Metae* d'Orvieto montrent un évidement de l'assise équivalent à 50% de la hauteur totale, ce qui ramène le rendement en Hauteur Utile à moins de 50% (Fig.36).

Figure 36 : Hauteur Utile réduite par un Evidement de l'assise

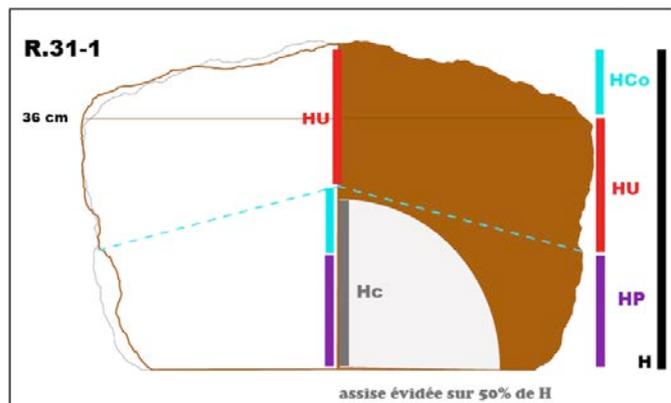
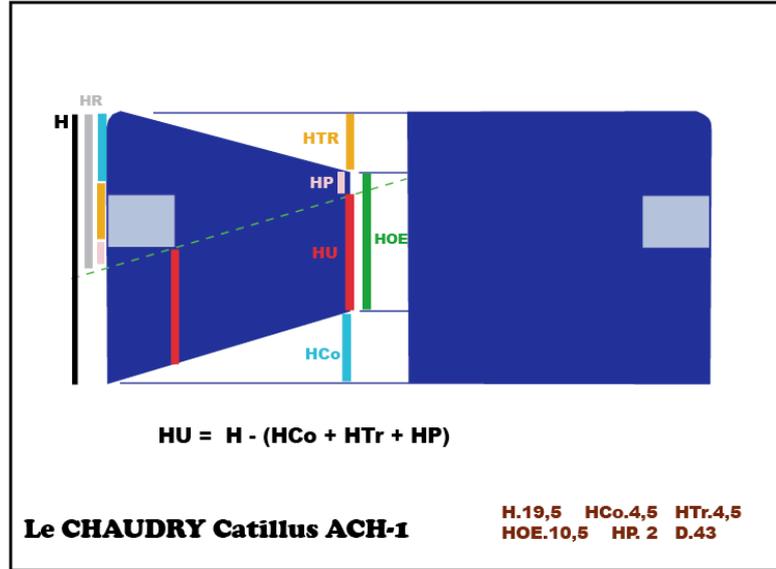




Figure 37 : Rendement en Hauteur Utile du *Catillus* n° ACH-1 du Chaudry



47. Ce *Catillus* mesure 43 cm de diamètre pour une Hauteur totale de 19,5. Le Diamètre de l’Oeillard est de 8,5 et sa hauteur (HOE) mesure 10,5 (Fig.37). La profondeur de la trémie (HTr) vaut 4,5 cm, de même que la Hauteur du Cône (HCo). A 1 cm près, ce *Catillus* n’est pas loin d’être bâti sur une partition par quarts (HTR 1/4 , HCo 1/4 et HOE 2/4).

Potentiellement sa Hauteur Utile aurait pu être égale à la Hauteur de l’Œil (HOE 10,5 cm) mais (Fig.38) elle s’est trouvée réduite du fait de la présence d’un trou d’emmanchement. En effet, situé sous le plan A’ (position B2 –Fig.39), cet aménagement impacte la Hauteur Utile en la réduisant de 2 cm créant ainsi un délaissé (Hauteur Passive HP) dans l’épaisseur de pierre consommable. La diminution de la HU du *Catillus* n’est pas négligeable puisque ces 2 cm représentent 19% de la HU possible et donc du potentiel de durée de la meule. Il aurait suffi que le trou d’emmanchement soit implanté 1 cm plus haut sur le flanc (Fig.40) pour que la Hauteur Utile de ce *Catillus* atteigne son plein potentiel.

Figure 39 : Emmanchement en position B2

Figure 38 : Hauteur Utile optimale et HU observée (*Catillus* ACH-1 du Chaudry)

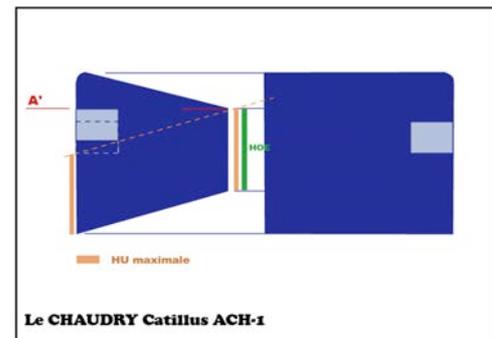
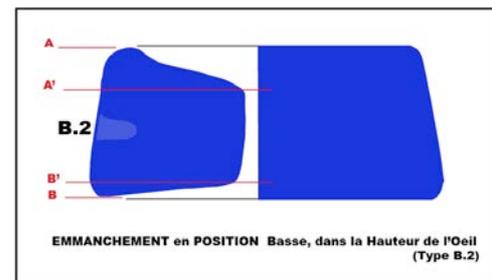
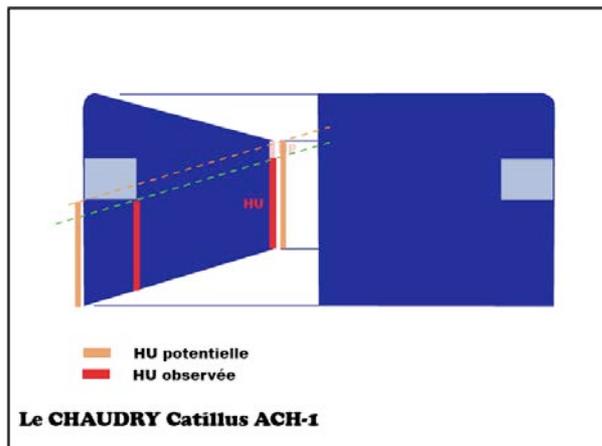


Figure 40 : Position optimale (A1) de l’Emmanchement et maximalisation de la Hauteur Utile

48. En l'état, le rendement en Hauteur Utile de ce *Catillus* du Chaudry est de 43% (HU.8,5 / H.19,5). Son optimisation obtenue par le placement de l'Emmanchement 1 cm plus haut (Fig.40) aurait porté ce rendement à 54%, valeur modeste mais fréquente à Orvieto. Cette relative modestie du Rendement en HU est assez systématique dès lors qu'un *Catillus* comporte une trémie, laquelle a pour effet automatique de diminuer de plusieurs cm la Hauteur Utile, soit généralement de l'ordre de 25% : la potentialisation de la HU est obtenue par une faible profondeur de la trémie alliée à une faible conicité.

49. La perte de Hauteur Utile du *Catillus* du Chaudry peut signifier que sur cet Atelier le paramètre Hauteur Utile n'était pas maîtrisé ou du moins subordonné à des grandeurs conçues comme prioritaires. Il s'agit bien entendu des paramètres configurants que sont le diamètre, la hauteur et la conicité. Mais la présence d'une trémie dont l'angle est égal à celui de la Surface Active (15°), dont la profondeur n'est pas en conséquence négligeable (4,5 cm soit près de ¼ de la Hauteur de la meule) et qui a pour effet d'abaisser le rendement en Hauteur Utile de 77 à 54% (Fig.41) montre que cet aménagement était également conçu comme indispensable et constitutif du *Catillus*, prioritairement à toute possibilité de maximiser la Hauteur Utile.

50. La réalisation d'un trou d'emmanchement diminue encore la Hauteur Utile (de 11%) et abaisse son rendement à 43% de la Hauteur totale de la meule¹¹ alors que pour éviter cette perte en HU un simple positionnement de l'emmanchement 1 cm plus haut aurait suffi. Cette sorte de « désinvolture » montrée par la réalisation du trou d'emmanchement semble traduire soit une non-conscience de son impact sur la Hauteur Utile et donc une perception très imparfaite (indirecte et non géométrique) de ce paramètre, soit l'existence d'une forte contrainte rendant obligatoire la présence de l'emmanchement malgré un impact qui serait connu sur la longévité de la meule.

Figure 41 : Impact réducteur de la Hauteur Utile dû aux différents aménagements pratiqués sur un *Catillus*

Rendement en HAUTEUR UTILE d'un CATILLUS selon les Aménagements				
Type & aménagements	H (cm)	HU	RENDEMENT en HU	
sans Cône ni Trémie (Meule Plate)	19,5	19,5	100%	
avec Cône 15°, sans Trémie	19,5	15	77%	
avec Cône 15° et Trémie 15°	19,5	10,5	54%	
avec Cône 15° et Trémie 15° + Emmanchement position A ou B1	19,5	10,5	54%	
avec Cône 15° et Trémie 15° + Emmanchement position B2	19,5	8,5	44%	
avec Cône 15° et Trémie 15° + Emmanchement à mi-hauteur	19,5	8	41%	

¹¹ Un creusement de cet emmanchement un peu plus profond entraînerait un affaiblissement encore plus important de HU.

51. Toutefois le fait qu'un tel aménagement latéral puisse, sur certaines meules, être placé sur une position plus haute (A ou B1) qui évite tout impact minorant la Hauteur Utile, montre que les meuliers antiques pouvaient avoir disposé des moyens du choix d'impacter ou non la Hauteur Utile lors de la fabrication. Une enquête ciblée permettrait de préciser le taux de chacune des positions (A, B1 ou B2) du trou latéral d'emmanchement, leur présence selon les types de *Catilli* ainsi que leur chronologie afin notamment de définir les époques ou aires géographiques où la minoration de l'impact de ces creusements a pu être connue et pratiquée (cf. **CHAP.14-5**). Il serait dans cette optique également intéressant d'établir la géographie et la chronologie de la disparition des trous latéraux d'emmanchement, phénomène qui pourrait correspondre à une volonté de maximaliser la Hauteur Utile des *Catilli* mais tout autant à un changement dans le système d'entraînement des meules (par le centre et non plus par le bord).

D. Vers une Géométrie du Calcul de la Hauteur Utile : l'exemple d'un *Catillus* du Chaudry

52. Sur la base d'un *Catillus* de l'atelier berrichon du Chaudry déjà utilisé (le n° ACH-1), nous allons voir à présent comment la puissance en Hauteur Utile est affectée par la présence d'un trou d'Emmanchement (EMM). Il s'agit (Fig.42) d'une ébauche avancée, de stade IV, cassée en son milieu et trouvée en place dans les déblais soit anciens soit remaniés par la carrière subactuelle. Le Cône est parfaitement formé et son état de surface tout comme le flanc, assez finement travaillés, sont achevés ou presque. L'Œillard est réalisé. Le matériau est un grès mi-grossier très compact et à tendance bariolée.

Figure 42 : Le *Catillus* ACH-1 de la carrière de St. Christophe-le-Chaudry en place (Juin 2018)



53. Les dimensions sont les suivantes : D. 43 cm - H. 19,5 – DOE. 8,5 - HOE. 10,5 – HCo. 4,5 – HTr. 4,5. La Conicité est de 15°, de même celle de la trémie. Le flanc comporte un trou d'Emmanchement très bien découpé. Il est situé à 6 cm sous le plan supérieur (A) et haut de 4 cm ce qui en place la base à -10 cm du plan A et donc non loin du plan médian (-9,75 cm).

Le rayon étant de 21,5 cm on s'aperçoit que la moitié de la section de ce *Catillus* s'inscrit dans un quasi carré (21,5 x 19,5). L'Indice de Rectangularité de son profil (IREC)¹² est donc de 221% et correspond exactement à la

¹² Soit D / H, en l'occurrence 43 / 19,5 et donc 220,5 % ; l'IREC est défini au **CHAP.18**.

moyenne statistique des meules neuves. Celle-ci renvoie à des formes originellement trapues, celles d'un rectangle formé de 2 carrés (IREC 200%).

Notons que s'agissant d'un produit fini de carrière, les dimensions présentent leur valeur à neuf, en particulier la Hauteur (H.19,5 = HNf). Connaissant ainsi la valeur initiale (HNf) du paramètre soumis à usure qu'est la Hauteur, on est en mesure d'établir la Hauteur Utile de départ de la meule (HUNf) avant utilisation.

54. La différence entre la Hauteur (19,5) et le demi-diamètre (21,5) est de 2 cm ce qui métrologiquement correspond à 1 dgt¹³. La dimension de 43 cm évoquant immédiatement une mesure de 1 pied ½ (24 Doigts ou *Cubitus*)¹⁴, on considère par hypothèse (Fig.43) que le Diamètre correspond à 24 dgt d'un Pied de 28,2 (au reste pied meulier fréquent)¹⁵. Le demi-diamètre (21,5 cm) vaut alors 12 dgt et la Hauteur 11 dgt ce qui est en effet inférieur de 1 dgt. Re transcrites en Gabarit, les dimensions du *Catillus* du Chaudry sont donc D. 24 dgt – H. 11 dgt – DOE. 5 dgt – HOE. 6 dgt et HCo. 2,5 dgt, le détail est donné en Fig.43.

Figure 43 : Métrologie des dimensions du *Catillus* du Chaudry

Dans ce cadre métrologique, l'IREC devient 218% (D/H donnant 24/11 dgt). La Hauteur Utile potentielle est de 6 dgt soit 54% de la Hauteur à neuf (11 dgt). Cette Hauteur Utile maximale (HU.M) correspond à ¼ du diamètre. Il y a peut-être dans ce rapport une piste pour comprendre si HU était maîtrisée par les meuliers sinon calculée.

Quant à la Hauteur Utile réelle, réduite de 16% (1 dgt) par le trou d'emmanchement, elle passe à 5 dgt soit 45% de H et devient ainsi, hasard ou non, égale au Diamètre de l'Œillard (DOE).

Il serait intéressant que des développements futurs, conduits avec les outils géométriques adéquats¹⁶, examinent si ces équivalences entre paramètres (HU = DOE ; HU.M = ¼ D ; HCo = ½ DOE) sont constantes ou si elles varient en fonction notamment de la conicité et du diamètre.

55. Dans l'attente, nous allons explorer les déterminations d'un paramètre important des meules, la Hauteur Utile, en développant une première approche géométrique du *Catillus*. Il s'agit notamment de savoir si HU était perçue, maîtrisée empiriquement, voire calculée par les meuliers antiques.

A cette fin nous procéderons en deux temps : d'abord une analyse géométrique du *Catillus* dans ses dimensions réelles, celles que nous venons de voir et de transcrire métrologiquement, ensuite nous analyserons le modèle supposé de ce *Catillus*.

Ce modèle repose sur l'hypothèse que la Hauteur, au lieu de mesurer 11 dgt soit 1 demi-Diamètre moins 1 dgt, aurait dû être de 12 dgt soit équivalente au rayon de la meule. Le modèle consiste donc en un *Catillus* D.24 dgt (43 cm), H. 12 dgt (21,5 cm). Notons cependant que

MÉTROLOGIE des DIMENSIONS du CATILLUS n° ACH-1 du CHAUDRY				
	Paramètre	cm	calibre	attendu
configurants	DIAM.	43	24 DGT	42,3 cm
	Rayon	21,5	12 DGT	21,15
	HAUTEUR	19,5	11 DGT	19,39
	HOE	10,5	6 DGT	10,57
	DOE	8,5	5 DGT	8,81
	HCo & HTr	4,5	2,5 DGT	4,4
	niveau EMM.	6	3,5 DGT	6,16
	H. EMM.	4	2,25 DGT	3,96
déduits	HU maximale	10,5	6 DGT	10,57
	H. Utile	8,5	5 DGT	8,81
	perte en HU	2	1 DGT	1,76

¹³ C'est-à-dire à 1,72 cm pour un Pied de 27,5 cm (Osco-italique) à 1,93 cm pour le Pied de Manching de 30,9 cm et 2,08 pour le Pied (rarement attesté) de Drusus en passant par 1,84 cm pour le Pied Impérial.

¹⁴ Coudée (*Cubitus* ou 1,5 pied ou 24 dgt) des Pieds de 27,5 – 28,2 – 29,25 – 29,56 (*Pes monetalis*) – 30,1 (Salamis 1) – 30,9 (Manching) et 32,65 (Dorique) : respectivement 41,25 cm – 42,30 – 43,87 – 44,34 – 45,15 – 46,35 – 48,97 cm soit une plage de 41 à 49 cm.

¹⁵ 1 dgt du Pied meulier de 28,2 vaut 1,76 cm et sa coudée (24 dgt) correspond à 42,30 cm.

¹⁶ Il doit être possible de construire un modèle informatique permettant de définir une meule à partir des paramètres configurants, de pouvoir dégager les paramètres secondaires tels que HU à partir des liaisons entre ces paramètres et enfin de pouvoir modifier la géométrie de la meule en faisant varier les paramètres (par exemple en entrant une HU maximale ou un DOE différent, ou bien encore en modifiant HCo et la conicité) ; on pourrait alors mieux appréhender les relations entre paramètres et savoir par exemple si la profondeur de la trémie est laissée à l'appréciation du meulier ou conditionnée par le jeu de paramètres prioritaires.

l'IREC (D/H) serait alors de 200% et non de 220% comme le voudrait la moyenne des meules neuves¹⁷. Dans la mesure où sur notre exemple la Hauteur mesure 11 dgt contre 12 dgt du rayon de la meule, on peut en déduire que l'accroissement de la rectangulaire (IREC 220%) traduit une baisse de la Hauteur (-1 dgt) et non une hausse du diamètre qui lui reste canonique (6 palmes soit 24 dgt).

Sur cette base d'une morphologie générale D. 24 et H. 12 dgt les autres paramètres tels que HCo et DOE sont définis par une régularité métrologique donnée par la partition du demi-diamètre en 4 soit 1/8^e du Diamètre (soit 24 dgt/8 donc 3 dgt).

1. Géométrie du *Catillus* réel du Chaudry

56. La partition par 16 (système du pied) soit une division par 2 répétée 4 fois s'avérant récurrente dans l'Antiquité, on est fondé à explorer les meules sous cet angle, à fortiori lorsque l'on constate que la base du trou d'Emmanchement du *Catillus* du Chaudry paraît correspondre au plan médian de la meule (Fig.44). Ainsi, la division de la Hauteur du *Catillus* par 4 montre que

Figure 44 : Régularités Horizontales

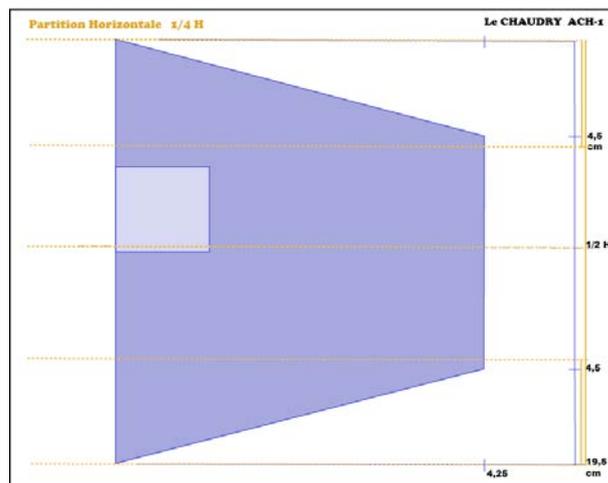
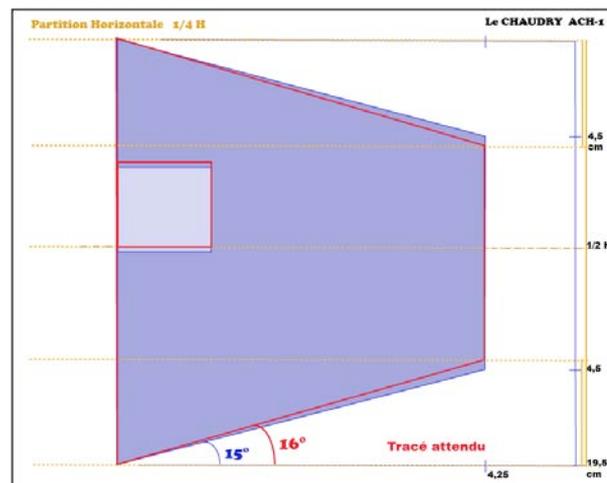


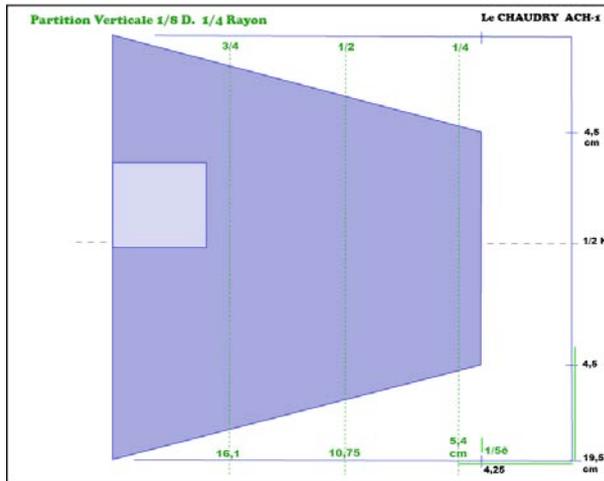
Figure 45 : Forme attendue



sa morphologie est globalement régie par $\frac{1}{4}$ de H : la hauteur du cône (HCo) correspond presque à $\frac{1}{4}$, de même que la profondeur de la trémie (HTr) pendant que la hauteur de l'œil (HOE) occupe les $\frac{2}{4}$ restant. Le quart de la hauteur mesure 4,8 cm tandis que HCo et HTr sont relevés à 4,5 cm. Si le *Catillus* avait été parfaitement fidèle à ces proportions, sa forme correspondrait au tracé rouge de la Fig.45, la conicité aurait été très faiblement affectée, augmentant de 1°.

57. Cependant on peut douter de la réalité de cette géométrie pour deux raisons. La première est que la Hauteur mesurait 11 dgt, longueur qui ne se prête guère à une partition par 4 (chaque quart mesurerait alors 2,75 dgt ce qui signifierait que les meuliers pouvaient mesurer avec une finesse de 0,4 cm et surtout qu'ils pouvaient réaliser une telle finesse en taille de pierre dure). La seconde raison est que la partition du demi-diamètre par 4 donne une longueur qui est différente de celle de la Hauteur ($\frac{1}{2}D.21,5 \text{ cm} / 4$ égale 5,3 cm contre 4,8 aux quarts de la Hauteur et 12 dgt/4 donne 3 dgt contre 2,75) et ferait reposer la géométrie du *Catillus* sur une unité rectangulaire dont les deux côtés seraient en outre faiblement différenciés (0,5 cm).

¹⁷ La récurrence de ce rapport D/H de 220% au lieu de 200% suggère qu'il a pu exister une nécessité de baisser la Hauteur, sachant que pour bien aborder la question il faudrait distinguer l'IREC moyen des *Catilli* et celui des *Metae* ; il serait par ailleurs nécessaire d'examiner si cette baisse de H a des conséquences sur certains paramètres, voire permet de les calculer, ou si elle est indifférente (elle réduit par exemple de 1 dgt la HU potentielle).



Aussi nous paraît-il plus probable que le diamètre et sa partition par quarts ait été considérés comme référence de base, soit une unité de 3 dgt (Fig.46). On remarque cependant dans ce cadre que, tout comme avec la partition en quarts de H, les points définissant HCo et HTr ne correspondent pas aux unités définies par la partition en 4. En effet, le demi-diamètre de l'Œil mesure 4,25 cm soit 1/5^e du demi-diamètre du *Catillus*¹⁸, et HCo comme HTr mesurent 4,5 cm contre les 5,3 de l'unité.

Figure 46 : Partition Verticale 3 dgt

58. On peut alors envisager l'hypothèse que le *Catillus* du Chaudry avec son module D.24-H.11-HCo.2,5 et DOE.5 dgt soit l'expression approchée d'un modèle canonique de module D.24-H12 dont la partition par 4 donnerait en effet une unité de base de 3 dgt (Fig.47).

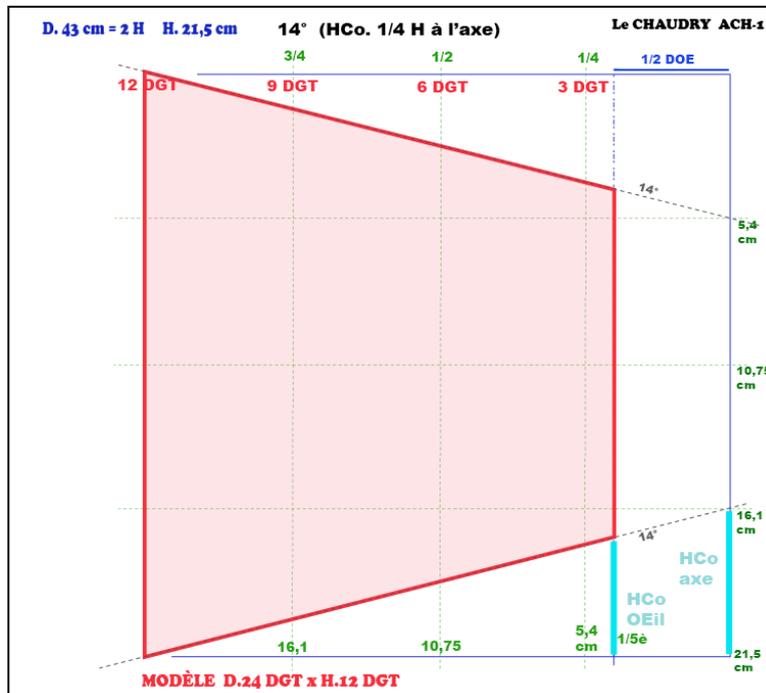


Figure 47 : Modèle D.24 & H.12 dgt correspondant au *Catillus* du Chaudry

On remarque au passage que si le système métrologique est celui de 16 et repose sur les partitions par 2 ou 4, les grandeurs de 24 et 12 dgt autorisent des partitions par 3¹⁹ et la manipulation de segments longs de 3 unités de mesure (3 dgt).

59. Il n'est pas inutile d'examiner la dimension de l'œillard au regard des unités de 3 dgt de côté définies par la partition en 4 commune au diamètre et à la hauteur dans ce modèle 24 x 12. Le Diamètre de l'Œillard (DOE) mesurant 5 dgt, sa construction peut être basée sur le raisonnement 6 dgt - 1 soit 1/2 Hauteur (ou 1/4 de diamètre) - 1 dgt. Il correspond en proportion à 5/24^e du Diamètre du *Catillus*. Son rayon (2,5 dgt) occupe 5 parts d'une unité de 3 dgt² avec un délaissé de 0,5 dgt (Fig.48). Ainsi le Diamètre de l'Œillard s'intègre dans une partition en 6^e des unités de 3 dgt (soit en 24^e du diamètre) dont il occupe les 5/6^e (soit aussi 10/12^e). Le Diamètre de l'Œillard combine ainsi les systèmes 16, 12 et décimal.

Il apparaît par ailleurs que la longueur de 2,5 dgt (ou 5/6^e d'une unité de 3 dgt²) correspond également à la Hauteur du Cône mesurée à l'aplomb de l'œil (Fig.49), HCo et DOE répondent ainsi à un module partagé de 2,5 dgt. Ce module ne correspondant pas à une fraction entière de D ou de H²⁰, il est probable que cette grandeur de 2,5 dgt soit déterminée

¹⁸ 4,25 cm contre 4,3 attendus (21,5 / 4).

¹⁹ Opérant ainsi un possible pont avec le système 12, celui du Pouce, qui seul permet de calculer des tiers.

²⁰ En effet 24 dgt (D) = 2,5 dgt x 10,41 ou 2,5 dgt = 10,41% de 24 dgt.

indépendamment de D et H et très probablement en vue de définir la conicité. Par conséquent la conicité serait un paramètre prioritaire qui échapperait aux règles de la géométrie d'ensemble du *Catillus* mais serait toutefois mesurée en dgt.

Figure 48 : Métrologie du Diamètre de l'Œillard (DOE)

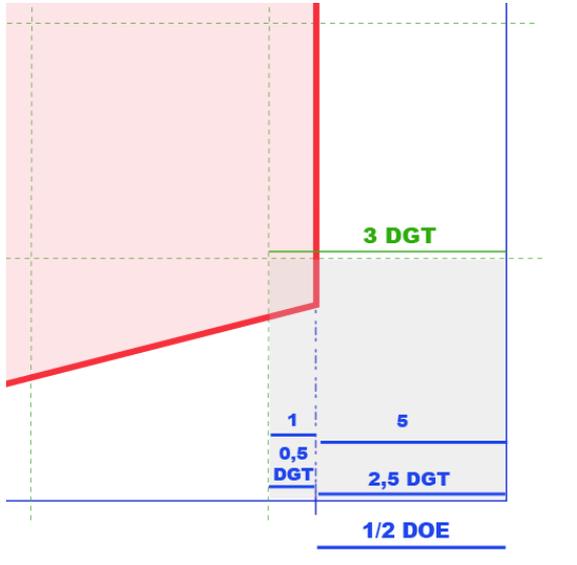
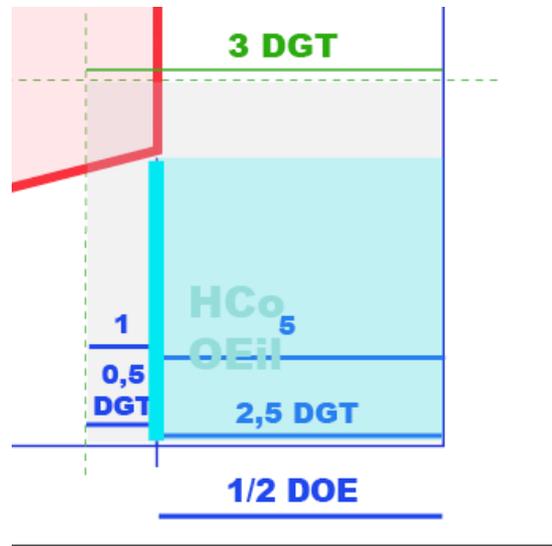


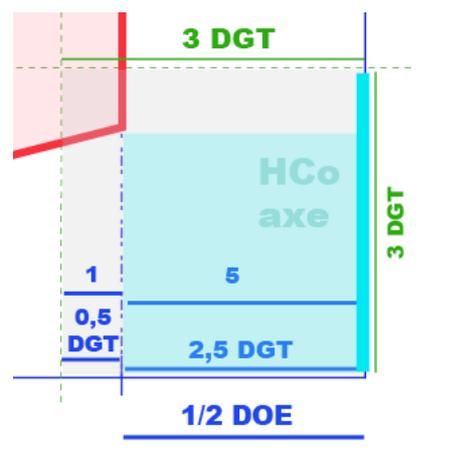
Figure 49 : Métrologie de la Hauteur de Cône et de DOE



60. L'existence d'une valeur de 2,5 dgt pour HCo et pour le demi-diamètre de l'œillard soulève la question de savoir si les meuliers antiques utilisaient le demi-doigt, autrement dit s'il s'agissait d'une valeur pratiquée et manipulée ou bien seulement d'une valeur de calcul.

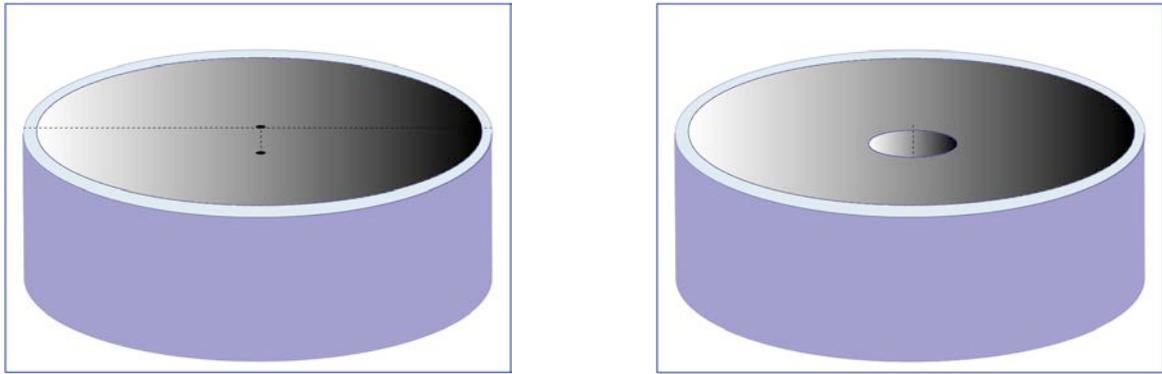
Concernant la Hauteur du Cône (HCo) la réponse est claire : les meuliers manipulaient seulement la valeur de 3 dgt puisque c'est la mesure de HCo à l'axe (Fig.50). Concrètement, le tailleur de la pierre évidait le centre du tambour jusqu'à une profondeur de 3 dgt, ceci selon un premier cône plus ou moins large²¹ (Fig.51).

Figure 50 : Hauteur de Cône à l'axe : 3 dgt



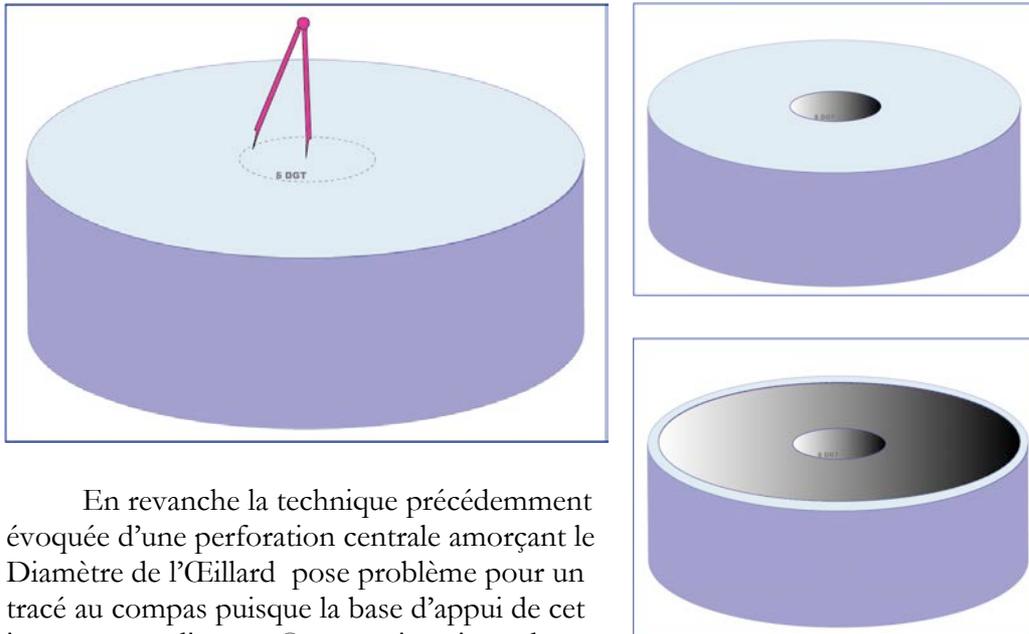
²¹ Il est tout à fait concevable que l'évidement ait été engagé depuis la périphérie vers le centre mais une première perforation centrale pouvait présenter l'avantage de fournir un repère pour la profondeur désirée (ici 3 dgt soit 5,3 cm) et peut-être d'offrir un point de fuite pour les ondes de choc ; il est également possible, y compris pour éviter une fracturation en cours de fabrication, qu'en amont de l'évidement du cône et de la trémie il ait été procédé par forage à la perforation de l'axe central, l'œillard étant par nature traversant ; une telle méthode offre en outre l'intérêt de pouvoir mesurer sinon marquer la profondeur de HCo ou de HTr sur la paroi de ce tube central.

Figure 51 : Evidement du Cône puis de l'Œil



Le Diamètre de l'Œillard (5 dgt) correspond en apparence à un calcul complexe de type $D.24 \text{ dgt} - 5 \text{ dgt} = 19$ ou $R.12 \text{ dgt} - 2,5 = 9,5 \text{ dgt}$. Toutefois la pratique se révèle beaucoup plus simple : dès lors que le meulier sait que le Diamètre de l'Œillard doit mesurer 5 dgt, il lui suffit de porter au compas sur la surface plate du tambour le tracé d'un cercle de 5 dgt de diamètre (Fig.52). Il n'a aucun besoin de mesurer des demi-dgt, il lui suffit de régler l'écartement de son compas sur une règle graduée (celle-ci pouvant d'ailleurs être graduée en demi-doigts ce qui pour un Diamètre de 5 dgt donne une mesure entière de 10 graduations).

Figure 52 : Tracé au compas, évidement de l'Œil puis du Cône

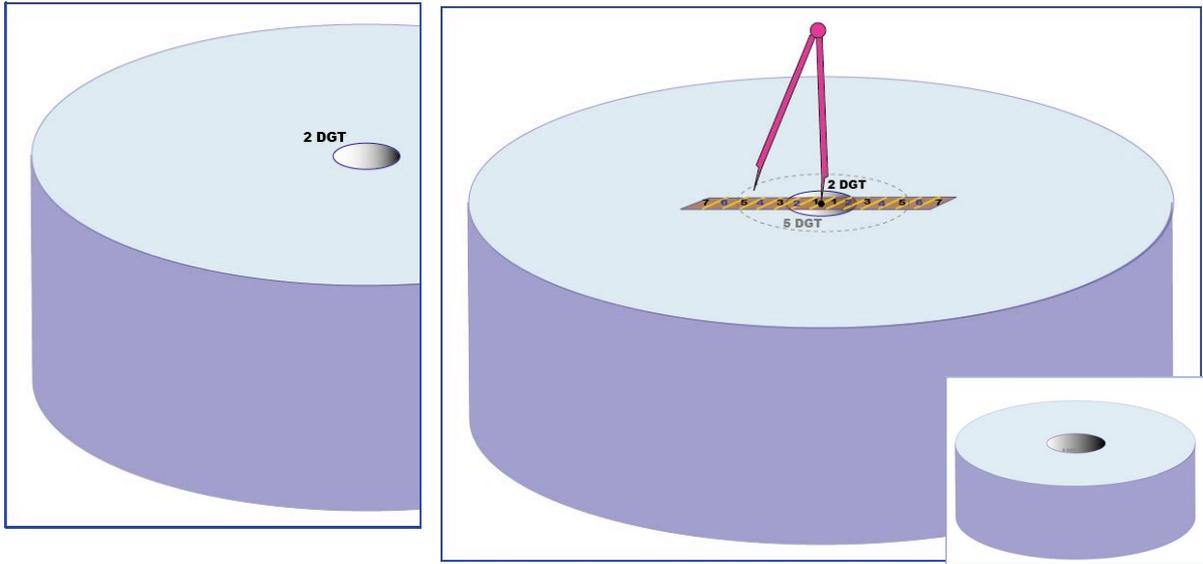


En revanche la technique précédemment évoquée d'une perforation centrale amorçant le Diamètre de l'Œillard pose problème pour un tracé au compas puisque la base d'appui de cet instrument a disparu. On peut imaginer deux solutions pour pallier cet inconvénient :

- qu'une cale (de bois, céramique ou pierre) soit insérée dans le forage et comporte un point central d'appui du compas,
- que le pré-trou du forage soit standardisé par exemple d'un diamètre de 1 ou 2 dgt ce qui permet, à l'aide d'une règle graduée en demi-dgt (Fig.53), de tracer à son pourtour une envergure en nombre pair ou impair de dgt²².

²² $1 \text{ dgt} + 0,5 = D. 1 + (0,5 \times 2) = D.2 \text{ dgt}$; $1 \text{ dgt} + 1 = D. 1 + (1 \times 2) = D.3 \text{ dgt}$ etc.

Figure 53 : Cœillard pré-foré à 2 dgt puis élargi au compas et à la règle graduée en demi-Digitus avant Evidement du Cône



2. Le Modèle 24 x 12 x 3 du Catillus du Chaudry et la Puissance de Hauteur Utile

61. Le potentiel en Hauteur Utile (ou Hauteur Utile maximale HU.M) du modèle D.24 x H.12 x HCo.3 DGT (*supra* Fig.47) s'établit à 12,5 cm ou 7 dgt.

La formule

$HU = H - (HCo + HTr)$
donne en effet :

$$HU = 21,5 - (4,5 + 4,5) = 12,5 \text{ cm}$$

$$HU = 12 \text{ DGT} - (2,5 + 2,5) = 7 \text{ dgt.}$$

En ce cas HU.M est égale à la Hauteur de l'Œil (HOE).

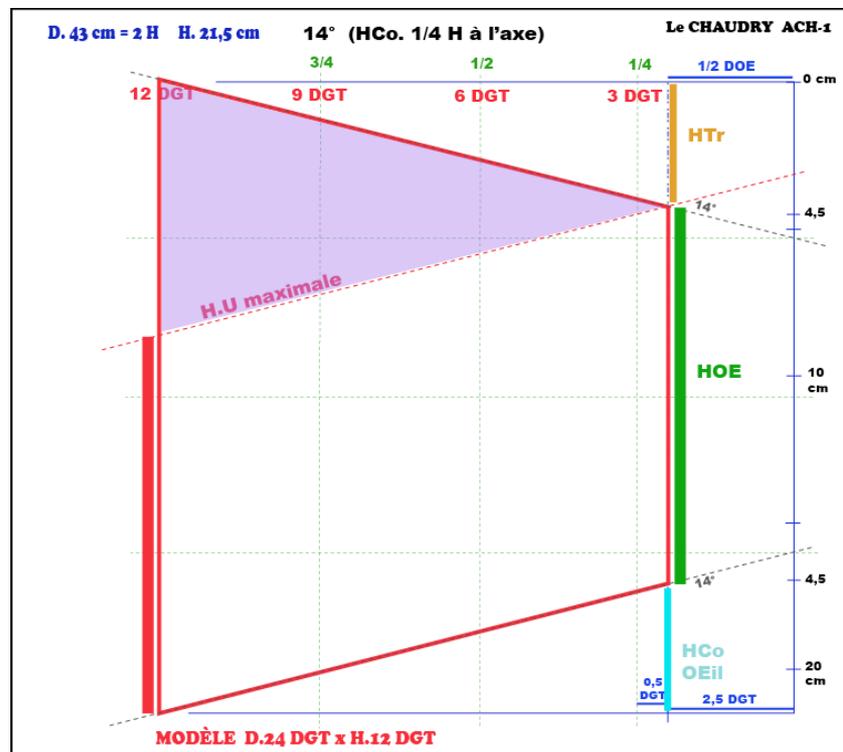


Figure 54 : Hauteur Utile maximale d'un *Catillus* (la couleur lilas figure la forme de la meule parvenue à son terme final d'usure)

La Hauteur Utile maximale est donc parfaitement calculable selon une simple addition-soustraction entre 3 longueurs **tout à fait** connues des meuliers : Hauteur de la meule et hauteurs du cône et de la trémie.

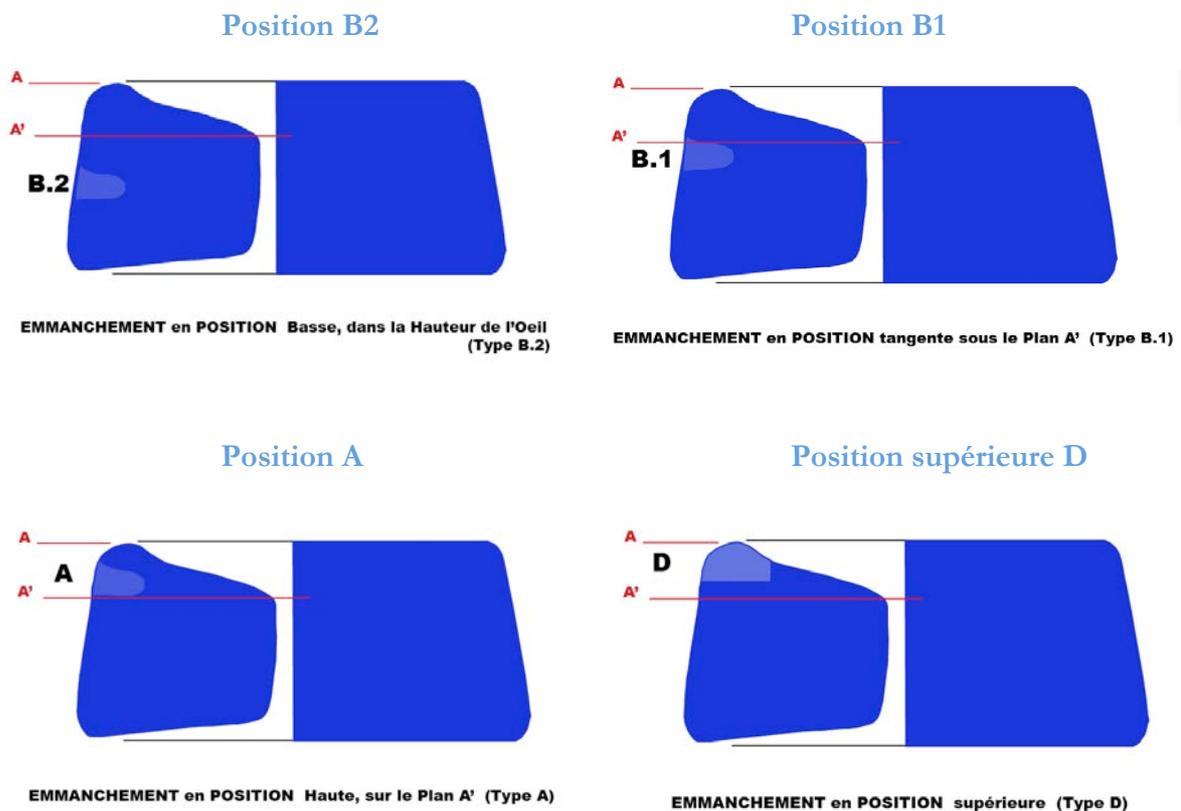
Les choses deviennent cependant plus complexes si le *Catillus* comporte un trou latéral d'emmanchement.

Dans ce développement nous examinerons donc les minoration consécutives à l'impact du trou d'emmanchement selon sa localisation sur la Hauteur du *Catillus*. Nous essaierons ce faisant d'établir si la Hauteur Utile était en ce cas maîtrisée voire calculée par les meuliers.

62. Il est rare qu'un trou d'emmanchement soit situé sous le plan médian d'un *Catillus*, une telle position constitue en effet un symptôme d'usure, le plan mobile inférieur B étant ainsi en cours de migration vers le plan A' constitué par le rebord supérieur de l'œil. Afin de disposer de repères fiables et réguliers nous avons ici choisi d'étudier l'incidence réductrice de l'emmanchement à travers la partition métrologique horizontale de la Hauteur du *Catillus* et à partir d'une position assez basse (type B2 – voir **Fig.55** ci-dessous) située au niveau du plan médian de la meule.

Nous procéderons principalement graphiquement, observant pour chaque cas l'incidence de la position de l'emmanchement sur la Hauteur Utile et, à travers la géométrie du *Catillus*, nous examinerons s'il était possible de calculer la Hauteur Utile.

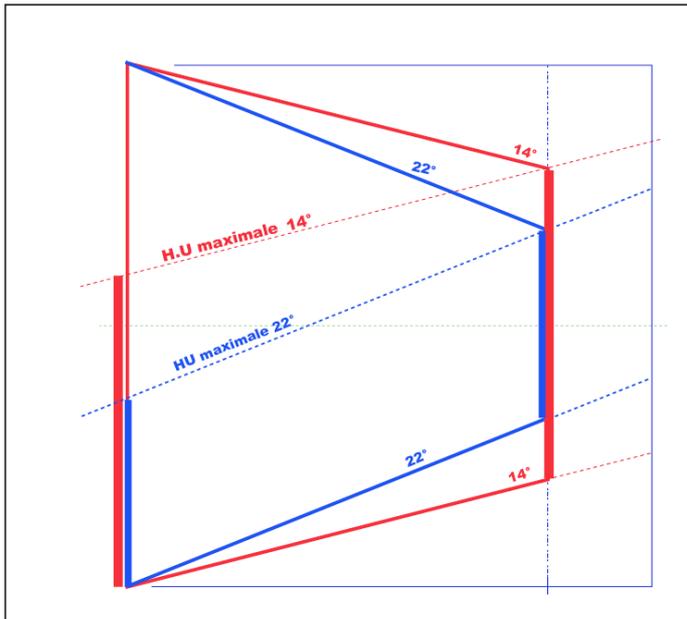
Figure 55 : Typologie des positions des Emmanchements latéraux (voir CHAP.14.5)



63. Avant de commencer on rappellera deux règles concernant la Hauteur Utile :

1- Plus la Conicité est forte, plus la Hauteur Utile diminue²³, en effet, une inclinaison importante fait croître la Hauteur de Cône et réduit la part de HU au sein de la Hauteur totale (la **Fig.56** illustre cette variation de HU entre une pente de 14 et de 22°) ; si la Conicité est élevée, une remontée même limitée de la position de l'Emmanchement entraîne un gain non négligeable de HU ;

Figure 56 : Diminution de la Hauteur Utile entre une Conicité de 14° et de 22°



Pour l'examen de l'impact réducteur de la position de l'emmanchement sur la Hauteur Utile nous avons conservé les dimensions observées sur le *Catillus* ACH-1 du Chaudry, à savoir : H.EMM 4 cm²⁴ et Prof.EMM 4,5 cm ceci afin de mener une approche géométrique à termes constants. Dans un second examen, tout en restant dans le modèle D.24 x H.12 dgt, nous avons modifié la hauteur du cône ainsi que le Diamètre de l'Œillard et donc la Conicité afin de chercher à cerner les liens entre les dimensions de l'emmanchement et le Diamètre de l'Œillard.

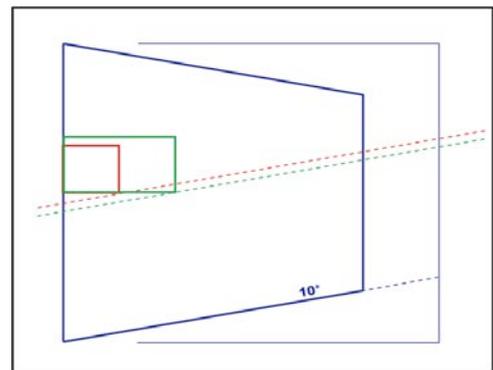
A. *Catillus* D.24 x H.12 dgt avec Conicité 14° (DOE 5 dgt), Emmanchement en position B2 médiane

64. La première position du trou d'Emmanchement que nous examinons, située sur le plan médian du *Catillus*, impacte drastiquement la longévité de la meule comme on peut le voir sur la **Fig.58** en comparant visuellement les segments de couleur lilas et gris. En effet la Hauteur Utile qui en résulte correspond à 60% du potentiel en Hauteur Utile (HU.Maximale) et la perte est de 40%.

Dans cette configuration, la Hauteur Utile réellement disponible pour ce *Catillus* s'établit graphiquement à 7,5 cm et la perte à 5 cm pour une HU potentielle de 12,5 cm soit 7 dgt.

2- Plus la Conicité est faible moins la longueur de l'Emmanchement impacte la Hauteur Utile (**Fig.57**). L'impact réducteur zéro est représenté par une meule plate où le trou d'emmanchement peut être approfondi à l'infini jusqu'à la paroi de l'œillard.

Figure 57 : Faible impact réducteur de la Longueur de l'Emmanchement sur la Hauteur Utile lorsque la Conicité est faible

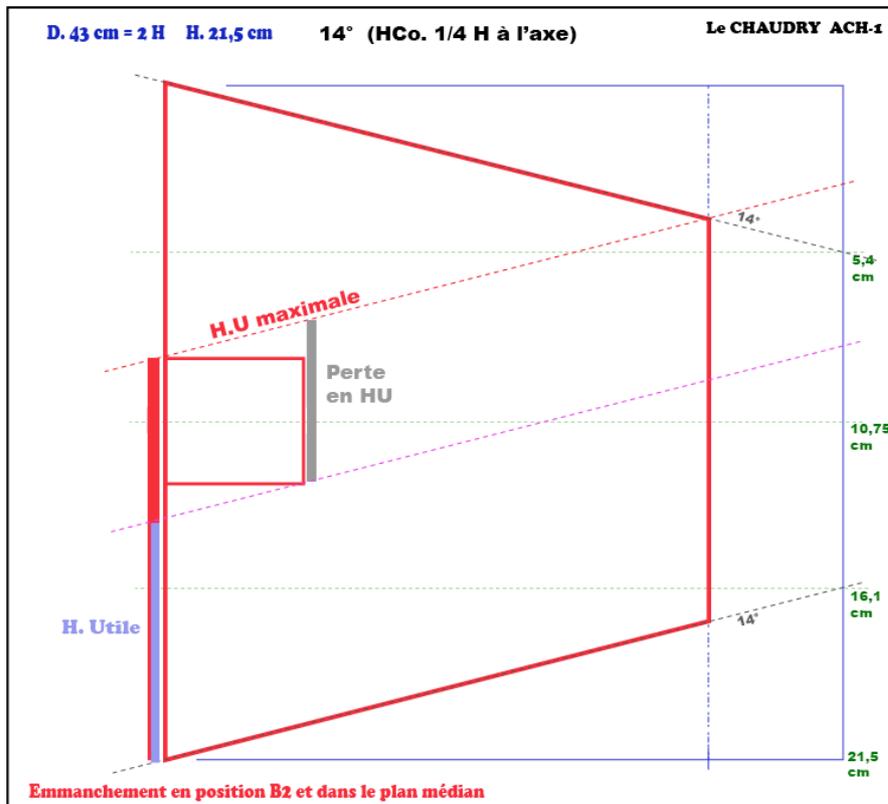


²³ Il serait à cet égard intéressant de regarder si les *Catilli* de forte conicité (19 à 34°) présentent des emmanchements latéraux et si la profondeur des emmanchements en direction de l'axe de révolution se trouve réduite à mesure que la conicité augmente.

²⁴ Hauteur et profondeur de l'emmanchement sont très proches du demi-diamètre de l'œillard (4,25 cm) ce qui pose, comme nous le verrons *infra*, l'éventualité que les dimensions du trou d'emmanchement soient déterminées par celles de l'œillard.

Les valeurs en *dgt* pour HU (4,25 DGT) et pour la perte en HU (2,75 *dgt*) s'exprimant au quart de *Digitus* (soit 0,44 cm), tendent à indiquer que cette grandeur est plus une valeur de calcul qu'une longueur réellement manipulable par les meuliers.

Figure 58 : Hauteur Utile & Emmanchement en position médiane



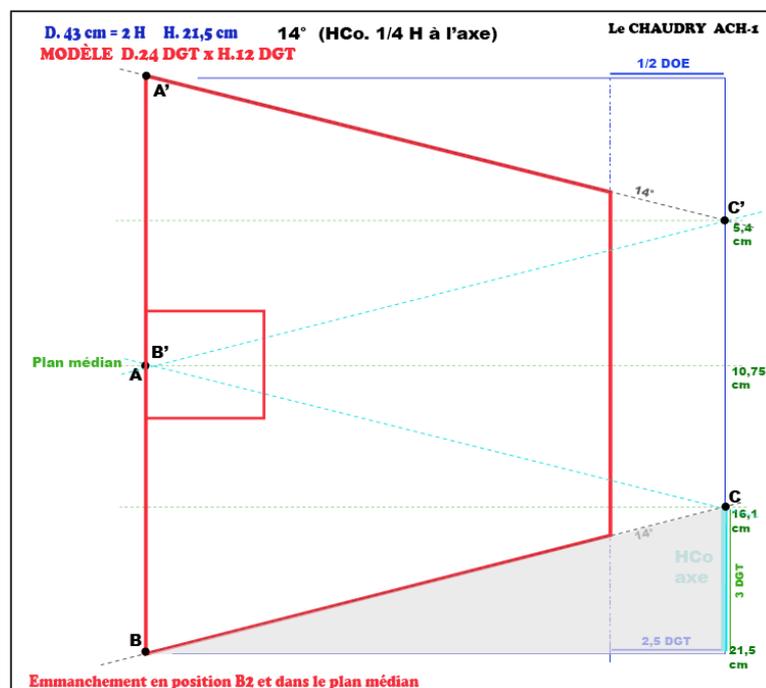
65. Nous allons explorer cette question en nous basant sur la géométrie du *Catillus* telle que proposée par l'articulation entre les plans de la meule et les obliques données par l'angulation du cône et de la trémie (Fig.58).

En effet, l'angulation du cône définit un triangle rectangle avec le plan de base du *Catillus* et la hauteur de cône. La duplication de ce triangle obtenue par le report de sa hauteur (HCo à l'axe) sur le flanc de la meule permet de définir un

triangle isocèle ABC (Fig.59). La même opération conduite à partir du plan supérieur du *Catillus* (que la trémie soit ou non de même inclinaison que le cône) permet de dupliquer ce triangle et de créer un bâti géométrique sur tout le profil. Une approche trigonométrique est ainsi possible pour tenter de comprendre la liaison entre les paramètres et la valeur de la réduction de la Hauteur Utile.

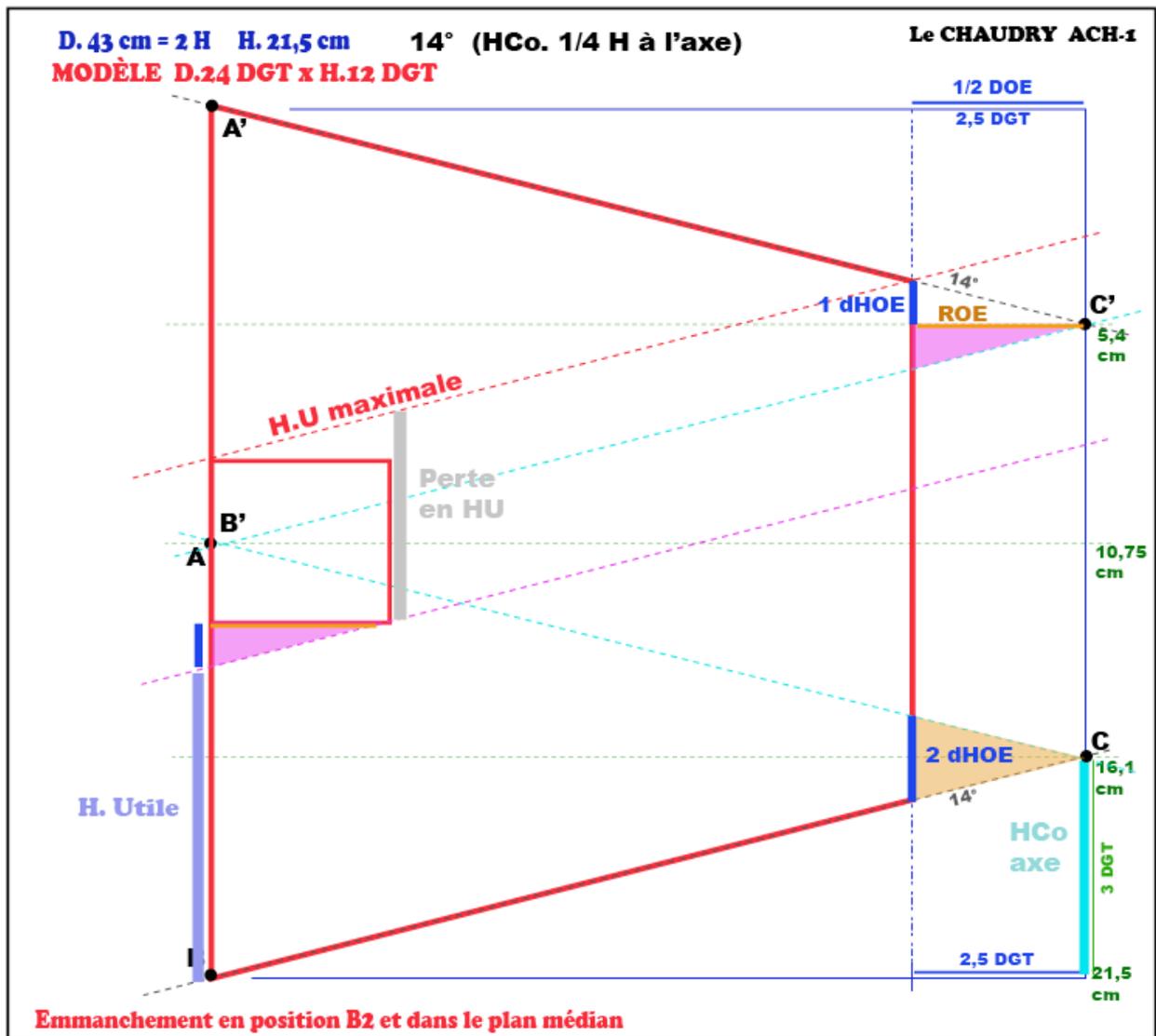
Figure 59 : Géométrie Triangulaire du *Catillus*

66. On s'aperçoit qu'il existe au point d'intersection (C et C') entre la ligne de pente de 15° et l'axe de révolution de la meule, un petit triangle isocèle (Fig.60) ayant pour hauteur et comme médiatrice le rayon de l'œillard (ROE, valeur 4,25 cm soit 2,5 *dgt*). Ce triangle est formé de 2 triangles rectangles identiques, de hauteur ROE et dont la base, formant une fraction faible et inconnue de la hauteur de l'œillard (HOE) sera désignée par le terme « delta HOE » (dHOE



est figuré en bleu roi sur la Fig.60). La base du triangle isocèle (figuré en beige sur la Fig.60) mesure donc 2 dHOE.

Figure 60 : Triangles rectangles et isocèles définissant delta-HOE



Il apparaît que la hauteur de l'emmanchement correspond à 2 fois ce triangle et donc à la valeur 4 dHOE (Fig.61). Enfin la perte de Hauteur Utile est égale à 4 + 1 dHOE soit 5 dHOE.

Figure 61 : Perte de HU exprimée en dHOE

La trigonométrie (Tangente) permet de calculer dHOE connaissant la hauteur (ROE) et l'angle 14°. ROE valant 4,25 cm ou 2,5 dgt en conséquence dHOE mesure 1,1 cm ou 0,64 dgt. La base du triangle isocèle (soit 2 dHOE) mesure ainsi 2,2 cm ou 1,25 dgt. La perte de Hauteur Utile (5 dHOE) vaut alors 5,5 cm ou 3,25 dgt soit empiriquement 1/4 de H (3 dgt) ou du demi-diamètre. Cette perte en HU correspond à 43% du potentiel en Hauteur Utile (perte 3 dgt sur 7 dgt).



En résumé, la perte de Hauteur Utile pour l'emmanchement situé à mi-hauteur d'un *Catillus* de modèle D.24 dgt x H.12 et de conicité 14° s'établit comme suit :

- HU potentielle : à l'axe = 10,5 cm = 6 dgt (**H - (HCo + HTr)**)
soit H.12 dgt - (3+3 dgt)
à l'œil = 12,5 cm = 7,25 dgt (H - (HCo + HTr))
soit H.12 dgt - ((3 dgt - 1 dHOE) + (3 dgt - 1 dHOE))
soit 12 dgt - (6 dgt - 2 dHOE) = 12 - (6 - 1,25) = 7,25 dgt
= **HU à l'axe + 2 dHOE²⁵** = 6 dgt + 1,25 = 7,25 dgt
- perte de ca. 45% du potentiel en Hauteur Utile
- diminution de HU due à la position de l'Emmanchement = -5 d HOE
= -3,25 dgt
= - ca. 1/4 de H
- HU disponible : 4 dgt soit 55% du potentiel (7,25 dgt)
- Hauteur de l'emmanchement : H.EMM = 4 dHOE
- HU disponible : 4 dgt = **1/2 H - 3 dHOE** soit 6 dgt - 2 dgt (2 dHOE = 1,92 dgt)
4 dgt = **HU potentielle à l'axe - 3 dHOE** = 6 dgt - 2 dgt

67. En conclusion de cette exploration géométrique conduite sur un modèle de *Catillus* D = 2H et conicité 14° avec emmanchement en position médiane, il apparaît que :

A. la HU potentielle (maximale) à l'axe (HU.Ma) peut être calculée :

$$\text{formule } \mathbf{HU = H - (HCo + HTr)}$$

B. la HU potentielle à l'aplomb de l'Œillard (HU.Moe) peut aussi être calculée :

$$\text{sachant le diamètre de l'Œillard, la formule est : } \mathbf{HU = HU.Ma + 2 dHOE}$$

C. la valeur de delta HOE peut être calculée selon la formule :

$$\mathbf{Tang.Conicité \times \frac{1}{2} DOE}$$

D. la HU disponible finalement (HUNf) correspond à :

$$\mathbf{HU = HU.Moe - 5 dHOE} \text{ sachant que H.EMM = 4 dHOE}$$

E. la HU disponible finalement (HUNf) peut être approchée ainsi sachant que HCO et HTR valent chacune 1/4 de H ou du demi-Diamètre :

$$\mathbf{HU = \frac{1}{2} H - 3 dHOE = HU.Ma - 3 dHOE}$$

$$3 dHOE = 2 DGT \text{ constitue une approximation pour } 1,92 \text{ dgt.}$$

68. Le calcul de la Hauteur Utile potentielle ou une bonne approximation empirique constituent une première étape possible de la maîtrise de la Hauteur Utile finale, donc de la longévité de la meule en fabrication.

Dans cette optique, la définition de HCo à l'axe devait souvent permettre la manipulation de nombres entiers de dgt, d'une part parce que la conicité peut être choisie avec le diamètre pour obtenir une HCO entière, laquelle s'avère très généralement située de 1 à 4 dgt mais utilisée par demi-dgt. D'autre part la profondeur de la trémie pouvait sans doute être modulée afin de compléter HCo et obtenir un cumul HCo + HTr qui corresponde à des dgt entiers, et donc une HU qui soit exprimée de même.

En l'absence d'emmanchement, HU potentielle et HU finale étant identiques, la maîtrise de la Hauteur Utile d'un *Catillus*, apparaît aisée même si elle pouvait parfois correspondre à des demi-dgt : d'une part tailler en pierre dure à cette échelle (soit à 0,9 cm près) n'était peut-être pas impossible, d'autre part une approximation de 1/2 dgt sur une longévité de meule de l'ordre de 6 ou 8 dgt ne devait pas être très palpable et s'approchait sans doute des limites techniques du contrôle qu'un acquéreur, même muni d'une règle graduée, pouvait exercer sur la Hauteur de l'œillard.

²⁵ Il est opportun de souligner ici, comme on le verra au **CHAP. 17**, que la réalisation de l'Œillard conduit à une augmentation de la Hauteur Utile, celle-ci à son maximum étant égale à la Hauteur de l'œillard (HU.M = HOE).

69. Toutefois l'exploration géométrique développée aux paragraphes précédents indique qu'en cas de présence d'un trou latéral d'emmanchement les calculs et étapes successives A, B et C ci-dessus, nécessaires à la connaissance de la Hauteur Utile, ne devaient pas être aisées même pour une officine bien dotée en tables de correspondance entre angles et longueurs. C'est pourquoi il nous apparaît vraisemblable que les meuliers, a fortiori sans doute habitués au report de longueurs sur le flanc des fûts pour déterminer des angles ou dériver des paramètres, avaient plutôt recours à des équivalences ou des approximations du type D et E ci-dessus.

70. Nous allons poursuivre notre exploration géométrique relative au calcul de la hauteur Utile en fonction de la position de l'Emmanchement latéral afin de voir si, ces équivalences D et E ainsi que le rapport avec le Diamètre de l'Œillard à travers le paramètre dHOE, peuvent permettre d'approcher voire de calculer la Hauteur Utile²⁶.

En l'occurrence les questions nous paraissent les suivantes :

. pourquoi, dans le modèle D.24 x H.12 14° et emmanchement médian, la différence entre la HU potentielle et la HU finale est-elle de 5 dHOE ? valeur qui en ce cas correspond à ¼ de H ou de demi-diamètre

. la hauteur du trou d'emmanchement semble correspondre à une certaine quantité de dHOE ou/et au rayon de l'œil (1/2 DOE) : quelle était la vraisemblable règle de calibrage qui présidait ainsi, à travers le dimensionnement de l'emmanchement, au calcul ou à l'appréciation de la Hauteur Utile finalement disponible ?

. dans le cas de la présence d'un trou d'emmanchement, le diamètre de l'œillard (DOE) était-il choisi et calculé de manière à permettre de maîtriser la Hauteur Utile à travers un paramètre dérivé tel que dHOE ?

B. *Catillus* D.24 x H.12 dgt avec Conicité 19° (DOE 6 dgt), Emmanchement en position B2 médiane

70. Dans ce second examen, tout en restant dans le modèle D.24 x H.12 dgt on a modifié le point d'articulation entre l'œillard et le cône ou la trémie (**Fig.62**) ce qui porte à 3 dgt à la fois le demi-Diamètre de l'Œillard et HCo (Hauteur du Cône) ainsi que HTr (Hauteur de la Trémie) et par conséquent la conicité à 19°.

La Hauteur Utile maximale à l'aplomb de l'œil (HU.Moe) est alors (**Fig.63**) de 6 dgt soit aussi ½ H et en l'occurrence 10,5 cm. La Hauteur Utile maximale à l'axe (HU.Ma) est de 2 fois 2/3 de 3 dgt (**Fig.64**)²⁷ soit un total de 4 dgt (et 7 cm). Le dimensionnement de l'œillard à 6 dgt fait donc croître la HU de 50%. Cependant, nous y reviendrons, l'œillard atteint alors 25% du diamètre du *Catillus* (D.24 dgt) ce qui est une proportion forte sinon limite.

²⁶ Il est clair qu'une approche géométrique véritable et complète des différents paramètres et de leurs articulations nécessite de travailler avec un géométricien même si la base est relativement simple (Pythagore, Thalès et trigonométrie).

²⁷ Comme le montre la géométrie des triangles (*infra*), HU.Ma est égale à 4 dHOE.

Figure 62 :
 Profil du *Catillus* de
 modèle D.24 x H.12
 dgt et de Conicité 19°
 comparé au même en
 Conicité 14°

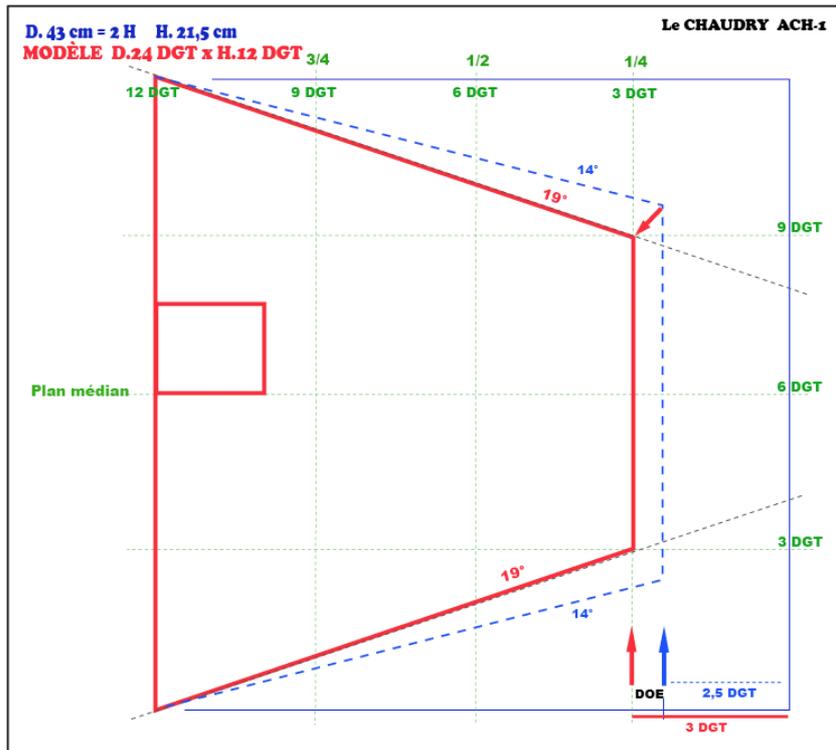


Figure 63 : Hauteur Utile
 maximale du *Catillus* D.24 x
 H.12 dgt et Conicité 19°
 (en gris HU maximale à l'axe)

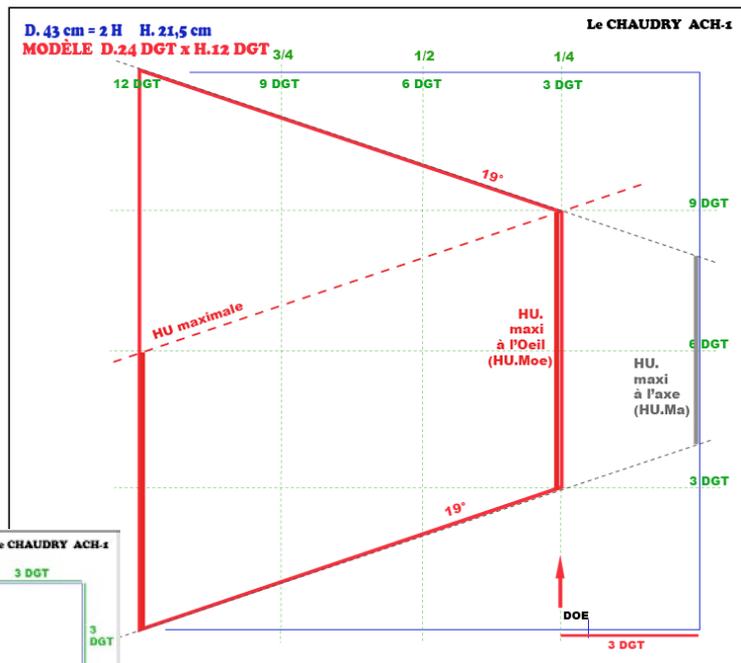
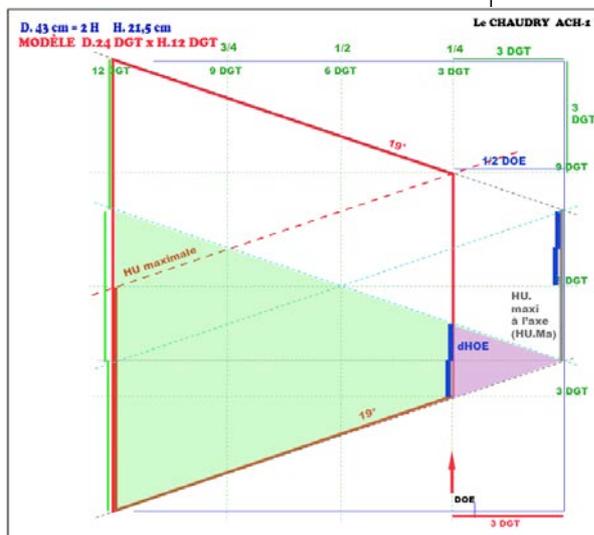


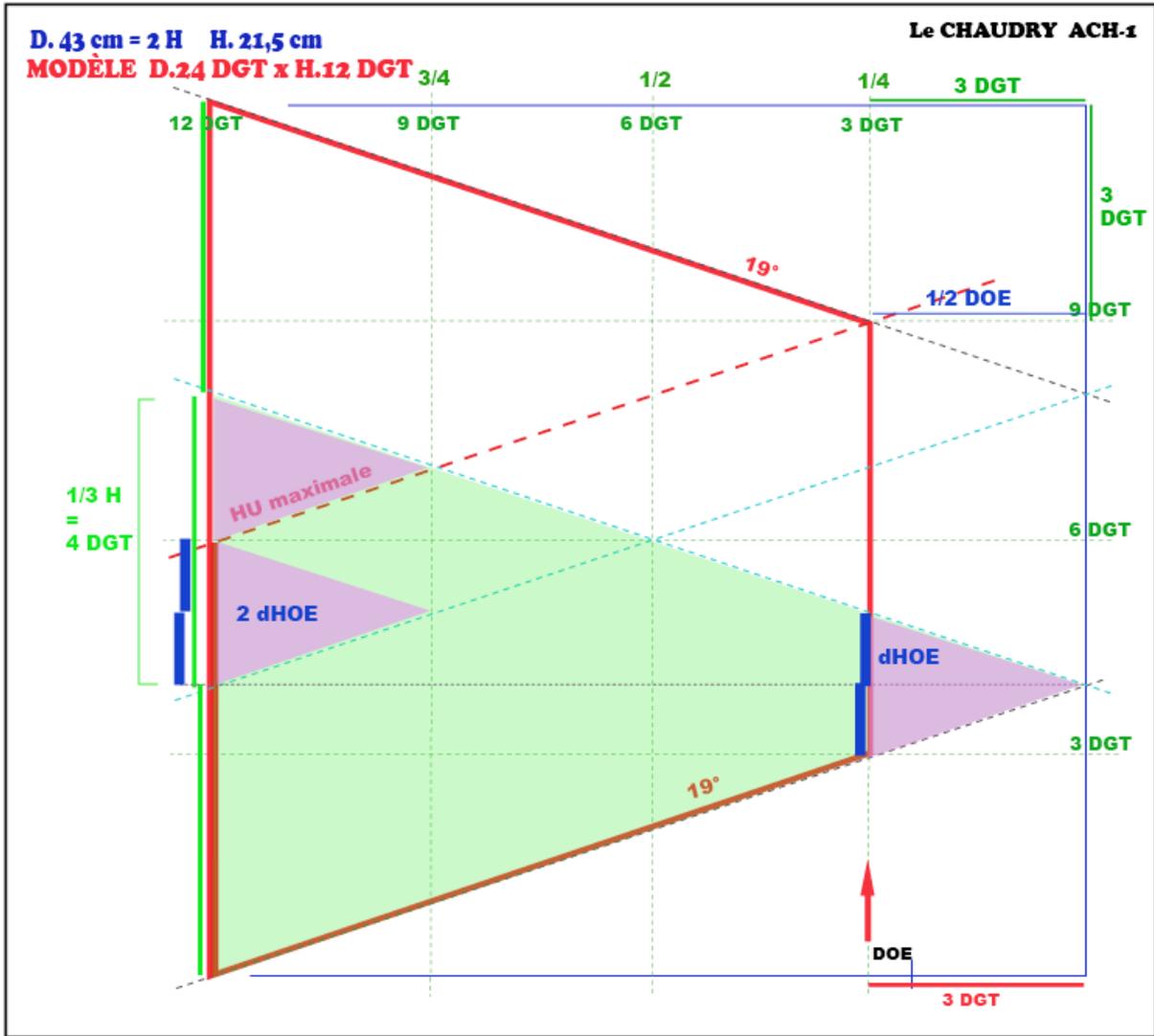
Figure 64 : Hauteur Utile
 maximale à l'axe (HU.Ma)
 valant 4 dHOE soit 4 dgt



71. Si l'on trace sur le profil du *Catillus* les triangles correspondant à la pente du cône et à son intersection avec les plans horizontaux définis par les quarts de la Hauteur (Fig.65) on s'aperçoit que la base du triangle (segment vert) vaut $\frac{2}{3}$ de la Hauteur du *Catillus* et donc 8 dgt, chaque tiers mesurant 4 dgt. Ces segments permettent également de mesurer la Hauteur Utile maximale puisque celle-ci est $\frac{1}{3}$ plus la moitié d'un tiers soit $4 + 2$ et donc 6 dgt ce qui correspond bien à $\frac{1}{2} H$.

Mais l'intérêt de cette géométrie triangulaire du profil du *Catillus* est de définir le triangle isocèle (en mauve sur la Fig.65) inscrit dans le rayon de l'œillard (1/2 DOE) et dont la base mesure 2 dHOE. Ce procédé donne graphiquement et par report latéral sur le flanc de la meule, la valeur en dgt de la base de ce triangle : il faut en effet 2 fois cette base pour faire 1/3 de H soit 4 dgt. Par conséquent 2 dHOE valent 2 dgt et dHOE mesure 1 dgt. Cette valeur est

Figure 65 : Géométrie triangulaire du profil du *Catillus* 24 x 12 dgt 19°

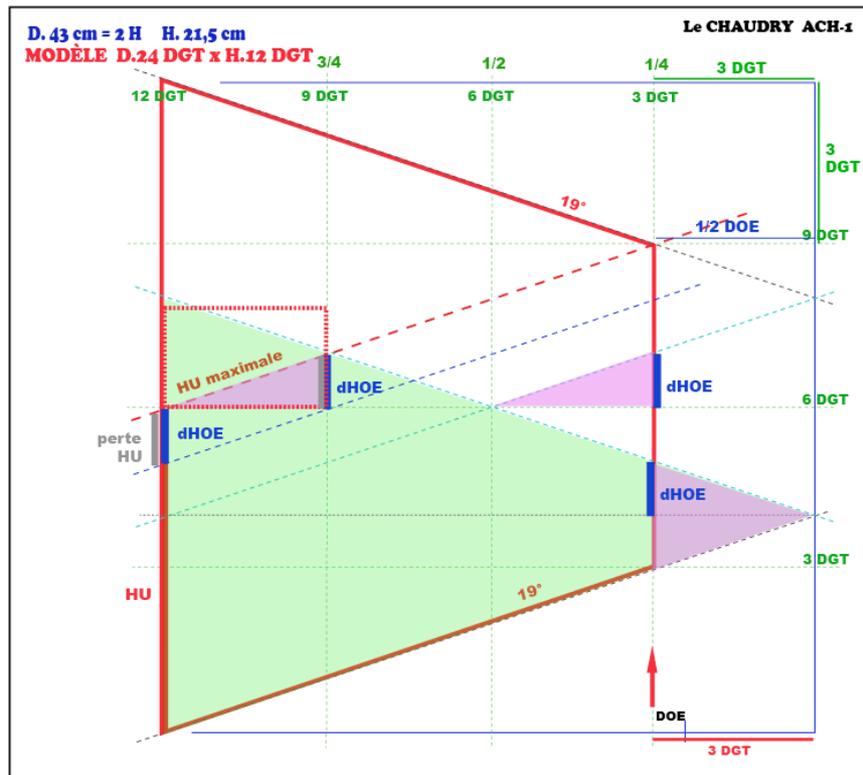


confirmée par le calcul trigonométrique : le demi-diamètre de l'œillard (DOE) mesurant 3 dgt et l'angle 19°, la base du triangle rectangle correspondant (soit dHOE) vaut 1,08 dgt et par conséquent la base du triangle isocèle (2 dHOE) mesure 2,16 dgt.

72. On envisager à présent l'impact que l'emplacement de l'emmanchement peut avoir sur la Hauteur Utile.

Le plus simple est, comme nous l'avons vu précédemment, de conférer à l'emmanchement une profondeur égale au demi-diamètre de l'œillard (soit 3 dgt) : en ce cas la perte en HU est de 1 dHOE si l'Emmanchement est en position B2 et repose sur le plan médian (Fig.66).

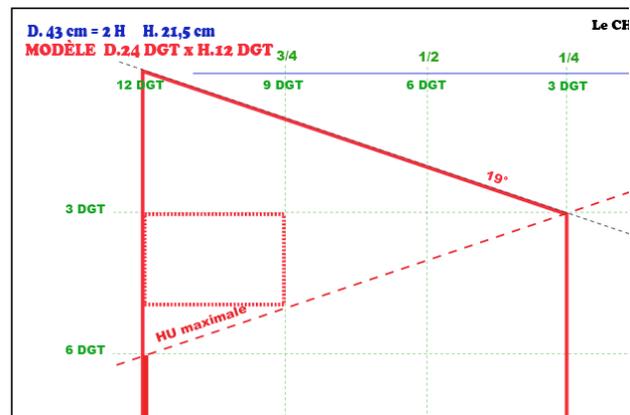
Figure 66 :
Emmanchement de 3 dgt de profondeur et 2 dHOE de hauteur, reposant sur le plan médian : la perte en HU est de 1 dHOE (1 dgt)



La perte en Hauteur Utile devient nulle si l'emmanchement est (position B1) accolé sous le plan A' (ici égale au quart supérieur) : voir Fig.67.

Cependant, pour un Emmanchement la profondeur de 3 dgt (soit ca.6 cm) pourrait être trop importante, elle occupe dans le cas présent 25% du rayon (12 dgt) du *Catillus* (soit 12,5% de son diamètre), elle passerait à 33% pour un diamètre, au reste courant, de 18 dgt²⁸ et 50% du rayon... On a donc aussi examiné l'impact d'un Emmanchement d'une profondeur plus limitée, par exemple à 2 dgt.

Figure 67 : Emmanchement de 3 dgt de profondeur et 2 dHOE (2 dgt) de hauteur en position B1 : la Hauteur Utile est maximale



73. On a ainsi examiné le gain en Hauteur Utile que pouvait procurer la limitation de la profondeur de l'Emmanchement à 2 dgt au lieu de 3 (Fig.68). En réalité, l'effet apparaît très limité sur la réduction de HU, celle-ci passant de 1 dgt (soit 1 dHOE) à 0,72 dgt selon le calcul trigonométrique.

Cette valeur pouvait être assimilable à 0,75 dgt ou 3/4 de dgt (soit ici 1,32 cm) ce qui donnait une Hauteur Utile disponible de 5,25 dgt (HU.Maximale à l'aplomb de l'œillard 6 dgt – 0,75 dgt). Cette valeur de HU, précise au 1/4 de dgt (soit ici 0,44 cm), constitue une grandeur quasiment impossible à réaliser en taille de pierre dure. Mais arrivé à ce point il vaut d'être noté que cette longueur de 5,25 dgt à n'avait pas à être concrètement réalisée, il s'agit d'un paramètre dérivé qui découlait de 2 autres : le Diamètre de l'œillard (DOE) et la profondeur de l'emmanchement, ceci pour un modèle donné de *Catillus* (ici D. 24 dgt, H.12 et HCo.3 dgt soit une conicité de 19°).

En termes de commerce ou d'échange, le *Catillus* ainsi configuré pouvait être réputé d'une hauteur usable de 5 ou 6 doigts, ce qui n'était peut-être pas nécessaire si les trous d'emmanchement étaient réalisés au niveau final de la chaîne production/acheminement/ utilisation par

²⁸ Nous ne disposons toutefois pas d'une base statistique pour les profondeurs d'emmanchement ni de leur proportionnement (ou non) au diamètre des *Catilli*.

un installateur de moulin ou par le simple utilisateur (voir **ENCART** page suivante) : seule alors la Hauteur Utile à l'œillard, donnée « constructeur », pouvait qualifier la meule.

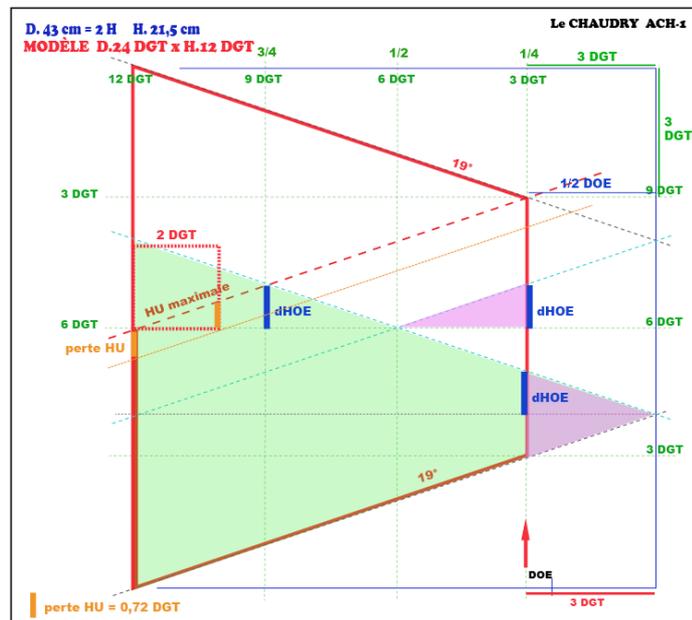
74. Etant donné l'important effet réducteur de la Hauteur Utile que pouvait avoir un Emmanchement latéral selon sa position sur le flanc, on peut douter que sa réalisation ait été effectuée par un opérateur ignorant les règles de son positionnement. La géométrie des meules rend probable la réalisation des trous d'emmanchement par un corps de métier instruit.

L'échelle de diffusion des ateliers meuliers (60/100 km sinon bien plus) implique que si les Emmanchements n'étaient pas réalisés sur l'Atelier, les techniciens aient été soit itinérants soit locaux ou liés aux places de marchés diffusant les meules. On peut envisager, notamment dans ce dernier cas que leur compétence n'ait pas été limitée au seul domaine des moulins et qu'ils aient pu intervenir sur différentes installations ou activités (y compris dans la construction par exemple).

Figure 68 : Réduction de la hauteur Utile pour un Emmanchement de 2 dgt de profondeur et 2 dHOE (2 dgt) de hauteur, en position B2 accolée sur l'axe médian

75. Concernant cette réduction de la hauteur d'usure, il est intéressant de noter le jeu des valeurs entières en dgt des différents paramètres dans ce régime de 19° : demi-Diamètre de l'œillard 3 dgt, dHOE 1 dgt, perte de HU de 1 dHOE (Fig.66) pour une longueur de l'Emmanchement de 3 dgt, et perte de 3/4 de dHOE pour un Emmanchement logn de 2 dgt.

Il est probable que les meuliers connaissaient ces équivalences entre grandeurs entières²⁹, il suffit en effet qu'elles aient été calculées une seule fois par des géométriciens maîtrisant les techniques pythagoriciennes. A partir de



ces calculs, qui devaient être le lot quotidien des écoles d'arithmétique et de géométrie, des tables pouvaient à loisir être générées puis échangées ou vendues selon les différents besoins techniques des professionnels³⁰.

76. On fera à cet endroit une incursion exploratoire dans le domaine des valeurs entières que constituent les paramètres DOE et dHOE (hauteur du triangle rectangle basé sur le rayon de DOE et permettant le calcul de la réduction de HU consécutive à la présence d'un emmanchement latéral de longueur déterminée). Il s'agit ici de déterminer les valeurs de dHOE qui, issues du calcul trigonométrique et fournies sur une table détenue par l'officine, pouvaient permettre au meulier de savoir quelles étaient la profondeur à donner à un Emmanchement, la hauteur de sa localisation sur le flanc du *Catillus* et la réduction de Hauteur Utile que cette incision latérale entraînait.

²⁹ Les valeurs qui ne pouvaient pas être exprimées sous forme d'entières ou de fraction (parts exprimées en entières telles que 3/4, 5/4, 3/2 ou 5/16) étaient considérées comme « incommensurables » (littéralement « non mesurables »).

³⁰ Ces besoins en tables de correspondances entre longueurs, angles ou proportions devaient être fréquents par exemple pour la charronerie (roues) et les transports, les machines de levage ou de guerre, l'hydraulique (roues, débit), la charpenterie (géométrie, report des forces, espacements des mortaises), marine (tonnage, voilure, espacements) ou encore les domaines où le poids et le volume devaient être anticipés.

ENCART -2

La réalisation des trous d'EMMANCHEMENT sur les ATELIERS MEULIERS & à Orvieto

L'ébauche de *Catillus* de l'officine du Chaudry, quasi-achevée et à laquelle ne manque peut-être qu'une dernière finition de ses surfaces, présente un trou latéral d'emmanchement ouvragé avec soin. Il constitue un exemple de réalisation en atelier de ces aménagements terminaux qui régulièrement semblent prendre place en dehors des officines ou sur des aires plus éloignées que celles consacrées aux premières phases du façonnage (Étapes I à III).

Il nous a paru intéressant de chercher à savoir si la réalisation de telles mortaises d'emmanchement intervenait plutôt sur le lieu de production ou plutôt hors atelier, dans des officines secondaires ou au niveau de l'installation. Les données sont présentées dans le Tableau ci-contre. Elles ont pu être établies pour 15 ateliers de notre corpus livrant près de 200 *Catilli* dont une centaine parvenus aux stades finaux (IV et V) du façonnage.

La réalisation des trous d'emmanchement est loin d'être anecdotique sur les ateliers. En effet, elle est attestée sur la moitié des officines et globalement sur 27 % des *Catilli* qui ont atteint les stades finaux de façonnage. La fréquence des aménagements destinés aux emmanchements latéraux atteint même 38 % sur les seuls ateliers où ils sont attestés.

On ne sait en revanche si l'absence des trous d'emmanchement sur des ateliers tels que Orvieto, le Hertfordshire ou les Fossottes en Alsace est due à une insuffisance quantitative des échantillons, à une absence réelle de cette opération sur certaines officines, ou bien encore à sa réalisation en un autre lieu (sur des aires distantes de celles consacrées aux premières étapes du façonnage ou sur des ateliers secondaires éloignés, dans le cadre d'une chaîne de production alors plus complexe).

ATELIER	nombre de <i>Catilli</i>	<i>Catilli</i> de stade IV-V	Trou d'EMMANCHEMENT		Notes
			Atelier	%	
ORVIETO	23	8	0	0%	
AVRILLY	14	8	1	12%	+ 1 <i>Catilli</i> en dôme
HERTFORDSHIRE	9	9	0	0%	+ 1 <i>Catilli</i> en dôme
Le CHAUDRY	20	16	4	25%	+ 2
Les FOSSOTTES	31	10	0	0%	
PORTUS	4	3	0	-	échantillon trop faible
AGDE	14	12	9	0 à 41%	(9?) tous Contextes Utilisation possible
La MARÈZE	3	0	0	-	Ebauches stades I à III
CHABLES	12	2	1	-	échantillon trop faible pour %
EIFEL 2008	10	3	0	-	échantillon trop faible
La LANDE, La V.	18	-	4	-	(4?) tous Contextes Utilisation probables
AUTUN Arroux	4	4	0	-	échantillon trop faible
OBERNAI	5	3	1	-	échantillon trop faible pour %
BAD NAUHEIM	21	14	5	36%	
15 BORKEN	4	0	0	-	échantillon trop faible
LOVOSICE*	38	38	26	-	26 ? tous provenant de sites d'Utilisation ?
	192	92	25	27%	
	Emmanchements sur 7 ateliers				
		55	21	38%	

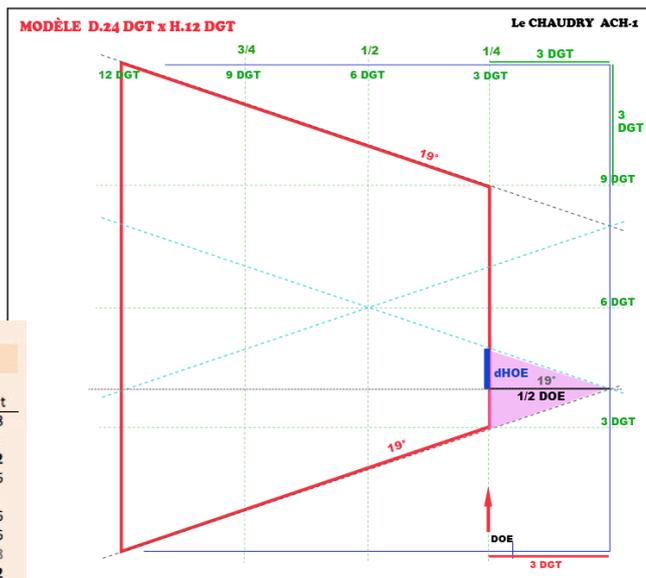
* exemplaires provenant de sites d'Utilisation des meules
* WALDHAUSER 1981

C. Approche des valeurs en dgt entiers de dHOE et de DOE permettant le calcul de la Hauteur Utile d'un *Catillus* à Emmanchement latéral

77. On envisage la possibilité que certaines dimensions de l'œillard (DOE) puissent être choisies par les meuliers parce qu'elles correspondent à des valeurs de dHOE en dgt entiers qui rendraient ainsi aisé le calcul des proportions et de la position de l'emmanchement ainsi que celui de la Hauteur Utile réellement disponible mais diminuée par cet emmanchement. On rappelle d'abord (Fig.69) à quoi correspond dHOE : hauteur du triangle rectangle inscrit dans le rayon de l'œillard (1/2 DOE) et configuré par la conicité.

Figure 69 : Le paramètre dHOE dans la géométrie d'un *Catillus*

Le calcul trigonométrique (formule de la Tangente) nous permet de définir la valeur de dHOE pour un diamètre de l'œillard (DOE) donné. Nous avons ainsi établi une table des valeurs de dHOE, ou le plus souvent, de 2 dHOE, qui s'expriment



valeurs en DGT entiers de dHOE & ROE selon la Conicité						
	1/2 DOE	DOE	dHOE	2 dHOE	approxim.	écart
10°	1,5 DGT	3 DGT	0,27 DGT	0,54 DGT	x4 = 1,08 DGT	0,08
	2,5 DGT	5 DGT	0,45 DGT	0,9 DGT		0,1
	2,75 DGT	5,5 DGT	0,49 DGT	0,98 DGT	= 1 DGT	0,02
	3 DGT	6 DGT	0,53 DGT	1,06 DGT	ca. 1 DGT	0,06
13°	2 DGT	4 DGT	0,47 DGT	0,94 DGT	ca. 1 DGT	0,06
	2,25 DGT	4,5 DGT	0,53 DGT	1,06 DGT	ca. 1 DGT	0,06
	2,5 DGT	5 DGT	0,59 DGT	1,18 DGT		0,18
	3,25 DGT	6,5 DGT	0,76 DGT	1,52 DGT	= 1,5 DGT	0,02
16°	2 DGT	4 DGT	0,59	1,18 DGT		0,18
	2,25 DGT	4,5 DGT	0,66	1,32 DGT		0,18
	2,5 DGT	5 DGT	0,74	1,48 DGT	= 1,5 DGT	0,02
	2,75 DGT	5,5 DGT	0,81	1,62 DGT		0,12
	3,25	6,5 DGT	0,96	1,92 DGT	ca. 2 DGT	0,08
19°	1,5 DGT	3 DGT	0,54 DGT	1,08 DGT	ca. 1 DGT	0,08
	2 DGT	4 DGT	0,72 DGT	1,44 DGT	ca. 1,5 DGT	0,06
	2,5 DGT	5 DGT	0,9 DGT	1,80 DGT		0,1
	2,75 DGT	5,5 DGT	0,99 DGT	1,98 DGT	= 2 DGT	0,02
	3 DGT	6 DGT	1,08 DGT	2,16 DGT		0,16
22°	1,75 DGT	3,5 DGT	0,75 DGT	1,5 DGT	= 1,5 DGT	0
	2,25 DGT	4,5 DGT	0,96 DGT	1,92 DGT	ca. 2 DGT	0,08
	2,5 DGT	5 DGT	1,07 DGT	2,14 DGT		0,14
	3 DGT	6 DGT	1,28 DGT	2,56 DGT	ca. 2,5 DGT	0,06
	3,5 DGT	7 DGT	1,5 DGT	3 DGT	= 3 DGT	0

en un nombre entier de dgt (en gras sur la Fig.70). On s'aperçoit que pour chaque Conicité, seulement 2 à 3 Diamètres de l'œillard aboutissent à une valeur entière de dHOE.

Figure 70 : Valeurs du Diamètre de l'œillard (DOE) et de dHOE en dgt entiers selon les différentes conicités

78. La démarche qui voudrait que DOE soit calibré en fonction de la valeur de dHOE en dgt entier aboutit donc à restreindre drastiquement le choix des diamètres de l'œillard. Ces possibilités sont récapitulées dans la Fig.71.

Figure 71 : Table des valeurs entières de dHOE et du DOE correspondant dans les différentes conicités

	DOE Diamètre de l'œillard								
	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
10°	0,5					1	1		
13°			1	1				1,5	
16°					1,5				2
19°	1		1,5			2			
22°		1,5		2			2,5		3
D.18 DGT	17%	19%	22%	25%	28%	31%	33%	36%	39%
D.20 DGT	15%	18%	20%	23%	25%	28%	30%	33%	35%
D.24 DGT	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	27%	29%

1,5 valeur en DGT de 2 dHOE
 valeur préférentielle de DOE/D 18 à 29% avec pics sur 18-20% et 22-24% de D, pic secondaire sur 14%.

Ainsi par exemple pour la conicité 10° seuls les Diamètres de l'œillard de 3 dgt, de 5,5 et de 6 dgt sont possibles car ils donnent 2 dHOE de respectivement 0,5 dgt et 1 dgt.

Cette restriction à seulement 3 valeurs du DOE augmente puisque si le diamètre du *Catillus* mesure 18 dgt (ca. 33 cm) seul le DOE de 3 dgt sera possible (un DOE de 5,5 ou 6 dgt donnerait un œillard large de plus de 30% ce qui est très rare).

79. Les Diamètres de l'Œillard figurés en rose fuxia sur la **Fig.71** montrent quelles sont les valeurs de l'Œillard les plus fréquemment (70%) observées³¹. On en déduit que si les meuliers choisissaient la dimension de l'œillard afin de pouvoir calculer la Hauteur Utile en dgt via dHOE, les Conicités 13, 19 et 22° devraient être préférées puisqu'elles offrent le plus de valeurs entières de 2 dHOE dans cette zone (et pourtant seulement 2 par conicité). Or ce n'est pas le cas puisque les Conicités les plus fréquentes sont 10/13/16/19° en sus de 0° (Meules Plates).

On doit donc en conclure –sauf à constater que les *Catilli* pourvus d'un emmanchement latéral répondraient à ces normes contraignantes relatives à leur Diamètre d'Œillard³² – qu'il est peu probable que les meuliers aient maîtrisé la connaissance ou le calcul de la Hauteur Utile par le biais de la dimension de l'œillard et du paramètre dHOE qu'elle génère.

On est donc conduits à envisager l'alternative suivante : devant la nécessité d'un emmanchement, les fabricants de meules s'en tenaient vraisemblablement soit à la seule mesure de la Hauteur Utile potentielle donnée par la Hauteur de l'Œillard (HU = HOE), soit ils calculaient ou appréciaient empiriquement la Hauteur Utile disponible d'après une autre méthode.

En définitive, l'examen du modèle D.24 x H.12 dgt de *Catillus* du Chaudry en version 19° nous montre deux aspects :

80. 1. d'une part les meuliers étaient en mesure de *calculer*, en dgt et avec une faible approximation, la Hauteur Utile d'un *Catillus* en déduisant de la Hauteur le total formé par la Hauteur du Cône et celle de la Trémie mesurées à l'aplomb de l'œillard (formule $HU = H - (HCo + HTr)$). Plus concrètement il leur suffisait, comme à l'acquéreur d'une meule (ou à l'archéologue) de mesurer la Hauteur de l'œillard (HOE). Par ailleurs, dès lors que la valeur à neuf de HOE était connue, le mesurage de HOE sur une meule permettait d'en apprécier le degré d'Usure³³.

81. 2. d'autre part, si un trou latéral d'emmanchement devait équiper le *Catillus*, ce qui venait le plus souvent diminuer la Hauteur Utile (positions B2, B1 et parfois A), les meuliers avaient intérêt à choisir un Diamètre de l'Œillard qui permette de dimensionner hauteur et profondeur de la mortaise de cet emmanchement en fonction de la valeur en dgt entières de la hauteur dHOE afin de conserver le pouvoir de calcul de la Hauteur Utile. Il était pour cela nécessaire que l'officine soit munie de tables³⁴ mettant en correspondance les différents Diamètres de l'Œillard avec les différentes conicités ce qui leur fournissait alors la valeur en dgt de 2 dHOE. Que cette formule ait été pratiquée est possible mais incertain car elle restreignait le choix du DOE à 1 ou 2 dimensions par Conicité. L'éventualité que les meuliers aient seulement livré des meules assorties d'une Hauteur Utile connue correspondant à sa valeur maximale (HOE) est tout aussi probable sinon davantage.

³¹ Sur les assemblages issus de sites d'Utilisation des meules, la dimension de l'Œillard est systématiquement plus faible sur les Ateliers (1 et 3 DGT) sans doute parce que l'œillard y est seulement amorcé (voir **CHAP.13**).

³² Nous n'avons pas dans le cadre de ce travail dépouillé spécifiquement les *Catilli* à emmanchement et moins encore systématiquement cherché à en enregistrer DOE et les dimensions du trou d'Emmanchement.

³³ C'est au reste ce que faisaient les contrôleurs mandatés par les hôpitaux propriétaires des moulins en Flandres qui régulièrement venaient mesurer l'épaisseur et le diamètre des meules (BRUGGEMAN 2003).

³⁴ Notre simulateur de calcul soit de la conicité connaissant HCo et le rayon d'une meule, soit de l'un des 3 termes connaissant les 2 autres, permet de calculer dHOE ; dès lors la Hauteur Utile disponible en présence d'un emmanchement devient calculable si l'on construit une table comportant la Conicité, le Diamètre et la Hauteur de la meule ; le dispositif présente aussi l'intérêt de calculer et donc de prédire la hauteur à laquelle doit être localisée la base de l'emmanchement, donc de vérifier si la position observée sur une ébauche ou une meule neuve est conforme : dans le cas contraire, un mauvais emplacement impactant trop la HU pouvait alors avoir constitué un facteur de rebutage ou montrer que les producteurs ne maîtrisaient pas le calcul de HU et plaçaient la base de l'emmanchement de façon très empirique.

CONCLUSION

82. La morphologie et la fonctionnalité des Meules Rotatives Basses sont définies par plusieurs paramètres dont certains, tels que le Diamètre, la Hauteur et la Conicité, que l'on dira « configurants » sont directement manipulés par les meuliers. D'autres paramètres, tels que la Hauteur Utile qui détermine la longévité d'une meule, sont indirects ou cachés : ils ne sont pas manipulés par les opérants et constituent le résultat de la combinaison des paramètres configurants. La géométrie d'une meule apparaît ainsi plus riche et complexe qu'il n'y paraît de prime abord et résulte d'une combinatoire. Nous avons dans ce Chapitre, et plus généralement dans ce travail, tenté d'entrer dans cette combinatoire. Nul doute qu'il reste largement à explorer et surtout à comprendre les liens entre les différents paramètres autant que l'indépendance entre certains d'entre eux. Dans un Chapitre suivant (**CHAP.17**) nous avons par exemple mis l'accent sur la longévité, dans un autre sur la conicité (**CHAP.12** et **9**) ou encore sur le Diamètre de l'Œil (**CHAP.13**).

83. L'un des questionnements importants à nos yeux consiste à savoir si les paramètres d'une meule sont aléatoires, s'ils sont subordonnés à d'autres paramètres ou bien encore s'ils sont maîtrisés, c'est-à-dire identifiés par les meuliers et définis empiriquement ou par le calcul.

Une autre série de questionnements est relative au fait d'établir si les paramètres participent à un continuum de valeurs ou bien s'ils obéissent à des normes. Un atelier produisait-il ainsi tous les diamètres possibles et n'importe lesquels, suivant en cela la variété des blocs recueillis ou détachés du banc ? ou bien opérait-il une sélection ? Cette sélection obéissait-elle à une détermination métrologique (habitudes de partition par 16 ou par 12 ou 20 par exemple) ? ou bien était-elle déterminée par des nécessités fonctionnelles ? Est-ce que le fonctionnement d'un moulin manuel (ou mécanisé à des degrés divers) sinon les denrées broyées elles-mêmes, autorisaient par exemple tous les diamètres, toutes les conicités ou n'importe quelle vitesse ?

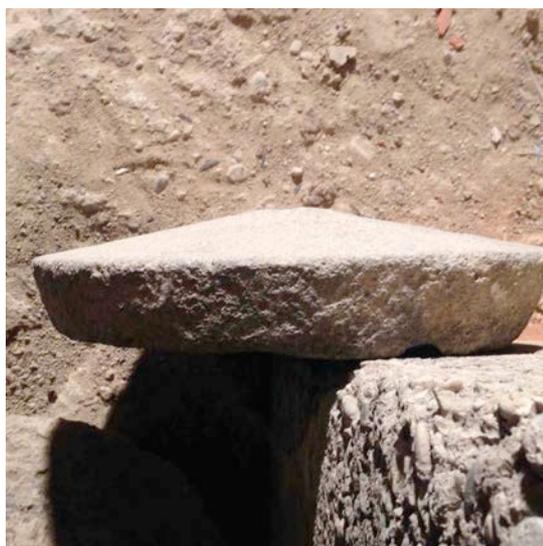
C'est guidé par de telles questions que dans les Chapitres qui viennent nous allons interroger, de manière plus ou moins approfondie, quelques uns des paramètres ou attributs qui configurent les Meules Rotatives Basses.

CHAPITRE .10

Le DIAMÈTRE des Meules Rotatives Basses

*De basalte et de beau diamètre - Meta n° 2
d'Ensérune - D. 34 cm Gabarit 18-19 dgt
H. 7,5 DOE. 3,5 Angle 13° 9 kg*

Le Diamètre des Meules constitue une donnée immédiate qui s'impose à l'archéologue, au même titre que le lustré de la surface ou que l'épaisseur. Si nous devions ne donner qu'une seule dimension de la meule, ce serait bien celle-là, avant même celle de la pente par ailleurs techniquement un peu plus complexe à établir. Le travail archéologique courant met de ce fait un fort accent sur le Diamètre, tendant à l'instituer en un paramètre *princeps* suffisant à résumer toute meule, ceci au risque de voiler l'intérêt d'autres attributs tels que notamment la Conicité ou comme nous le verrons, la dimension de l'Œil ou, plus subtilement, le Gabarit. Peut-on ainsi, au royaume du Diamètre, se risquer à dire qu'une meule en grès de 41 cm d'envergure est la même que sa congénère en lave de 46,5 cm ? Par ailleurs, ne serait-il pas par exemple intéressant d'examiner si les meuliers antiques ne manipulaient pas plutôt des rayons que des Diamètres, sachant qu'ils recouraient probablement sans cesse au compas dès que la surface d'un cylindre capable se trouvait aplanie et dans l'attente qu'on y traçât le Gabarit de la meule à naître sous l'outil. L'esprit de recherche se défie de l'immédiat et traque l'invisibilité sournoise et fourvoyante. Débusquer les dimensions configurantes d'une meule et les restaurer dans leur droit à produire la connaissance permet alors d'aborder le système de l'objet et ouvre sur la pensée géométrique pratiquée par les meuliers.



Ce Chapitre débute par la présentation du corpus de quelques 2.000 Diamètres provenant de sites de production (dits « Ateliers ») et de sites d'Utilisation des

Meules Rotatives Basses. Sous l'angle constant d'une comparaison entre ces deux catégories de sites, on examine la distribution des Diamètres. Elle fait d'abord ressortir les limites dimensionnelles des meules de l'Antiquité, montre ensuite une tendance chronologique à la croissance du Diamètre, puis met rapidement l'accent sur les aspects métrologiques (système des mesures anciennes). Ces derniers conduisent à une perception des limites posées par une lecture brute des diamètres ou par une appréhension du monde meulier par le seul centimètre.

Le diamètre étant, chez les meules, la seule dimension véritablement fiable (i.e. suffisamment longue) pour se prêter à une approche métrologique, on a choisi de présenter dans ce chapitre, sous la forme d'un encart central, la méthode que nous avons suivie pour transcrire les diamètres en doigts, appréhender le pied générateur des diamètres et définir les dabarits de meules (par exemple 20 dgt) qui ont été fabriqués sur les Ateliers ou utilisés sur les sites de consommation qui réunissent généralement une pluralité d'approvi-sionnements.

_____ Cette partie de l'étude s'achève par un examen assez détaillé des diamètres et gabarits pratiqués à Orvieto dont on verra sur ce plan l'homogénéité de production, au contraire d'une certaine dualité régulièrement soulignée : si deux périodes, deux façons productives ou deux groupes d'officines ont existé à Orvieto, ce n'est pas à travers l'envergure des meules que cette dualité se sera exprimée. Enfin, à plusieurs reprises, métrologie et gabarits nous permettent d'opérer des rapprochements entre le centre producteur orviétan et d'autres zones meulières.

A. Corpus des Diamètres & Notations générales

1. Les vestiges meuliers recueillis à Orvieto permettent de disposer de 59 meules (*Catillus*, *Meta* ou genre indéterminé) dont le Diamètre peut être mesuré. Le corpus de comparaison en totalise 1424. L'ensemble (**Fig.1**) se répartit en un corpus Ateliers de 610 Meules Rotatives Basses fournissant 601 diamètres et un corpus de sites d'Utilisation et Rejet des meules qui totalise 1538 MRB livrant 1483 mesures de diamètre. Au total on dispose de 2148 MRB et de 2084 mesures de Diamètres. A chaque diamètre d'Orvieto correspondent 24 éléments de comparaison.

Figure 1 : Corpus des Diamètres

MRB - Corpus des DIAMÈTRES				
	SITES	MEULES	DIAMÈTRES	\bar{x} DIAM
ATELIERS	17	610	601	40,60
UTILISATION	59	1538	1483	41,34
Total	76	2148	2084	
		28,2 / site	27,4 / site	

2. Le corpus des Ateliers représente un peu plus du quart du total (28%). En revanche le profil général des deux composantes est assez similaire (**Fig.2**). Chronologiquement la période Laténienne domine et son contingent de diamètres est le double de celui de la période Romaine¹.

3. Les différences entre la partie Ateliers et la partie Utilisation sont principalement relatives à l'état des meules, le corpus des Ateliers se trouvant naturellement plus plus fourni (85%) en Ebauches et en Meules neuves que le corpus des sites où ces dernières représentent 91% du total. La seconde différence tient au fait que les sites d'Utilisation se caractérisent par une balance assez équilibrée entre *Catilli* et

¹ Cette dominante est volontaire, elle correspond à la nécessité de documenter les plus anciens traits des MRB, qu'il s'agisse du Diamètre ou d'autres paramètres tels que la Conicité, l'Œil, les Emmanchements etc.

Figure 2 : Composition du Corpus des Diamètres

305	165	245	1	0	353	378	130	72	199	214	189	600
51%	28%	41%	0,2%		59%	63%	22%	12%	33%	36%	32%	Total
CHRONO		TYPE ROCHE				ETAT			TYPE Meule			ATELIERS
LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	

489	248	487	88	1	724	2	49,5	1353	810	678	19	1483
33%	17%	33%	6%	0%	49%	0%	3%	91%	55%	46%	1%	Total
CHRONO		TYPE ROCHE				ETAT			TYPE Meule			UTILISATION
LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	

Metae (55 et 46%)² tandis que les ateliers montrent un tiers de chaque catégorie et un tiers de meules non générées.

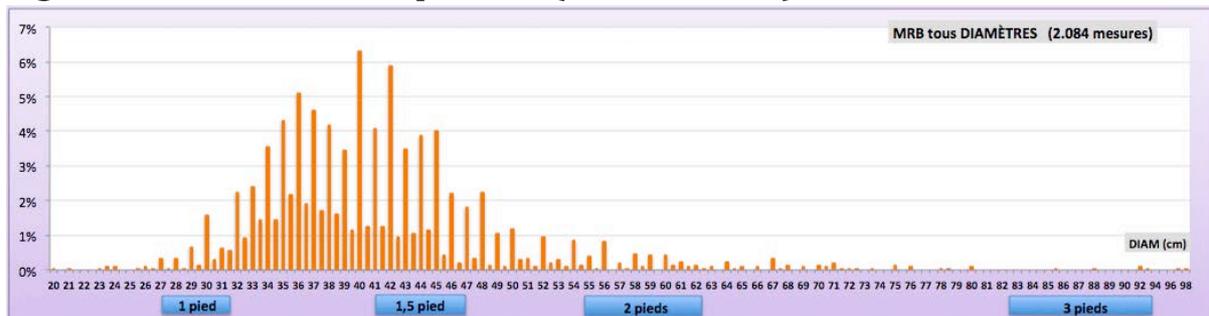
4. Une première remarque suscitée par les données globales relatives au corpus des diamètres

est que les meules des Ateliers n'apparaissent statistiquement pas plus larges que celles des sites de consommation, leur moyenne étant même légèrement inférieure (0,67 cm soit un peu plus de 1/3 de dgt). Cela n'est pas incompatible avec le constat régulier qui est fait d'une envergure supérieure des meules en atelier. Des raisons compositionnelles et chronologiques notamment peuvent venir contrebalancer cette réalité. En effet, l'augmentation tendancielle des diamètres dans le temps fait qu'une importante fraction de meules d'époque Romaine ou Tardo-impériales se traduit par une hausse du diamètre moyen. Il en est tout autant de la période molinologique ancienne (Vè voire IVè s. aC) où les meules sont larges (voir *infra* sur les 2 filières de gabarit). Enfin, dans un assemblage d'Atelier, l'importance de la fraction en meules parvenues au stade d'achèvement (étapes IV et V du façonnage)³ peut logiquement abaisser la moyenne des diamètres. On ne saurait donc surinterpréter l'absence de différence entre diamètre Moyen des MRB issues des ateliers et provenant des sites d'utilisation et rejet.

B. L'ensemble des Diamètres : Pieds & Gabarits

5. La distribution de la totalité des diamètres du corpus (**Fig.3**) montre leur concentration sur les dimensions de 30 à 48 cm et l'on distingue jusque vers 98 cm de petits bombements correspondant à des chapelets autour d'une valeur, telle que 58-60 (2 pieds) ou 70-72 cm.

Figure 3 : Diamètres du corpus total (2.084 mesures)



La structure est foncièrement plurimodale et coalescente, ce phénomène s'expliquant comme nous le verrons *infra* par la proximité entre les Diamètres canoniques attachés à chaque pied. Le corps principal laisse entrevoir 3 groupements autour de 3 pics de fréquence :

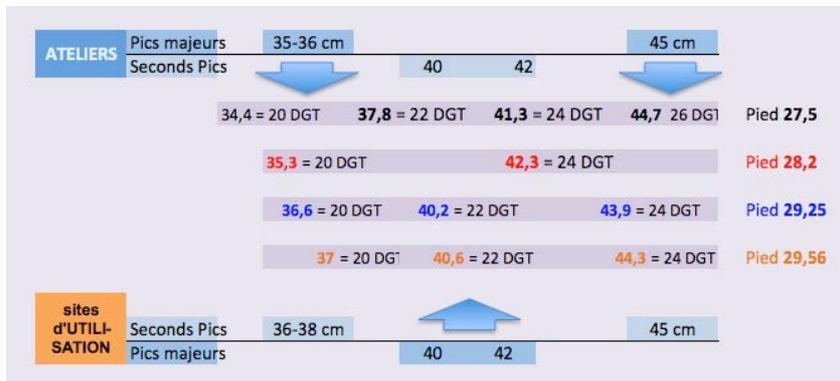
- . le Pic majeur 1 sur 40-42 cm regroupe 392 meules et 18,8% du total

² Le léger déséquilibre, au profit des premiers, entre *Catilli* et *Metae* est assez régulier et tient à priori au caractère plus diagnostic des *Catilli* ; cependant la balance est régulièrement en faveur des *Metae* sur certains sites ou à certaines périodes ce qui pourrait tenir à une différence de Hauteur Utile entre les 2 pièces voire, selon les denrées à passer à la meule, à des pratiques de changement du *Catillus* pour une même *Meta*.

³ Un tel biais se produit souvent lorsque l'assemblage procède d'une sélection de pièces entières ou « parlantes » choisies pour publication ou provenant de collections muséales ou de fouilles anciennes où souvent le tout-venant des pièces inachevées ou des cassons n'a pas été ramassé sur le terrain ou bien n'est pas présenté ou inventorié – ce contraste est bien représenté par la publication des meules du musée d'Avenches (CASTELLA, ANDERSON 2004) et, due aux mêmes auteurs, par l'exception notable que constitue la publication de la fouille Suisse de Châbles (CASTELLA, ANDERSON *et al.* 2003).

- un Pic 2 situé sur 35-37 cm rassemble 377 meules et 18,1% de l'effectif total
- par ailleurs un troisième secteur de forte fréquence se situe sur 43-45 cm qui regroupe 284 meules et 13,6% du total.

FIG.4 Correspondances métrologiques des principaux Diamètres



6. Comme peut aider à le percevoir la Fig.4, ces pics de fréquence correspondent essentiellement à 3 Gabarits de meules :

- celles de **24 dgt** (1 pied 1/2) se situent sur 41 à 44 cm,

- celles de **20 dgt** (1 pied 1/4) correspondent à l'intervalle 34 à 37 cm,

- entre les deux prennent place les gabarits de **22 dgt**, de 38 à 40/41 cm.

Ces repères sont donnés pour les pieds les plus courants, celui de 27,5 cm (Osco-italique), le pied meulier de 28,2 cm, le pied de Vindonissa (29,25) ainsi que le Pied impérial (*Pes monetalis*) de 29,56 cm. Il est envisageable au vu des résultats livrés par certains assemblages, qu'entre également en jeu le Pied de Manching (30,9).

7. On notera par ailleurs que la moyenne globale des 2.084 Diamètres s'établit à 41,12 cm, ce qui correspond à 24 dgt du Pied de 27,5 (valeur attendue 41,25). Néanmoins nous savons d'expérience qu'en matière de métrologie il convient de se méfier des moyennes. En l'occurrence, si le pic secondaire sur 41 cm semble exprimer une assez haute intensité du Pied de 27,5 dans la série des diamètres et si un pic secondaire sur 38 lui fait écho qui exprimerait le gabarit de 22 dgt (37,8 cm), en revanche ce Pied de 27,5 serait très déficitaire dans les gabarits de 20 et 18 dgt (34,4 et 30,9 cm) qui sont pourtant parmi les plus fabriqués. En effet, la fréquence des Diamètres 34,5 et 31 cm est plus que marginale (respectivement 30 meules pour 1,44% et 13 meules faisant 0,6%). De plus, il n'est pas rare qu'un même Diamètre corresponde à plusieurs tailles dans des pieds différents. En l'occurrence, le pic sur 41 cm pourrait ne pas être redevable qu'au seul Pied de 27,5⁴.

8. Sans une étude mathématique adaptée, par exemple inspirée de JUMEL, LANOS 1992, il est difficile de démêler l'écheveau de la contribution des différents pieds à une telle distribution, d'autant que l'intensité de chaque Gabarit (par ex. celui de 20 dgt) n'est pas obligatoirement la même pour chaque atelier meulier. Une modélisation selon différentes intensités serait nécessaire. Deux autres facteurs viennent compliquer l'exercice : d'une part le haut degré de palimpseste de notre population de diamètres (plusieurs pieds impliqués ou possibles, plusieurs séries avec des fréquences variées pour chaque gabarit), d'autre part le mesurage archéologique : parfois précis seulement au cm, cela pourrait être insuffisant tandis qu'un pas au demi-cm entraîne fréquemment un arrondi. En effet, une valeur métrologique de 42,38 cm peut ainsi donner sur la meule aussi bien une mesure de 42 que 42,5 cm voire également 41,5 en fonction de la précision du mesurage, du caractère grenu de la roche etc. On remarquera de surcroît (FIG.3) qu'au-delà d'un diamètre de 45 cm l'archéologue ne mesure plus au demi-cm.

9. Devant ces difficultés nous avons opté pour le traitement de séries comprenant le moins de superpositions, ce qui est tout particulièrement le cas des Ateliers comme Orvieto. Cela permet en effet de cerner la métrologie et d'appréhender les Gabarits fabriqués ainsi que leur fréquence. La surprise tient au fait que l'on y a constaté, à Orvieto comme ailleurs, que

⁴ Ainsi un Diamètre de 41 cm peut effet correspondre à une meule de 24 dgt dans le Pied de 27,5 mais aussi à 23 dgt du Pied de Glanum (28,5), à 20 dgt du Pied Dorique de 32,65 cm ou à 19 dgt du Pied Punique (34,3 cm).

chaque série renvoyait quasi systématiquement à 2 pieds complémentaires, sans que l'on n'ait pu établir s'il s'agissait d'une réalité meulière ou bien d'un artefact dû au mesurage archéologique. Dans la plupart des cas cependant, l'approche métrologique des Diamètres fournit une contribution importante.

10. Dans l'attente, au niveau de cet histogramme de la distribution de l'ensemble des Diamètres on s'en tiendra à l'acquis représenté par les 4 données suivantes :

- . l'essentiel des MRB correspondent à la fabrication des Gabarits allant de 18 à 24 DGT (32 à 45 cm) et très majoritairement 20 à 24 DGT (de 34,5 à 45 cm),
- . les meules de 1 pied (16 DGT soit 27 à 31 cm) sont quasiment absentes
- . au-delà du Gabarit de 2 pieds (55 à 62 cm) les meules sont rares (2,3% sur les Ateliers et 2,7% soit 40 individus sur les sites d'Utilisation),
- . elle deviennent quasiment absentes (%) au-delà de 72-75 cm (soit ca.40-44 dgt) : l'Antiquité n'a pratiquement pas fabriqué de meules rotatives de 3 pieds, et lorsque c'est le cas soit il s'agit de quelques Très Grands Formats motorisés (entraînement hydraulique) soit on peut douter qu'elles soient antiques.

Sur ce dernier point des Très Grands Formats on se reportera au **CHAP.20**.

11. On terminera en présentant les distributions respectives des Diamètres provenant des sites d'Utilisation (**Fig.5**) et ceux issus des Ateliers (**Fig.6**). En raison de son effectif deux fois plus fourni, le corpus des sites d'Utilisation configure la distribution d'ensemble (**Fig.3**). La principale différence qui apparaît entre les deux histogrammes réside dans le fait que sur les ate-

Figure 5 : Diamètres des sites d'Utilisation des MRB

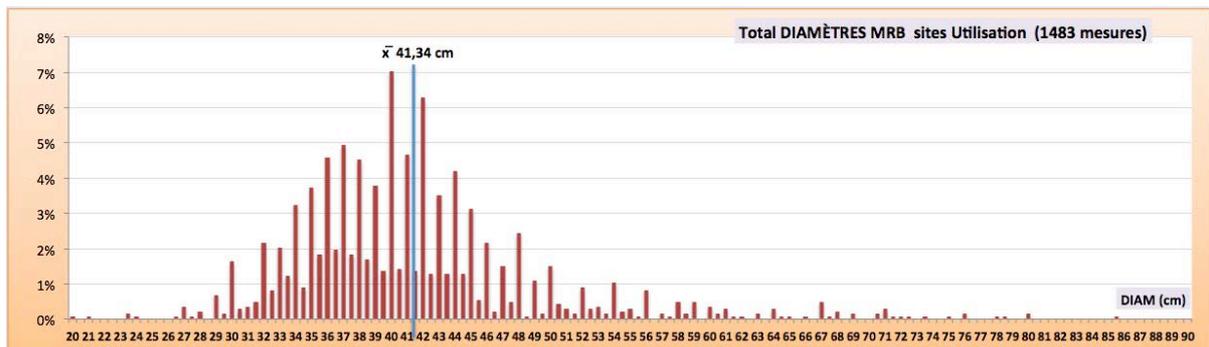
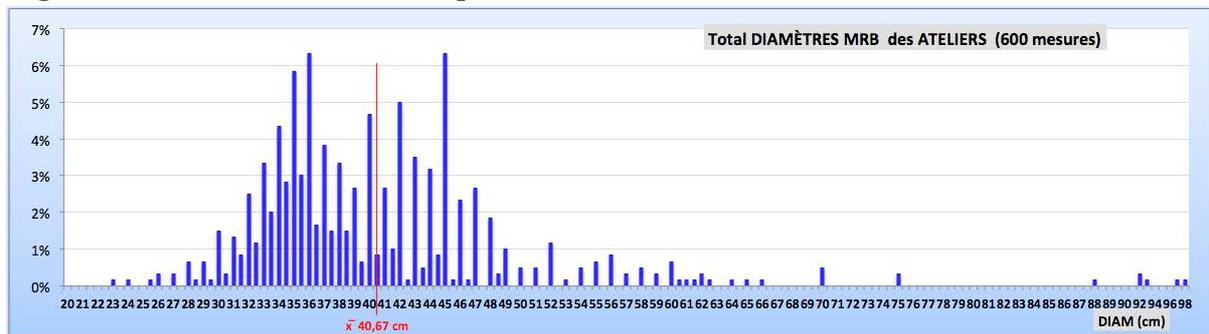


Figure 6 : Diamètres des MRB provenant des Ateliers meuliers



liers les pics majeurs correspondant aux diamètres les plus fabriqués (35-36 cm d'une part et 45 cm d'autre part soit plutôt 24-26 dgt) sont nettement moins coalescents. Par ailleurs le pôle 40-42 cm y est nettement moins intense lorsqu'il domine chez les diamètres des sites d'Utilisation. Ces différences pourraient signer une métrologie différente dans l'échantillon Ateliers (pieds plus courts possibles) ou du moins une plus forte intensité des gabarits 20-21 dgt sur les Ateliers associée à un fort contingent de meules situées au-delà de 24 dgt tandis que la zone de gabarit 22 dgt pourrait dominer sur les sites d'Utilisation. L'intensité des pics de fréquence est

pendant la même (de 4 à 6% par valeur demi-centimétrique) sur Ateliers et sites de consommation.

C. Les deux Filières de Gabarit

12. L'arrangement périodisé d'un corpus total de 82 assemblages pour 2.141 mesures de diamètre nous permet de prendre en considération la moyenne des diamètres de chaque assemblage (tables en **Fig.7A** et **7B**) et de faire ressortir un contraste tendanciel entre des moyennes basses, de l'ordre de 35-37 cm et des moyennes élevées, souvent au-dessus de 42 ou 44 cm.

FIG.7A Table des Assemblages et de la Moyenne de leurs Diamètres (page 1)

FORMATS MOYENS des ASSEMBLAGES MEULIERS - présentation périodisée									
Classement tendanciellement CHRONOLOGIQUE									
Sites d'UTILISATION & ATELIERS	CHRONO	DIAMÈTRES		Filière F.1 / F.2	Conicité 0°	DIAM. NR total	Notes	Périodisation	
		DIAM. moyen						ACH I-2020	
Méditerranée	Els VILARS	V - IV aC	37,81		F.1	26	atelier	Période 1 Vè - IIIè s. aC 4 sites sur 10 et 54% des Diam. 124 Diamètres sur 248 = 50% 12% Filière F.2 Tradition hispanique = meules amples (42-46 cm soit 1,5 pied) F.2 est associée à une fraction de Gds Gabarits (2 pieds)	
	ALORDA PARK	450 - 200 aC	43,00		F.2	11	agglo		
	PUIG S. ANDREU	-550 / -200	42,11		F.2	18	agglo		
	LATTES Proto	IV - II aC	42,54		F.2	17	agglo		
	CERRO de la CRUZ aC	300-100 aC	46,22		F.2	16	agglo		
	BOLUNBURU	IV-III aC	39,33		F.1	6	agglo		
	ENSÉRUNE Basalte	IV & II aC	39,65		F.1	33	agglo		
	PUIG CASTELLAR	III aC	43,10		F.2	21	agglo		
	PECH MAHO Basalte	VI BC - III aC	41,82		F.2	41	agglo		
	ORVIETO	III aC? - I pC?	35,24		F.1	59	atelier		
M	Le PATURAL	LT (300-120 aC)	37,62		F.1	39	rural	Période 2 LT C-D / IIè-ler s. aC disparition de la tradition Hispanique de Grands Gabarits (Filière 2 et 2 pieds) ca. 12% 10 sites = 12% 270 DIAM. soit 12,6% Le taux de meules dont le Gabarit est de 1 Pied est important.	
	ILLA PEDROSA	II aC	35,26		F.1	96	Epave		
	NAGES	III - I aC	-		-	-	agglo		
	MARTIGUES	II aC	37,95		F.1	19	agglo		
	ROANNE	LT C-D	34,05		F.1	10	agglo		
	YMONVILLE	LT C1-D2	35,25		F.1	16	rural		
	BLOIS La Croupe	LT - C2/D1b	36,05		F.1	11	agglo		
	Les HERBIERS	LT C2 - D1	37,60		F.1	5	rural		
	LEVROUX	LT C2-D1	36,21		F.1	7	agglo		
	PICARDIE LT	LT C-D	39,59		F.1	67	territoire		
M	AGDE	IVè ? aC - II ? pC	39,11		F.1	23	atelier	Période 3 LT-D / Ier aC & Ier pC continuité avec la Période 2 : absence de la Filière 2 et du Gabarit 2 pieds DIAMETRE Moyen Inférieur à 40 cm ca. 13% 14 sites = 17% 244 Diamètres soit 11%	
	Moulin GEARGEOT	LT - D1	31,60		F.1	5	rural		
	OBERNAI	LT - D	37,17		F.1	6	atelier		
	GONDOLE	LT -D2	36,75		F.1	4	agglo		
	BIBRACTE Le REBOUT	LT-D (+AVG?)	38,17		F.1	51	agglo		
	Le MORMONT	LT-D	39,33		F.1	6	sanctuaire		
	PUY du TOUR	LT-D	34,89		F.1	19	agglo		
	Bretagne & Mayenne	LT	36,09		F.1	11	territoire		
	BAD NAUHEIM	LT	36,55		F.1	30	atelier		
	TOULOUSAIN	LT	37,81		F.1	43	territoire		
M	BIBRACTE	LT	39,46		F.1	23	agglo	Période 3.B ca. 25% Accroissement du Gabarit des Meules	
	CALVADOS	LT C-D + ROM.	35,17		F.1	12	territoire		
	SARAN	LT-D + ROM	36,0		F.1	3	rural		
	PRASVILLE	LT D + I pC	35,31		F.1	8	rural		
	CARCASSONNE	ca. II aC - I pC	39,78		F.1	16	territoire		
	ENTRAMMES	LT C2-D1 + ROM (D.44+)	42,18		F.2	11	agglo		
	PEYRIAC-de-MER	II aC - ca. I pC	43,97		F.2	16	agglo		
	BOURGOGNE	LT D - ROM	52,00		F.2	11	territoire		
	FINISTERE 1987	LT - ROM	45,14		F.2	7	territoire		
	La MAREZE	LT - ROM	41,67		F.2	12	atelier		
SAVERNE	LT ?	38,13		F.1	4	agglo			

Figure 7B : Table des Assemblages et de la Moyenne des Diamètres (page 2)

Assemblage	Classification	Moyenne Diamètre (cm)	Filière	Pourcentage	Nombre de sites	Type de site
ALSACE AUTRES	LT? + ROM?	40,17	F.2	6%	6	territoire
BORKEN	LT	41,33	F.2		12	atelier
Le CHAUDRY	LT - II pC ?	40,62	F.2		49	atelier
FRANCHE COMTÉ	LT D - ROM	40,63	F.2	5%	19	territoire
STRASBOURG	LT? + ROM?	42,50	F.2		8	agglo
BÉZANNES	LT? - ROM	44,10	F.2	38%	26	rural
M LATTES indatés	-	37,28	F.1	6%	53	agglo
M PROVENCE 1992	LT - II pC	36,54	F.1		64	territoire
M OSTIA	I-II aC? - II pC?	35,75	F.1		12	agglo
M VARIA ITALIA	I aC - IV pC	36,17	F.1		6	territoire
M TRENTOINO Donner	I aC - IV pC	36,29	F.1	3%	106	territoire
Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	37,51	F.1	8%	52	atelier
M MAGALAS	II aC - III pC	35,00	F.1		5	rural
M AVRILLY	AVG	37,50	F.1	95%	14	atelier
M LATTES ROM	I aC - II pC	37,71	F.1	8%	14	agglo
HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	28,85	F.1	70%	10	atelier
CHABLES	70 - 120 pC	44,02	F.2		106	atelier
AUTUN - Arroux	I pC	59,55	F.2		11	atelier
M la LANDE la VERNHE	I pC	57,57	F.2		14	atelier
REIMS JODRY 2017	LT? - ROM	47,36	F.2	45%	11	agglo
VERTAULT	ROM (+LT?)	47,74	F.2	2%	40	agglo
PACÉ	ROM	47,0	F.2		3	rural
CHARTRES	15 aC - 300 pC	47,68	F.2	3%	28	agglo
MEAUX	ROM	41,04	F.2	22%	35	agglo
BOULOGNE	ROM	42,13	F.2		4	agglo
AVENCHES	ROM	43,13	F.2		128	agglo
ARRAS	ROM	43,20	F.2		5	agglo
SOISSONS	ROM	44,23	F.2		11	agglo
AMIENS	ROM	44,78	F.2	10%	11	agglo
REIMS	ROM	44,78	F.2	16%	62	agglo
TUNGRI	ROM	46,73	F.2	10%	20	agglo
BAVAY	ROM	46,74	F.2	5%	46	ville + territ.
BEAUVAIS	ROM	45,93	F.2	15%	44	agglo
CHAMPION	ROM	51,57	F.2	6%	14	agglo
EIFEL 2008	ROM	36,0	F.1		4	rural
ARGENTOMAGUS	20 aC - IV pC	47,75	F.2		57	atelier
NANTAIS Polinski	ROM	44,44	F.2		59	agglo
SILCHESTER	ROM	47,98	F.2		27	territoire
MAZIÈRES en MAUGES	II - III pC	41,08	F.2	4%	48	ville + territ.
WANZENAU	fin III pC	46,57	F.2		21	agglo
PORTUS	LT - ROM	44,52	F.2		25	épave fluviale
82 Assemblages, 81 renseignés Diamètres		49,48	F.2		23	atelier
					2141	
Diamètre Moyen					UTILISATION 1 564	73%
ATELIER de meules					17 ateliers	577 27%
site d' UTILISATION						

35 sites = 42 %
753 DIAM = 35%

diminution de 30% des meules de 1 pied et réapparition de la Filière F.2 (177 Diam. 35%)

le Gabarit 2 pieds, absent des Périodes 2 et 3.A, devient fréquent (10 sites / 21 et 2,6% des Diam.)

21 sites = 26%
509 Diamètres soit 24%

Période 4

généralisation des grands Diamètres (souvent plus de 44 cm) correspondant à une haute fréquence des Gabarits de 1,5 pieds et plus

Haut & Bas EMPIRE ROMAIN

La fraction des Gabarits de 2 pieds, systématiquement présente et avec une fréquence significative, est multipliée par 4 par rapport à la période 3B où ils sont apparus

ca. 37%

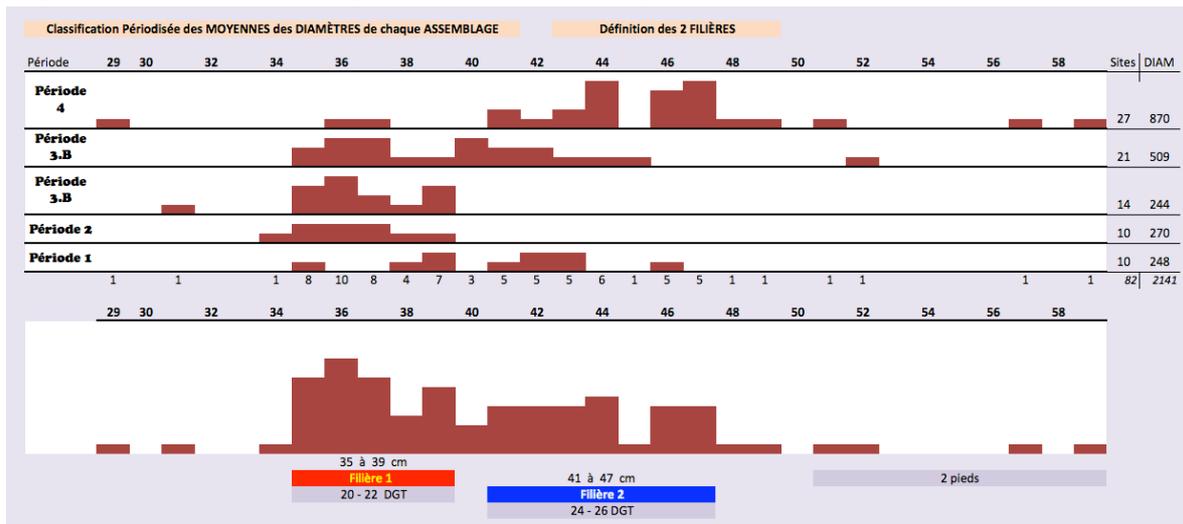
Gabarits de 2,5 pieds = villes du Nord (et Atelier méridional de La Lande : contexte minier?)

27 sites = 33%
870 Diamètres soit 41%

le Gabarit de 1 pied, quasi disparu, correspond sans doute à une fraction précoce ou résiduelle des assemblages

Un examen détaillé de la distribution de ces moyennes selon les périodes et les valeurs centimétriques (Fig.8)⁵ conduit à définir 2 « filières » ou 2 « traditions » dimensionnelles :

Figure 8 : Distribution périodisée de la moyenne des diamètres



. une Filière 1 où les moyennes varient sur l'intervalle 35-39 cm, soit autour de 20 à 22 dgt, les assemblages correspondants sont ainsi essentiellement composés de meules de petit Gabarit ;

⁵ Chaque filière pourrait d'ailleurs être divisée en 2, une F.1A sur 35-37 cm et F.1B sr36-37, une F.2A sur l'intervalle 41-44 et une F.2B sur 46-47 cm ; chacun de ces espaces pouvant refléter la dominance d'un Gabarit (par ex. 20 dgt) dans un pied donné, mais trop de détail nuit à la perception des structures.

. une Filière 2 où les moyennes se situent dans l'espace 41 à 47 cm et donc dans l'orbite du gabarit 1 pied ½ (24 dgt) sinon un peu plus, les assemblages sont ici surtout composés de meules de format large.

13. Ces deux Filières relatives à l'envergure moyenne des MRB ont été signalées et analysées pour les meules du foyer originel catalan (ALONSO MARTINEZ, PEREZ JORDA 2014 et ALONSO, PEREZ, LOPEZ 2016, 599-601). Elles peuvent être largement étendues au-delà de ce cadre et n'apparaissent liées ni à la Méditerranéité de l'assemblage ni à la présence en son sein de Meules Plates. L'examen de la chronologie (Fig.7A et 7B) montre que les 2 Filières coexistent, de manière assez équilibrée (4 sites sur 10 et 50% des Diamètres), dès la période molinologique ancienne (Période 1, V-III^e s aC –cf. Fig.9), toutes deux en milieu ibérique et toutes deux sur le type hispanique à Manchon. Ces « molins de gran format » ont déjà été repérés en Espagne par ALONSO et PEREZ (2014) associés à des épaisseurs soit courantes (de 13 à 23 cm) soit fortes (autour de 30 cm pour les *Catilli* et de 30 à 60 cm pour les *Metae* dont certaines sont alors dites à fonction de support – ALONSO, PEREZ 2014, notamment p. 242-244).

Figure 9 : Périodes utilisées

Périodes	
1	V - III aC
2	LT-C/D II-I aC
3A	I aC / LT-D
3B	LT-D + ROM
4	ROM

14. La Filière 2 disparaît avec les Périodes 2 et 3A, c'est-à-dire pour toute la durée des III^e – I^{er} siècles aC soit La Tène Moyenne et Finale (LT-C/LT-D). Notre constat converge avec celui d'une réduction du Gabarit moyen tel que dressé à partir d'un corpus de 198 meules datées de Catalogne (ALONSO, PEREZ 2014, 242). Les auteurs notent en effet que 50% des meules du IV-III^e s aC « mesurent entre 36 et 50 cm avec une moyenne établie à 42 cm » et que pour le III^e-II^e s. aC l'intervalle passe à

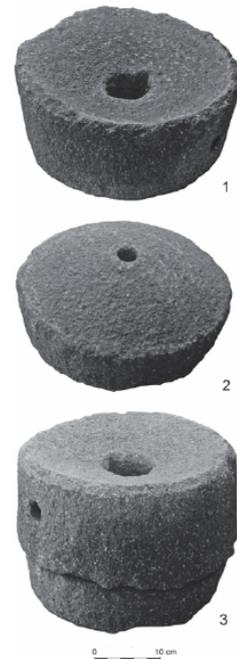
« 33 – 46 avec une moyenne de 39 cm ».

Notre corpus de 2.141 diamètres établit en outre qu'au cours des 3 siècles recouverts par nos Périodes 2 et 3A et correspondant à l'expansion du Moulin Rotatif Bas en Gaule et sur le Continent, les meules de 2 pieds qui avaient pu exister en Catalogne et en Languedoc à la période ancienne disparaissent alors que la part des fabrications proches du gabarit de 1 pied (16 et 18 dgt) est importante. C'est l'époque du **petit moulin à trémie** que l'on pourrait qualifier de « **gaulois** » ou « **continental** »⁶ et que l'on retrouve en contexte laténien jusqu'en Bohême (WALHAUSER 1981, SALAC 2017).

La période 2 voit, vraisemblablement au IV^e s. aC, disparaître le modèle hispanique à manchons et sans doute celui à encoches supérieures (par ex. attesté à Peyriac-de-Mer, Ensérune et en Catalogne à Alorda Park, Puig Castellar ou Serra de l'Espaza⁷), sans que ceux-ci ne soient strictement attachés à l'une des deux filières⁸.

Figure 10 : Exemple de Modèle Continental en Bohême (SALAC 2017)

15. Notons qu'avec le **IV^e siècle aC** en zone Est-Pyrénéenne nous assistons **peut-être à une mutation molinologique** : on y constate en effet, aussi bien sur les fabrications catalanes que sur celles en lave du complexe héraultais, l'abandon des Modèles à Manchons ou à Encoches, le repli sur des Gabarits plus faibles (Filière 1) et



Obr. 4. Kompletní laténský mlýnek s označením Hřensko v děčínském muzeu (foto M. Mag, upraveno)

⁶ Ce « Modèle Continental » correspond dans la classification morphologique LONGEPIERRE 2013 aux 8 formes 3 à 6 et 9 à 12.

⁷ Les *Catilli* à encoches supérieures sont notamment attestés dans les assemblages meuliers de Puig Castellet, Can Bartomeu, Cadira del Bisbe, Puig Castellar, Can Xercavins, Turò de Can'Olivè, Alorda Park ou Plaça Isabel Besora, sans que cette liste ne reflète même la totalité des cas du seul inventaire PORTILLO 2006).

⁸ Sur la typologie et la chronologie des modèles anciens à Manchons ou Encoches voir ALONSO, PEREZ 2014, notamment p.245.

l'abandon des *Metae*-support (ALONSO, LOPEZ, PEREZ JORDA 2016)⁹. La question se pose de savoir si cette mutation vers le modèle continental du Moulin Rotatif Bas, qui pourrait être liée à un changement dans les modalités d'entraînement des meules, constitue une évolution interne ayant pris forme au sein du domaine Ebre/Hérault ou bien si elle correspond à l'adoption d'un modèle venu du Nord¹⁰.

16. La Période 3B (Ier s. aC et charnière avec l'époque Impériale) voit la réapparition de la Filière 2, celle des meules de plus grand gabarit, qui vient caractériser 11 des 21 assemblages et 35% des diamètres. Cette Période 3B traduit ainsi une dynamique d'accroissement de l'envergure des meules. Celle-ci s'exprime également dans le fait que le gabarit proche de 1 pied (16 dgt) diminue fortement tandis que le gabarit 2 pieds (32 dgt), absent des Périodes 2 et 3B, est attesté sur 10 des 21 sites et totalise 2,6% des meules.

17. La période Romaine (Période 4) poursuit et accentue la dynamique de croissance des meules. La rupture avec la Période 3B se perçoit bien sur le diagramme de la **Fig.8** : désormais seuls 3 des 27 assemblages relèvent de la Filière 1 des petits Gabarits (soit 28 meules et 3,2% du total de la période) tandis que 24 sites sont de Filière 2. L'accentuation du gain dimensionnel des meules se manifeste à travers une généralisation des grands Diamètres (souvent plus de 44 cm) correspondant à une haute fréquence des gabarits de 1,5 pieds et plus. De même, la fraction des gabarits de 2 pieds, devient systématiquement présente et affiche une fréquence significative, cette part de grands formats est multipliée par 4 par rapport à la période 3B où ils sont apparus. Certains assemblages (par ex. des villes du Nord ou l'atelier de la Lande) comprennent même quelques meules de 2,5 pieds d'envergure.

18. Dans l'approche conduite ici, nous avons choisi de privilégier la douzaine d'ateliers pouvant fournir une série de mesures de Diamètres exploitables métrologiquement et offrir ainsi une comparaison avec Orvieto. La totalité du corpus de comparaison ne peut cependant à notre niveau être traitée sous cet angle : en effet, la plupart des ensembles provenant des sites d'Utilisation & Rejet s'avèrent composites, pour des raisons de diversité d'approvisionnement ou d'absence de chronologie, et posent ainsi de redoutables problèmes de traitement de la dishomogénéité. Toutefois, certains assemblages d'Utilisation, principalement laténiens, issus de fouille et bien datés peuvent faire l'objet d'un traitement métrologique et à ce titre servir de comparaison à Orvieto et aux Ateliers¹¹.

Néanmoins, le contexte meulier général, est mieux reflété par les sites de consommation qui le documentent plus largement au plan spatial et chronologique comme à celui du simple éventail des dimensions. Aussi, pour situer l'envergure des meules d'Orvieto et des Ateliers dans le contexte entre Ebre & Rhin reste-t-il nécessaire d'opérer une confrontation sur la base des diamètres et non des gabarits.

D. Les Diamètres à ORVIETO

19. Le Diamètre peut être saisi sur 55 meules et ébauches d'Orvieto (32 *Metae*, 23 *Catilli*). La distribution pour chacun des deux genres est donnée (par classe centimétriques) par

⁹ Ces *Metae* très épaisses, dont la partie active coiffe en fait une importante Hauteur Passive formant piédestal, sont attestées sur une série de sites catalans (par ex. Els Vilars, Puig Castellar, Cadira del Bisbe, Medicina UAB, Turò de Can'Olivè, Olèrdola) ainsi qu'à Orvieto, aucune n'est à notre connaissance signalée en Gaule y compris en Languedoc dans l'aire de diffusion d'Agde et des ateliers du complexe volcanique héraultais.

¹⁰ On ne peut théoriquement écarter que ce modèle vienne d'Italie, insulaire ou péninsulaire, mais l'actuel défaut total d'étude et surtout d'ensembles datés empêche de considérer cet aspect de la question.

¹¹ Ils totalisent ca. 300 meules soit un volume tout à fait équivalent à celui du corpus Ateliers (364 Diamètres soumis à métrologie –cf. **Fig.19**) ; ils s'agit, dans l'ordre chronologique des assemblages suivants : Alorda Park, Lattes proto, Ensérune Basalte, Puig Castellar, Le Pàtural, Martigues, Ymonville, Picaride LT, Blois La Croupe, Bibracte Le Rebout, Prasville, Ostia.

les Fig.11 et 12. Avec l'ajout de quelques diamètres différents entre base et cône on obtient une série de 97 mesures du diamètre pour *Catilli* et *Metae*.

Dans un premier temps nous examinons la distribution des diamètres et l'existence éventuelle de différences entre celle des *Catilli* et celle des *Metae*. Dans un second temps nous tenterons d'appréhender la métrologie de ces Diamètres.

1. Etendue, Moyenne et Gabarits des Diamètres

Figure 11 : Diamètres des *Metae* d'Orvieto

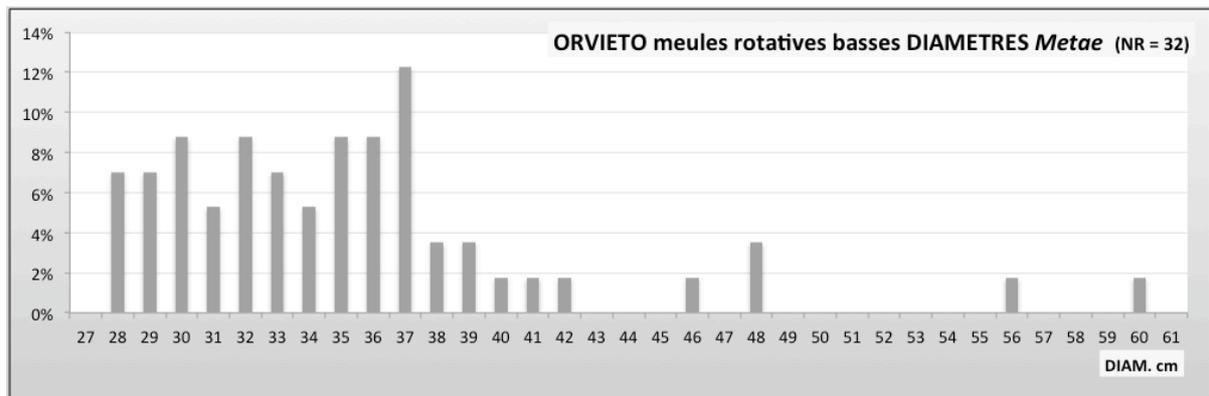
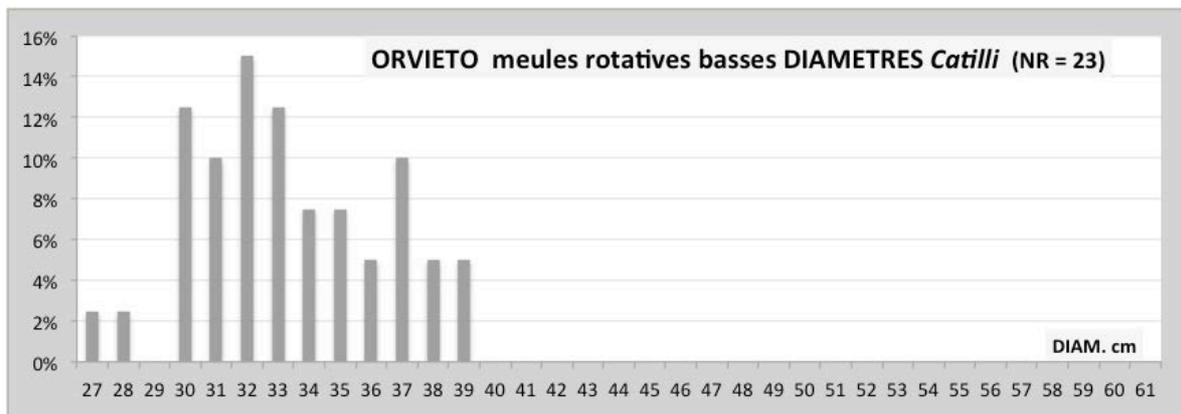


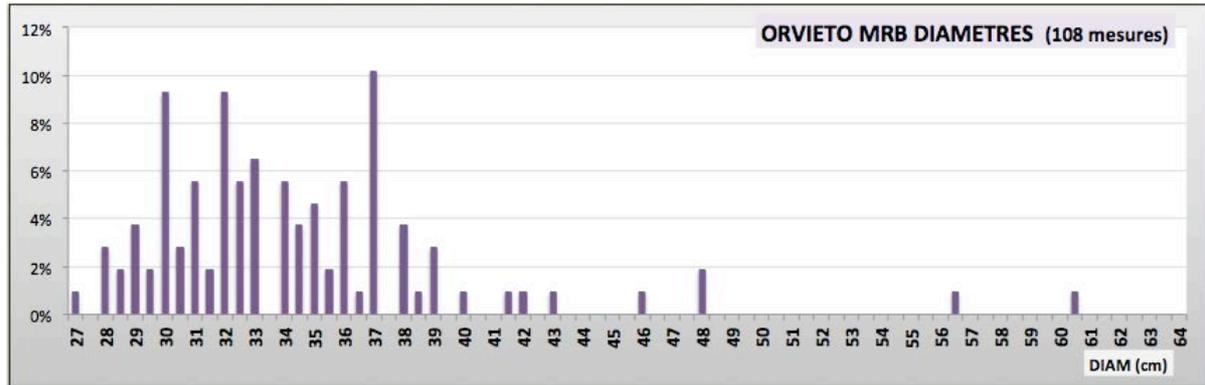
Figure 12 : Diamètres des *Catilli* d'Orvieto



20. *Catilli* et *Metae* ont en commun une brutale raréfaction des envergures au-delà de 37 cm et partagent une plage principale regroupant l'essentiel des diamètres entre 30 et 37 cm, soit des gabarits inférieurs à 24 dgt (1 pied 1/2)¹². Les *Metae* présentent néanmoins deux particularités, d'une part un renforcement en meules de 16 dgt (28 et 29 cm) et d'autre part un chapelet de meules plus larges, la plupart avant 24 dgt (42-46 cm) et quelques unes en direction de 2 pieds (55 à 62 cm).

¹² Si l'on considère les pieds les plus fréquents dans le domaine meulier (27,5 Osco-italique ; 28,2 pied meulier ; 29,25 Pied de Vindonissa et Bolsena ; 29,56 Pied Impérial ou *Monetalis*, Pied de Manching sur 30,9 cm) le Gabarit de 1 pied 1/2 (soit 24 Doigts) va de 41,25 à 46,35 cm.

Figure13 : Ensemble des mesures de diamètre d'Orvieto



21. Avec la prise en compte de 11 individus de genre indéterminé, on obtient un total de 108 mesures de diamètre pour 66 meules. Au total la distribution d'ensemble (**Fig.13**) offre un spectre de même structure que celui de la totalité du corpus des ateliers (*supra* **Fig.6**) notamment caractérisée par la coalescence de 2 ensembles d'où émergent 2 pics, ainsi que par un étirement faible vers les grands diamètres (60 cm voire plus sur les autres ateliers).

La différence réside dans le fait qu'à Orvieto ces deux pics se situent sur 30-32 et 37 cm non sur 35-36 et 40-42 cm (+45) comme sur l'ensemble des ateliers. L'envergure des MRB d'Orvieto apparaît donc décalée de 4-5 cm (ca. 2,5 dgt) vers les plus petits gabarits.

22. A Orvieto la moyenne des Diamètres des *Metae* (57 mesures) est de 35,34 cm et celle des *Catilli* (40 mesures) s'établit sur 33,16 cm soit respectivement 19 et 18 dgt¹³. Le diamètre moyen des Genres Indéterminés (11 mesures) est de 33,55. La différence entre *Catilli* et *Metae* tend à indiquer que celles-ci seraient légèrement plus larges que les premiers. Il pourrait s'agir de *Metae* débordantes, peut-être pour une partie seulement d'entre elles car la différence est faible (2,18 cm soit un peu plus de 1 dgt).

La moyenne d'ensemble, sur les 108 mesures de diamètre, est de 34,35 cm ce qui en fait la 3^e plus petite moyenne des 80 sites de notre corpus¹⁴. Ce gabarit moyen de 34,35 cm correspond exactement à 20 dgt du Pied de 27,5 cm ou à 19 dgt d'un pied de 28,9¹⁵. Le pic signant les plus grands diamètres se situe sur 37 cm soit 21 dgt du Pied meulier de 28,2.

Au total, les fabrications Orviétanes apparaissent ainsi caractérisées par leur faible envergure, autour de 20-21 dgt.

2. Métrologie des Diamètres : démarche & remarques méthodologiques

23. Les diamètres fournissant des mesures plus longues que par exemple les Hauteurs ou à fortiori le Diamètre de l'Œil, ils constituent de meilleures sources pour tenter d'appréhender le ou les pieds générateur(s) de leur dimension (par ex. 42,5 cm) et par conséquent permettent de cerner leur gabarit (par ex. 24 dgt).

¹³ Sauf calcul ou spécification contraire, les transpositions des valeurs centimétriques en dgt sont faites sur la base du *Pes Monetalis* (29,56 cm) pris comme référence moyenne, soit 1 dgt valant 1,84 cm).

¹⁴ Après, si l'on exclut les 28,85 cm anglais du Hertfordshire, les 31,6 cm de Moulin Gargeot (LT-D1) ainsi qu'après les 34,05 cm de Roanne (LT-C/D), et avant toute une série d'assemblages dont la moyenne se situe sur 35 cm (tels que Ila Pedrosa, Ymonville, Prasville, Le Puy du Tour ou Ostia) ; de Moulin Gargeot à Ostia, tous ces sites tendent nettement à se concentrer sur les Périodes 2 et 3A soit LT-C et LT-D.

¹⁵ Un Pied de 28,8 est attesté à Pompéi par une *regula* de la Casa dei Polybii (DI PASQUALE 1996).

Figure 14 : Figuration du Pied et d'une *regula* sur le relief de Salamis (DEKOULAKOU SIDERIS 1990)

Rappelons qu'un même gabarit peut prendre une valeur différente selon le pied, ainsi une meule de 24 dgt mesurera 46,35 cm (arrondi à 46,5 ou 46) pour un Pied de Manching (30,9) cm mais 41,25 pour un pied de 27,5 ou 44,34 si elle est mesurée par le Pied Impérial (29,56). Ainsi, sans monter jusqu'aux pieds longs de type Dorique (32,65), Drusus (33,27) ou Punique (34,3), la différence est sur notre exemple de 5,10 cm pour un même gabarit antique. En d'autres termes, une meule de 46,5 cm et une meule de 41 cm ne sont pas différentes : leur diamètre antique est pour toutes les deux de 24 Doigts.

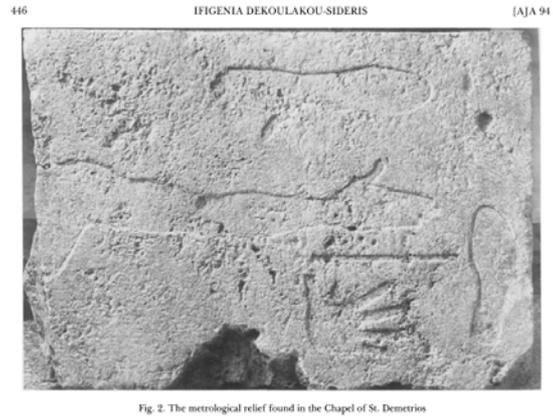
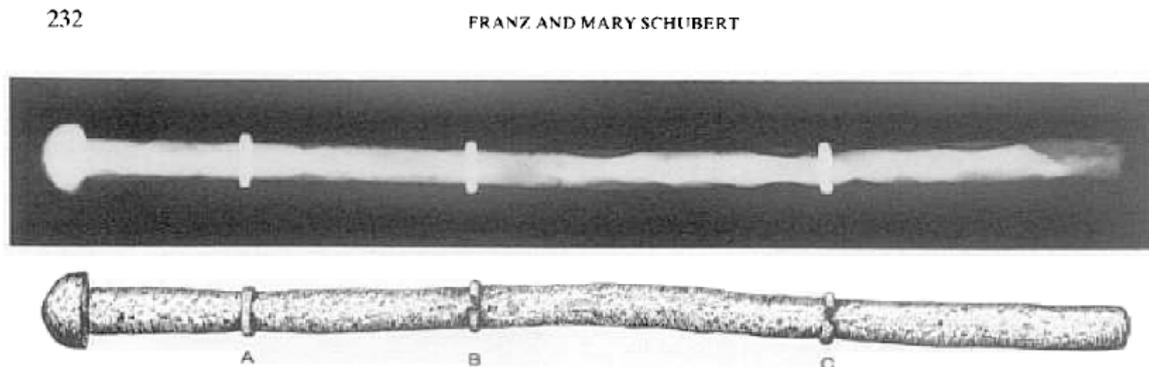


Fig. 2. The metrological relief found in the Chapel of St. Demetrios

24. Afin de déterminer quels gabarits ont été fabriqués à Orvieto et selon quelle proportion, l'ensemble des diamètres observables sur les MRB ont fait l'objet d'une approche métrologique (la méthode déjà brossée en Introduction, est exposée plus en détail dans les pages suivantes). La meilleure méthode en théorie consiste à extraire par des procédures mathématiques (détection de structures périodiques) le pied qui rend compte de tous les pics de fréquence. Elle se heurte en réalité conjoncturellement à la difficulté de son application par l'archéologue et structurellement au caractère « impur » des séries le plus souvent composites, qui superposent plusieurs populations dont la métrologie peut être proche entraînant ainsi des écarts de quelques mm, ce qui rend la méthode sensible à l'imprécision du mesurage archéologique effectué sur de la pierre et au mieux au demi-centimètre.

Figure 15 : Bâton-étalon en bronze de l'oppidum de Manching (Pied de 30,9 cm) *Manching rod* (SCHUBERT, SCHUBERT 1993)



25. Nous avons donc eu recours à une méthode pragmatique consistant à ne tester qu'une batterie de pieds déjà connus, mais ample, au nombre d'une vingtaine et le plus souvent d'une douzaine. A cette fin nous avons procédé à un vaste recensement des pieds reconnus, en partant de ceux attestés par les textes (qui donnent généralement leur nom et leur partition en Doigts ou Pouce ainsi que leurs multiples de type Coudée, Pas, Stade etc.). Nous avons accordé un maximum de place aux pieds archéologiquement attestés à travers des exemplaires pliants, des *regulae* ou équerres de bronze ou bois provenant de Pompéi ou d'épaves. Une large part revient enfin aux bâtons-étalons (Fig.15) ainsi qu'aux représentations gravées dont les reliefs de type Ashmolean ou Salamis (Fig. 16 et 17) ainsi que les tables *-mensae-* des poids et mesures antiques (telle celle d'Announa en Afrique du Nord romaine). Cet éventail a été complété de quelques pieds déduits de monuments (tel le Pied Dorique) lorsqu'ils faisaient l'objet d'un

consensus (17 pieds ont été déduits du seul Parthénon...). L'ANNEXE 26 donne la table des pieds dépouillés ainsi que leurs références bibliographiques.

Figure 17 : Relief Ashmoléen (MORRISON 1991)



FIGURE 1. A metrological relief in the Ashmolean Museum, Oxford (Michaelis 83).

23. Construite sur cette base, notre expérience de tests larges¹⁶ montre, sauf dans les cas où l'assemblage est fortement composé du mélange de plusieurs séries chronologiques ou de provenances, que le ou les pieds régissant une série se dégagent rapidement. Elle nous a par ailleurs permis d'établir la récurrence des pieds principaux (Fig.18) afin de guider nos tests et de comparer les pieds du domaine meulier à l'éventail général. Avec prudence puisque cet échantillon reste limité (une quarantaine d'ensembles et 1472 mesures), les pieds les plus utilisés sembleraient être le Pied de 27,5, les pieds de 28 cm (notamment celui de 28,2, celui de Glanum 28,5 et parfois le 28,8 de Pompéi) ainsi que le Pied Impérial (*Monetalis* de 29,56). La forte fréquence des pieds de 30-31, notamment celui de Manching (30,9 cm) constitue une surprise.

Figure 18 : Récurrence des principaux Pieds

		PIED 27,5	PIED 28,2-8	pieds 29	PIED 29,56	PIED 30-31	PIEDs 32	PIED 33	PIEDs 34	autre PIED	
total		20%	17%	5%	23%	18%	5%	8%	5%	2%	
total mesures	certain	13	11	3	15	12	3	5	3	1	66
	possible	?	4?	1?	4?	2?	3?	4?	1?	2?	14
	maximum	13	15	4	19	14	6	9	4	3	87
1472		15%	17%	5%	22%	16%	7%	10%	5%	3%	100,0%

La concentration de pieds sur l'intervalle 27,5/29,5 et à l'opposé leur rareté sur l'espace 29,5-32,5 nous a conduit à tester systématiquement le Pied de Manching (30,9 attesté par un bâton-étalon – SCHUBERT, SCHUBERT 1993)¹⁷ ainsi que le Pied de Salamis de 30,1 cm récemment découvert (DEKOULAKOU 1990) . En revanche nous avons été beaucoup moins systématique avec le Pied 2 de Salamis (32,2) et avons systématiquement écarté le pied déduit de l'urbanisme dit « Ibérique » de 32,0 cm (MORET, BADIE 1999 ou MORET 2009) dans la mesure ou ces deux pieds rendent compte systématiquement de tout diamètre pair : toute série de mesure les font automatiquement apparaître en bonne place, ce qui ne veut pas obligatoirement dire qu'ils n'ont pas existé.

¹⁶ Pensant que l'architecture et surtout l'urbanisme sont moins aptes (précis) que les objets manufacturés à l'appréhension de la métrologie, nous avons étudié une quarantaine de séries d'objets : tuiles (7), adobes (2), tuyaux de terre cuite (1), moellons de remparts étrusques, blocs de grand appareil ou colonnes (12), mais aussi mortiers en lave, céramique, disques de tours de potier, objets variés, tranchants d'outils ou épigraphie, ainsi que quelques séries de trous de poteau ou de sablières basses.

¹⁷ Nous n'avons pas testé systématiquement le Pied Ibérique de 31,1 cm car il est proche du Manching et a été défini récemment (OLMOS BENLLOCH 2008), uniquement à partir de plans d'urbanisme, ; en plein essor (MORET 2009, OLMOS BENLLOCH 2008, 2009, 2010, 2012) et par exemple attentive au potentiel punique (OLMOS BENLLOCH 2010) mais encore trop limitée à l'urbanisme, la métrologie ibérique nous semble devoir attendre un niveau de développement ultérieur ainsi qu'une étude métrologique spécifique aux meules des sites ibériques.

24. Au-delà de l'établissement de la gamme des gabarits d'un atelier ou représentée au sein d'un assemblage de consommation, l'un des objectifs de la démarche métrologique consiste également à comparer d'une part la métrologie d'un atelier à celle en vigueur dans sa zone de localisation et de diffusion, d'autre part à établir si la métrologie des meules reflète les métrologies environnantes ou bien si elle est spécifique et si existent alors des « pieds meuliers ».

On peut d'ores et déjà indiquer à ce stade de l'exposé que pour l'essentiel, la métrologie des meules rotatives basses reflète globalement la métrologie générale, en particulier la prégnance des pieds courts et de l'intervalle 27,5-29 cm¹⁸, une place non-négligeable du *Pes monetalis* qui est lié à la romanisation mais semble avoir pu exister antérieurement¹⁹.

25. Cependant le domaine meulier paraît présenter 3 originalités :

. l'importance du Pied de 28,2 cm, que l'on pourrait pratiquement qualifier de « Pied meulier »²⁰ bien qu'il soit rare sur les Ateliers (Els Vilars 22%, Orvieto 11% ; incertain à Agde) ;

. la récurrence du Pied de 29,25 défini à Vindonissa (HEINZ 1991) mais aussi signalé à Pyrgi (HALLIER 1971), que nous observons sur les moellons de Bolsena la Pescara (et qui trouve un exemplaire très proche (29,35 cm) sous la forme de l'une des *regulae* de Pompéi (DI PASQUALE, MARCHIS 1996) ; sur notre corpus d'ateliers, les deux pieds majeurs sont celui de 29,25 et le Pied de 27,5 avec 8 et 6 des 37 occurrences ;

. enfin l'absence des pieds longs, de type Dorique 32,65 ou Drusus 33,27 cm dont il est fait grand cas dans l'architecture et l'urbanisme²¹, ceci sans parler du Pied Punique de 34,3 que nous avons testé systématiquement en raison de la présence punique sur la côte orientale espagnole et de l'influence punique dans le domaine meulier primordial que forment la Sicile et la Sardaigne. S'ils ne sont pas absents, ces pieds sont généralement désavantageusement concurrencés par des pieds courts²². Cependant un pied long, celui de Manching (30,9) qui semble être présent également sur les blocs des remparts de Bolsena ou en Alsace-Lorraine, apparaît régulièrement dans les séries meulières sans toujours pouvoir être retenu comme le plus probable²³. Sur les ateliers il est attesté à Agde (22%).

26. La dernière remarque à formuler a trait au caractère systématiquement bi-métrologique des assemblages meuliers (Fig.17). S'il est logique que des meules issues d'ensembles d'Utilisation et rejet procèdent de plusieurs pieds générateurs du simple fait qu'elles proviennent de divers ateliers sinon de différentes régions entre lesquelles la métrologie en vigueur a de grandes chances de varier, on est surpris de constater qu'il faut toujours recourir à 2 pieds différents sinon 3 pour rendre compte des diamètres d'une série meulière relativement homogène telle celle d'Ateliers ou de centres de fabrication comme Orvieto mais aussi Borken, Bad Nauheim, l'Eifel.

27. Une certaine durée de la production expose certes à un changement de métrologie, ce qui pourrait éventuellement expliquer que l'Eiffel (MANGARTZ 2008) renvoie à

¹⁸ Le pied de 27,5 dit Osco-italique (par ex. PETERSE 1984) est fréquent en dehors des meules et notamment sur les blocs taillés même si ces derniers renvoient à une large diversité métrologique, le Pied Impérial semble roi sur les Terres cuites architecturales mais le Pied de 27,5 apparaît également sur les tuiles.

¹⁹ Il est par exemple régulièrement mentionné dans les études de métrologie ibérique (GONZALEZ VILLAESCUZA 2003, OLMOS BENLLOCH 2008, 2009) et son apparition dans les séries meulières laténiennes ou républicaines mériterait une revue d'ensemble

²⁰ ce Pied « meulier » de 28,2 est cependant signalé à *Augustomagus*-Senlis (MATHERAT 1945) parfois avec une valeur de 28,5 (FREY 2001, ULRIX 1971) et proche de celui détecté sur l'urbanisme de Glanum (ROTH-CONGES 1985) qui est de 28,5 cm.

²¹ Par ex. pour le *pes Drusianus* : DUNCAN-JONES 1980 (town planning), MILLETT 1982 (*Monetalis* vs *Drusus*) ou BRIDGER 1994 (camp de Xanten) ; pour le Dorique comme de nombreux pieds détectés sur monuments on citera DINSMOOR 1961 et la série de publication de ROTTLÄNDER années 1990 ; la plupart des pieds ont été définis à partir de monuments Grecs ce qui tend à expliquer la forte représentation des pieds Doriques, Solonien, Attique etc. par rapport à l'éventail détecté sur des objets tels que les meules ou les blocs de pierre de taille.

²² Nous n'avons pas les moyens mathématiques pour discuter de l'éventualité que des pieds courts puissent régulièrement donner des pics de fréquence sur des valeurs proches voire identiques à d'éventuels pieds plus longs et donc ce type de pieds longs se trouver difficilement détectables car masqués du fait que plusieurs de leurs pics de fréquence se trouvent correspondre à ceux de pieds plus courts.

²³ Ce pied entretient également un rapport arithmétique de dérivation avec le Pied de 27,5 dont 18 dgt font 30,9 cm ; nous n'enrons pas ici dans le domaine des dérivations possibles entre pieds soit par diminution (par ex. -1 dgt ou 1 pce) soit par augmentation (par ex. +2 dgt le « néo-pied » valant alors 18 dgt du précédent).

3 pieds dont le Pied Impérial. Par ailleurs si les MRB d'Orvieto (Pied de 28,2 à 44% et Pied de 27,5 à 24%) ne connaissent pas ce pied ce pourrait être en raison d'un abandon de leur production à la fin de l'époque républicaine.

Toutefois nous ne sommes pas en mesure d'établir si la bi-métriologie des assemblages meuliers homogènes est une donnée réelle ou si elle correspond à un artefact archéologique notamment dû à l'imprécision du mesurage ou/et à la proximité de certains pieds. La question reste en suspens.

2. Approche Métrologique : la détection du Pied régissant la dimension des meules

Estimation préliminaire du Pied par les diamètres de 41-48 cm (24 dgt)

28. Un diamètre mesurant entre 41 et 48 cm est fortement susceptible de correspondre à 1 Coudée (lat. *Cubitus*) soit 1 pied + 1/2 soit ou encore 24 Doigts (lat. *Digitus*). En effet 1,5 fois un Pied de 27,5, (Osco-Italique), de 29,56 (Impérial) ou de 30,9 (Manching) et 32,2 (Salamis2) font respectivement : 41,25 cm – 44,34 – 46,35 et 48,3 cm.

L'intervalle peut pousser jusqu'à 50 cm avec des pieds cependant rares tels que le *Drusus* (49,90 cm pour ce pied de 33,27) ou le Punique (51,49 cm pour 34,33). Mais généralement un Diamètre de l'ordre de 50 cm doit plutôt orienter vers des Gabarits de 26-28 dgt réalisés dans de plus petits Pieds.

Figure 19: Pieds utilisés dans l'approche métrologique des meules (les 7 pieds rangés vers la droite n'ont cependant pas été systématiquement recherchés)

Aussi la présence de ces diamètres dans une série de meules permet une première approche du pied régissant leur dimension. Il suffit pour cela, dans une démarche certes de tâtonnement mais toutefois rapide, de diviser le diamètre par 1,5.

Si par exemple une meule mesure 43 cm elle renvoie vers un pied de type 29,3 cm ($44 / 1,5 = 29,33$) ce qui oriente à priori vers le pied de 29,25 (aussi 29,35) mais également vers le *Pes Monetalis* de 29,56 cm.

Transcription des Diamètres en doigt

29. Le traitement des autres diamètres de la série permet ensuite de :

- confirmer ce pied (il peut en effet s'agir d'autres pieds pour un diamètre de 23 sinon 25 dgt plutôt que 24)
- de départager plusieurs pieds concurrents
- d'établir la mesure antique de chaque meule et donc de dégager les gabarits fabriqués ou utilisés.

Liste des PIEDS	
PIED	NOM
27	Gudea Lagash
27,5	Osco-Italique
27,75	Equerre Ma'agan M.
28,2	meulier
28,5	Glanique
28,8	Regula Polybi Pompei
29,25	Vindonissa / Bolsena
29,35	Regula Polybi Pompei
29,567	Pes Monetalis
29,8	Table Announa
30,1	Salamis 1
30,9	Manching / Bolsena-Pyrgi
31,1	Ibérique courant
32,2	Salamis 2
32,65	Dorique
32,75	Solonien Regula Ma'agan
33,27	Drusus
33,83	Madaure
33,93	Fabrilis Announa
34,3	Punique
34,9	Samos

Pour cela il est nécessaire de voir à quel gabarit (donc en dgt soit 1/16^e du Pied, ou en Pouce soit 1/12^e du Pied) chaque diamètre peut correspondre. Il faut ainsi transcrire les Diamètres exprimés en cm en des diamètres exprimés en dgt.

Pour y parvenir on utilise soit des tables qui pour toutes les dimensions en demi-cm donnent leur équivalent en dgt (ou demi-dgt) pour des valeurs allant de 24 cm (plus petit Diamètre de meule observé dans notre corpus) à une centaine de cm sinon plus. Ces tables qui croisent plus de 150 diamètres avec une vingtaine de pieds sont assez fastidieuses à construire et à manipuler.

Une méthode plus rapide consiste à tester la valeur en dgt de chaque diamètre observé. Nous donnons ainsi en **Fig.20** l'exemple des meules d'Agde.

Figure 20 : Recherche du ou des pieds générateurs des diamètres des Meules d'Agde : transcription des diamètres en dgt

AGDE - MÉTROLOGIE																					
DIAM	Q.	%	27,5	DGT	erreur	28,2	DGT	erreur	28,5	DGT	erreur	29,25	DGT	erreur	29,56	DGT	erreur	30,1	DGT	erreur	
24	1	4,3%	13,964	14	-0,26%	13,617			13,474			13,128			12,991	13	-0,07%	12,757			
28	1	4,3%	16,291			15,887			15,719			15,316			15,156			14,884			
31	1	4,3%	18,036	18	0,20%	17,589			17,404			16,957	17	-0,25%	16,779			16,478			
33,5	1	4,3%	19,491			19,007	19	0,04%	18,807			18,325			18,133			17,807			
34	1	4,3%	19,782			19,291			19,088	19		18,598			18,403			18,073	18	0,40%	
34,5	1	4,3%	20,073	20	0,36%	19,574			19,368			18,872			18,674			18,339			
38,5	2	8,7%	22,400			21,844			21,614			21,060	21	0,28%	20,839			20,465			
40	2	8,7%	23,273			22,695			22,456			21,880	22	-0,55%	21,651			21,262			
41,5	1	4,3%	24,145	24	0,60%	23,546			23,298			22,701			22,463			22,060	22	0,27%	
42	2	8,7%	24,436			23,830			23,579			22,974	23	-0,11%	22,733			22,326			
42,5	2	8,7%	24,727			24,113			23,860			23,248			23,004	23	0,02%	22,591			
43	1	4,3%	25,018	25	0,07%	24,397			24,140			23,521			23,275			22,857			
43,5	1	4,3%	25,309			24,681			24,421			23,795			23,545			23,123			
44	1	4,3%	25,600			24,965	25	-0,14%	24,702			24,068	24	0,28%	23,816			23,389			
45	2	8,7%	26,182			25,532			25,263			24,615			24,357			23,920	24	-0,33%	
46	1	4,3%	26,764			26,099	26	0,38%	25,825			25,162			24,899	25	-0,41%	24,452			
48,5	2	8,7%	28,218	28	0,77%	27,518			27,228			26,530			26,252			25,781			
	23	####		4			3						4			3					3

Formule : chaque Diamètre (par ex. 24 cm en col.1) est **transcrit en dgt** pour chacun des pieds (par ex. col.4 Pied de 27,5) par la formule $D/(\text{Pied}/16)^{24}$ soit ici $24/(27,5/16) = 13,964$ soit presque exactement 14 dgt.

Ce résultat est transcrit dans la col.5 suivante dénommée « DGT ». L'**erreur** est calculée dans la col.6 (selon la formule : $(D.24 - (14 \text{ dgt de } 27,5))/D.24^{25}$). Elle calcule la distorsion entre la valeur observée (diamètre de 24 cm) et la valeur attendue (14 dgt de 17,5).

En pratique : Les valeurs récurrentes de l'erreur en % comme en cm montrent qu'à partir de 0,40% d'erreur le diamètre observé s'éloigne trop, il perd donc en probabilité. Nous avons donc sur la **Fig.20** codé ces résultats en orangé-léger tandis que les meilleurs résultats sont codés en jaune vif ce qui permet un repérage visuel rapide des pieds offrant les meilleurs scores.

Sélection des Pieds rendant le mieux compte de la série des diamètres

30. L'exemple d'Agde ci-dessus conduit à constater, comme cela s'avère presque toujours être le cas, que plusieurs pieds peuvent rendre compte d'un même diamètre²⁶. Il convient donc de tenter de discriminer le pied qui rend compte de la majorité des meules de la série. Faute de pouvoir utiliser des méthodes mathématiques et probabilistes, nous avons recours à une méthode empirique qui comporte 3 volets :

²⁴ La formule s'exprime dans les cellules de cette table de la manière suivante : = (\$B5)/(\$F\$4/16) ; si l'on estime qu'a pu être utilisé le Pouce et non le Doigt, le test est effectué en divisant /12 en non /16.

²⁵ La formule s'exprime dans les cellules de cette table comme suit : = ((\$B5-(\$F\$5/16)*H5))/B\$5 .

²⁶ A l'opposé, certaines valeurs du Diamètre telles que 40 cm ou 28 par exemple, ne sont justifiées par aucun pied, soient qu'elles relèvent de Pieds non répertoriés ou non utilisés dans le test, soit que les pieds qui en rendent compte aboutissent à des valeurs intermédiaires (par exemple 40,23 ou 28,17) trop éloignées des demi-cm utilisés ce qui produit une erreur élevée et un ajustement avec aucun pied.

1. on considère en priorité les Pieds qui transcrivent en dgt le plus grand nombre de Diamètres de la série meulière (dans l'ex. d'Agde il s'agit des Pieds de 27,5 / 29,25 / 32,2 et 34,33 – leur score 4 Diamètres sur les 12 est surligné en orange vif sur la Fig.20)

2. parmi ces derniers, on retient prioritairement les Pieds qui rendent compte des pics de Fréquence (ils ne sont pas nets pour Agde, on prend donc pour exemple dans la Fig.21 le cas du centre producteur de l'Eiffel ; les diamètres les plus fréquents y sont surlignés en gris, et encadrés dans la table des dgt :

Figure 21 : Transcription en dgt et Pics de Fréquence des diamètres (Eifel 2008)

Métrologie des MRB - EIFFEL (MANGARTZ 2008)																												
Valeurs	%	27,5	DGT	erreur	28,2	DGT	erreur	28,5	DGT	erreur	29,25	DGT	erreur	29,56	DGT	erreur	30,1	DGT	erreur	30,9	DGT	erreur	32,2	DGT	erreur	32,65	DGT	erreur
34	3,5%	19,78			19,29			19,09	19	0,46%	18,60			18,40			18,07	18	0,40%	17,61			16,89	17	0,63%	17,64		
36	7%	20,95	21	0,26%	20,43			20,21			19,69			19,49			19,14			18,64			17,89	18	0,63%	17,64		
37	3,5%	21,53			20,99	21	0,03%	20,77			20,24			20,03	20	0,14%	19,67			19,16			18,39			18,13		
38	10,5%	22,11	22	0,49%	21,56			21,33			20,79			20,57			20,20			19,68			18,88	19	0,63%	18,62		
39	5,3%	22,69			22,13			21,89	22	0,48%	21,33			21,11	21	0,52%	20,73			20,19			19,38			19,11	19	0,58%
40	12,3%	23,27			22,46			22,20			21,88	22	0,55%	21,65			21,26			20,71			19,88	20	0,63%	19,60		
41	1,8%	23,85			23,02			23,02	23	0,08%	22,43			22,19			21,79			21,23			20,37			20,09	20	0,46%
42	8,8%	24,44			23,58			23,58			22,97	23	0,11%	22,73			22,33			21,75			20,87			20,58		
43	7%	25,02	25	0,07%	24,40			24,14			23,52			23,27			22,86			22,27			21,37			21,07	21	0,34%
44	7%	25,60			24,96	25	0,14%	24,70			24,07	24	0,28%	23,82			23,39			22,78			21,86			21,56		
45	1,8%	26,18			25,53			25,26			24,62			24,36			23,92	24	0,33%	23,30			22,36			22,05	22	0,24%
46	12,3%	26,76			26,10			25,82			25,16			24,90	25	0,41%	24,45			23,82			22,86			22,54		
47	1,8%	27,35			26,67			26,39			25,71			25,44			24,98	25	0,07%	24,34			23,35			23,03	23	0,14%
53	1,8%	30,84			30,07	30	0,24%	29,75			28,99	29	0,03%	28,69			28,17			27,44			26,34			25,97	26	0,11%
NR = 48			2	24,5%		3			2			3	29,9%		2	21,1%		3								5		

Cette étape permet de retenir le ou les pieds les plus probables pour rendre compte des diamètres les plus fréquents ;

3. dans un troisième temps, si plusieurs pieds peuvent justifier les pics de fréquence, on recherche ceux qui se complètent le mieux pour rendre compte de l'essentiel de la série.

En effet si 2 ieds se complètent c'est qu'ils s'excluent l'un l'autre et ont chacun généré une série différente de diamètres, lesquelles se trouvent réunies dans un assemblage d'atelier ou d'Utilisation (soit par exemple que l'atelier ait travaillé avec 2 pieds, soit qu'il ait compris 2 officines tandis que l'assemblage de consommation regroupe des meules de 2 provenances ou de 2 métrologies pour une même aire de provenance).

Travail sur l'Association des Pieds rendant finalement compte de la série des diamètres

31. Pour trouver la meilleure association qui rende compte de la quantité maximale de Diamètres, on considère le Pied qui justifie le plus de pics (et non de Diamètres) tel le Pied de 31,1 sur la Fig.22 puis on recherche un second Pied qui va rendre compte des valeurs « délaissées » par le premier (en rosâtre sur la Fig.22).

Figure 22 : Profil des gabarits de l'assemblage meulier d'Els Vilars

Association des Pieds rendant compte des Diamètres de ELS VILARS																
ibéric			28,2				30,1				Bilan Final 2 + 2 pieds					
Valeurs	Q.	%	31,1	erreur	28,2	erreur	justifié	délaissé	27,5	erreur	justifié	délaissé	30,1	erreur	justifié	délaissé
30	1	4%			17	0,13%							16	0,33%	double	
32	1	4%											17	0,06%		
33	3	12%	17	0,13%									18	0,40%		
34	1	4%														
35	5	19%	18	0,04%												
36	1	4%							21	0,26%	double				double	
37	2	8%	19	0,19%	21	0,03%	double								double	
38	2	8%							22	0,49%						
39	3	12%	20	0,32%												
40,5	1	4%			23	0,09%										
42	2	8%			24	0,71%										
43	1	4%							25	0,07%						
44																
45	1	4%											24	0,33%	double	
46,5	1	4%	24	0,32%					27	0,20%	double				double	
51	1	4%			29	0,22%										
			49%		22%		73%		20%		88%		14%		100%	
			3picsMn/3		28-2-4%								16-2%			
			1 picMn/3		1 picMn/3											
			51-2%													

Généralement cette étape permet de dégager un couple de pieds qui rend compte d'une large majorité des diamètres observés dans la série.

Lors de ce travail de sélection empirique des pieds, priorité est donnée aux *Pieds courts* (en pratique inférieurs à 32/33 cm) car les *Pieds longs* justifient moins fréquemment une série et se trouvent alors généralement en concurrence avec un pied court. On retient un pied long seulement lorsqu'il rend compte d'un fort taux de diamètres et si possible de Pics de fréquence (ainsi le Pied Punique de 34,33 justifie 5 des 12 diamètres d'Agde et un total de 30% des meules), lorsqu'il justifie nombre de diamètres sans avoir de concurrent parmi les pieds courts (Pied de Salamis 2 de 32,2 cm pour les meules de l'Epave de la Wanzenau) ou encore lorsque des raisons particulières le rendent plus probable (cas du Pied « Ibérique courant » de 31,1 cm à Els Vilars).

Cependant il arrive assez régulièrement qu'un couple de pieds parvienne à réunir seulement ca.50% des meules. Il est alors probable que l'assemblage procède de plus de 2 pieds. C'est généralement le cas lorsque des provenances variées ont alimenté un site ou lorsqu'un assemblage recouvre une longue durée, ce qui peut être le cas de certains ateliers ou, le plus souvent, de zones ou centres de production.

Profil des Gabarits d'un Assemblage

32. Une fois établis empiriquement les pieds qui pourraient avoir régi la série des diamètres d'un assemblage, on est en mesure de définir le spectre des gabarits qui ont été fabriqués ou utilisés ainsi que leur fréquence (exemple de Els Vilars Fig.23).

Ce profil des gabarits permet d'abord un retour critique sur l'identification des pieds : un spectre présentant par exemple des gabarits hétérogènes (par ex.17 et 29 dgt), des gabarits totalement impairs ou un spectre qui soit dépourvu de gabarits canoniques (20/24/28 dgt) est suspect. Mais le plus intéressant, lorsqu'on a pu établir le Profil des Gabarits d'un assemblage est d'examiner et de comparer l'éventail des gabarits qui ont été fabriqués ou utilisés.

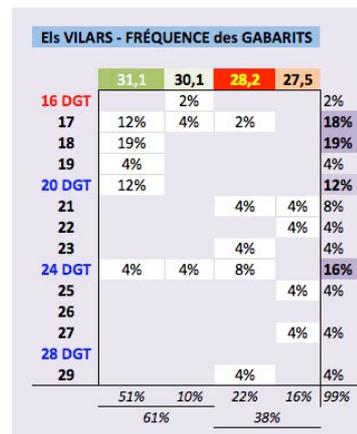
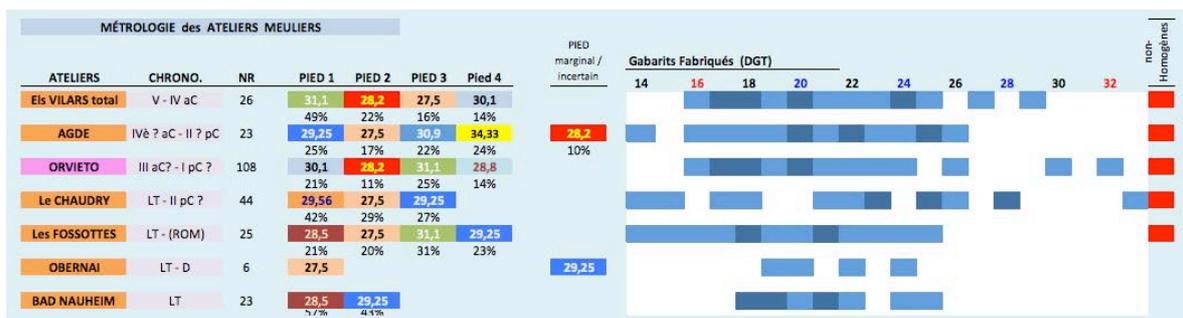


Figure 23 : Spectre des Gabarits de Els Vilars & leur Fréquence

En effet, le Profil des Gabarits d'un Assemblage permet :

A- d'abord de différencier les ateliers ou assemblages homogènes ou au contraire très composites (Fig.24),

Figure 24 : Assemblages d'ateliers à Profil de Gabarits homogène vs assemblages à Profil hétérogène (carré rouge & profil bleu étiré) sur Ateliers - les pieds générateurs des Diamètres sont figurés colonnes 4 à 8 ; le diagramme bleu indique l'éventail des Gabarits fabriqués : en bleu foncé les plus fréquents-

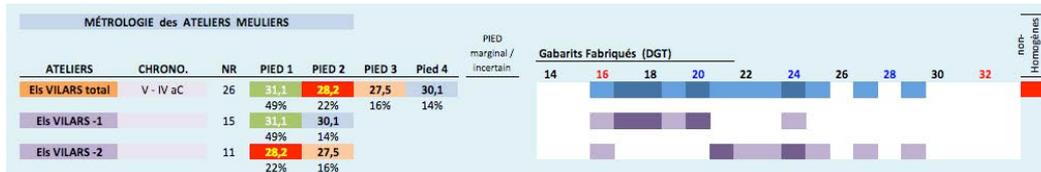


B- ce Profil des Gabarits permet ensuite de statuer sur le fait que les Meules produites ou utilisées correspondent à un continuum de tailles (par ex. de 17 à 24 dgt) ou bien si elles présentent une structure en dipôle (par ex. un groupe de 17 à 21 dgt puis un

groupe sur 24 dgt) correspondant ainsi à l'association entre 1 «Petit» moulin et 1 «Gros». Récurrente, cette configuration donne toujours le petit modèle autour de 2/3 du total contre 1/3 au maximum pour le gros calibre. L'écart est souvent de 3 ou 4 dgt (soit 1 palme).

C- enfin, le Profil des Gabarits introduit d'intéressants éléments d'interprétation ou de questionnements. Ainsi par exemple :

Figure 25 : Décomposition du Profil des Gabarits d'Els Vilars
(en Bleu le spectre global, en Violet le profil de chacune des 2 séries)



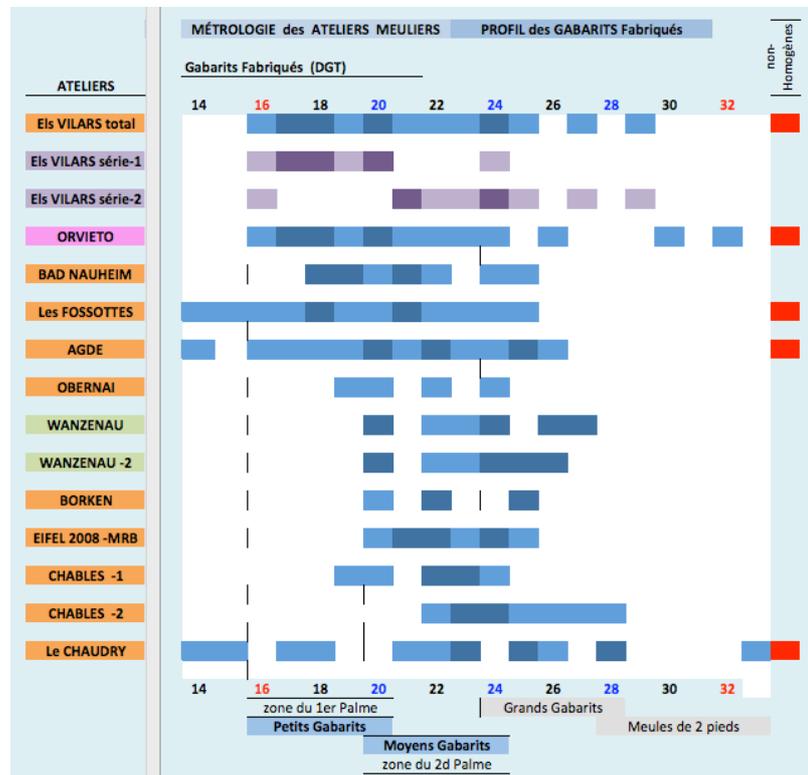
. à Els Vilars : la décomposition du spectre global (Fig.25) montre que l'assemblage semble mêler ou associer 2 séries à structure similaire (éventail de gabarits peu étiré, di-polarité avec un « gros » moulin sur 28 dgt soit 1 pied +³/₄).

Mais les 2 ensembles se distinguent par le fait d'une part qu'ils sont régis chacun par un couple de pieds différent (l'Ibérique 31,1 associé au Salamis 1 de 30,1 pour la première série, et les pieds courts peut-être hellénistiques de 27,5 et 28,2 pour l'autre). D'autre part, l'une regroupe de petits modèles relevant du premier Palme (16 à 20 dgt) tandis que la seconde est faite de gabarits moyens ressortissant du 2^e Palme (20 à 24 dgt).

Ce caractère bi-compositionnel probable de l'Assemblage d'Els Vilars que seule la métrologie semble permettre d'appréhender, ouvre sur plusieurs pistes de réflexion : s'agit-il de 2 matériaux ? de 2 officines ? ou bien les meules de Els Vilars associeraient-elles 2 périodes séparées par un changement d'approvisionnement ou de métrologie ?

33. Le Profil quantifié des Gabarits permet aussi de noter des similitudes, telle celle qui apparaît entre les profils des Gabarits de Els Vilars et d'Orvieto : en effet (Fig.26), ces deux sites relèvent de fabrications en petit Gabarits (zone du 1^{er} Palme après le pied, soit 16 à 20 dgt), dont se rapprochent également l'Atelier de Bad Nauheim et une partie de la production meulière des Fossottes en Alsace.

Figure 26 : Similitudes entre Profils des Gabarits de différents assemblages issus d'ateliers



4. Métrologie des Diamètres & Gamme des Gabarits à Orvieto

34. La situation métrologique d'Orvieto n'apparaît pas très évidente, en raison du large éventail des diamètres que l'on constate. Cette étendue des diamètres est sans doute due au fait qu'une grande partie des restes meuliers se présentent à l'état d'ébauches et par ailleurs à la relative faiblesse des pics de fréquence des diamètres, pics qui permettent de caractériser les normes fabriquées. On a en conséquence testé un large nombre de pieds (16 sur les 21 de notre registre).

La nouveauté par rapport à ce que nous avons pu écrire dans les premières rédactions du présent mémoire et dans une publication récente²⁷, réside dans la place prise par le Pied Ibérique courant (31,1 cm – OLMOS BENLLOCH 2009) et par le Pied de Salamis 1 (30,1) au détriment du Pied de 28,2. Bien que limité à un total de 21% des diamètres, ce dernier rend néanmoins compte de 2 des 3 pics de fréquence majeurs (D.30 et D.37 cm) soit un total de 19%.

Figure 27 A : Table de données testant les pieds (27,5 à 29,8) qui peuvent rendre compte des diamètres des MRB d'Orvieto

(colonne de gauche : en grisé foncé les pics de fréquence Majeurs, en grisé léger les pics mineurs) - en jaune les Gabarits -en dgt- d'un pied lorsqu'il rend compte d'un Diamètre ; ceux dont l'erreur apparaît déjà importante sont surlignés en orangé léger ; les pics majeurs de fréquence sont encadrés en noir, dans la table (valeur en dgt) les pics mineurs en trait léger -

		MÉTROLOGIE des MRB - ORVIETO																		
Diamètre	FREQ.	PIED 27,5		Eq.Ma'ag. 27,75		28,2		28,5		Polibii 28,8		29,25		29,56		Announa 29,8				
		DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur	DGT	erreur			
28	3%	16,29		16,14		15,89		15,72		15,56		15,32		15,16		15,03	15	0,38%		
29	4%	16,87		16,72		16,45		16,28		16,11		15,86		15,7		15,57				
30	9%	17,45		17,3		17,02	17	0,21%	16,84		16,67		16,41		16,24		16,11	16	1,15%	
31	6%	18,04	18	0,35%	17,87		17,59		17,4		17,22		16,96	17	-0,43%	16,78				
32	9%	18,62		18,45		18,16	18	1,48%	17,96	18	-0,34%	17,78		17,5		17,32				
32,5	6%	18,91	19	-0,83%	18,74		18,44		18,25		18,06	18	0,53%	17,78		17,59				
33	6%	19,2		19,03	19	0,24%	18,72		18,53		18,33		18,05	18	0,49%	17,86				
34	6%	19,78		19,6		19,29		19,09	19	0,79%	18,89	19	-1,01%	18,6		18,4				
34,5	4%	20,07	20	0,62%	19,89	20	-0,93%	19,57		19,37		19,17		18,87		18,67				
35	5%	20,36		20,18		19,86		19,65		19,44		19,24		18,94	19	-0,50%	18,79			
35,5	2%	20,65		20,47		20,14	20	1,21%	19,93	20	-0,61%	19,72		19,42		19,22	19	1,92%		
36	6%	20,95	21	-0,45%	20,76		20,43		20,21		20,0	20	0,00%	19,69		19,49				
37	10%	21,53		21,33		20,99	21	-0,06%	20,77		20,56		20,24		20,03	20	0,23%	19,87	20	-1,16%
38	4%	22,11	22	0,85%	21,91	22	-0,71%	21,56		21,33		21,11		20,79		20,57				
39	3%	22,69		22,49		22,13		21,89	22	-0,83%	21,67		21,33		21,11		20,94	21	-0,50%	
40	1%	23,27		23,06	23	0,47%	22,7		22,46		22,22		21,88		21,65		21,48			
41,5	1%	24,15		23,93	24	-0,52%	23,55		23,3		23,06	23	0,41%	22,7		22,46				
42	1%	24,44		24,22		23,83		23,58		23,33		22,97	23	-0,19%	22,73		22,55			
43	1%	25,02	25	0,12%	24,79		24,4		24,14		23,89	24	-0,80%	23,52		23,27				
46	1%	26,76		26,52		26,1	26	0,65%	25,82		25,56		25,16		24,9	25	-0,70%	24,7		
48	2%	27,93	28	-0,45%	27,68		27,23		26,95	27	-0,34%	26,67		26,26		25,98				
56,5	1%	32,87		32,58		32,06	32	0,30%	31,72		31,39		30,91	31	-0,52%	30,58				
60,5	1%	35,2		34,88		34,33		33,96	34	-0,18%	33,61		33,09	33	0,49%	32,75		32,48		

35. Il faut ainsi pas moins de 4 pieds différents (Fig.28) pour rendre compte de seulement 70% des diamètres d'Orvieto. Néanmoins 2 pieds (celui de 28,2 associé au Pied de 30,1 ou à celui de 31,1) suffisent à justifier les 3 pics Majeurs (soit 28% du total) ainsi que 1 pic mineur (6%) soit un tiers des diamètres. Considérer de manière privilégiée les pics de fréquence, ce qui constitue un bon guide vers la métrologie, ne réduit pas la pluri-métrologie de l'assemblage d'Orvieto que l'on ressent à partir du faible score des pieds rendant compte des pics majeurs. En effet, il faut recourir à 2 autres Pieds pour justifier les 4 pics mineurs restant (totalisant 24%) : le Pied pompéien de 28,8²⁸ pour les D. 32,5 et D.36 (soit 12% du total) et le pied de 31,1 ou celui de 29,25 (cependant moins performant) pour les pics secondaires sur D. 31 et D.33.

²⁷ BUONOPANE (A.), CHARTRAIN (A.), GUALTIERI (M.) - Orvieto, centre producteur de meules dans l'Antiquité : premières données issues du programme ORVIAMM. In : *Mélanges offerts à Michel Feugère* Mergoïl, 42 p.

²⁸ *Regula* de la Casa dei Polybii (DI PASQUALE, MARCHIS 1996, p. 674, *regula* « c »).

Figure 27 B : suite de la Table de données testant les pieds (30,1 à 34,33) qui peuvent rendre compte des diamètres des MRB d'Orvieto

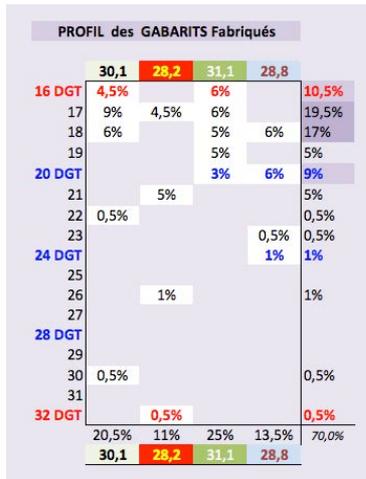
		MÉTROLOGIE des MRB - ORVIETO																							
Diamètre	FREQ.	PIED				Solonien				Solonien															
		30,1	DGT	erreur	30,9	DGT	erreur	31,1	DGT	erreur	32,2	DGT	erreur	32,65	DGT	erreur	32,75	DGT	erreur	33,27	DGT	erreur	34,33	DGT	erreur
28	3%	14,88	15	-1,34%	14,5			14,41			13,91	14	-1,07%	13,72			13,68			13,47			13,05	13	0,66%
29	4%	15,42			15,02	15	0,19%	14,92	15	-0,93%	14,41			14,21			14,17			13,95			13,52		
30	9%	15,95	16	-0,57%	15,53			15,43			14,91	15	-1,07%	14,7			14,66			14,43			13,98	14	-0,22%
31	6%	16,48			16,05	16	0,55%	15,95			15,4			15,19			15,15			14,91	15	-1,06%	14,45		
32	9%	17,01	17	0,10%	16,57			16,46			15,9	16	-1,07%	15,68			15,63			15,39			14,91	15	-0,99%
32,5	6%	17,28			16,83			16,72			16,15			15,93	16	-0,79%	15,88			15,63			15,15		
33	6%	17,54			17,09	17	0,88%	16,98	17	-0,23%	16,4			16,17			16,12			15,87			15,38		
34	6%	18,07	18	0,70%	17,61			17,49			16,89	17	-1,07%	16,66			16,61			16,35			15,85		
34,5	4%	18,34			17,86	18	-1,31%	17,75			17,14			16,91	17	-0,95%	16,85			16,59			16,08	16	0,85%
35	5%	18,6			18,12			18,01	18	0,06%	17,39			17,15			17,1	17	1,0%	16,83			16,31		
35,5	2%	18,87	19	-1,18%	18,38			18,26			17,64			17,4			17,34	17	3,40%	17,07	17	0,73%	16,55		
36	6%	19,14			18,64			18,52			17,89			17,64			17,59			17,31			16,78		
37	10%	19,67	19	1,42%	19,16			19,04	19	0,32%	18,39			18,13			18,08			17,79			17,24		
38	4%	20,2			19,68			19,55			18,88			18,62			18,56			18,27			17,71		
39	3%	20,73			20,19			20,06			19,38	19	1,01%	19,11			19,05			18,76			18,18		
40	1%	21,26			20,71			20,58			19,6			19,34			19,24			18,84			18,24		
41,5	1%	22,06	22	0,47%	21,49			21,35			20,62			20,34			20,27			19,96			19,34		
42	1%	22,33			21,75			21,61			20,87			20,58			20,52			20,2			19,57		
43	1%	22,86	23	-1,07%	22,27			22,12			21,37			21,07	21	0,59%	21,01			20,68			20,04	20	0,35%
46	1%	24,45			23,82			23,67			22,86			22,54			22,47			22,12			21,44		
48	2%	25,51			24,85	25	-1,01%	24,69			23,85			23,52			23,45			23,08			22,37		
56,5	1%	30,03	30	0,19%	29,26			29,07			28,07	28	0,46%	27,69			27,6			27,17			26,33		
60,5	1%	32,16			31,33			31,13			30,06	30	0,36%	29,65			29,56			29,1			28,2		
		2 + 3 2 picMj/3 1 picMn/5				3 + 3 1 picMj/3 2 picMn/5				1 + 4															

Figure 28 : Examen des associations de pieds qui rendent le mieux compte des diamètres des MRB d'Orvieto (pieds de 28,2 et 30,1 puis pied de 31,1 et de 28,8)

Diamètre	FREQ.	Association -2										Association +28,8														
		28,2	erreur	30,1	erreur	justifié	délaissé	31,1	erreur	justifié	délaissé	28,8	erreur	justifié	délaissé											
28	3%																									
29	4%																									
30	9%	17	0,21%	16	0,57%	doublon		15	0,93%	doublon																
31	6%							16	0,55%																	
32	9%			17	0,10%																					
32,5	6%																									
33	6%																									
34	6%			18	0,70%																					
34,5	4%																									
35	5%																									
35,5	2%																									
36	6%																									
37	10%	21	0,06%																							
38	4%																									
39	3%																									
40	1%																									
41,5	1%			22	0,47%																					
42	1%																									
43	1%																									
46	1%			26	0,65%																					
48	2%					23	1,07%																			
56,5	1%			32	0,30%	30	0,19%	doublon																		
60,5	1%																									
		21%		26%		37%		53%		31%		+ 20%		57%		33%		14%		+ 13%		70%		20%		
		(31% - 10 - 1%)										(78% des Diam étudiés)														

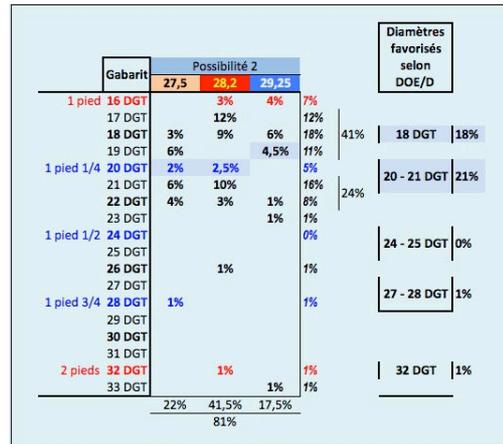
36. L'appréhension des pieds, sans être totalement convaincante, permet de dégager l'éventail des gabarits qui ont été fabriqués à Orvieto (Fig.29). Il est intéressant à cet égard de constater qu'un essai antérieur, sélectionnant les Pieds de 27,5 cm, de 28,2 et de 29,25 cm donnait un résultat quasi identique (Fig.30). En effet, les principales tailles de MRB fabriquées à Orvieto sont en premier lieu la paire 17-18 dgt, ensuite soit un gabarit de 21 dgt (Fig.30), soit de 20 dgt (Fig.29) c'est-à-dire une norme correspondant au diamètre canonique de 1 pied ¼ (soit 1 pied + 1 palme ou 16 + 4 dgt).

Figure 29 : Gabarits fabriqués à Orvieto



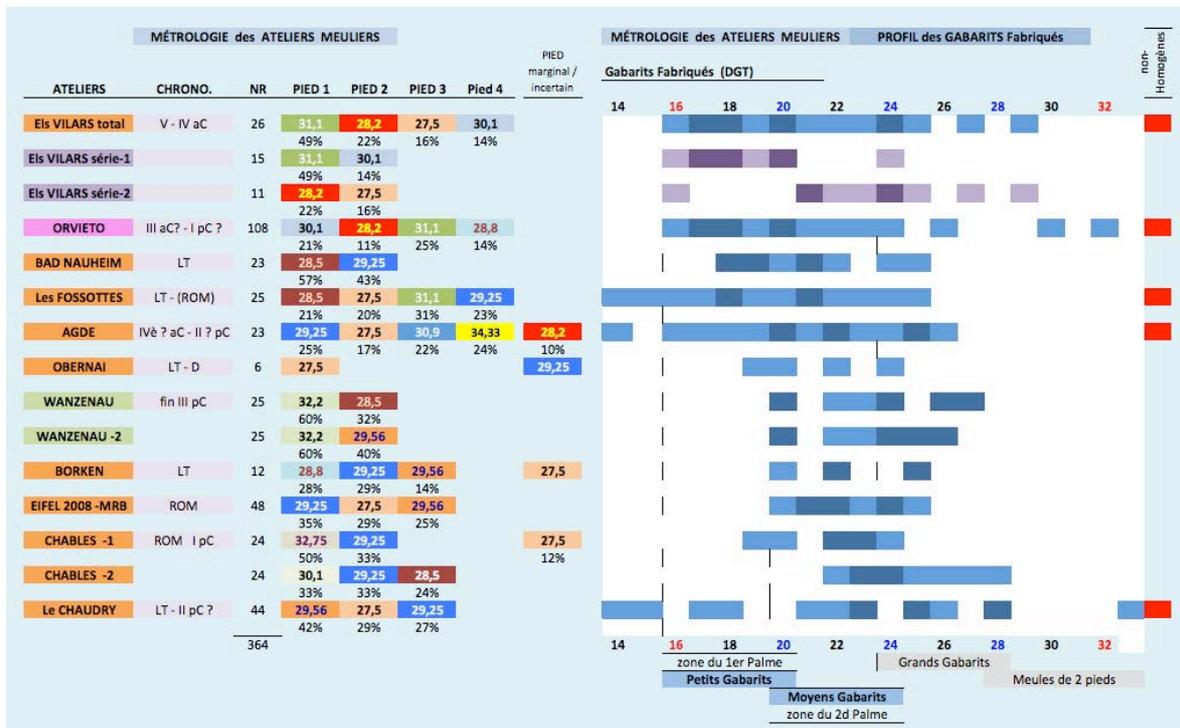
On constate ainsi que les productions de Meules Rotatives Basses d'Orvieto se concentrent sur de petites tailles, 16 à 20 dgt, rarement au-dessus²⁹. L'une des caractéristiques d'Orvieto est donc une fabrication dans le premier palme (celui de 16 à 20 dgt) c'est-à-dire des meules de petit gabarit.

Figure 30 : Eventail des Gabarits d'Orvieto selon une première hypothèse de métrologie



37. La seconde caractéristique réside dans l'incertitude du caractère di-polaire ou non de la gamme des gabarits, à savoir si la structure des fabrications correspond à la production d'un « Petit » moulin associé à un « Gros » réalisé dans une proportion nettement moindre.

Figure 31 : Spectre des Gabarits fabriqués à Orvieto et ceux d'un ensemble de 10 autres Ateliers³⁰ (à gauche figurent les Ateliers ; au milieu les Pieds générant les Diamètres de chaque Atelier ; à droite en bleu le spectre des Gabarits : 16 et 32 dgt sont écrits en rouge)



²⁹ Dans l'hypothèse de métrologie de la Fig.30 les meules de plus de 20/21 dgt totaliseraient 13% et celles de plus de 24 dgt 4% ; dans la métrologie retenue (Fig.29) le score n'est pas vraiment différent (respectivement 4% et 2% au-dessus de 24 dgt).

³⁰ Plus exactement 9 ateliers en sus d'Orvieto et 1 épave fluviale (Wanzenau, publiée en Allemand par FORRER 1911, dimensions relevées et gentiment fournies par Florent Jody).

38. La comparaison avec les autres Ateliers (**Fig.31**) fait apparaître deux aspects intéressants :

.A. la similarité du spectre d'Orvieto, dans sa partie essentielle (à gauche) **avec celui de la série 1 de Els Vilars**, site de la période molinologique ancienne (V-IV^e s. aC) ; il s'agit d'exemples de fabrication en Petits Gabarits (1^{er} Palme),

.B. Orvieto fait partie, avec Els Vilars (Catalogne), Agde (Languedoc), Le Chaudry (Berry) et Les Fossottes (Alsace) des Ateliers présentant **un spectre des gabarits à caractère large**, configuration qui traduit un palimpseste de différentes séries et probablement en général une assez longue durée (sauf sans doute pour Els Vilars d'Arbeca).

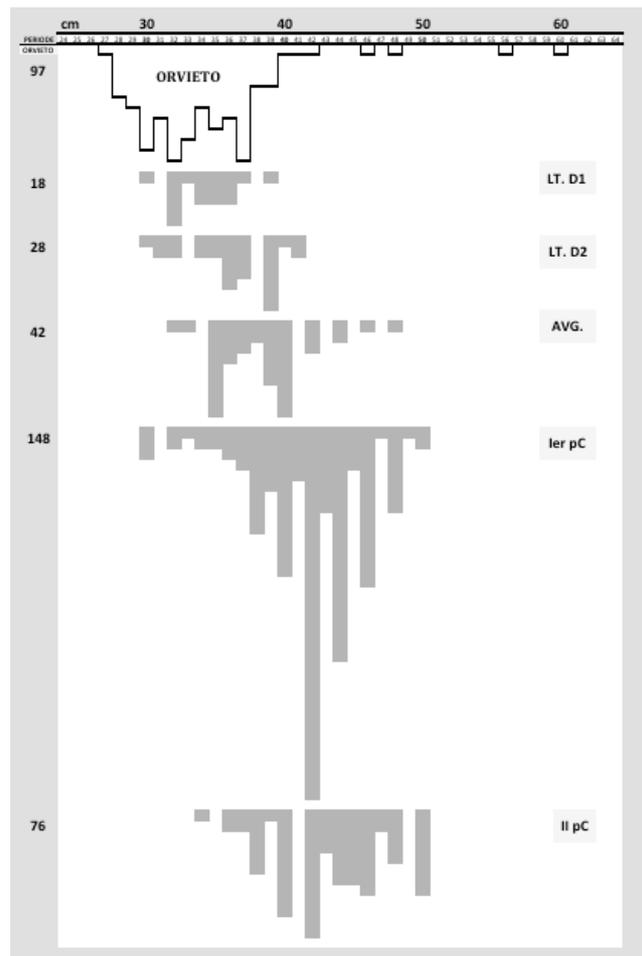
Pour Orvieto il apparaît probable qu'à un spectre fondamental de type Els Vilars -1 (fabrications dans le 1^{er} Palme avec pics sur 17-18 et sur 20-21 dgt³¹) se superpose une seconde série, numériquement très faible (4% des effectifs) mais constituée de plus grands Gabarits (allant du 2^d au 4^e palmes soit sur 24/28/32 dgt). A cet égard, les MRB orviétanes sont donc plutôt homogènes, situées dans une culture du petit gabarit rarement poussé au-delà de 20-21 dgt et peut-être sans fabrication associée consistant en quelques « Gros » moulins.

E. Croissance des Diamètres & Chronologie

39. Il a été mis en évidence une croissance chronologique de l'envergure des Meules Rotatives Basses intervenue au cours de l'Age du Fer puis de l'époque Romaine. Celle-ci peut être illustrée par la situation en Gaule³² à laquelle nous ajoutons l'éventail des diamètres d'Orvieto (**Fig.32**). Selon une chronologie moins précise mais un nombre de sites et de diamètres plus important, notre corpus confirme cette croissance du Diamètre et l'élargit spatialement. Nos tables **Fig.7a** et **7b** en partie C de ce Chapitre, expriment l'augmentation de la taille des meules à travers la moyenne des Diamètres de chaque assemblage.

Figure 32 : Accroissement chronologique des Diamètres en Gaule et position relative d'Orvieto

40. L'examen des moyennes montre que le phénomène d'accroissement n'apparaît nettement qu'à la Période 3B (**Fig.33**) avec la réapparition de la filière 2 c'est à dire d'assemblages



³¹ Sur le fonctionnement par couples de diamètres (20-21 / 24-25 / 27-28 / 31-32 / 35-36) accrochés aux valeurs canoniques (Palmes : 20 / 24 / 28 / 32 etc.) et favorisés par le rapport entre envergure de la meule et Diamètre de l'Œil, on se reportera *infra* au **CHAP.13** consacré à l'Œil des MRB.

³² D'après BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011, p. 293.

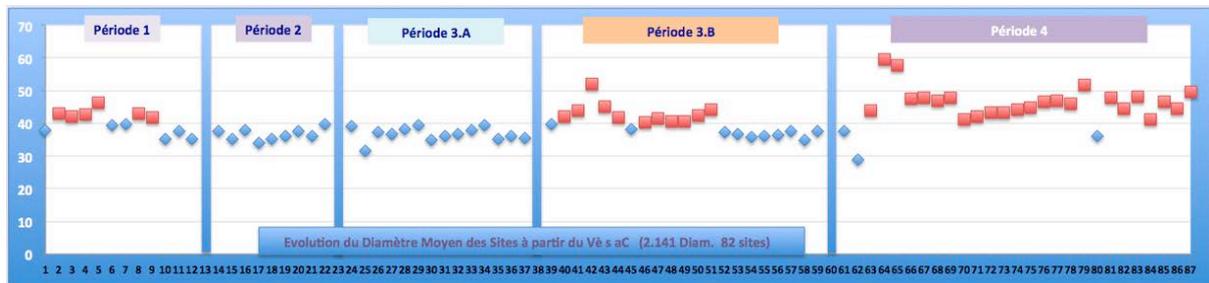
comportant un fort taux de meules de gabarit 1,5 pied ou plus (soit à partir de 42 cm).

Auparavant le diamètre moyen des assemblages oscille entre 35 et 40 cm sans témoigner avec netteté d'un accroissement ni d'aucune différence de la Période 1 à la Période 3.A soit globalement jusqu'au Ier s.a.C.

Pour la Période 3.B où intervient la croissance des diamètres, on observe cependant le maintien d'ensembles et de zones caractérisés par des meules d'envergure réduite (Filière 1, en bleu sur la Fig.33).

L'accroissement des Diamètres des MRB ne semble donc pas correspondre à un phénomène continu, mais au contraire plutôt relativement subit et datant du Ier siècle aC ou de la fin du IIè s.

Figure 33 : Evolution chronologique tendancielle du Diamètre Moyen (tous sites)
(en ordonnée figurent les Diamètres, compris entre 30 et 60 cm - sont représentées en rouge les moyennes à Gabarit élevé c'est-à-dire de Filière 2 - en bleu sont figurées les moyennes relevant d'un petit gabarit de Filière 1)



41. Ainsi, la Période Molinologique Ancienne (Vè-IIIè s. aC) a connu de grands gabarits, centrés sur 24 dgt (Filière 2). On constate ensuite (au IIIè s. aC) que ce format a été abandonné, sans doute dans le cadre d'une mutation molinologique au IVè siècle. Au cours des 3 derniers siècles aC (La Tène C-D ou époque tardo-républicaine), l'envergure des MRB apparaît stable (nos Périodes Molinologiques 2 et 3.A) avec un diamètre moyen par assemblage qui varie avec constance entre 35 et 39,5 cm, et plus particulièrement de 35 à 38 (*supra*, Fig.7 et Fig.8). Avec la Période Molinologique 3.B, à partir du Ier s. aC et peut-être en partie dès le IIè s., la Filière 2 réapparaît (Fig.32) et les moyennes supérieures au gabarit de 1 pied ½ (41,5 cm) deviennent de plus en plus fréquentes puis systématiques en période Romaine laquelle est marquée par la disparition des sites à petits gabarits.

42. Un autre point doit retenir l'attention avant que ne puisse être affirmée une croissance des diamètres. Une partie de cette augmentation apparente des diamètres, celle qui se manifeste en cm, est vraisemblablement due aux changements intervenant dans les pieds générateurs des dimensions des Meules Rotatives Basses. En effet, le passage de meules fabriquées par exemple dans un Pied de 27,5 à leur fabrication dans un Pied Impérial de 29,56 donne une croissance automatique du diamètre de 7,5 % pour un gabarit restant constant (par exemple +2,57 cm pour une meule de 20 dgt ou +3,09 cm pour une de 24 dgt). Le changement d'un Pied de 27,5 vers un Pied de 31,1 cm donne une croissance de 13,1%, mais en réalité cette évolution est peu probable et le passage se ferait plutôt d'un Pied de 31,1 vers celui de 27,5.

Ce changement depuis un Pied Court vers le *Pes Monetalis* produit une augmentation automatique du diamètre (7,5%) qui se trouve être du même ordre que celle (6,2%) entraînée par un déplacement de la fréquence majoritaire des meules depuis un gabarit de 20 dgt vers celui de 24 dgt. En d'autres termes, une augmentation de diamètre de l'ordre de 6-7% peut tout à fait ne pas en être une et correspondre seulement à un changement métrologique vers un pied supérieur. Elle peut d'ailleurs correspondre aux deux phénomènes, en recelant à la fois une

migration du pied et une montée en fréquence des gabarits plus élevés, la croissance réelle pouvant alors être minorée si l'évolution se fait vers un pied plus petit³³.

Seule une augmentation du diamètre supérieure à 6-7% traduit assurément une croissance. Enfin, le diamètre peut même baisser malgré l'augmentation de la fréquence des gabarits élevés si ces derniers restent en dessous de 50%.

L'évolution des diamètres cache donc un jeu complexe entre d'une part une augmentation ou diminution due à des changements de pied générateur, et d'autre part une variation de la fréquence des principaux gabarits.

43. Cependant, le maintien au cours des Périodes 3.B et 4 (**Fig.33**) d'une classe de petits gabarits (Filière 1, diamètre moyen sur 36-38 cm) traduit obligatoirement la haute fréquence des meules situées autour de 20 dgt puisque 38 cm correspond à 22 dgt dans le plus petit pied (27,5) et à 19 dgt pour un pied de 31/32 cm. Si les assemblages concernés comportent une fraction de 24 dgt voire plus, alors la fraction majoritaire pourrait même être voisine de 18 dgt plutôt que de 20 dgt.

L'existence de la Filière 1 lors de la Période 3.B correspond donc bien à un contraste entre sites à fort taux de gabarits élevés (de type 24-28 dgt : Filière 2) et sites où restent prépondérantes les meules fabriquées dans le premier palme (de 16 à 20 dgt). Si les assemblages de Filière 2 semblent assez largement distribués dans l'espace, en revanche ceux de la Filière 1 se concentrent essentiellement dans le Midi et en Italie à l'exception des ateliers d'Avrilly en Normandie (meules en dôme) et des Fossottes en Alsace (importance possible de la production laténienne). Ce contraste suggère que l'évolution vers des meules plus amples constitue en Période 3.B un phénomène amorcé en zone septentrionale, du Finistère à la Franche Comté et à la zone Rhénane.

44. L'augmentation des gabarits à travers la fabrication d'une fraction importante de meules du troisième au cinquième palme, intervient avec la Période molinologique 4, à l'époque Impériale. Pour ce dernier intervalle chronologique il conviendrait de voir si les milieux domestiques sont touchés de manière généralisée ou si l'évolution tend à se limiter aux contextes productifs, qu'ils soient ruraux, urbains ou par exemples miniers.

CONCLUSIONS

45. Le Diamètre des Meules Rotatives Basses constitue un paramètre important car configurant mais ne doit cependant pas accaparer l'approche de l'objet manufacturé meule. D'autres attributs, tels notamment que la Conicité, la Hauteur ou le Diamètre de l'Œil se révèlent essentiels. Notre étude des diamètres des MRB orviétanes s'insère dans un corpus de plus de 2.000 mesures dont 108 pour Orvieto portées par 59 meules.

46. Cet échantillon, réparti entre l'Ebre et le Rhin, montre que les Meules Rotatives Basses de l'Antiquité mesuraient entre 27 et 98 cm soit une envergure de 1 à 3 pieds maximum. Le gros de la population meulière se situe de 30 à 48 cm, soit sur 1 à 1 pied et demi. L'Antiquité a donc rarement (2,5%) produit des meules d'un gabarit supérieur à 2 pieds. La

³³ Ainsi par exemple le passage d'une fréquence de 70% du Gabarit 20 dgt et de 30% de celui de 24 dgt à un assemblage où ces fréquences sont inversées en faveur de 24 dgt produit, à pied constant par exemple 31,1 cm une augmentation de Diamètre de 19,6% ; toutefois si la même évolution favorable à la dominance du gabarit 24 dgt intervient dans le cadre de l'adoption d'un pied moindre, par exemple de 29,56, alors l'augmentation des diamètres sera limitée à 4%.

moyenne générale, établie à 41,12 cm, traduit la forte fréquence des modules de type 22-24 dgt (1 pied ½).

47. La Période Molinologique Ancienne (V-IV^e/III^e s. aC), essentiellement représentée de la Catalogne au Complexe Volcanique Héraultais (Agde), comprend une double filière de fabrication : de grands gabarits (F.2 de 42 à 46 cm) situés sur 1,5 pied cotoient, jusque vers le IV^e siècle aC, une filière durable (F.1) constituée de petits gabarits (28 à 40 cm) qui devient exclusive jusqu'au I^{er} s. aC. La production de la filière 2 reprendra dans le cadre d'un mouvement de croissance de l'envergure des MRB à partir de la Période Molinologique 3B (I^{er} s. aC / I^{er} pC).

48. Il semble qu'une mutation se produise vers le IV^e s. aC dans la zone catalane et héraultaise : on y assiste, sans que chronologie et spatialité n'en soient encore établies, à l'abandon des larges diamètres (Filière 2), à la fin des *Metae* support et, ce qui traduit vraisemblablement un changement dans le système d'entraînement, à la disparition des *Catilli* à Manchons ou Encoches Latérales supérieures. La question se pose de savoir si cette mutation correspond à une évolution interne à la zone ancienne catalane et languedocienne, ou si elle reflète le transfert d'une technologie septentrionale.

Figure 34 : *Catillus* du Modèle Continental
Site : La Lagaste - D.34 cm H. 12 16°
DOE.8 24%D HOE.4 Basalte (Hérault ?) 14 kg

49. Parallèlement, et sauf sur les côtes de la Manche où dominent les meules en dôme présentes jusqu'en Picardie, on observe à partir du III^e s. aC la généralisation d'un modèle de meule qu'on pourrait dire « continental » ou « gaulois » (Fig.34). Il s'agit d'une MRB de petit diamètre (ca. 32-39 cm) correspondant principalement aux gabarits du 1^{er} Palme (16 à 20 DGT). Son *Catillus*, toujours muni d'une trémie et le plus souvent d'une bordure à méplat, est doté d'une Hauteur à neuf importante (plutôt 17 à 23 cm) sans soute pour préserver une Hauteur Utile décente. Ce modèle de *Catillus*, dont la présence à Orvieto n'est pas certaine³⁴, est compatible avec le Moulin Plat. La géographie et la chronologie des systèmes d'emmanchement, non systématiquement présents, seraient à établir. C'est sur ce modèle « continental » que se développe alors l'Anille, soit agrafée par-dessus soit encastrée par-dessous, cette dernière étant promise au succès définitif jusqu'à nos jours.



50. Les fabrications meulières d'Orvieto ont un diamètre moyen de 34,3 cm qui traduit la dominance de gabarits au maximum de 20 dgt. Il s'agit de la 3^e plus petite moyenne sur les 80 assemblages du corpus. Cette fabrication située dans le premier palme (de 16 à 20 dgt) n'est guère partagée, sur les Ateliers, que par la série 1 de Els Vilars et elle caractérise probablement un faible nombre de sites des contextes d'Utilisation.

51. L'examen comparatif des diamètres d'Orvieto et de leur registre de gabarits conduit à opérer des rapprochements entre le centre producteur orviétan et d'autres assemblages ou zones meulières, sans que l'on ait pour autant, sur ce seul paramètre, à se précipiter à les interpréter en termes de filiation/transfert technique. Il est en effet nécessaire

³⁴ L'état d'Ebauche empêche souvent de statuer mais le rebord sans méplat et plutôt en biseau, attesté à Alorda Park ou Puig Castellar (i.e. aux IV^e et III^e s. aC) ainsi qu'à Ensérune semble plus probable.

sur ce thème de prendre en compte d'autres caractères, tels que la Conicité, le Pied générateur des gabarits, le type de Bordure des *Catilli* ou par exemple le taux d'œil traversant des *Metae*. Un trait technique peut être commun ou avoir été emprunté mais le modèle où il apparaît être différent. Il faut donc examiner si le trait appartient à un cortège d'attributs et chercher à comprendre la signification de leur association ainsi que la possibilité ou non de leur dissociation. C'est pourquoi la question de la datation de la production de MRB à Orvieto, des emprunts sur lesquels elle pourrait reposer et sur la ou les zones contributives à la formation des modèles ou cortèges de traits techniques et typologiques caractérisant les MRB d'Orvieto sera abordée dans notre synthèse conclusive.

52. L'étude des gabarits correspondant aux différents diamètres permet de dire qu'une meule de 41 ou 41,5 cm d'envergure peut être la même que celle dont le diamètre mesure 46 cm, c'est-à-dire toutes deux d'un gabarit de 24 Doigts. Derrière la diversité des diamètres et la croissance centimétrique tendancielle au cours du temps, il apparaît en réalité que l'Antiquité a principalement fabriqué des Meules Rotatives Basses d'un gabarit allant de 17 à 28 dgt, soit de 1 à 1 pied $\frac{3}{4}$.

53. Cette production s'est essentiellement réalisée dans des Pieds Courts (27,5 cm, 28,2 ou 29,25 cm) ainsi que dans quelques Pieds Longs de type 30/31 cm. Il semble également que le *Pes Monetalis* (29,56 cm) ait connu, y compris en domaine meulier, une expansion à l'époque Impériale mais la chronologie et la géographie du phénomène restent à étudier.

54. Si la métrologie des MRB d'Orvieto demeure en attente d'une consolidation notamment à travers la découverte d'exemplaires finis, trois aspects sont proposés à la réflexion. En premier lieu, il semble que le Pied *Monetalis* soit absent de ces fabrications, ce qui constitue une distinction avec les productions orviétanes du Style Pompéien (BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI *à par.*). En second lieu, les MRB orviétanes sont susceptibles d'avoir été régies pour partie (25%) par le « Pied Ibérique courant » de 31,1 cm, ce qui constitue un nouvel élément de rapprochement avec les meules de la série 1 du site d'Els Vilars.

Enfin, le spectre des Gabarits des meules basses d'Orvieto, étiré, est vraisemblablement composite. Il pourrait correspondre à la superposition de 2 séries, l'une comprenant des meules de petit gabarit (16 à 20 dgt) et pour cette raison vraisemblablement plus ancienne que la seconde, qui comprend des fabrications de plus grand format (2^e Palme, soit de 20 à 24 dgt voire au-delà). La première série relèverait ainsi du Pied de Salamis 1 (30,1) et de l'Ibérique de 31,1 elle totaliserait 45% des produits. La seconde série, deux fois moins nombreuse (25%), serait redevable aux Pieds Courts de 28,2 et 28,8. On retrouverait ainsi la dualité des productions d'Orviété qui apparaît régulièrement à l'examen de divers attributs.

En revanche, la structure di-pôlaire de la fabrication, à savoir celle, dominante, d'un « Petit » moulin de 20-24 dgt associée à celle, deux fois plus réduite, d'un moulin de « Gros » calibre apparaît incertaine à Orvieto.

55. On reviendra ici, à l'issue de ce développement sur les diamètres, sur la croissance chronologique de l'envergure des Meules Rotatives Basses intervenue au cours de l'Age du Fer puis de l'époque Romaine. L'accroissement tendanciel des diamètres n'est pas contestable. Il nous semble cependant qu'il faille en infléchir la lecture qui en est couramment faite.

En effet, comme nous l'avons montré plus haut dans ce chapitre, de grands gabarits, centrés sur 24 dgt (Filière 2) ont été pratiqués à la Période Molinologique Ancienne (V^e-III^e s. aC) puis abandonnés au III^e s. aC en lien semble-t-il avec la mutation molinologique du IV^e siècle. Avec la Période Molinologique 3.B, à partir du I^{er} s. aC et sans doute en partie dès le II^e s., les moyennes supérieures au gabarit de 1 Pied $\frac{1}{2}$ (41,5 cm) deviennent de plus en plus fréquentes puis systématiques en période Romaine, celle-ci étant finalement marquée par la disparition des sites à petits gabarits.

56. Aussi doit-on se départir de toute image « continuiste » sinon déterministe qui ferait de l'augmentation du diamètre des meules une loi imparable, une régularité bien lisse qui, d'un élan infailible, préparerait par une accumulation permanente des centimètres, l'avènement des larges meules médiévales de 90 cm puis celles modernes atteignant plus de 2 m. Un progrès constant en somme, une lente accumulation technique méliorative nous mènerait, comme vers une lumière lointaine mais déjà évidente, de la petite meule antique de 1 pied puis 2 vers la large meule médiévale de 3 ou 4 pieds, enfin vers les géantes modernes. Les données archéologiques nous invitent au contraire à considérer un parcours moins linéaire et la probabilité de ruptures ou de mutations qui appellent un travail collectif de caractérisation et d'interprétation.

57. En premier lieu le millénaire antique affiche, concernant l'envergure des Meules Rotatives Basses, des irrégularités du diamètre moyen, avec une rupture au III^e s. aC suivie d'une stabilité en petits gabarits pendant plus de 200 ans, après quoi se développe à partir du I^{er} s. aC, un mouvement relativement continu d'accroissement. Il conviendrait d'ailleurs de voir si ce phénomène d'augmentation de l'envergure des meules s'est produit en toutes zones, s'il a régulièrement affecté les contextes domestiques ou s'il a plutôt privilégié des régions ou des secteurs, tels que les villes ou les installations industrielles. La coexistence aux Périodes Molinologiques 3 et 4 entre assemblages de Filère 2 (diamètre moyen large, en rouge sur la Fig.33) et assemblages de Filière 1 (montrant une petite moyenne) tend à indiquer l'existence de contrastes. Ces derniers sembleraient de nature plutôt géographique que chronologique.

58. En second lieu nous avons vu qu'une partie de la croissance apparente des diamètres, celle qui se manifeste en cm, est vraisemblablement due pour partie aux changements intervenant dans les Pieds générateurs de la dimension des Meules Rotatives Basses. Notamment le passage de meules fabriquées par exemple dans un Pied de 27,5 à leur fabrication dans un Pied Impérial de 29,56 donne une croissance automatique du Diamètre de 7,5 % pour un même gabarit.

Ce passage de Pieds Courts, largement utilisés, vers le *Pes Monetalis* produit une augmentation automatique du Diamètre qui se trouve être du même ordre que celle (6,2%) entraînée par un déplacement de la fréquence majoritaire des meules depuis un gabarit de 20 dgt vers celui de 24 dgt. En d'autres termes, une augmentation de diamètre de l'ordre de 6-7% peut tout à fait ne pas en être une et correspondre seulement à un changement métrologique vers un pied supérieur.

L'évolution des diamètres intègre donc une complexité entre d'une part une augmentation ou une diminution due à des changements de pied générateur, et d'autre part une variation de la fréquence des principaux gabarits.

59. Il n'est par ailleurs pas certain que le phénomène de croissance des diamètres recouvre un progrès technique. Ainsi, l'innovation que constitue l'Anille ne semble pas avoir pendant quelques siècles entraîné un essor des diamètres, aspect intéressant qu'il conviendrait d'étudier. En revanche, sa généralisation semble synchrone de cet accroissement. Il est possible en effet que l'Anille, contribuant nettement à résoudre le problème de l'oscillation des meules en rotation, ait constitué une condition nécessaire de la croissance du diamètre des Meules. Toutefois il est probable que cette amélioration n'ait pas été suffisante, les meules antiques étant demeurées, comme nous l'avons indiqué et comme nous y reviendrons, dans un intervalle de gabarit limité, globalement situé entre 1 et 2 ou déjà plus rarement 2,5 pieds.

60. On observe en effet que croissance de l'envergure des Meules Rotatives Basses correspond surtout à l'augmentation de la fréquence des gabarits supérieurs (ceux de 24/28/32 dgt) et non à la création de gabarits plus importants, notamment dépassant les 3 pieds. Ces gabarits antiques extrêmes (2,5 à 3 pieds soit 40 à 48 dgt), que nous appelons « Très Grand Format », semblent constituer un seuil maximal rarement atteint dans l'Antiquité. Cela

même alors que cette période disposait de moteurs puissants capables d'entraîner de larges et lourdes meules (Barbegal, Beauvais, Saalburg, Lyon, les Martres-de-Veyre etc. voir **CHAP. 20**).

La croissance antique du diamètre des Meules s'opère non par un essor de Très Grands Formats mais par la massification du choix de meules de 1,5 à 2,5 pieds : elle se réalise par des gabarits centrés sur 2 pieds alors qu'auparavant la meule laténienne et antique commune mesurait 1,25 à 1,5 pied. L'augmentation s'opère donc sur une gamme meulière constante et non par le dépassement de celle-ci. Tout se passe comme si la molinologie antique avait buté sur un mur de verre situé aux pieds du gabarit de 3 pieds.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO, PEREZ 2014 – ALONSO, PEREZ, LOPEZ 2016 – BRIDGER 1994 – BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI *à paraître* – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011 – CASTELLA, ANDERSON 2004 – CASTELLA, ANDERSON *et al.* 2003 – DEKOULAKOU-SIDERIS 1990 – DINSMOOR 1961 – DI PASQUALE 1994 – DI PASQUALE, MARCHIS 1996 – DUNCAN-JONES 1980 – FÖRNER 1991 – FREY 2001 – GONZALEZ VILLAESCUZA 2003 – HALLIER 1971 – HEINZ 1991 – JUMEL, LANOS 1992 – MATHERAT 1945 – MANGARTZ 2008 – MILLET 1982 – MORET 2009 – MORET, BADIE 1999 – MORRISON 1991 – OLMOS BENLOCH 2008, 2009, 2010, 2012 – PETERSE 1984 – PORTILLO 2006 – ROTH-CONGES 1985 – ROTTLÄNDER 1991-99 - SALAC 2017 – SCHUBERT, SCHUBERT 1993 – ULRICH 1971 – WALHAUSER 1981 –

DIAMÈTRES des MRB - TABLES de DONNÉES

NB : Il existe des différences entre les données des tables suivantes et celles qui ont été mobilisées pour certains sujets, parfois à des dates différentes. Ces variations s'expliquent généralement par la différence qui peut exister entre la population des *Catilli* et *Metae* identifiées et la totalité des meules, ébauches ou indéterminées comprises. Ainsi pour Orvieto le Diamètre est disponible sur 66 meules dont 59 offrent un Diamètre mesurable. Compte-tenu des différences existant parfois entre le Diamètre supérieur et celui inférieur, compte-tenu parfois des imprécisions conduisant à débouler certaines mesures, 97 mesures ont généralement été traitées sur les exemplaires genrés (*Catilli* et *Metae*) mais la prise en compte de 11 meules de genre indéterminé aboutit au calcul de 108 mesures qui ont servi à établir l'histogramme des Diamètres et à l'approche métrologique.

Le paramètre Diamètre doit en effet être traité de manière adaptée, en raison de l'existence régulière d'une différence entre les Diamètres supérieur et inférieur ou en raison de l'imprécision de mesure (34-35 cm peut conduire à ne considérer que la valeur intermédiaire 34,5 ou bien 35 cm si l'on estime que le Diamètre maximal rend compte de la vraie valeur, à retenir 34/34,5/35 s'il s'agit d'établir l'histogramme sans faire un pari ni sur 34 ni sur 35, voire d'écarter cet item si l'on cherche à extraire la métrologie –on peut alors être amené à considérer aussi bien le Diamètre minimal, par exemple le DS d'un *Catillus*, que le Diamètre maximal qu'il s'agisse de la base d'une *Meta* ou de l'envergure son Cône ou encore du Diamètre inférieur d'un *Catillus* neuf à flanc oblique).

A- ORVIETO : Table des données relatives aux 108 mesures de Diamètre des MRB

ORVIETO MRB - Totalité des DIAMETRES (<i>Catilli</i> + <i>Metae</i>)			
Total DIAM	valeurs	Q	%
27	27	1	1%
28	27,5		
28	28	3	3%
28	28,5	2	2%
28,5	29	4	4%
28,5	29,5	2	2%
29	30	10	9%
29	30,5	3	3%
29	31	6	6%
29	31,5	2	2%
29,5	32	10	9%
29,5	32,5	6	6%
30	33	7	6%
30	33,5		
30	34	6	6%
30	34,5	4	4%
30	35	5	5%
30	35,5	2	2%
30	36	6	6%
30	36,5	1	1%
30	37	11	10%
30	37,5		
30,5	38	4	4%
30,5	38,5	1	1%
30,5	39	3	3%
31	39,5		
31	40	1	1%
31	40,5		
31	41		
31	41,5	1	1%
31	42	1	1%
31,5	42,5		
31,5	43	1	1%
32	43,5		
32	44		

32	44,5		
32	45		
32	45,5		
32	46	1	1%
32	46,5		
32	47		
32	47,5		
32	48	2	2%
32,5	48,5		
32,5	49		
32,5	49,5		
32,5	50		
32,5	50,5		
32,5	51		
33	51,5		
33	52		
33	52,5		
33	53		
33	53,5		
33	54		
33	54,5		
34	55		
34	55,5		
34	56		
34	56,5	1	1%
34	57		
34	57,5		
34,5	58		
34,5	58,5		
34,5	59		
34,5	59,5		
35	60		
35	60,5	1	1%
35	61		
35	61,5		
35	62		
35,5	62,5		
35,5	63		
36	63,5		
36	64		
36		108	100,0%

	108	100,0%
36		
36		
36		
36		
36,5		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
37		
38		
38		
38		
38		
38,5		
39		
39		
39		
39		
40		
41,5		
42		
43		
46		
48		
48		
56,5		
60,5		
108	3710	
	34,35	
	NR = 108	

en bleu les *Catilli*

en orangé les *Metae*

B- Table des données relatives aux Diamètres des MRB des sites d'Atelier

Dans les tables suivantes on peut lire, que pour Orvieto par exemple le Diamètre est observable sur 63 meules (col. 1) et que (bas de col.19) 59 mesures brutes sont disponibles (1 mesure de Diamètre par meule) . En fonction des traitements de données appliqués, le nombre de mesures peut varier : si par exemple on traite le Diamètre de seules meules genrées (CAT. et MET.) seuls 56 valeurs brutes seront disponibles. Le nombre de mesures sera encore différent si l'on souhaite comparer les Diamètres supérieurs et inférieurs des *Catilli*, si l'on souhaite éliminer les valeurs imprécises (de type ca.68 ou 46-48 cm) ce qui tend à être la règle pour la métrologie, ou au contraire prendre en compte toutes les valeurs possibles afin de ne pas parier sur l'une des bornes de l'intervalle 46-48 ou sur sa valeur centrale, ce qui peut être plus intéressant pour l'étude de la distribution.

B-1 Orvieto p.1

P. CHAREILLE / METROLOGIE des Meules Antiques - Echantillon d'Assemblages de Meules pour Test d'une Table des données																	A. CHARTRAIN VII-XI 2018			
																	en rouge = paramètre susceptible d'usure à priori non valide pour Métrologie (sauf si valeur à Neuf)			
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	col.20	N.assemblages
	ATELIERS - REF.	SITE / N° / REGION / NR	CHRONO LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	FAÇONNAGE	DIAM. 1 INF, ou maxi	DIAM. 2 Autre	DIAMETRE retenu		
R.10-6		IT - centrale	1		1						1		1			39	39		39	
R.10-8		ORVIETO	1		1						1		1			32	31,5 - 33		32	
R.10-37		n° 2	1		1						1		1			30,5	31		30,5	
R.10-38		MRB = 66	1		1				1				1			30 - 32	28,5		31	
R.10-39			1		1					1			1			30	30		30	
R.13-6		Assemblage 1	1		1				1				1			33	-		33	
R.13-8			1		1				1				1			32	< 32		32	
R.13-14			1		1				1				1			27	-		27	
R.13-20			1		1				1				1			33	-		33	
R.13-22			1		1				1				1			29-31	-		30	
R.13-23			1		1				1				1			35	34,5		35	
R.13-24			1		1					1			1			36	32,5		36	
R.16-2			1		1				1				1			30 - 32	33-33,5-35		31	
R.16-8			1		1					1			1			35	36		35	
R.16-24			1		1				1				1			37	37		37	
R.16-33			1		1				1				1			38	34		38	
R.16-34			1		1				1				1			32,5	33		32,5	
R.26-6			1		1				1				1			33	-		33	
R.40-13			1		1				1				1			28-29	31		28,5	
R.40-18			1		1				1				1			32	34		32	
R.40-24			1		1				1				1			38	36 - 38		38	
R.43-2			1		1				1				1			30 - 32,5	28 - 31		31,5	
R.43-9			1		1				1				1			37	37		37	
R.10-12			1		1								1			32	35		32	
R.10-3			1		1				1				1			1	CAT ?			
R.10-7			1		1				1				1			III.B	> 30,5	30,5		> 30,5
R.10-9			1		1				1				1			III.B	38	38		38
R.10-14			1		1				1				1			III.B-IV	37	ca 30		37
R.10-17			1		1				1				1			III.B	38 - 39	42		38,5
R.10-25			1		1				1				1			III.B	34 - 36	40		35
R.10-34			1		1				1				1			III.B	35 - 37	> 37		36
R.13-7			1		1				1				1			III.B	32,5	34		32,5
R.13-21			1		1				1				1			III.B	37	-		37
R.16-1			1		1				1				1			III.B	33	32		33
R.16-20			1		1				1				1			III.B	41,5	36 - 37		41,5
R.16-21			1		1				1				1			III.B	30 - 31	-		30,5
R.16-23			1		1				1				1			III.B	32,5	-		32,5
R.16-28			1		1				1				1			III.B	34 - 35	ca. 30		34,5
R.16-29			1		1				1				1			III.B	37	35 - 36		37
R.16-31			1		1				1				1			III.B	35,5	32		35,5
R.16-37			1		1				1				1			III.B	32 - 34	30		33
R.27			1		1				1				1			IV	31,5 - 32	29		32
R.30-14			1		1				1				1			III.B	31	34,5		31
R.31-1			1		1				1				1			III.B	35	35		35
R.39-1			1		1				1				1			III.B	36	?		36
R.40-1			1		1				1				1			III.B	46 - 48	48		47
R.40-2			1		1				1				1			III.B	29	ca. 29		29
-			1		1				1				1			III.B	60,5	56,5		60,5

B-2 Orvieto p.2 & Le Chaudry p.1

ATELIERS - REF.		SITE / N° / REGION / NR	CHRONO	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GREMAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	TYPE Meule	META	INDET.	STADE de FAÇONNAGE	DIAM.1	DIAM.2	DIAMETRE retenu	N.assem	
			LT														INF. ou maxi	Autre			
R.40-2			1		1				1				1			III.B	60,5	56,5	60,5		
R.40-19			1		1				1				1			III.B	30	29	30		
R.41			1		1				1				1			III.B	37		37		
R.43-7			1		1				1				1			III.B	39	34	39		
R.43-8			1		1				1				1			III.B	28		28		
R.43-10			1		1				1				1			III.B	36	31	36		
R.43-11			1		1				1				1			III.B	30	28	30		
R.30-22			1		1				1				1			III.B	ca. 70	ca. 68	70		
R.13-13			1		1				1				1				43-45		44		
R.16-25			1		1				1				1				37-38	34	37,5		
R.16-32			1		1				1				1			III.B	32	28	32		
R.26-5			1		1				1				1				33	-	33		
R.26-7			1		1				1				1				32	-	32		
R.45-2			1		1				1				1				34,5	-	34,5	1	
63																			DIAM 59		
2011 FIG.4 C		Le CHAUDRY	1		1				1				1					31	31	31	
2011 FIG.4 D		FR, Centre	1		1				1				1					38	39	38	
M. 003		n° 34	1		1				1				1					38		38	
M. 004		MRB = 64	1		1				1				1					31		31	
M. 005			1		1				1				1					35	36	35	
M. 006			1		1				1				1					32		32	
M. 008		Assemblage 2	1		1				1				1					38		38	
M. 020			1		1				1				1					30		30	
M. 021			1		1				1				1					31,5		31,5	
M. 022			1		1				1				1					30		30	
M. 023			1		1				1				1					42		42	
M. 024			1		1				1				1					52		52	
M. 025			1		1				1				1					40		40	
M. 032			1		1				1				1					36		36	
M. 033			1		1				1				1					36		36	
M. 034			1		1				1				1					47		47	
M. 041			1		1				1				1					48		48	
M. 044 Bernon			1		1				1				1					34,5	36	34,5	
ACH n° 1			1		1				1				1					43		43	
ACH n° 2			1		1				1				1					48		48	
2011 FIG.4 A			1		1				1				1					40,5		40,5	
2011 FIG.4 B			1		1				1				1					32,5		32,5	
M. 001			1		1				1				1					43		43	
M. 002			1		1				1				1					42		42	
M. 007			1		1				1				1					44		44	
M. 009			1		1				1				1					34,5		34,5	
M. 010			1		1				1				1					35		35	
M. 011			1		1				1				1					42		42	
M. 012			1		1				1				1					42		42	
M. 013			1		1				1				1					48		48	
M. 014			1		1				1				1					52		52	
M. 015			1		1				1				1					46		46	
M. 016			1		1				1				1					30		30	
M. 017			1		1				1				1					42		42	
M. 018			1		1				1				1					32		32	
M. 026			1		1				1				1					40		40	
M. 027			1		1				1				1					46		46	

B-3 Le Chaudry p.2 - Els Vilars - Les Fossottes p.1

ATELIERS - REF.		SITE / N° / REGION / NR	CHRONO	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GREMAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	TYPE Meule	META	INDET.	STADE de FAÇONNAGE	DIAM.1	DIAM.2	DIAMETRE retenu	N.assem	
			LT														INF. ou maxi	Autre			
M. 027			1		1				1				1					46		46	
M. 028			1		1				1				1					43		43	
M. 029			1		1				1				1					57		57	
M. 030			1		1				1				1					44		44	
M. 031			1		1				1				1					45		45	
M. 035			1		1				1				1					41		41	
M. 036			1		1				1				1					40		40	
M. 037			1		1				1				1					52		52	
M. 038			1		1				1				1					26		26	
M. 039			1		1				1				1					43		43	
M. 040			1		1				1				1					61		61	
M. 042			1		1				1				1					44		44	
49																			DIAM 49		
M. 043			1		1				1				1					42		42	2
VI-26		ESP. Catal.	1		1				1				1					35		35	
VI-30		Els VILARS	1		1				1				1					35		35	
VI-32		n° 5	1		1				1				1					51		51	
VI-34		MRB = 28	1		1				1				1					37	44 (D5up)	37	
VI-35			1		1				1				1					39		39	
VI-45		Assemblage 3	1		1				1				1					37		37	
VI-55			1		1				1				1					42		42	
VI-57			1		1				1				1					34		34	
VI-69			1		1				1				1					40,5		40,5	
V-11			1		1				1				1					46,5		46,5	
VI-21			1		1				1				1					39		39	
VI-30			1		1				1				1					35		35	
VI-46			1		1				1				1					38		38	
VI-48			1		1				1				1					36		36	
VI-52			1		1				1				1					30		30	
VI-53			1		1				1				1					35		35	
VI-54			1		1				1				1					33		33	
VI-73			1		1				1				1					42		42	
VI-47			1		1				1				1					39		39	
VI-50			1		1				1				1					43		43	
VI-51			1		1				1				1					35		35	
VI-56			1		1				1				1					45		45	
VI-58			1		1				1				1					38		38	
VI-67			1		1				1				1					33		33	
VI-70			1		1				1				1					33		33	
28																			DIAM 26		
VI-71			1		1				1				1					32		32	3
RC052			1		1				1				1					29		29	
RC050		Les FOSSOTTES	1		1				1				1					ca. 41		41	
RC016		FR - Alsace	1		1				1				1					ca. 36		36	
RC001		n° 38	1		1				1				1					44,5		44,5	
RC021		MRB = 65	1		1				1				1					35		35	
RC004-MC01			1		1				1				1					32		32	
RC005-MC02			1		1				1				1					36		36	
RC035		Assemblage 4	1		1				1				1					31,5		31,5	

B-4 Les Fossottes p.2 - Châbles p.1

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	N.assem
	ATELIERS - REF.	SITE / N° / REGION / NR	CHRONO LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	STADE de FAÇONNAGE	DIAM. 1 INF. ou maxi	DIAM. 2 Autre	DIAMETRE retenu	
	RC033		1	1							1					46		46	
	RC111		1	1							1					37,5		37,5	
	RC032		1	1							1					37		37	
	RC036		1	1							1					31,5		31,5	
	RC037		1	1							1					32,5 - 36		34	
	RC025		1	1							1					37,5		37,5	
	RC091-IPH02		1	1							1					41		41	
	RC093-IPH04		1	1							1					34,5		34,5	
	RC097		1	1							1					34,5		34,5	
	RC106		1	1							1					37		37	
	RC108		1	1							1					37		37	
	RC040-#B01		1	1							1					37		37	
	RC027		1	1							1					35		35	
	RC029		1	1							1					35,5		35,5	
	RC044-DV03		1	1							1					28		28	
	RC087-PE03		1	1							1					31		31	
	RC090-JPH01		1	1							1					37 - 38,5		38	
	RC100-CK06		1	1							1					40,5		40,5	
	R094-JPH05		1	1							1			1		39,5		39,5	
	R107-CK13		1	1							1			1		36 - 37,5		37	
	RD41		1	1							1			1		38,5		38,5	
	RC109-CK15		1	1							1			1		32,5		32,5	
	R110-CK16		1	1							1			1		39		39	
	RO02-LH01		1	1							1			1		36,5 - 37		37	
	RO03-LH02		1	1							1			1		35,5 - 37		36	
	RO28		1	1							1			1		37		37	
	RO38		1	1							1			1		34,5 - 36,5		35,5	
	RO88-PE05		1	1							1			1		33,5		33,5	
	RO99-CK03		1	1							1			1		38,5		38,5	
	RO39		1	1							1			1		49		49	
	R112-CK20		1	1							1			1		41,5		41,5	
	RO99-CK05		1	1							1			1		48		48	
	R103-CK09		1	1							1			1		38,5		38,5	
	RO42-DV01		1	1							1			1		34,5		34,5	
	RO89-PE06		1	1							1			1		31 - 35,5		33	
	RO92-IPH03		1	1							1			1		37,5 - 40		39	
	RO95-IPH6		1	1							1			1		35 - 37		36	
	R101-CK07		1	1							1			1		40 - 42		41	
	R104-CK10		1	1							1			1		40		40	
	R102-CK08		1	1							1			1		40	DIAM	40	
	RO22		1	1							1			1		36,5	52	36,5	1
	PL41 n° 422	SUISSE	1					1		1		1			IV	45		45	
	PL41 n° 423	CHABLES	1					1		1		1			V	36		36	
	PL41 n° 428	n° 67	1					1	1		1			III.A	42		42		
	PL41 n° 431	MRB = 106	1					1			?			I	49		49		
	PL41 n° 432		1					1			?			I	42		42		
	PL41 n° 434		1					1			?			I	45		45		
	PL42 n° 440	Assemblage 5	1					1			?			I	45,5		45,5		
	PL42 n° 441		1					1			?			I	47		47		
	PL42 n° 442		1					1			?			I	42		42		
	PL42 n° 443		1					1			?			I	48		48		

B-5 Châbles p.2

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	N.assem
	ATELIERS - REF.	SITE / N° / REGION / NR	CHRONO LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	STADE de FAÇONNAGE	DIAM. 1 INF. ou maxi	DIAM. 2 Autre	DIAMETRE retenu	
	PL42 n° 443		1					1	1		?			1	I	48		48	
	PL41 n° 424		1					1		1		1			IV	39,5		39,5	
	PL41 n° 425		1					1		1		1			IV	39		39	
	PL41 n° 426		1				1			1		1			V	40,5		40,5	
	PL41 n° 429		1				1		1	1		?		1	II.A	44		44	
	PL41 n° 430		1				1		1	1		?		1	II.B	42		42	
	PL41 n° 433		1				1		1	1		?		1	I	50		50	
	PL42 n° 435		1				1		1	1		?		1	II.A	45		45	
	PL42 n° 439		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL42 n° 444		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL41 n° 427		1				1		1	1		?		1	II.B	42		42	
	PL42 n° 436		1				1		1	1		?		1	I	41,5		41,5	
	PL42 n° 437		1				1		1	1		?		1	I	41		41	
	PL42 n° 438		1				1		1	1		?		1	I	42		42	
	PL43 n° 445		1				1		1	1		?		1	I	47		47	
	PL43 n° 446		1				1		1	1		?		1	I	44,5		44,5	
	PL43 n° 447		1				1		1	1		?		1	I	42		42	
	PL43 n° 448		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL43 n° 449		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL43 n° 450		1				1		1	1		?		1	I	42		42	
	PL43 n° 451		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL43 n° 452		1				1		1	1		?		1	I	44		44	
	PL43 n° 453		1				1		1	1		?		1	I	41		41	
	PL43 n° 454		1				1		1	1		?		1	I	44,5		44,5	
	PL43 n° 455		1				1		1	1		?		1	I	40		40	
	PL43 n° 456		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL43 n° 457		1				1		1	1		?		1	I	47		47	
	PL44 n° 458		1				1		1	1		?		1	I	47		47	
	PL44 n° 459		1				1		1	1		?		1	I	44		44	
	PL44 n° 460		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL44 n° 461		1				1		1	1		?		1	I	44		44	
	PL44 n° 462		1				1		1	1		?		1	I	40		40	
	PL44 n° 463		1				1		1	1		?		1	I	42		42	
	PL44 n° 464		1				1		1	1		?		1	I	43		43	
	PL44 n° 465		1				1		1	1		?		1	I	51		51	
	PL44 n° 466		1				1		1	1		?		1	I	57		57	
	PL44 n° 467		1				1		1	1		?		1	I	40 à 45		43	
	PL45 n° 468		1				1		1	1		?		1	II.A	49		49	
	PL45 n° 469		1				1		1	1		?		1	II.A	50		50	
	PL45 n° 470		1				1		1	1		?		1	II.A	45		45	
	PL45 n° 471		1				1		1	1		?		1	II.A	43		43	
	PL45 n° 472		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL45 n° 473		1				1		1	1		?		1	II.A	43		43	
	PL45 n° 474		1				1		1	1		?		1	I	45		45	
	PL45 n° 475		1				1		1	1		?		1	I	46		46	
	PL45 n° 476		1				1		1	1		?		1	I	47		47	
	PL45 n° 477		1				1		1	1		?		1	I	42		42	
	PL45 n° 478		1				1		1	1		?		1	I	48		48	
	PL45 n° 479		1				1		1	1		?		1	I	43		43	
	PL45 n° 480		1				1		1	1		?		1	II.A	47		47	
	PL45 n° 481		1				1		1	1		?		1	I	46		46	
	PL45 n° 482		1				1		1	1		?		1	I				

B-6 Châbles p.3

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	DIAMETRE	N. assem
ATELIERS - REF.		SITE / N° / REGION / NR	CHRONO	TYPE ROCHE			ETAT		TYPE Meule			STADE de	DIAM. 1	DIAM. 2	DIAMETRE					
			LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	FAGONNAGE	INF. ou maxi	Autre	retenu		
	PL.45 n° 482		1				1		1						1	I	41		41	
	PL.45 n° 483		1				1		1						1	I	40		40	
	PL.46 n° 484		1				1		1						1	I	43		43	
	PL.46 n° 485		1				1		1						1	I	43		43	
	PL.46 n° 486		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 487		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 488		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 489		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 490		1				1		1						1	I	43		43	
	PL.46 n° 491		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 492		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.46 n° 493		1				1		1						1	I	48		48	
	PL.46 n° 494		1				1		1						1	IIA	40		40	
	PL.46 n° 495		1				1		1						1	IIA	47		47	
	PL.46 n° 496		1				1		1						1	IIA	47		47	
	PL.46 n° 497		1				1		1						1	IIA	47		47	
	PL.46 n° 498		1				1		1						1	IIA	43		43	
	PL.46 n° 499		1				1		1						1	IIA	44		44	
	PL.47 n° 500		1				1		1						1	IIA	48		48	
	PL.47 n° 501		1				1		1						1	IIA	44		44	
	PL.47 n° 502		1				1		1						1	IIA	45		45	
	PL.47 n° 503		1				1		1						1	IIA	44		44	
	PL.47 n° 504		1				1		1						1	IIA	40		40	
	PL.47 n° 505		1				1		1						1	I	42		42	
	PL.47 n° 506		1				1		1						1	I	42		42	
	PL.47 n° 507		1				1		1						1	I	35		35	
	PL.47 n° 508		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.47 n° 509		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.47 n° 510		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.47 n° 511		1				1		1						1	I	42		42	
	PL.47 n° 512		1				1		1						1	I	43		43	
	PL.47 n° 513		1				1		1						1	I	43		43	
	PL.47 n° 514		1				1		1						1	I	44		44	
	PL.47 n° 515		1				1		1						1	I	41		41	
	PL.48 n° 516		1				1		1						1	IIA	41		41	
	PL.48 n° 517		1				1		1						1	I	40		40	
	PL.48 n° 518		1				1		1						1	IIA	44		44	
	PL.48 n° 519		1				1		1						1	IIA	44		44	
	PL.48 n° 520		1				1		1						1	IIA	48		48	
	PL.48 n° 521		1				1		1						1	I	40		40	
	PL.48 n° 522		1				1		1						1	I	39		39	
	PL.48 n° 523		1				1		1						1	I	39		39	
	PL.48 n° 524		1				1		1						1	IIA	45		45	
	PL.48 n° 525		1				1		1						1	I	45		45	
	PL.48 n° 526		1				1		1						1	I	48		48	
106	PL.48 n° 527		1				1		1						1	I	44	DIAM 106	44	5

B-7 La Marèze - Autun Faubourg d'Arroux - Agde

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	DIAMETRE	N. assem
ATELIERS - REF.		SITE / N° / REGION / NR	CHRONO	TYPE ROCHE			ETAT		TYPE Meule			STADE de	DIAM. 1	DIAM. 2	DIAMETRE					
			LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	FAGONNAGE	INF. ou maxi	Autre	retenu		
	PL.48 n° 527		1				1		1						1	I	44		44	5
	1	LA MARÈZE					1		1						1	-	32		32	
	2	N° 64					1		1						1	-	36		36	
	3	FR - SudOuest					1		1						1	-	36,5		36,5	
	4	MRB = 12					1		1						1	-	37,5		37,5	
	5						1		1						1	-	42		42	
	6						1		1						1	-	42,5		42,5	
	7	Assemblage 6					1		1						1	-	44,5		44,5	
	8						1		1						1	-	45		45	
	9						1		1						1	-	45		45	
	10						1		1						1	-	45		45	
	11						1		1						1	-	47		47	
	12						1		1						1	-	47	DIAM 12	47	6
	EBM. 25	AUTUN					1		1						IV	52		52		
	EBM. 71	Fbg d'Arroux					1		1						V	59		59		
	EBM. 58	N° 74					1		1						III.B	58		58		
	EBM. 16	FR - Bourgogne					1		1						III.B ou IV	62		62		
	EBM. 70	MRB = 11					1		1						III.B	56		56		
	EBM. 77						1		1						-	59		59		
	EBM. 72						1		1						II.B	58		58		
	n° 87	Assemblage 7					1		1						IV	62		62		
	n° 81						1		1						V	64		64		
	n° 60						1		1						V	60		60		
	n° 79						1		1						V	65		65	DIAM 11	7
	1.2745-1	OBERNAI					1		1						V	38		38		
	2.4837-1	N° 76					1		1						V	38,5		38,5		
	3.4837-2	FR - Alsace					1		1						V	33		33		
	5.4798-1	MRB = 6					1		1						III.A	38		38		
	4.4501-1	Assemblage 8					1		1						IIA	34,5		34,5	DIAM 6	
6	5.4798-2						1		1						IV	41		41		8
	FIG. 6 n° 9	AGDE					1		1						V	43,5		43,5		
	FIG. 6 n° 10	n° 58					1		1						V	48,5		48,5		
	FIG. 6 n° 11	France - Sud					1		1						V	34,5		34,5		
	FIG. 6 n° 12	ARIS 1974					1		1						V	43		43		
	FIG. 6 n° 13	MRB = 23					1		1						V	40		40		
	FIG. 6 n° 14						1		1						V	28		28		
	FIG. 6 n° 15						1		1						V	48,5		48,5		
	FIG. 6 n° 16	Assemblage 9					1		1						V	40		40		
	FIG. 5 n° 1						1		1						IV	45		45		
	FIG. 5 n° 2						1		1						III.B	45		45		
	FIG. 5 n° 3						1		1						IIA	24		24		
	FIG. 5 n° 4						1		1						II.B	31		31		
	FIG. 5 n° 5						1		1						V	42		42		
	FIG. 5 n° 6						1		1						V	38,5		38,5		
	FIG. 5 n° 8						1		1						V	34		34		
	n° 31-1	Riches Dunes					1		1						V	29	33,5	29		
	n° 31-2	Riches Dunes					1		1						V	38,5		38,5		
	AG11	REILLE					1		1						V	41,5		41,5		
	RKS	REILLE					1		1						V	42		42		
	2F12	REILLE					1		1						V	46		41,5		
	2F12 CAT	REILLE					1		1						V	41		43,5		
	RKS CAT	REILLE					1		1						V	42		45,5		
23	2KS CAT	REILLE					1		1						V	34	</			

B-12 Avrilly - Hertfordshire - Totaux

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	col.20
ATELIERS - REF.		SITE / N° / REGION / NR	CHRONO	TYPE ROCHE			ETAT		TYPE Meule			STADE de	DIAM. 1	DIAM. 2	DIAMETRE		Région		
LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	FAÇONNAGE	Nr. du max.	Autre	retenu				
Ebauche 09			1			1	1					?	1	II.B	49		49		
Ebauche 14			1			1	1					1		III.B	46		46		
Ebauche 05			1			1	1					?	1	II.B	37		37		
Ebauche 03			1			1	1					?	1	II.B	49		49		
Ebauche 01			1			1	1					?	1	II.B	45		45		
Ebauche 24			1			1	1					?	1	II.B	56		56		
Ebauche 13			1			1	1					1		II.B	55		55		
Ebauche 15			1			1	1					1		II.B	52		52		
Ebauche 10			1			1	1					1		II.B	54		54		
Ebauche 27			1			1	1					1		I	55-57		56		
Ebauche 28			1			1	1					?	1	II.B	52-58		55		
Ebauche 20			1			1	1					?	1	II.B	48		48		
25 Ebauche 06			1			1	1					1		II.B	47		47	15	
9	AVRILLY		1			1	I					1			36,5		36,5		
10	n° 29		1			1	II.A					1			41		41		
23	(FR - 14)		1			1	IV					1			44,5		44,5		
24	GUILLET et al. 2005		1			1	II.B					1			ca. 40		40		
25	MIRB = 22		1			1	II.B					1			35,5		35,5		
26			1			1	III.B					1			34		34		
29	Assemblage 16		1			1	III.B					1			36,5		36,5		
CAT en ruche 33			1			1	II.B					1			37		37		
en ruche 41			1			1	V					1			33,5		33,5		
en ruche 36			1			1	III.B					1			41		41		
Honguemare 4			1			1	IV					1			41,5		41,5		
Honguemare 3			1			1	IV					1			40		40		
Honguemare 5			1			1	IV					1			31,5		31,5		
Bosrobert 6			1			1	V					1			36		36		
15 Evreux ME 11533			1			1	V					1			36,5		36,5	16	
FIG 4 a	HERTFORDSHIRE		1			1	I					1			37,5		37,5		
FIG 4 b	n° 33		1			1	I					1			27		27		
FIG 5 e	(UK, Sud)		1			1	I					1			25,5		25,5		
FIG 5 a	GREENE 2011		1			1	I					1			28		28		
FIG 5 b	MIRB = 22		1			1	I					1			28 (35)		33		
FIG 5 f	assemblage 17		1			1	I					1			29		29		
FIG 5 g			1			1	I					1			26		26		
FIG 5 c			1			1	I					1			29,5		29,5		
FIG 5 D			1			1	I					1			21,5 (24)		23		
10 FIG 6			1			1	I					1			ca. 30		30	17	

610	300	160	245	1	0	353	378	180	72	199	214	189	601	601	24 403,0
	51%	27%	41%	0,2%	59%	63%	22%	12%	33%	36%	31%	Total		40,60	
	CHRONO	TYPE ROCHE			ETAT		TYPE Meule			ATELIERS					
	LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.		cm	

Métrologie du Diamètre Moyen Total **40,60**

24 DGT = 27,07 assez proche du Pied de 27,5
 23 DGT = 28,25 Pied de 28,2
 22 DGT = 29,53 Pies Monetolis (29,56)

C- Table des données relatives aux Diamètres MRB des sites d'Utilisation & Rejet

C-1

MRB - Sites d'UTILISATION : DIAMÈTRES											A. CHARTRAIN III 2020	Total DIAM	DIAMÈTRE retenu				
											<i>en rouge = paramètre susceptible d'usure à priori non valide pour Métrologie (sauf si valeur à Neuf)</i>			1483			
Sites d'UTILISATION des Meules	SITE / N° / REGION / NR	CHRONO		TYPE ROCHE				ETAT Neuf	ETAT Utilisé	TYPE Meule		STADE de FAÇONNA est	DIAM.1 NF. ou maxi	DIAM.2 Autre	X 41,34		
		précise	LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT			SEDIM.	Ebauche					CAT	META
ABION 29	FR - Prov		1						1	1					33	cell.	33
St. PIERRE 74	MARTIGUES		1						1	1					36	T1563	36
St. PIERRE 75	n° 27		1						1	1					38		38
St. PIERRE 76	NR = 19		1						1	1					32		32
St. PIERRE 77			1						1	1					39		39
St. PIERRE 78	1		1						1	1					42		42
ILE 121			1						1	1					40		40
ILE 122			1						1	1					42		42
ILE 123			1						1	1					41,5		41,5
ILE 124			1						1	1					42		42
ILE 125			1						1	1					40		40
ILE 126			1						1	1					42		42
ILE 127			1						1	1					40		40
St. PIERRE 72			1						1	1					32		32
St. PIERRE 73			1						1	1		1			35,5		35,5
ILE 117			1						1	1					41		41
ILE 118			1						1	1					33		33
ILE 119			1						1	1					35		35
ILE 120			1						1	1					37	DIAM 19	37
FIG.14 - 1	FR - Picardie		1				1		1	1					37		37
FIG.14 - 2	PICARDIE LT		1				1		1	1					37		37
FIG.14 - 3	n° 26		1				1		1	1					41		41
FIG.14 - 4	NR = 68		1				1		1	1					42,5		42,5
FIG.14 - 5			1				1		1	1					43,5		43,5
FIG.14 - 6			1				1		1	1					43,5		43,5
FIG.14 - 7	2		1				1		1	1					45		45
FIG.14 - 8			1				1		1	1					44		44
FIG.14 - 9			1				1		1	1					40,5		40,5
FIG.14 - 10			1				1		1	1					42		42
FIG.14 - 11			1				1		1	1					38		38
FIG.14 - 12			1				1		1	1					43,5		43,5
FIG.14 - 13			1				1		1	1					35		35
FIG.14 - 14			1				1		1	1					39,5		39,5
FIG.14 - 15			1				1		1	1					36		36
FIG.14 - 16			1				1		1	1					32		32
FIG.14 - 17			1				1		1	1					35		35
FIG.14 - 18			1				1		1	1					37		37
FIG.14 - 19			1				1		1	1					33		33

C-2

FIG.14 - 19			1				1		1	1					33		33
FIG.14 - 20			1				1		1	1					41		41
FIG.14 - 21			1				1		1	1					44		44
FIG.14 - 22			1				1		1	1					41,5		41,5
FIG.14 - 23			1				1		1	1					42		42
FIG.14 - 24			1				1		1	1					49		49
FIG.14 - 25			1				1		1	1					40		40
FIG.15 - 1			1				1		1	1					35		35
FIG.15 - 2			1				1		1	1					38		38
FIG.15 - 3			1				1		1	1					40		40
FIG.15 - 4			1				1		1	1					34		34
FIG.15 - 5			1				1		1	1					33,5		33,5
FIG.15 - 6			1				1		1	1					40,5		40,5
FIG.15 - 7			1				1		1	1					34		34
FIG.15 - 8			1				1		1	1					36		36
FIG.15 - 9			1				1		1	1					41,5		41,5
FIG.15 - 10			1				1		1	1					46		46
FIG.16 - 3			1				1		1	1					41,5		41,5
FIG.16 - 2			1				1		1	1					42		42
FIG.16 - 4			1				1		1	1					37		37
FIG.17 - 1			1				1		1	1					41		41
FIG.17 - 2			1				1		1	1					36		36
FIG.17 - 3			1				1		1	1					40		40
FIG.17 - 4			1				1		1	1					40		40
FIG.17 - 5			1				1		1	1					35,5		35,5
FIG.17 - 6			1				1		1	1					-		-
FIG.17 - 18			1				1		1	1					44		44
FIG.4 - 26			1				1		1	1			1		39		39
FIG.4 - 27			1				1		1	1					41		41
FIG.4 - 28			1				1		1	1					45		45
FIG.4 - 29			1				1		1	1					41		41
FIG.4 - 30			1				1		1	1					35		35
FIG.4 - 31			1				1		1	1					42		42
FIG.4 - 32			1				1		1	1					38		38
FIG.4 - 33			1				1		1	1					39		39
FIG.4 - 34			1				1		1	1					36		36
FIG.4 - 35			1				1		1	1					30,5		30,5
FIG. 15 - 12			1				1		1	1					45,5		45,5
FIG. 15 - 13			1				1		1	1					41		41
FIG. 15 - 14			1				1		1	1					44,5		44,5
FIG. 15 - 15			1				1		1	1					40,5		40,5
FIG. 15 - 16			1				1		1	1					35,5		35,5
FIG.17 - 7			1				1		1	1					35		35
FIG.17 - 8			1				1		1	1					44		44
FIG.17 - 9			1				1		1	1					37,5		37,5
FIG.17 - 15			1				1		1	1					41,5		41,5
FIG.17 - 16			1				1		1	1					37		37
FIG.17 - 17			1				1		1	1					39		39
FIG.17 - 19			1				1		1	1					46	DIAM	46
68 FIG.17 - 20			1				1		1	1					41	67	41

C-3

PLXCV-1 1936	Le PATURAL	1	1	1	1	37	37
PLXCV-2 104001	n° 53	1	1	1	1	41	41
PLXCV-3	FR - 63	1	1	1	1	34	34
PLXCV-4 19905	NR = 39	1	1	1	1	43	43
PLXCV-5 5557		1	1	1	1	37,5	37,5
PLXCV-6 917	3	1	1	1	1	35,5	35,5
PLXCV-7 1936		1	1	1	1	36	36
PLXCV-8		1	1	1	1	33,5	33,5
PLXCV-9		1	1	1	1	36	36
PLXCV-10 917		1	1	1	1	29,5	29,5
PLXCV-11 45906		1	1	1	1	35,5	35,5
PLXCVI-1 917		1	1	1	1	37	37
PLXCVI-2 917		1	1	1	1	37,5	37,5
PLXCVI-3 3231		1	1	1	1	39	39
PLXCVI-4		1	1	1	1	37	37
PLXCVI-5		1	1	1	1	31,5	31,5
PLXCVII-1		1	1	1	1	40	40
PLXCVII-2 115001		1	1	1	1	35	35
PLXCVII-3		1	1	1	1	40,5	40,5
PLXCVII-4 3268		1	1	1	1	35,5	35,5
PLXCVII-5 67001		1	1	1	1	42	42
PLXCVII-6		1	1	1	1	33,5	33,5
PLXCIX-1 5557		1	1	1	1	43	43
PLXCIX-2		1	1	1	1	35,5	35,5
PLXCIX-3 15919		1	1	1	1	41	41
PLXCIX-4		1	1	1	1	40,5	40,5
PLXCIX-5 917		1	1	1	1	41	41
PLXCIX-6 1936		1	1	1	1	35,5	35,5
PLXCVIII-1 3231		1	1	1	1	39	39
PLXCVIII-2 3231		1	1	1	1	36,5	36,5
PLXCVIII-3		1	1	1	1	39,5	39,5
PLXCVIII-4 1936		1	1	1	1	37,5	37,5
PLXCVIII-5		1	1	1	1	39	39
PLXCVIII-6 5557		1	1	1	1	41	41
PLC-1		1	1	1	1	42	42
PLC-2		1	1	1	1	53	53
PL CI -1		1	1	1	1	27	27
PL CI -2 917		1	1	1	1	37,5	37,5
PL CI -3 307		1	1	1	1	31,5	31,5
39							DIAM 39

C-4

1	ENSERUNE	1	1	?	1	1	42	42
3	Basalte	1	1		1	1	42	42
6	n° 60	1	1	?	1	1	39,5	39,5
8	FR- Languedoc	1	1		1	1	40	40
11		1	1	?	1	1	32,5	32,5
13	NR = 33	1	1		1	1	44	44
15		1	1		1	1	46	46
16	4	1	1		1	1	37	37
19		1	1		1	1	44,5	44,5
25		1	1		1	1	45	45
5		1	1	1	1	1	38,5	38,5
22		1	1		1	1	38	38
23		1	1		1	1	35,5	35,5
27		1	1		1	1	38	38
2		1	1		1	1	34	34
4		1	1		1	1	38	38
7		1	1		1	1	37,5	37,5
12		1	1		1	1	43	43
18		1	1		1	1	38	38
17		1	1		1	1	ca. 40	40
31		1	1		1	1	38	38
32		1	1		1	1	36,5	36,5
33		1	1	1	1	1	41	41
34		1	1		1	1	43	43
14		1	1		1	1	44	44
28		1	1		1	1	44,5	44,5
20		1	1		1	1	38	38
21		1	1		1	1	34	34
24		1	1		1	1	42,5	42,5
26		1	1		1	1	31	31
29		1	1		1	1	40	40
30		1	1	1	1	1	42	42
33		1	1	1	1	1	41	41
n° 1	PEYRIAC-de-MER	1	1		1	1	36,5	36,5
n° 2	n° 66	1	1		1	1	36	36
n° 3	FR- Languedoc	1	1		1	1	41	41
n° 4		1	1		1	1	43,5	43,5
n° 5	NR = 17	1	1		1	1	47	47
n° 6		1	1		1	1	48	48
n° 7	5	1	1		1	1	35	35
n° 8		1	1		1	1	37	37
n° 9		1	1		1	1	38	38
n° 10		1	1		1	1	38	41
n° 12		1	1		1	1	59	59
n° 13		1	1		1	1	58-59	58,5
n° 14		1	1		1	1	44	44
n° 15		1	1		1	1	46	49
n° 16		1	1		1	1	-	46
n° 17		1	1		1	1	42	44
17								DIAM 16

C-5

17	n° 17							42	44	16	44
	n° 1	CARCASSONNE	1	1		1	1	42			42
	n° 2	DEPÔT	1		1		1	42			42
	n° 3	n° 65	1	1			1	36,5			36,5
	n° 4	FR-Languedoc	1			1	1	33,5-34			34
	n° 5		1				1	37			37
	n° 6	NR = 16	1	1			1	37,5	38		37,5
	n° 7		1				1	36	38		37
	n° 8	6	1		1		1	37			37
	n° 9		1		1		1	37	38		37,5
	n° 10			1			1	41			41
	n° 11		1		?		1	44			44
	n° 12		1		1		1	38,5			38,5
	n° 13		?	?			1	38		34	36
	n° 14			1			1	61	55		61
	n° 15		1		1		1	33	34		33,5
	n° 16		?	?	1		1	42		16	42
16	PEM.20	PECH MAHO	1		1		1	44,5			44,5
	18	Basalte	1		1		1	47,5			47,5
	15	n° 23	1		1		1	43			43
	19	FR - Languedoc	1		1		1	49			49
	PEM.33 manchons		1		1		1	36,5			36,5
	42	NR = 41	1		1		1	44			44
	PEM.60 manchons		1		1		1	45			45
	62	7	1		1		1	41,5			41,5
	PEM.64		1		1		1	38			38
	76		1		1		1	43			43
	70		1		1		1	41			41
	74		1		1		1	37			37
	PEM.14		1		1		1	50			50
	PEM.12		1		1		1	36		1	36
	36		1		1		1	41			41
	61		1		1		1	41,5			41,5
	63		1		1		1	36,5			36,5
	69		1		1		1	40			40
	65		1		1		1	41			41
	71		1		1		1	38,5			38,5
	75		1		1		1	39			39
	73		1		1		1	37,5			37,5
	n° 39		1		1		1	64			64
	PEM.46		1		1		1	41			41
	PEM.17		1		1		1	48			48
	PEM.51		1		1		1	41,5			41,5
	PEM.59		1		1		1	45,5			45,5
	PEM.43		1		1		1	36			36
	PEM.66		1		1		1	44			44
	PEM.68		1		1		1	34			34
	PEM.72		1		1		1	40			40
	PEM.5		1		1		1	47			47
	PEM.10		1		1		1	38,5			38,5
	PEM.11		1		1		1	39			39
	PEM.22		1		1	?	1	36,5			36,5
	PEM.13		1		1		1	36			36
	PEM.23		1		1	?	1	43,5			43,5
	PEM.28		1		1	?	1	41			41
	PEM.25		1		1	?	1	49			49
	PEM.58		1		1	?	1	43			43
41	PEM.67		1		1		1	36		DIAM 41	36

C-6

41	PEM.67							36			41	36
1	BIBRACTE		1		1		1	41			41	41
2	Le REBOUT		1		1		1	37,5			37,5	37,5
3	n° 56		1		?		1	37			37	37
4	FR- Bourgogne		1		?		1	35			35	35
5			1				1	36			36	36
6	NR = 51		1		1		1	39			39	39
7			1		1		1	36,5			36,5	36,5
8	8		1		1		1	39			39	39
9			1		1		1	42			42	42
10			1		1		1	35			35	35
11			1		1		1	36,5			36,5	36,5
12			1		1		1	36			36	36
13			1		1		1	37			37	37
14			1		1		1	44			44	44
15			1		1		1	40,5			40,5	40,5
16			1		1		1	39			39	39
17			1		1		1	33		1	33	33
18			1		1		1	39,5		1	39,5	39,5
19			1		1		1	43			43	43
20			1		1		1	37,5		1	37,5	37,5
21			1		1		1	33			33	33
22			1		1		1	37,5			37,5	37,5
23			1	1			1	39			39	39
24			1		1		1	38,5			38,5	38,5
25			1		1		1	35			35	35
26			1		1		1	39			39	39
27			1		?		1	40			40	40
28			1		?		1	35			35	35
29			1		?		1	42			42	42
30			1		1		1	39			39	39
31			1		1		1	37,5			37,5	37,5
32			1		1		1	36,5			36,5	36,5
33			1		1		1	41,5			41,5	41,5
34			1		1		1	36		1	36	36
35			1		1		1	37			37	37
36			1		1		1	39			39	39
37			1		1		1	36			36	36
38			1		1		1	40			40	40
39			1		1		1	38,5			38,5	38,5
40			1		1		1	37,5		1	37,5	37,5
41			1		1		1	34,5		1	34,5	34,5
42			1		1		1	37			37	37
43			1		1		1	36,5		1	36,5	36,5
44			1		1		1	41,5			41,5	41,5
45			1		1		1	37			37	37
46			1		1		1	37			37	37
47			1		1		1	40			40	40
48			1		1		1	37			37	37
49			1		1		1	32,5		1	32,5	32,5
50			1		1		1	45			45	45
51			1		1		1	47		DIAM 51	47	47

C-7

51	51		1			1	1	1	47	51	47
US.7901 -25 St Flacre	MEAUX		1			1	1	1	43		43
n° 77-048 Rue d.Châlage	n° 32		1		1	?	1	1	64		64
n° 77-033 - 25 St Flacre	FR- Ile de Fr. 77		1			?	1	1	67		67
n° 77-031			1				1	1	41		41
n° 77-025	NR = 35		1				1	1	41		41
n° 77-039			1				1	1	44		44
n° 77-027	9		1				1	1	41,5		41,5
n° 77-017			1				1	1	37		37
n° 77-019			1				1	1	38		38
n° 77-047			1				1	1	40		40
n° 77-046			1		1		1	1	43,5		43,5
n° 77-029			1				1	1	46		46
n° 77-011			1				1	1	39		39
n° 77-023			1				1	1	41		41
n° 77-020			1				1	1	44,5		44,5
n° 77-026			1				1	1	40,5		40,5
n° 77-022			1		1		1	1	38,5		38,5
n° 77-028			1				1	1	38		38
n° 77-021			1				1	1	40,5		40,5
n° 77-036			1				1	1	36		36
n° 77-024			1				1	1	30		30
n° 77-034			1				1	1	36		36
n° 77-032			1	1			1	1	48		48
n° 77-041			1	1			1	1	33		33
n° 77-030			1		1		1	1	51		51
n° 77-008			1				1	1	42		42
n° 77-038			1				1	1	37		37
n° 77-037			1				1	1	29		29
n° 77-015			1				1	1	34,5		34,5
n° 77-009			1				1	1	36		36
n° 77-012			1				1	1	40		40
n° 77-013			1				1	1	37		37
n° 77-010			1				1	1	38		38
n° 77-040			1			?	1	1	41	DIAM	41
n° 77-043			1				1	1	40	35	40

C-8

50805.1	CHARTRES		1			1	1	1	45		45
2980.6	n° 31		1				1	1	44		44
9999.250	FR - Centre 28		1				1	1	38		38
1539.1			1				1	1	47		47
2398.20	NR = 29		1				1	1	44		44
1020.1			1				1	1	42		42
-			1				1	1	38		38
1037.1	10		1				1	1	44		44
-			1				1	1	36		36
3503.1			1				1	1	40		40
-			1				1	1	38		38
1906.4			1				1	1	42		42
1475.1			1				1	1	38		38
3379.3			1				1	1	42		42
1775.1			1				1	1	35		35
Clos vert			1	1			1	1	48		48
Clos vert			1				1	1	46		46
Clos vert			1				1	1	-		-
-			1			?	1	1	48		48
-			1			?	1	1	56		56
-			1				1	1	56		56
Cinéma			1				1	1	58		58
Clos vert			1				1	1	58		58
-			1				1	1	50		50
-			1				1	1	54		54
Cinéma			1	1			1	1	56		56
Cinéma			1	1			1	1	68		68
Cinéma			1	1			1	1	56	DIAM	56
29 Cinéma			1	1			1	1	68	28	68
ACH.OST.12	OSTIA		1			?	1	1	32,5	32,5	32,5
ACH.OST.13	n° 72		1		1		1	1	29	33	31
ACH.OST.14	Italie centrale		1				1	1	33	33	33
ACH.OST.11			1				1	1	ca.31	34	32,5
ACH.OST.6	NR = 12		1				1	1	32	34	33
ACH.OST.4			1				1	1	35	35	35
ACH.OST.5	11		1				1	1	37	37	37
ACH.OST.3			1				1	1	-	67	67
ACH.OST.7			1				1	1	37	33,5	35
ACH.OST.8			1				1	1	32-32,5	30,5-31	32
ACH.OST.9			1				1	1	36	33	34,5
12 ACH.OST.10			1				1	1	29	23,5	26,5

C-9

12	ACH.OST.10		1				1	1	29	23,5	12	26,5
69	PUY du TOUR		1		1		1	1	40			40
71	n° 57		1				1	1	40			40
72	FR- Corrèze 19		1				1	1	40			40
89			1				1	1	40			40
87	NR = 19		1				1	1	38			38
95A			1			1	1	1	37			37
70	12		1				1	1	36			36
77			1				1	1	36			36
76			1				1	1	36			36
83			1			1	1	1	34			34
85			1				1	1	33			33
73			1				1	1	33			33
84			1				1	1	32			32
82			1				1	1	30			30
92			1				1	1	29			29
86			1				1	1	27			27
91			1				1	1	32			32
75			1		1		1	1	35			35
19 74			1			1	1	1	34		DIAM	34

C-10

19	74			1				1	1	1		34		19	34
	559BG2001	VINÇON V.8: LEVROUX		1				1		1		35,5			35,5
	559BG2002	VINÇON V.8: n° 39		1				1	1			35,5			35,5
	562AG166	ROGIER R.74 FR- Centre 36		1				1		1		35,5			35,5
	573AT500	ROGIER R.120		1				1	1			35			35
	573WT501	ROGIER R.120 NR = 7		1				1	1			36,5			36,5
	577AH200	ROGIER R.70S		1				1	1			33,5		DIAM	33,5
	7	LEV95DP28	CG 42	1				1	1			42		7	42
	189 G.1	Le MORMONT		1				1	1			39,5			39,5
	258 G.4	n° 44		1				1	1			37			37
	101 G.2	SUISSE - occident.		1				1	1			37			37
	213 G.1			1				1	1			41,5			41,5
	237 G.1	NR = 6		1			?	1	1			41,5		DIAM	41,5
	6	237 G.4	14	1				1	1			39,5		6	39,5
	F.87-M1	PACE		1				1	1			42			42
	F.86	n° 41		1				1	1			43			43
	F.87- M2	FR- Bretagne 35		1				1	1			-			56
	F. 376	NR = 5		1				1	1			-		DIAM	-
	5	F.87-14B-287	15	1				1	1			56		3	-
	LT-19	Les HERBIERS		1				1	1			38			38
	LT-22	n° 45		1				1	1			38			38
	LT-23	FR- Vendée 85		1				1	1			38			38
	LT-26	NR = 5		1				1	1			40		DIAM	40
	5	LT-32	16	1				1	1			34		5	34
	FIG. 9	FINISTERE 1987		1				1	1			ca.50			50
	FIG. 11	n° 61		1				1	1			ca.50			50
	FIG. 12	FR- Bretagne 29		1				1	1			34			34
	FIG. 13			1				1	1			45			45
	FIG. 14	NR = 7		1			?	1	1			ca.45			45
	7	FIG. 15	17	1				1	1			47 à 53		DIAM	50
	7	FIG. 16		1				1	1			42		7	42
	21- LONGVIC	BOURGOGNE		1				1	1			+ 70			71
	21- Mirebeau La Fenotte	n° 47		1				1	1			50,5			50,5
	21- Dijon Musée Bx Arts	FR- Bourgogne		1				1	1			76			76
	89- Villemanoche		HMA?					1	1			76			76
	89- Bassou Fbg bas	NR = 11		1				1	1			48			48
	89- Bassou Fbg bas			1				1	1			47,5			47,5
	89- Bassou Fbg bas	18		1				1	1			51			51
	71- St. Marcel St.S1.02			1				1	1			44			44
	71- Sennece-les-Macon			1				1	1			36			36
	71- Sennece-les-Macon			1				1	1			32,5		DIAM	32,5
	11	58- Imply La Garenne		1				1	1			39,5		11	39,5
	39- La Châtelaine	FRANCHE COMTÉ		1				1	1			30			30
	39- Nogna 1885	n° 48		1				1	1			32			32
	39- St. Germain Montagne	FR- Franche comté		1				1	1			34,5			34,5
	25- Besançon Palais Justice			1				1	1			36			36
	25- Mathay Réserve Eau L.	NR = 19		1				1	1			42,5			42,5
	25- Mathay Réserve Eau Br.			1				1	1			41			41
	25- Mathay Réserve eau Br	19		1				1	1			43			43
	25- Mathay REB			1				1	1			36,5			36,5
	25- Besançon Rue Battant			1				1	1			49			49
	25- Besançon Îlot Paris			1				1	1			42,5			42,5
	25- Besançon Trésorerie G.			1				1	1			46,5			46,5
	25- Mandeure Rue Récile			1				1	1			35,5			35,5
	25- Mandeure Rue Récile			1				1	1			42			42
	25- Mathay REB			1				1	1			36,5			36,5
	25- Saye La Tuilerie			1				1	1			39,5			39,5

C-11

	70- Trémois Aigillettes											58			58
	70- Seveux Au Village								1			37			37
	70- (25?) Mathay L'Essarté								1			53		DIAM	53
	19	90- Offemont		1					1			37		19	37
	53-MOULAY.0066	Bretagne & Mayenne		1				1	1			30			30
	53-MOU.0004	n° 43		1		?			1			42,5			42,5
	53-MOU.0065			1		?			1			36,5			36,5
	53-MOU.0057	FR- Bretagne/Loire		1				1	1			32			32
	53-MOU.0006			1					1			40			40
	53-MOU.0034	NR = 11		1				1	1			36,5			36,5
	53-MOU.0114			1					1			28			28
	Ketgolvez. 88	20		1				1	1			38,5			38,5
	Ketgolvez. 120			1				1	1			42,5			42,5
	53- La GACHOTIERE			1				1	1			39		DIAM	39
	11	53- JUBLAINS		1				1	1			31,5		11	31,5
	14- CORMELLES ST. 43 + 1	CALVADOS		1					1			32			32
	14- Fleury/Or. Fossé 85 -0	n° 49		1					1			28 à 32			30
	14- Fleury/Or. Fosse 294 - FR. Bas. Normand.			1					1			32			32
	14- Fleury/Or. Fosse 424 -424-000-001			1					1			28 à 30			29
	14- Briqueville LÉPAUMIE	NR = 32		1					1			34			34
	14- Bretteville Besnard-Vauterin 2013, n° 2171			1					1			ca.33			33
	14- Bretteville Besnard-Vaut	21		1					1			34			34
	14- VIEUX Jacquottey, Farjet 2011 p.59			1					1			44			44
	14- VIEUX Jacquottey 2011 p.342			1					1			38			38
	14- Touffréville La Saussaye St. B			1					1			44			44
	14- Touffréville La Saussaye			1					1			35		DIAM	35
	12	14- Touffréville La Saussave		1					1			37		12	37
	M1	ROANNE		1				1	1			30,5			30,5
	M2	n° 51		1				1	1			32			32
	M3	FR- Rhône 42		1				1	1			35,5			35,5
	M4			1				1	1			33,5			33,5
	M5	NR = 11		1				1	1			37			37
	M7			1				1	1			38			38
	M10	22		1				1	1			38			38
	M11			1				1	1			34			34
	M12			1					1			-			-
	M13			1					1			27		DIAM	27
	11	M14		1				1	1			35		10	35
		SAUFRIN musique n°138-C	AI SACF						1			-			-

C-12

11	M14		1			1	1		35	10	35
	SAVERNE musée nf138-5	ALSACE				1	1				
	SAVERNE C.8	n° 42				1	1		38,5		38,5
	SAVERNE C.9	FR- Alsace 67-68				1	1	?	37		37
	SAVERNE C.54					1	1		39	DIAM	39
	SAVERNE C.55	NR = 19	1			1	1		38	4	38
	STRASBOURG Musée 27848					1	1		45		45
	STRASBOURG Musée M.3	23	1			1	1	1	41		41
	STRASBOURG Musée C.18		1			1	1		45,5		45,5
	STRASBOURG C.20					1	1		42		42
	STRASBOURG C.24					1	1		45		45
	STRASBOURG C.94					1	1		39,5		39,5
	STRASBOURG C.15					1	1		41	DIAM	41
	STRASBOURG C.30					1	1		41	8	41
	SCHAEFFERSHEIM 2013					1	1	?	36		36
	SCHAEFFERSHEIM C.62					1	1		36		36
	WIWERSHEIM C.71					1	1		39		39
	HORBOURG C.72					1	1		42,5		42,5
	DAMBACH-la-Ville					1	1		39,5	DIAM	39,5
19	ESCHBACH C. 42					1	1		48	6	48
	WANZENAU		1	1		1	1		42,0		42,0
	n° 88		1	1		1	1		40,0		40,0
	Alsace 67		1	1		1	1		40,0		40,0
	EPAVE		1	1		1	1		40,0		40,0
	NR = 25		1	1		1	1		44,0		44,0
			1	1		1	1		39,0		39,0
	24		1	1		1	1		40,0		40,0
			1	1		1	1		40,0		40,0
			1	1		1	1		47,0		47,0
			1	1		1	1		44,0		44,0
			1	1		1	1		45,0		45,0
			1	1		1	1		48,0		48,0
			1	1		1	1		48,0		48,0
			1	1		1	1		47,0		47,0
			1	1		1	1		48,0		48,0
			1	1		1	1		46,0		46,0
			1	1		1	1		49,0		49,0
			1	1		1	1		46,0	DIAM	46,0
25	N° 71 - n° 398 US.1150	MAGALAS	1	1		1	1		49,0	25	49,0

C-13

25	N° 71 - p.398 US.1150	MAGALAS	1	1		1	1		49,0	25	49,0
	N° 72 - p.398 US.1167	n° 63	1	1		1	1		37,5		37,5
	N° 121 - p.399 US.1223	FR - Languedoc 34	1	1		1	1		33,5		33,5
	N° 166 - p.400 US.2021	NR = 5	1	1		1	1		39		39
	N° 192 - p.400 US.2004	25	1	1		1	1		38	DIAM	38
5	F.286-1	ENTRAMMES	1	1		1	1		26 / 28	5	27
	F.325	n° 30	1			1	1		35		35
	F.145-2	FR-Loire 53	1			1	1	1	35		35
	F.223-4		1	1		1	1	?	36 ca.		36
	F.7-3	NR = 11	1	1		1	1		37		37
	F.251		1			1	1		38		38
						1	1		38		38
	F.120	26	1	1		1	1		38		38
	F.32		1			1	1		44		44
	HS.1		1			1	1		47		47
	F32		1			1	1		48		48
	HS.2		1			1	1		48	DIAM	48
11	M1	CHAMPION	1	1		1	1		58	11	58
	M2	n° 52	1	1		1	1		35		35
	M3	Belgique	1	1		1	1		35		35
	M4	NR = 5	1	1		1	1		40		40
	M5	27	1	1		1	1		34	DIAM	34
	ENT M.18	PROVENCE	1			1	1		37		37
	ENT M.19	COQUEREL 1992	1			1	1		35		35
	ENT M.20	n° 59	1			1	1		36,5		36,5
	ENT M.21	FR-Loire 53	1			1	1		32,5		32,5
	ENT M.22		1			1	1		31		31
	ENT M.23	NR = 64	1			1	1		32		32
	ENT M.24		1			1	1		31,5		31,5
	ENT M.25	28	1			1	1		33		33
	ENT M.26		1			1	1		33		33
	ENT M.27		1			1	1		32,5		32,5
	ENT M.28		1			1	1		32		32
	ENT M.29		1			1	1		33,5		33,5
	ENT M.30		1			1	1		34		34
	ENT M.31		1			1	1		35		35
	ENT M.32		1			1	1		40		40
	ENT M.33		1			1	1		29		29
	ENT M.35		1			1	1		31		31
	ENT M.36		1			1	1		35		35
	855.069.010		1			1	1		32		32
	GRANET A		1			1	1		38		38
	GRANET B		1			1	1		37		37
	C 9001 n° 01		1	1		1	1		32		32
	C 27003 n° 02		1	1		1	1		37		37
	C 15003 n° 04		1	1		1	1		38		38
	C 75002 N° 05		1	1		1	1		36		36
	C 85004 n° 07		1	1		1	1		44		44
	C 8700209 n° 08		1	1		1	1		36		36
	LC M 02		1	1		1	1		34,5		34,5
	LC M 03		1	1		1	1		39		39
	LC M 04		1	1		1	1		34,5		34,5
	LC M 05		1	1		1	1		38,5		38,5
	LC M 06		1	1		1	1	?	34,5		34,5
	ENT M.01		1			1	1		37,5		37,5

C-14

26	LATTES	1	1	1	1	42	42
27	n° 20	1	1	1	1	41	41
28	FR- Languedoc	1	1	1	1	35	35
29		1	1	1	1	42	42
30	NR = 85	1	1	1	1	39,5	39,5
31		1	1	1	1	42,5	42,5
32	29	1	1	1	1	-	-
33		1	1	1	1	39	39
34		1	1	1	1	-	-
35		1	1	1	1	35	35
36		1	1	1	1	34	34
37		1	1	1	1	33,5	33,5
38		1	1	1	1	67	67
39		1	1	1	1	-	-
40		1	1	1	1	-	-
41		1	1	1	1	34	34
42		1	1	1	1	45,5	45,5
43		1	1	1	1	35	35
44		1	1	1	1	35	35
45		1	1	1	1	37	37
46		1	1	1	1	38	38
47		1	1	1	1	40,5	40,5
48		1	1	1	1	36	36
49		1	1	1	1	38,5	38,5
50		1	1	1	1	32,5	32,5
51		1	1	1	1	37	37
52		1	1	1	1	39,5	39,5
53		1	1	1	1	-	-
54		1	1	1	1	-	-
55		1	1	1	1	-	-
56		1	1	1	1	41	41
57		1	1	1	1	38	38
58		1	1	1	1	40	40
59		1	1	1	1	38	38
60		1	1	1	1	33	33
61		1	1	1	1	39	39
62		1	1	1	1	36,5	36,5
63		1	1	1	1	37	37
64		1	1	1	1	40	40
65		1	1	1	1	46	46
66		1	1	1	1	40	40
67		1	1	1	1	37	37
68		1	1	1	1	37	37
69		1	1	1	1	34,5	34,5
70		1	1	1	1	36,5	36,5
71		1	1	1	1	30	30
72		1	1	1	1	34	34
73		1	1	1	1	32	32
74		1	1	1	1	35	35
75		1	1	1	1	33	33
76		1	1	1	1	37	37
77		1	1	1	1	38	38
78		1	1	1	1	37	37
79		1	1	1	1	36	36
80		1	1	1	1	34,5	34,5
--							

C-15

26	LATTES	1	1	1	1	42	42
27	n° 20	1	1	1	1	41	41
28	FR- Languedoc	1	1	1	1	35	35
29		1	1	1	1	42	42
30	NR = 85	1	1	1	1	39,5	39,5
31		1	1	1	1	42,5	42,5
32	29	1	1	1	1	-	-
33		1	1	1	1	39	39
34		1	1	1	1	-	-
35		1	1	1	1	35	35
36		1	1	1	1	34	34
37		1	1	1	1	33,5	33,5
38		1	1	1	1	67	67
39		1	1	1	1	-	-
40		1	1	1	1	-	-
41		1	1	1	1	34	34
42		1	1	1	1	45,5	45,5
43		1	1	1	1	35	35
44		1	1	1	1	35	35
45		1	1	1	1	37	37
46		1	1	1	1	38	38
47		1	1	1	1	40,5	40,5
48		1	1	1	1	36	36
49		1	1	1	1	38,5	38,5
50		1	1	1	1	32,5	32,5
51		1	1	1	1	37	37
52		1	1	1	1	39,5	39,5
53		1	1	1	1	-	-
54		1	1	1	1	-	-
55		1	1	1	1	-	-
56		1	1	1	1	41	41
57		1	1	1	1	38	38
58		1	1	1	1	40	40
59		1	1	1	1	38	38
60		1	1	1	1	33	33
61		1	1	1	1	39	39
62		1	1	1	1	36,5	36,5
63		1	1	1	1	37	37
64		1	1	1	1	40	40
65		1	1	1	1	46	46
66		1	1	1	1	40	40
67		1	1	1	1	37	37
68		1	1	1	1	37	37
69		1	1	1	1	34,5	34,5
70		1	1	1	1	36,5	36,5
71		1	1	1	1	30	30
72		1	1	1	1	34	34
73		1	1	1	1	32	32
74		1	1	1	1	35	35
75		1	1	1	1	33	33
76		1	1	1	1	37	37
77		1	1	1	1	38	38
78		1	1	1	1	37	37
79		1	1	1	1	36	36
80		1	1	1	1	34,5	34,5
--							

C-16

80		1	1		1	1		34,5		34,5
81			1		1			-		-
82			1		1		1	37,5		37,5
83			1		1			36		36
84			1		1			40		40
85		1	1		1			39,5		39,5
86		1	1		1			35		35
87			1		1			40		40
88			1		1			37		37
89		1	1		1			37,5		37,5
90			1		1			42		42
91			1		1			39		39
92			1		1			40		40
93*			1		1			38		38
94			1		1			39		39
95			1		1			39		39
96**		1	1		1			41		41
97		1			1			35		35
98				1			1	41		41
99		1	1		1			47,5		47,5
102		1	1		1			48		48
103							1	30,5		30,5
826	LATTARA 12	1	1		?	1		-		-
826	LATTARA 12	1	1		1	1		42		42
835 à manchons Esp.	LATTARA 12	1	1		1	1		44		44
833	LATTARA 12	1	1		1	1		-		-
846	LATTARA 12	1	1		1	1		-		-
24	Port Ariane 2007		1	1			1	34		34
25	Port Ariane 2007		1	1			1	36		36
85	26 grande hydraulique	1	1		?	1		85,6	DIAM 73	85,6
ME 71	NANTAIS		1			1				

C-17

85	26 grande hydraulique	Port Ariane 2007	1	1		?		1		85,6	73	85,6
ME 01		NANTAIS		1			1	1		30,5		30,5
ME 02		POLINSKI 2009		1			1	1		41		41
ME 03		n° 10		1			1	1		34		34
ME 04		FR-Loire		1			1	1		34,5		34,5
ME 05				1			1	1		32,5		32,5
ME 06		NR = 47		1			1	1		+19		-
ME 07				1			1	1		28		28
ME 08		30		1			1	1		36		36
ME 09				1			1	1		37		37
ME 10				1			1	1		33		33
ME 11				1			1	1		ca.43		43
ME 12				1			1	1		41		41
ME 13				1			1	1		-		-
ME 14				1		?	1	1		43		43
ME 15				1		1	1	1		+41		-
ME 16				1		1	1	1		+29		-
ME 17				1		1	1	1		+25		-
ME 18				1		1	1	1		61,5		61,5
ME 19				1		1	1	1		+25		-
ME 20				1		?	1	1		58,5		58,5
ME 21				1		1	1	1		+33		-
ME 22				1		1	1	1		+56		-
ME 23				1		1	1	1		+51		-
ME 24				1		1	1	1		+20		-
ME 25				1		?	1	1		56		56
ME 26				1		1	1	1		57		57
ME 27				1		?	1	1		54		54
ME 28				1		?	1	1		60,5		60,5
ME 29				1		?	1	1		57,5		57,5
ME 30				1		?	1	1		-		-
ME 31				1			1	1	1	+48,5		-
ME 35				1			1	1	1	+39,5		-
ME 36				1			1	1	1	+47		-
ME 37				1			1	1	1	43		43
ME 38				1			1	1	1	+30		-
ME 39				1			1	1	1	+34		-
ME 40				1			1	1	1	+41		-
ME 41				1			1	1	1	+41		-
ME 42				1			1	1	1	-		-
ME 43				1			1	1	1	-		-
ME 45				1		?	1	1	1	60,5		60,5
ME 47				1			1	1	1	+52,5		-
ME 48				1		?	1	1	1	62		62
ME 49				1		?	1	1	1	61		61
ME 50				1		?	1	1	1	59		59
ME 51				1		?	1	1	1	61		61
47	Le Grand Fay		1	1			1	1		50,5	DIAM 47	50,5

C-18

47	Le Grand Fay		1			1	1	50,5	27	50,5
	autre, n° 40	VERTAULT		1		1	1	36		36
	39	n° 55		1		1	1	36		36
	12	FR - Bourgogne		1		1	1	37		37
	2			1		1	1	38		38
	41	NR = 40		1		1	1	39		39
	Vert. 7, n° 24			1		1	1	40		40
	28	31		1		1	?	40		40
	Vert. 7, n° 34			1		1	?	40	1	40
	Vert. 7, n° 25			1		1	1	40,5		40,5
	14			1		1	1	41,5		41,5
	17			1		1	1	42		42
	Vert. 7, n° 27			1		1	1	42		42
	Vert. 7, n° 26			1		1	1	44,5		44,5
	Vert. 7, n° 29			1		1	1	44,5		44,5
	inc. 23			1		1	1	45		45
	15			1		1	1	46		46
	16			1		1	1	46,5		46,5
	10			1		1	1	47		47
	inc. 36			1		1	?	47	1	47
	31			1		1	1	47		47
	11			1		1	1	49		49
	6			1		1	1	49		49
	8			1		1	1	49		49
	Vert. 7, n° 37		1			1	1	49,5		49,5
	18			1		1	1	49,5		49,5
	20			1		1	1	50		50
	19			1		1	1	50		50
	13			1		1	1	51		51
	21			1		1	1	51,5		51,5
	autre, n° 35			1		1	1	52		52
	22			1		1	1	52		52
	3			1		1	1	52		52
	4			1		1	1	52,5		52,5
	5			1		1	1	53,5		53,5
	1		1			1	1	55,5		55,5
	autre, n°38			1		1	1	56		56
	autre, n°32			1		1	1	58		58
	Vert. 2, n°7		1			1	1	60		60
	Vert. 2, n° 30			1		1	1	63	DIAM	63
40	Vert. 2, n° 9			1		1	1	67	40	67

C-19

77	MAZIÈRES en		1	1	1	1	1	44		44
58	MAUGES		1		1	?	1	49		49
59	n° 54		1		1	1	1	54		54
78	FR - Loire		1		1	1	1	50		50
60-67			1		1	1	1	50		50
61-64	NR = 25		1		1	1	1	44		44
69			1		1	1	1	ca. 47		47
65-68	32		1		1	1	1	52		52
66			1		1	1	1	50		50
51			1		1	1	1	42		42
80			1	1	1	1	1	42,5		42,5
57			1		1	1	1	45		45
62			1		1	1	1	54		54
55			1		1	1	1	+ 40		40
52			1		1	1	1	49		49
53-54			1		1	1	1	40		40
63			1		1	1	1	47,5		47,5
70			1		1	1	1	50 ?		50
56			1		1	1	1	50		50
74			1	1	1	1	1	41		41
75			1		1	1	1	-		-
76			1		1	?	1	-		-
73			1		1	?	1	-		-
72			1		1	1	1	37	DIAM	37
25	71		1		1	1	1	-	21	-
	PC.5 (Inv.180)	PUIG CASTELLAR	1		1	1	1	41		41
	PC.6 (Inv.181)	(GRAMENET)	1		1	1	1	39		39
	PC.60 (Inv.235)	n° 24	1	1	1	1	1	61		61
	PC.61 (Inv.236)	ESP - Catalogne	1		1	1	1	46,5		46,5
	PC.64 (Inv.239)		1		1	1	1	39,5		39,5
	PC.69 (Inv.244)	NR = 21	1		1	1	1	45		45
	PC.70 (Inv.245)	33	1		1	1	1	64		64
	PC.79 (Inv.254)		1		1	1	1	42,5		42,5
	PC.76 (Inv.251)		1		1	1	1	45		45
	PC.77 (Inv.252)		1		1	1	1	41		41
	PC.80 (Inv.255)		1		1	1	1	44,5		44,5
	PC.82 (Inv. 257)		1		1	1	1	41		41
	PC.4 (Inv.179)		1		1	1	1	35,5		35,5
	PC.7 (Inv.182)		1		1	1	1	36,5		36,5
	PC.17 (Inv.192)		1		1	1	1	32		32
	PC.8 (Inv.183)		1		1	1	1	38,5		38,5
	PC.62 (Inv.237)		1		1	1	1	49		49
	PC.59 (Inv.234)		1		1	1	1	38		38
	PC.67 (Inv.242)		1		1	1	1	42,5		42,5
	PC.78 (Inv.253)		1		1	1	1	40,5	DIAM	40,5
21	PC.81 (Inv.256)		1		1	1	1	42,5	21	42,5

C-20

PSA.27	PUIG S. ANDREU (ULLASTRET)			1	1	1	1	37,5	37,5
PSA.24	PSA.30 n° 25		1		1	1	1	46	46
PSA.11	ESP - Catalogne	1			1	1	1	46	46
PSA.31				1	1	1	1	45	45
PSA.28	NR = 22		1		?	1	1	45	45
PSA.29				1	1	1	1	45	45
PSA.32				1	1	1	1	38	38
PSA.84	34			1	1	1	1	45,5	45,5
PSA.7			1		1	1	1	43,5	43,5
PSA.8				1	1	1	1	43,5	43,5
PSA.9				1	1	1	1	41	41
PSA.12				1	1	1	1	39	39
PSA.10		1			1	1	1	41	41
PSA.25				1	1	1	1	40	40
PSA.14					?	1	1	+41	-
PSA.15					1	1	1	34	34
PSA.20		1			1	1	1	+41	-
PSA.13		1			?	1	1	43	43
PSA.16		1			1	1	1	46	46
PSA.69				1	1	1	1	43	43
PSA.17			1		1	1	1	41	41
1- espace AI	ALORDA PARK n° 7	1		1	1	1	1	42,5	42,5
2- espace AI		1		1	1	1	1	41,5	41,5
3- espace AB-BM	ESP - Catalogne	1		1	1	1	1	38,5	38,5
4- espace F		1		1	1	1	1	45	45
7- espace AR	NR = 22	1		1	1	1	1	44,5	44,5
8- Superf.		-		1	1	1	1	45,5	45,5
14- espace C	35	1		1	1	1	1	41,5	41,5
15- espace CA		1		1	1	1	1	44,5	44,5
17- espace K		1		1	1	1	1	41,5	41,5
18- espace CA		1		1	1	1	1	42,5	42,5
20- ext. Mur.		1		1	1	1	1	45,5	45,5
A1	BOLUNBURU n° 28	1		1	?	1	1	40	40
A2		1		1	?	1	1	40	40
B1	ESP - Biscaya	1		1	1	1	1	34	34
B2		1		1	1	1	1	40,5	40,5
M.A1	NR = 6	1		1	?	1	1	42	42
M.B1	36	1		1	1	1	1	39,5	39,5

C-21

VARIA ITALIA		1		1	1	1	1	35	35
PALERMO, Museo Salinas	n° 62	1		1	1	1	1	36,5	36,5
PALERMO, Museo Salinas	NR = 9	1		1	1	1	1	38,5	38,5
CANDOGIA, POLETTI, GA	37		1		1	1	1	34	34
DORMELETTO, SPAGNOLI	Tombe 102 LTC2	1		1	1	1	1	-	-
DORMELETTO, SPAGNOLI	Tombe 102 LTC2	1		1	1	1	1	-	-
DORMELETTO, SPAGNOLI	Tombe 110 70 aC	1		1	1	1	1	-	-
PAUSULAE, Chienti - BARM	M.1	1	1	1	1	1	1	37	37
PAUSULAE, Chienti - BARM	M.2	1	1	1	1	1	1	36	36
6 - Bassano	TRENTINO			1	1	1	1	33	33
7.1 - Belluno ?	DONNER 1992 n° 22			1	1	1	1	33,5	33,5
7.2 - Belluno				1	1	1	1	33,5	33,5
10- Borgorico				1	1	1	1	34	34
11- Borgorico	NR = 112	1		1	1	1	1	34	34
12- Borgorico				1	1	1	1	33,5	33,5
15- Pila	38		1		1	1	1	35,5	35,5
20.1 - Caorle				1	1	1	1	35	35
20.2 - Caorle				1	1	1	1	24	24
23.1 - Prai				1	1	1	1	30	30
26- Castelnuovo del Garda				1	1	1	1	-	-
29- Rovaretto				1	1	1	1	23,5	23,5
31- Palù				1	1	1	1	-	-
33- Corte terrena				1	1	1	1	42	42
39.1 - ESTE				1	1	1	1	35,5	35,5
39.2 - ESTE				1	1	1	1	38,5	38,5
39.3 - ESTE				1	1	1	1	41	41
39.4 - ESTE				1	1	1	1	36	36
39.5 - ESTE				1	1	1	1	34	34
39.6 - ESTE				1	1	1	1	42	42
39.7 - ESTE				1	1	1	1	36	36
40.1 - ESTE				1	1	1	1	32,5	32,5
40.2 - ESTE				1	1	1	1	41	41
40.5 - ESTE				1	1	1	1	38	38
40.6 - ESTE				1	1	1	1	33,5	33,5
40.7 - ESTE				1	1	1	1	44	44
41.1 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	42	42
41.2 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	40	40
41.3 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	35	35
41.4 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	34	34
41.5 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	29	29
41.9 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	34	34
41.10 - Este - Albrizzi		1		1	1	1	1	30	30
42.1 - Este - Giavarra		1		1	1	1	1	34	34
42.2 - Este - Giavarra		1		1	1	1	1	35	35
42.3 - Este - Giavarra		1		1	1	1	1	35,5	35,5
49.1 - Camp. Gde Isola Vicent.		1		1	1	1	1	56	56
49.2 - Camp. Gde Isola Vicent.		1		1	1	1	1	54	54
50- Castelnuovo isola Vicentina		1		1	1	1	1	-	-
53- De Tomasi Isola Vicentina		1		1	1	1	1	+30 cm	-
56.1- Legnago ?		1		1	1	1	1	29,5	29,5
56.2- Legnago ?		1		1	1	1	1	31,5	31,5
56.3- Legnago ?		1		1	1	1	1	35	35
56.4- Legnago ?		1		1	1	1	1	38	38
56.5- Legnago ?		1		1	1	1	1	33	33
56.6- Legnago ?		1		1	1	1	1	39	39

C-22

56.6 - Legnago ?				1	1	39	39
56.7 - Legnago ?				1	1	35,5	35,5
56.9 - Legnago ?				1	1	34,5	34,5
57- Legnago tezzon				1	1	36,5	36,5
59.1 - Loreo Corte cavanella			1	1	1	37	37
59.2 - Loreo Corte cavanella			1	1	1	40	40
59.3 - Loreo Corte cavanella			1	1	1	29	29
63.1 - MEOLO Ca'Corner				1	1	53,5	53,5
65.1 - MOGLIANO Ve. Via Ghetto				1	1	37	37
65.2 - MOGLIANO Ve. Via Ghetto			1	1	1	32	32
66- MONASTER Pralungo				1	1	40,5	40,5
67.1- MONTAGNANA ?				1	1	34	34
67.2- MONTAGNANA ?				1	1	39	39
67.3- MONTAGNANA ?				1	1	30	30
67.4- MONTAGNANA ?				1	1	33	33
67.5- MONTAGNANA ?				1	1	33	33
70- Montebelluna				1	1	36	36
72- Montebelluna- St Andrea				1	1	30	30
77.1 - NOALE - Roncato				1	1	34	34
77.2- NOALE - Roncato				1	1	-	-
78.1- ODERZO				1	1	39	39
78.1- ODERZO				1	1	36,5	36,5
78.2- ODERZO				1	1	32	32
78.2- ODERZO				1	1	32	32
78.3- ODERZO				1	1	33,5	33,5
78.4- ODERZO				1	1	57	57
79- ODERZO - Faè				1	1	38	38
80- ODERZO - Le Mùtere				1	1	36	36
81- ODERZO - Simonetti				1	1	53	53
82.1- ODERZO -Gamma				1	1	35	35
82.2- ODERZO -Gamma				1	1	35	35
83.3- ODERZO - Kappa				1	1	33	33
86.3- PADOVA (?)				1	1	39	39
86.4- PADOVA (?)				1	1	37,5	37,5
86.6- PADOVA (?)				1	1	34	34
86.7- PADOVA (?)				1	1	35,5	35,5
86.15- PADOVA (?)				1	1	43,5	43,5
87- PADOVA -N. Mercato Ortof.				1	1	35	35
92.1- PADOVA -P.zza Spalato				1	1	37	37
97.1- PADOVA - S. Tomaso				1	1	39	39
97.2- PADOVA - S. Tomaso				1	1	36,5	36,5
98.1- PADOVA - Via Tribunale				1	1	34	34
99.1- PADOVA Volta Brussegana				1	1	27	27
102.1- Poiana Maggiore				1	1	32,5	32,5
102.2- Poiana Maggiore				1	1	34	34
106- PRESSANA - Dal Maso				1	1	38	38
107.1- QUARTO d'ALTINO				1	1	35	35
107.6- QUARTO d'ALTINO				1	1	40	40
108- ALTINO - est museo				1	1	42	42
111- QUARTO d'ALTINO - Brustolade				1	1	33,5	33,5
114.3- ALTI NO - Albertini				1	1	31	31
115- ALTINO -Ziliotto				1	1	38	38
123.1- OLMI - Marteggia				1	1	36	36
128- S. MARTINO - Le Motte				1	1	35,5	35,5
129- S. ZENONE degli EZZELINI				1	1	33	33
142.6- TREVISO ?				1	1	34	34

C-23

142.6- TREVISO ?				1	1	34	34
142.7- TREVISO ?				1	1	37	37
142.4- TREVISO ?				1	1	33	33
142.5- TREVISO ?				1	1	48	48
142.22- TREVISO ?				1	1	23,5	23,5
142.8- TREVISO ?				1	1	34	34
142.9- TREVISO ?				1	1	37,5	37,5
149- VERONA ?				1	1	36,5	36,5
156.1- VILLADOSE ?				1	1	36	36
156.3- VILLADOSE ?				1	1	34	34
156.5- VILLADOSE ?				1	1	34	34
112 158- VILLADOSE - Taglietto				1	1	34	34
n° 3	TUNGRI			1	1	V 46	46
n° 5	n° 69			1	1	V 42	42
n° 6	Belgique			1	1	V 50,5	50,5
n° 7				1	1	V 72	72
n° 8	NR = 46			1	1	V 43	43
n° 9				1	1	V 80	80
n° 11	39			1	1	V 40,5	40,5
n° 12				1	1	V 39	39
n° 13				1	1	V 41	41
n° 15				1	1	V 36	36
n° 17				1	1	V 36	36
n° 18				1	1	V 37	37
n° 19				1	1	V 40	40
n° 20				1	1	V 44	44
n° 21				1	1	V 38	38
n° 22				1	1	V 39	39
n° 25				1	1	V 40	40
n° 26				1	1	V 40	40
n° 35				1	1	V 78	78
n° 36				1	1	V 40,5	40,5
n° 37				1	1	V 41	41
n° 38				1	1	V 40	40
n° 39				1	1	V 42,5	42,5
n° 40				1	1	V 72,5	72,5
n° 41				1	1	V 73,5	73,5
n° 43				1	1	V 44	44
n° 44				1	1	V 44	44
n° 47				1	1	V 40	40
n° 48				1	1	V 37,5	37,5
n° 49				1	1	V 86,5	86,5
n° 50				1	1	V 36,5	36,5
n° 51				1	1	V 36,5	36,5
n° 52				1	1	V 44,5	44,5
n° 53				1	1	V 59	59
n° 54				1	1	V 40	40
n° 55				1	1	V 39	39
n° 61				1	1	V 20	20
n° 62				1	1	V 36	36
n° 63				1	1	V 63	63
n° 64				1	1	V 40	40
n° 65				1	1	V 43	43
n° 66				1	1	V 52,5	52,5
n° 67				1	1	V 70,5	70,5
n° 68				1	1	V 34	34

C-24

n° 68		1	1			1	1	V	34		34
n° 69		1	1			1	1	V	71,5	DIAM	71,5
n° 70		1	1			1	1	V	42	46	42
46	36- Amiens										46
	NORD GAULIF										46

C-25

182	Amiens					1					33,5		33,5
244	Amiens					1					54,5		54,5
254	Amiens		1								71		71
255	Amiens			1							75		75
262	Amiens					1					59		59
263	Amiens					1					54		54
264	Amiens					1					64		64
265	Amiens					1					58		58
266	Amiens					1					52	DIAM	52
267	Amiens					1					56	34	56
43	BEAUVAIS	41					1	1			38,5		38,5
44	BEAUVAIS		1				1	1			42		42
45	BEAUVAIS						1	1			42		42
46	BEAUVAIS		1				1	1			42		42
47	BEAUVAIS						1	1			45		45
48	BEAUVAIS		1				1	1			47	DIAM	47
49	BEAUVAIS						1	1	1		55	7	55
147	Beauvais					1			1		40		40
148	Beauvais		1				1		1		41		41
149	Beauvais		1				1		1		46		46
150	Beauvais		1				1		1		-		-
151	Beauvais		1				1		1		-		-
256	Beauvais		1	1			1		1		60		60
257	Beauvais		1	1			1		1		65		65
258	Beauvais		1	1			1		1		78,5	DIAM	78,5
259	Beauvais		1	1			1		1		80	7	80
70	Boulogne	42				1		1			42	DIAM	42
101	Boulogne			1			1	1			30	2	30
132	Boulogne					1			1		37,5	DIAM	37,5
260	Boulogne			1			1		1		59	2	59
89	Amiens	43					1	1			50		50
94	Amiens					1			1		50,5		50,5
95	Amiens					1		1			52	DIAM	52
96	Amiens					1		1			50	28	50
103	Amiens		1				1		1		42		42
104	Amiens		1				1		1		42		42
137	Amiens		1				1		1		49		49
138	Amiens					1			1		48		48
139	Amiens					1			1		47		47
140	Amiens					1			1		41		41
141	Amiens					1			1		40		40
142	Amiens					1			1		40		40
143	Amiens					1			1		39		39
144	Amiens					1			1		37		37
145	Amiens					1			1		45		45
146	Amiens					1			1		51,5		51,5
154	Amiens		1				1		1		45		45
156	Amiens		1				1		1		48		48
157	Amiens		1				1		1		31,5		31,5
158	Amiens					1			1		48,5		48,5
160	Amiens			1			1		1		47,5		47,5
161	Amiens			1			1		1		45		45
176	Amiens		1				1		1		30		30
177	Amiens					1			1		39		39
178	Amiens					1			1		33		33
179	Amiens					1			1		32		32
180	Amiens					1			1		30		30
181	Amiens					1			1		29		29
182	Amiens					1			1		33,5		33,5
102	Reims	43	1				1	1			44		44
50	Reims					1			1		40		40
59	Reims					1			1		47		47
71	Reims			1			1		1		42		42
72	Reims			1			1		1		48		48
74	Reims					1			1		41,5		41,5
75	Reims					1			1		36		36
80	Reims		1				1		1		30		30
82	Reims		1				1		1		54		54
83	Reims					1			1		46	DIAM	46
93	Reims					1			1		42	11	42
133	REIMS					1			1		43		43
134	REIMS					1			1		43,5		43,5
135	REIMS					1			1		48		48
136	REIMS		1				1		1		41		41
152	REIMS					1			1		48		48
153	REIMS					1			1		43		43
159	REIMS					1			1		48		48
172	REIMS					1			1		38,5		38,5
173	REIMS		1				1		1		42	DIAM	42
261	REIMS			1			1		1		69	10	69
64	BAVAY	44				1		1			35		35
65	BAVAY			1			1		1		36		36
66	BAVAY			1			1		1		39		39
67	BAVAY			1			1		1		40		40
68	BAVAY			1			1		1		42		42
69	BAVAY			1			1		1		42		42
90	BAVAY		1				1		1		37		37
91	BAVAY					1			1		32		32
92	BAVAY					1			1		50		50
97	BAVAY					1			1		52		52
98	BAVAY					1			1		54	DIAM	54
100	BAVAY		1				1	1			44	12	44
109	BAVAY					1			1		33		33
110	BAVAY					1			1		38		38
111	BAVAY					1			1		39		39
112	BAVAY					1			1		39		39
113	BAVAY					1			1		42		42
114	BAVAY					1			1		41		41
115	BAVAY					1			1		41		41
116	BAVAY					1			1		41		41
117	BAVAY					1			1		43,5		43,5
118	BAVAY					1			1		44		44
119	BAVAY					1			1		45		45
120	BAVAY					1			1		47,5		47,5
121	BAVAY					1			1		56		56
123	BAVAY					1			1		52		52
124	BAVAY					1			1		54		54
125	BAVAY					1			1		-		-

C-27

125	BAVAY			1	1	1	-	-
126	BAVAY			1	1	1	50	50
127	BAVAY			1	1	1	43	43
128	BAVAY			1	1	1	40	40
129	BAVAY			1	1	1	40	40
130	BAVAY			1	1	1	53	53
131	BAVAY			1	1	1	33	33
169	BAVAY		1		1	1	35	35
170	BAVAY		1		1	1	38	38
245	BAVAY			1	1	1	60	60
246	BAVAY			1	1	1	60	60
247	BAVAY			1	1	1	67	67
248	BAVAY			1	1	1	66	66
249	BAVAY			1	1	1	71	71
250	BAVAY			1	1	1	67	67
251	BAVAY			1	1	1	68	68
252	BAVAY			1	1	1	71	71
253	BAVAY			1	1	1	-	-
<hr/>								
73	SOISSONS	45	1		1	1	48	48
76	SOISSONS			1	1	1	34	34
77	SOISSONS			1	1	1	39	39
78	SOISSONS			1	1	1	35,5	35,5
79	SOISSONS			1	1	1	31,5	31,5
<hr/>								
174	Soissons			1	1	1	33,5	33,5
175	Soissons			1	1	1	35,5	35,5
268	Soissons			1	1	1	67	67
269	Soissons			1	1	1	54,5	54,5
270	Soissons			1	1	1	54	54
271	Soissons			1	1	1	54	54
<hr/>								
105	Arras	46	1		1	1	52	52
106	Arras		1		1	1	40	40
107	Arras		1		1	1	33	33
108	Arras		1		1	1	45	45
154	168		1	1		1	46	46

C-28

ARG.001	ARGENTOMAGUS			1	1	1	40	40
ARG.004	n° 46			1	1	1	30	30
ARG.005	FR - Centre (36)		1		1	1	52	52
ARG.007				1	1	1	30	30
ARG.014	NR = 63		1	1		1	48	48
ARG.015	47			1	1	1	46	46
ARG.016				1	1	1	42	42
ARG.017			1		1	1	45	45
ARG.018				1	1	1	40	40
ARG.019				1	1	1	30	30
ARG.020			1		1	1	44	44
ARG.010			1	1		1	40	40
ARG.011			1		1	1	42	42
ARG.013			1		1	1	-	-
ARG.21			1		1	1	49	49
ARG.22			1		1	1	46	46
ARG.23			1	1		1	48	48
ARG.26			1		1	1	46	46
ARG.28			1		1	1	56	56
ARG.29				1	1	1	45	45
ARG.30			1		1	1	40	40
ARG.33			1		1	1	40	40
ARG.38			1		1	1	32	32
ARG.050			1		1	1	48	48
ARG.051			1		1	1	46	46
ARG.41			1		1	1	50	50
ARG.42			1		1	1	52	52
ARG.43			1	1		1	50,5	50,5
ARG.44			1		1	1	48	48
ARG.45			1		1	1	50	50
ARG.46			1		1	1	50	50
ARG.47			1		1	1	30	30
ARG.48			1		1	1	38	38
ARG.49			1		1	1	41	41
ARG.031			1		1	1	43	43
ARG.032			1		1	1	50	50
ARG.035			1		1	1	40	40
ARG.036			1		1	1	48	48
ARG.037			1		1	1	46	46
ARG.039			1		1	1	44	44
ARG.040			1		1	1	48	48
ARG.053			1		1	1	55	55
ARG.054			1		1	1	48	48
ARG.055			1	1		1	45	45
ARG.056			1		1	1	52	52
ARG.057			1		1	1	48	48
ARG.058			1		1	1	42	42
ARG.059			1		1	1	48	48
ARG.060			1		1	1	30	30
ARG.061			1		1	1	40	40
ARG.062			1		1	1	47,5	47,5
ARG.063			1		1	1	40	40
ARG.064	468		1		1	1	42	42
ARG.065			1	1		1	33	33

C-29

ARG 064	468			1		1	1	42	42
ARG 065				1		1		32	32
ARG 066							1	46	46
ARG 067			1			1		42	42
ARG 070							1	30	30
FL-001			1			1		43	43
FL-002			1			1		43,5	43,5
OU-001				1		1		46	46
OU-002					1	1		48	48
62 ARG 069							1	40,5	40,5
AVENCHES									
1-X/2110				1		1		43,5	43,5
2-X/2186	Suisse W - Musée			1		1		43,5	43,5
3-X/2190	n° 70			1		1		42	42
4-X/2191	NR = 134			1		1		44,5	44,5
5-X/2194				1		1		43	43
6-X/2289	48			1		1		45	45
7-X/2291				1		1		45	45
8-X/2292				1		1		43,5	43,5
9-X/2310				1		1		40	40
10-X/2311				1		1		40,5	40,5
11-X/2455				1		1		52,5	52,5
12-X/2456				1		1		48	48
13-X/2458				1		1		44	44
14-X/2492				1		1		43	43
15-X/2555				1		1		42	42
16-X/2564				1		1		42	42
17-SA/198.A				1		1		44	44
18-89/7589-1				1		1		45	45
19-93/9412-24				1		1		43,5	43,5
20-94/9583-5, 9680-3				1		1		45	45
21-95/9795-1				1		1		42	42
22-96/10064-1				1		1		44	44
23-97/10396-2				1		1		42	42
24-01/11146-1				1		1		44,5	44,5
25-03/11642-1A				1		1		43	43
26-03/12598-1				1		1		45,5	45,5
27-03/12848-1				1		1		44	44
28-97/10303-7				1		1		43	43
29-99/10795-1				1		1		42	42
30-03/12804-5				1		1		43	43
31-90/7831-1				1		1		41	41
32-96/10062-1				1		1		45	45
33-95/8746-8				1		1		43	43
34-90/8274-2				1		1		46	46
35-85/35				1		1		44	44
36-X/2556				1		1		39	39
37-91/8352-9				1		1		41	41
38-87/7355-1				1		1		42,5	42,5
39-X/2187				1		1		41	41
40-X/2192				1		1		43,5	43,5
41-X/2290				1		1		42	42
42-X/2324				1		1		43	43
43-X/2457				1		1		44	44
44-85/36				1		1		43	43

C-30

44-85/36				1		1		43	43
45-95/8736-4.B	AVENCHES			1		1		43,5	43,5
46-02/11555-1				1		1		43	43
47-90/7864-16				1		1		41	41
48-X/2313				1		1		43	43
49-85/33				1		1		44	44
50-91/9019				1		1		-	-
51-96/10069-2				1		1		40	40
52-96/10168-1				1		1		44	44
53-97/10394-1				1		1		45	45
54-X/2365				1		1		45	45
55-X/2572				1		1		40	40
56-03/12499-2				1		1		42	42
57-X/2554				1		1		39,5	39,5
58-94/8735-1			1	1		1		47	47
59-03/12842-1			1	1		1		47	47
60-04/13151-7				1		1		36	36
61-96/10108				1		1		37	37
62-X/2334				1		1		41	41
63-X/2548				1		1		37,5	37,5
64-93/9289-5			1	1		1		34	34
65-X/2193				1		1		44	44
66-X/2285				1		1		44,5	44,5
67-X/2308				1		1		45	45
68-X/2463				1		1		42	42
69-X/2460				1		1		43	43
70-X/2287				1		1		42,5	42,5
71-X/2462				1		1		43	43
72-X/2184				1		1		44,5	44,5
73-X/2786				1		1		43	43
74-X/2288				1		1		42	42
75-X/2309				1		1		43	43
76-X/2321				1		1		44	44
77-X/2582				1		1		42,5	42,5
78-X/2583				1		1		44,5	44,5
79-SA/198.B				1		1		42	42
80-03/12496-1				1		1		44,5	44,5
81-94/8856-1				1		1		45	45
82-87/6363-2				1		1		43	43
83-X/2189				1		1		42	42
84-87/7471-1				1		1		44	44
85-85/37.8				1		1		43	43
86-03/12801-A				1		1		44	44
87-85/32				1		1		43	43
88-X/2546				1		1		42,5	42,5
89-95/8736-4.A				1		1		42	42
90-95/9794-1				1		1		46	46
91-95/9796-1				1		1		42	42
92-95/9796-1				1		1		42	42
93-X/2557				1		1		43	43
94-X/2323				1		1		45	45
95-X/2111				1		1		41	41
96-X/2112				1		1		44	44
97-X/2284				1		1		40	40
98-X/2459				1		1		43,5	43,5
99-X/2322				1		1		41	41

C-31

99-X/2322				1	1	1	41	41	41
100-X/2461				1	1	1	47	47	47
101-94/8821-27				1	1	1	-	-	-
102-85/37A				1	1	1	45	45	45
103-70/7724				1	1	1	40	40	40
104-X/2547				1	1	1	42	42	42
105-95/8736				1	1	1	44	44	44
106-91/9003-4				1	1	1	-	-	-
107-X/2349				1	1	1	43	43	43
108-X/2363,2364				1	1	1	44	44	44
109-X/2571.A				1	1	1	44	44	44
110-96/10069-1				1	1	1	44	44	44
111-02/11763-1				1	1	1	44	44	44
112-96/10035				1	1	1	46	46	46
113-X/2358				1	1	1	45	45	45
114-87/7387-1				1	1	1	45	45	45
115-90/8274-1				1	1	1	43	43	43
116-91/8355-8				1	1	1	44	44	44
117-03/12801-B				1	1	1	43	43	43
118-X/2348				1	1	1	44	44	44
119-X/2585				1	1	1	47	47	47
120-93/9292-4				1	1	1	44	44	44
121-X/2571.B				1	1	1	-	-	-
122-X/2359				1	1	1	40	40	40
123-X/2360				1	1	1	44	44	44
124-95/8746-A				1	1	1	-	-	-
125-85/30, 31				1	1	1	-	-	-
126-X/2362				1	1	1	46	46	46
127-X/2306				1	1	1	39	39	39
128-X/2307				1	1	1	39	39	39
129-X/2333				1	1	1	43	43	43
130-X/2185			1	1	1	1	40	40	40
131-91/7908-1			1	1	1	1	39	39	39
132-X/2211			1	1	1	1	44	44	44
133-72/3914			1	1	1	1	40	40	40
134 137-96/10015-B 10107				1	1	1	58	58	58
								DIAM 128	

C-32

FIG.6-1				1	1	1	V	35	45	45
FIG.6-2	BEZANNES	LT ?	75/100 µC	1	1	1	V	32	36	36
FIG.6-3		LT ?	LT-0 / 1 µC	1	1	1	V	45	45	45
FIG.6-4	(FR - 51)			1	1	1	V	37	40	40
FIG.6-5			1 µC	1	1	1	V	36	40	40
FIG.6-6	N° 81		1 µC	1	1	1	V	36	36	36
FIG.6-7	NR = 26			1	1	1	V	40	42	42
FIG.6-12		LT ?	LT-0 / 1 µC	1	1	1	V	49	49	49
FIG.6-13	49		1 µC	1	1	1	V	40	45	45
FIG.6-14			1 µC	1	1	1	V	37	40	40
FIG.6-15			75/100 µC	1	1	1	V	47	47	47
FIG.6-16			75/100 µC	1	1	1	V	44,5	44,5	44,5
FIG.6-17			ca. 100 µC	1	1	1	V	50	52	52
FIG.6-18			100 µC	1	1	1	V	45	48	48
FIG.6-21			110-160 µC	1	1	1	V	40	40	40
FIG.6-23			75/100 µC	1	1	1	V	38	41	41
FIG.6-8			75/100 µC	1	1	1	V	41	41	41
FIG.6-9		LT ?	15 µC//0	1	1	1	V	40	38	40
FIG.6-10			1 µC	1	1	1	V	40	40	40
FIG.6-11		LT ?	LT-0 / 1 µC	1	1	1	V	39	39	39
FIG.6-19			250-350 µC	1	1	1	V	44	38	44
FIG.6-20			ca. 100 µC	1	1	1	V	50	50	50
FIG.6-22			250-350 µC	1	1	1	V	43	43	43
FIG.6-24			75/100 µC	1	1	1	V	40	30	40
FIG.6-25			1 µC	1	1	1	V	50	46	50
26 FIG.6-26			250-350 µC	1	1	1	V	69	69	69
51-016 C132	REIMS	?	?	1	1	1	V	67,5	67,5	67,5
51-015 C146	(JODRY 2017)	?	?	1	1	1	V	70,5	70,5	70,5
MR349 51-284	(FR - 51)	?	?	1	1	1	V	47	47	47
51-285	N° 80	?	?	1	1	1	V	47	47	47
51-035	NR = 11	?	?	1	1	1	V	43	41	43
51-298		?	?	1	1	1	V	40	40	40
51-038	50	?	?	1	1	1	V	43	43	43
51-042		?	?	1	?	?	IV ?	37	34	37
51-309		?	?	1	1	1	V	44	44	44
51-304		?	?	1	1	1	V	40	35	40
51-313		?	?	1	1	1	V	42	42	42
11 Str.395, US.550, Tr.8	GONDOLE	LT - D2b		1	1	1	V	38	38	38
Str.631, US.664, Tr.8	(FR - 63)	LT - D2b		1	1	1	V	36,5	36,5	36,5
Str.1002, US.1062, Tr.13 -cw	N° 93	LT - D2b		1	1	1	V	35,5	36,5	36,5
4 HS, Tr.5	51			1	1	1	V	36	36	36
									DIAM 11	
									DIAM 4	

YMO 0001 - fossé	YMONVILLE	LT-C2	1	1		V	37	37	37
YMO 0002 - silo	(FR-28)	LT-B2	1			V	36	36	36
YMO 0003 - fossé		LT-C1/C2	1	1		V	35	35	35
YMO 0004 - fossé	n° 94	LT-D	1	1		V	37	37	37
YMO 0005 - fossé		LT-C1/C2	1	1		V	37	37	37
YMO 0006 - silo	NR = 18	LT-C	1	1		V	32	32	32
YMO 0007 - HS		LT-C ?	1	1		V	34	34	34
YMO 0008 - fossé	52	LT-C1	1	1		-	39	39	39
YMO 0009 - TP		LT-C2/D1	1	1		-	37	37	37
YMO 0010 - fossé		LT-C2/D2	1	1		-	37	37	37
YMO 0012 - silo		LT-C	1	1		V	39	25	39
YMO 0013 - fossé		LT-D1	1	?		V	32	22	32
YMO 0014 - silo		LT-B2/C1	1	?		V	32	23,5	32
YMO 0015 - fossé		LT-B2/C1	1	1		V	35	29	35
YMO 0016 - silo		LT-B/C2	1	1		V	30	16	30
YMO 0017 - fosse		LT-D	1	1		V	35	29	35
PRA.0001 - fossé	PRASVILLE	LT-D	1	1	1	V	29	37	37
PRA.0002 - fossé	(FR-28)	LT-D1	1	1	1	V	36	33,5	33,5
PRA.0003 - silo	n° 95	LT-D1	1	1	1	V	35	30,5	35
PRA.0004 - fossé		LT-D1	1	1	1	V	33	31	33
PRA.0005 - fossé	NR = 8	LT-D1	1	1	1	V	32	28	32
PRA.0006 - silo		LT-C2	1	1	1	V	28	23	28
PRA.0007 - fossé	53		1	1	1	V	42	42	42
PRA.0008 - fossé		1 pC 15-50 pC	1	1	1	V	42	42	42
45-SAR.0007 (2006, F.782)	SARAN (FR-45)	LT-D	1	1	1	V	36	36	36
45-SAR.0010 (2006, F326) F	n° 96 (NR 22)	ROM	1		1	V	36	36	36
45-SAR.0011 (F 3518)	54	LT-D2	1		1	V	36	36	36
2006-TR.28-F7	MOULIN GEARGEOT	LT-D1	1	?		V	32	21	32
Z1-F3	(FR-28)	LT-D1	1	1	1	V	36	30	36
GEARGEOT 4	n° 97	LT-D1	1	1	1	V	29	19	29
GEARGEOT 5	NR 6	LT-D1	1	1	1	V	29	17	29
GEARGEOT 6	55	LT-D1	1		1	V	32	27	32
B.992.9.1315.127	BIBRACTE		1	1			40,5		40,5
B.993.9.1800.123-124	sauf REBOUT		1	1			40		40
B.993.9.1800.125	(FR-58)		1	1			40,5		40,5
B.985.6.9.6	n° 36		1	1			44,5		44,5
B.991.6.484.1			1	1			43		43
B.987.5.1.109	NR = 23		1	1			32,5		32,5
B.987.9.44.88			1	1			37,5		37,5
B.988.5.6.37-993.2.232.7	56		1	1			39,5		39,5
B.2001.30.984.2			1	1			39,5		39,5
B.987.5.3.230			1	1			38,5		38,5
B.993.15.242.7			1	1			42		42
B.2001.9.7448.56			1	1			45		45
B.2003.9.8749.1			1	1			36		36
B.2008.32.2877.1			1	1			38,5		38,5
B.2008.9.11042.2			1	1			38,5		38,5
B.997.9.4137.1			1	1			40,5		40,5
B.2002.9.7646.13			1	1			37		37
B.2007.9.10439.7			1	1			39		39
B.989.7.4686.1			1	1			39,5		39,5
B.992.9.1314.27			1	1			35,5		35,5
B.993.9.1800.128			1	1			38,5		38,5
B.2006.9.9728.14			1	1			42		42
B.990.9.654.120			1	1			39,5		39,5

1	CERRO de la		1	1	1		50,5		50,5
2	CRUZ (BC)		1	1	1		ca. 38		38
4	(ESP -Andal.)		1	1	1		34,5		34,5
5	n° 6		1	1	1		59		59
7			1	1	1		29		29
8	NR = 30		1	1	1		30		30
9			1	1	1		55		55
10	57		1	1	1		38		38
13			1	1	1		45		45
17			1	1	1	1	56		56
18			1	1	1	1	53		53
19			1	1	1	1	50		50
21			1	1	1	1	59		59
23			1	1	1	1	35		35
24			1	1	1	1	55		55
26			1	1	1	1	52,5		52,5
6	TOULOUSAIN LT	LTD2	1		1		36		36
8	(FR-31)	LTD2	1		1		40		40
16		LTD2	1		1		37		37
22	n° 3	LTD2	1		1		35		35
24		LTD	1		1		42		42
33	NR = 98	LTC2-D	1		1		38,5		38,5
35		LTC2-D	1		1		35,5		35,5
36	58	LTC2-D	1		1		37		37
41		LTD2	1	1	1		40		40
42		LTC2	1	1	1		42		42
43		LTD2	1	1	1		36		36
45		LTB2-C1	1	1	1		33		33
47		LTB2-C1	1		1		38		38
70		LTD	1		1		37		37
73		LTD	1		1		35		35
75		LTD2	1		1		38,5		38,5
79		LTD2	1		1		41		41
80		LTD1	1		1		48		48
81		LTD1	1		1		35,5		35,5
82		LTD	1		1		39		39
83		LTD2	1	1	1		38,5		38,5
88		LTB2-C1	1	1	1		38		38
91		LTD2	1	1	1		40		40
92		LTD	1	1	1		40		40
96		LTD1	1	1	1		38,5		38,5
1		LTD2	1		1	1	35		35
3		LTD2	1		1	1	40,5		40,5
4		LTD2	1		1	1	32		32
11		LTD2	1	1	1	1	35		35
34		LTC2-D	1		1		34		34
37		LTC2-D	1		1		44		44
44		LTD1	1		1		38		38
46		LTB2-C1	1	1	1		37		37
71		LTD	1		1		38		38
72		LTD	1		1		37		37
74		LTD2	1		1		36		36
76		LTD2	1		1		40		40
77		LTD2	1		1		41,5		41,5
78		LTD2	1		1		38		38
87		LTD	1		1		36		36
90		LTD2	1		1		34		34
93		LTD	1		1		37,5		37,5
97		LTD1	1	1	1		39		39

43	97	L101	1	1						1					39		43	39
MIN-001	BLOIS La Croupe	LT-D1b-	1							1				V	-	-		-
MIN-002	(FR - 41)	LT-D1b-	1							1	1			V	39	39		39
MIN-004		LT-D1b-	1									1		V	38	38		38
MIN-005	n° 99	LT-D1b-	1									1		V	38	38		38
MIN-007		LT-D1b-	1										1	V	33	33		33
MIN-010	NR = 35	LT-C2	1										1	V	36	36		36
MIN-013		LT-D1b-	1										1	V	38	27,5		27,5
MIN-015	59	LT-D1b-	1										1	V	33	33		33
MIN-020		LT-D1b+	1										1	V	40	40		40
MIN-023		LT-D1b-	1										1	V	40	40		40
MIN-024		LT-C2	1										1	V	35	35		35
12	MIN-030	LT-D1b+	1										1	V	37	37		37

DIAM. 1 DIAM. 2
NF. ou maxi. Autre

1538	59 sites d'Utilisation	489	248	487	88	1	724	2	49,5	1353	810	678	19	1483			1 483	61 300
		33%	17%	33%	6%	0%	49%	0%	3%	91%	55%	46%	1%	Total				41,34
		CHRONO		TYPE ROCHE				ETAT		TYPE Meule			UTILI-					
		LT	ROM	VOLCA.	PLUTO.	GRENAT	SEDIM.	Ebauche	Neuf	Utilisé	CAT	META	INDET.	SATION				

Métrologie du Diamètre Moyen Total **41,34**
 24 DGT = 27,56 Pied de 27,5
 23 DGT = 28,75 proche du Pied de 28,5
 22 DGT = 30,06 Pied de Salamis 1 (30,1)

CHAPITRE . 11

Les HAUTEURS des MRB

Par hauteur d'une meule on entend ici son épaisseur maximale, généralement mesurée au centre pour les *Metae* et sur le flanc pour les *Catilli*¹. La hauteur d'une meule rotative est un paramètre soumis à l'usure, elle diminue au fur et à mesure de l'utilisation. Lorsqu'elle est totalement usée, une MRB est réduite à une épaisseur minimale ou Hauteur Passive incompressible (HPi – voir CHAP.9 et 17). Par conséquent nous nous intéresserons ici d'abord à la hauteur à neuf des meules, c'est-à-dire celle qui peut être observée sur les exemplaires neufs ou non utilisés. Nous pourrions ainsi saisir l'éventail des hauteurs tel qu'il est issu de la fabrication, et formuler quelques remarques sur le comportement des hauteurs dans l'espace et le temps.

On n'approfondira pas la comparaison entre la hauteur des *Metae* et celle des *Catilli* qui fait l'objet d'une approche détaillée dans le chapitre consacré à la Hauteur Utile (CHAP.17). Cette dernière notion, qui constitue l'une des propositions importantes du présent mémoire, est en effet plus intéressante que la hauteur en elle-même. Il est d'ailleurs possible que ce soit elle qui détermine la hauteur totale des meules et non l'inverse.

Nous situerons également les hauteurs d'Orvieto, dont on verra le caractère particulier, puis aborderons certains aspects de la hauteur telle qu'on peut l'observer dans les ensembles d'utilisation des meules. Il s'agira notamment de la valeur de l'épaisseur passive incompressible, de l'allure du spectre des hauteurs sur les sites d'utilisation ainsi que de la présence d'une fraction de meules neuves. Ces notations contribueront à l'approche de l'usure (développée au CHAP.18).

1. Les Hauteurs sur les ateliers meuliers

¹ Lorsqu'il est nécessaire, on a distingué dans le présent travail les différentes Hauteurs : H (Hauteur maxmale), HNF (Hauteur à Neuf), Hr (Hauteur restante, observable), HU (Hauteur Utile), HUr (Hauteur Utile restante), HFL (Hauteur du Flanc), HOE (Hauteur de l'Œil). La mention simple H, sans autre codage, correspond à la Hauteur maximale observable, elle correspond à HNF lorsqu'il est évident qu'il s'agit d'une meule d'atelier et à Hr pour une meule utilisée. Cette nomenclature a été exposée au CHAP.9 relatif à la géométrie et aux Paramètres configurants des MRB. Le terme *hauteur* est équivalent à celui d'*épaisseur*.

UN STANDARD MAJORITAIRE : 8-10 DOIGTS

1. Les données de 17 ateliers ont pu être exploitées et correspondent à un total de 552 meules fournissant 442 mesures de hauteur (Fig.1). La moyenne générale des hauteurs² s'établit à 18,60 cm (soit ca. 10 dgt) et varie (Fig.2) de 9,62 à 29,33 cm c'est-à-dire de 5 à 16 doigts, soit environ de ¼ de pied à 1 pied. La variation est donc considérable et traduit l'existence de cultures géométriques distinctes, celles des meules minces et celles des meules épaisses. Ces cultures ou traditions se déclinent en 3 groupes. En effet, 5 ateliers (29%) totali-

Figure 1 : Table du corpus des 17 ateliers livrant les données sur la hauteur

HAUTEUR des MRB - ATELIERS							
N°	NOM	Chronologie	Meules	\bar{x} H	\bar{x} H CAT	\bar{x} H MET	balance
2	ORVIETO	IV? - I? aC	55	22,57	18,79	25,3	+ 6,51
5	ELS VILARS	V - IV aC	28	29,33	23,5	37,75	+ 14,25
29	AVRILLY	AUGUSTE	22	16,07	18,57	15,5	+ 3,07
33	HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	10	10,3	10,61	-	-
34	Le CHAUDRY	LT - II pC ?	47	17,29	17,4	20,79	+ 3,39
38	Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	65	15,60	13,80	13,95	+ 0,15
40	PORTUS	LT - ROM	25	26,83	21,5	27,2	+ 5,7
50	La SALLE	LT - ROM	8	9,62	9,57	-	-
58	AGDE	IV ? aC - II? pC	21	11,91	11,93	11,89	+ 0,04
64	La MAREZE	LT - ROM	12	19,54	17,8	20,79	+ 3
67	CHABLES	70 -120 pC	106	11,31	-	-	-
68	EIFEL Mangartz	I - IV pC	57	16,92	16,7	17,33	+ 0,63
73	La LANDE, La VERNE	I pC	25	13,9	16	13,3	+ 2,7
74	AUTUN Fbg d' Arroux	I pC	11	18,33	21,25	16,38	+ 4,87
76	OBERNAI	LT - D	6	14,5	15,13	-	-
86	BAD NAUHEIM	II? aC - I pC	42	12,03	13,03	11,53	+ 1,5
17 87	BORKEN	LT-D / I aC	12	17,08	-	-	-
			552				

sant 102 hauteurs (23%) se situent sur 9 à 12 cm d'épaisseur et représentent les fabrications minces.

Un groupe plus fourni de 9 ateliers (53%) totalisant 233 hauteurs (53%) représente les fabrications les plus courantes, situées entre 14 et 19 cm. Elles sont centrées sur 8 dgt (1/2 pied) et jusqu'à 10 dgt. Elles caractérisent les épaisseurs qu'on dira standard.

Enfin 3 ateliers sur les 17 (18%) - Orvieto, Els Vilars, Portus - regroupent 107 hauteurs (24%) situées vers 1 pied (12 à 16 dgt),

ils sont caractérisés par des épaisseurs très fortes.

2. Ce dernier groupe est trop particulier pour ne pas appeler des explications spécifiques. Les deux premiers sites sont anciens (V-IV^e s. aC pour Els Vilars, sans doute IV-II^e s. plutôt que II-I^{er} s. aC pour Orvieto) et comprennent une forte proportion de *Metae* épaisses à fonction support. A Els Vilars la plupart des *Catilli* sont également épais, contrairement à Orvieto. L'atelier de Portus se singularise quant à lui à la fois par de fortes hauteurs et de forts diamètres (moyenne 49,48 cm), ce qui traduit des meules particulières dans leur fonctionnalité (emploi industriel et motion hydraulique?) et sans doute dans leur chronologie (période romaine avancée?).

Figure 2 : Distribution & Métrologie de la Hauteur moyenne sur chaque atelier



Les meules de forte épaisseur sont différentes pour la période ancienne où elles s'inscrivent dans une tradition ibérique spécifique de meules très hautes qui va assez rapidement disparaître, au cours de la période IV^e-III^e s. aC. On manque de données sur les ateliers de l'intervalle 500-200 aC mais on remarquera que des ensembles d'utilisation, tels que

² Calculée sur 371 mesures d'un échantillon composé des 15 sites suivants : Portus, La Lande-La Vernhe, Eifel 2008, Bad Nauheim, Borken, Agde, Obernai, Autun-Arroux, La Marèze, Châbles, les Fossottes, Els Vilars, Le Chaudry, Orvieto ainsi que l'épave d'Illa Pedrosa.

celui de Lattes, pourraient comporter des meules dont les hauteurs à neuf seraient analogues à celles d'Orvieto ou viendraient se placer en limite supérieure du groupe médian situé sur des hauteurs de 8-10 dgt³.

Pour les périodes suivantes, et notamment l'époque romaine, les meules de forte épaisseur devenaient rares à en croire le panel d'ateliers considéré qui traduit parallèlement et pour une petite partie des ateliers, un phénomène tendanciel d'amincissement comme nous le verrons ci-dessous.

3. Si l'on compare *Metae* et *Catilli* issus des ateliers, la moyenne des hauteurs⁴ est de 21,03 cm pour les *Metae* (soit 11-12 dgt) et de 23,27 cm pour les *Catilli* (soit 12-13 dgt). La hauteur moyenne des meules est donc centrée sur $\frac{3}{4}$ de pied (12 dgt). La différence entre *Metae* et *Catilli* est de 2,24 cm soit de l'ordre de 1 dgt ou un peu plus. Les *Catilli* apparaissent en moyenne un peu plus épais que les *Metae* ce qui ne correspond pas aux données du tableau et laisse entrevoir des situations contrastées, certains ateliers produisant des *Metae* plus épaisses que les *Catilli*, et d'autres l'inverse. Par ailleurs ces moyennes sont de 3 à 5 cm plus fortes que la moyenne générale (18,60) établie sur un nombre plus important de meules (371) qui inclut à la fois *Metae*, *Catilli* et meules de genre indéterminé. Cela montre que l'échantillon est sensible à la part de meules minces qui est prise en compte et qu'un effectif de l'ordre de 400 mesures sur un échantillon de près de 600 meules n'est pas un seuil quantitativement suffisant pour obtenir des valeurs stabilisées insensibles à la prise en compte de nouveaux assemblages.

4. Le fait important à retenir est que la hauteur moyenne d'une MRB neuve se situe sur 19 cm ce qui correspond à 10 doigts et qu'elle monte régulièrement sur 12 doigts soit $\frac{3}{4}$ de pied. Cette situation traduit bien l'existence de contrastes entre des séries à meules épaisses (12 dgt) et des séries situées dans une tradition de minceur (5-6 dgt).

Figure 3 : Table des hauteurs moyennes selon la chronologie

ORDRE CHRONOLOGIQUE							
N°	NOM	Chronologie	Meules	\bar{x} H	\bar{x} H CAT	\bar{x} H MET	balance
5	ELS VILARS	V - IV aC	28	29,33	23,5	37,75	+14,25
2	ORVIETO	IV? - I? aC	55	22,57	18,79	25,3	+6,51
58	AGDE	IV? aC - II? pC	21	11,91	11,93	11,89	+0,04
76	OBERNAI	LT - D	6	14,5	15,13	-	-
86	BAD NAUHEIM	II? aC - I pC	42	12,03	13,03	11,53	+1,5
64	La MAREZE	LT - ROM	12	19,54	17,8	20,79	+3
87	BORKEN	LT-D / I aC	12	17,08	-	-	-
34	Le CHAUDRY	LT - II pC ?	47	17,29	17,4	20,79	+3,39
38	Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	65	15,60	13,80	13,95	+0,15
29	AVRILLY	AUGUSTE	22	16,07	18,57	15,5	+3,07
33	HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	10	10,3	10,61	-	-
67	CHABLES	70 - 120 pC	106	11,31	-	-	-
74	AUTUN Fbg d' Arroux	I pC	11	18,33	21,25	16,38	+4,87
73	La LANDE, La VERNE	I pC	25	13,9	16	13,3	+2,7
68	EIFEL Mangartz	I - IV pC	57	16,92	16,7	17,33	+0,63
16 40	PORTUS	LT - ROM	25	26,83	21,5	27,2	+5,7

5. L'examen global des hauteurs en ateliers à partir d'un tableau d'ensemble classé en ordre de minceur croissante (Fig.4) montre quelques traits généraux intéressants :

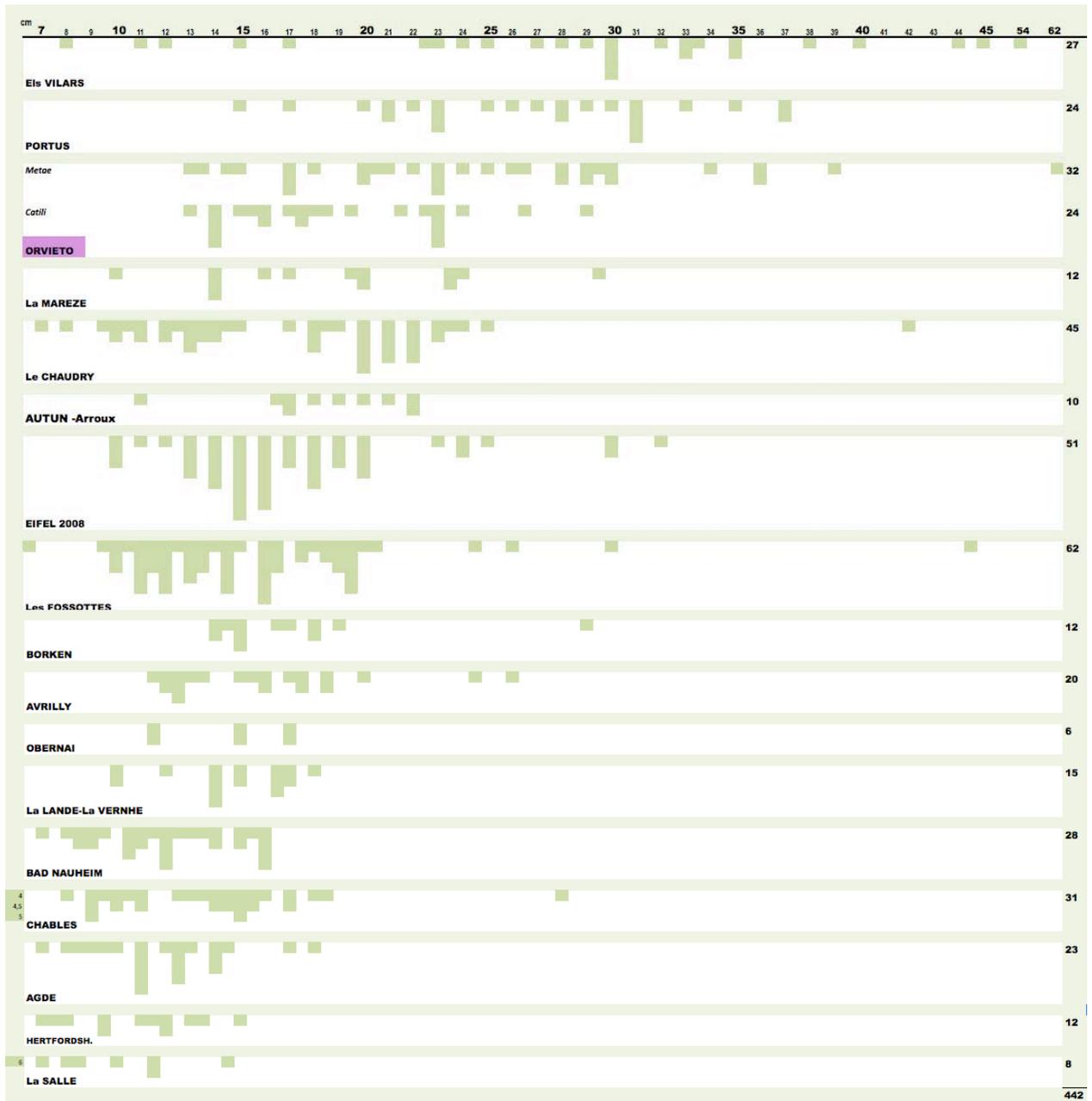
. la plupart des ateliers présentent une étendue principale des hauteurs fabriquées qui est comprise entre 7 et 13 cm, c'est-à-dire entre 1 et 2 palmes (7 et 14 cm pour un pied de 2

. quelques ateliers tels celui du Chaudry, et peut-être celui des Fossottes, montrent une distribution à caractère double, d'une part des hauteurs situées sur 10-15 cm et d'autre part des hauteurs plus épaisses fabriquées entre 18 et 24 cm, c'est-à-dire un groupe de meules minces dont l'épaisseur est réglée par le 2^d palme (4 à 8 dgt soit 7 à 14 cm) et un autre groupe de meules plus épaisses relevant du 3^e palme (8 à 12 dgt soit 14 à 21 cm) ; cette dualité peut correspondre à une production homogène offrant une gamme de deux épaisseurs

³ En effet, de nombreuses meules utilisées de *Lattara* qui relèvent de la période IV-II^e s. aC ont une hauteur comprise entre 11 et 13 cm. Si on double cette valeur, ce qui représente une hypothèse assez maximale de hauteur à neuf, on obtient 22 à 26 cm (22,5 étant la moyenne d'Orvieto) : il n'est donc pas impossible que certains sites comme Lattes, ainsi que Pech Maho ou Ensérune, aient connu des meules de forte épaisseur en leur état initial.

⁴ Moyenne établie sur 123 mesures de *Metae* et 103 mesures de *Catilli* de l'échantillon des 15 sites listés en note 2.

Figure 4 : Distribution des Hauteurs des MRB par atelier – minceur croissante



ou bien à deux périodes dont la première, peut-être plus ancienne, aurait fabriqué en mode épais ;

. enfin, on note que si l'atelier le plus ancien (Els Vilars) correspond aux meules les plus hautes, le classement en ordre croissant de minceur ne produit pas un classement chronologique des ensembles.

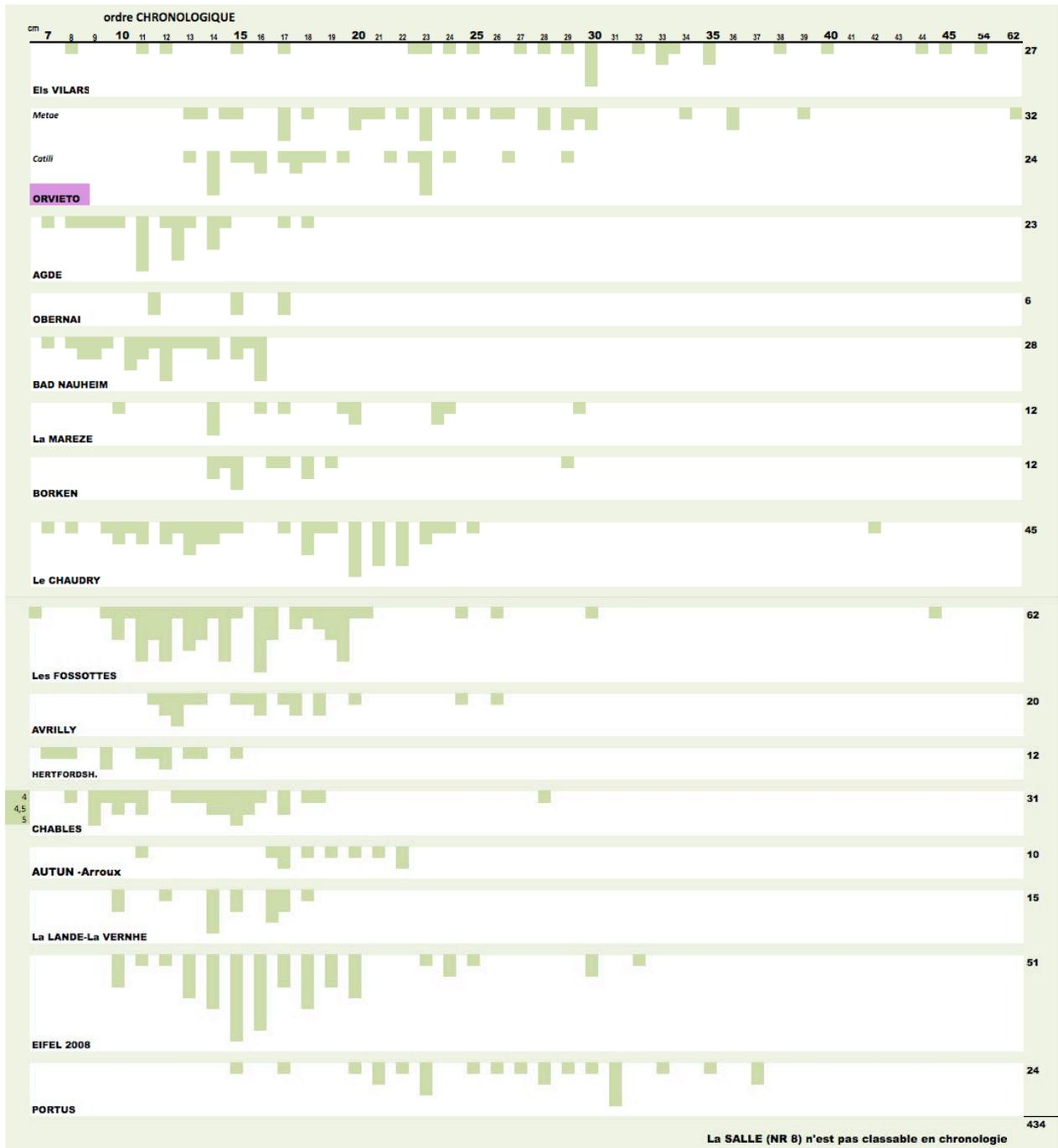
Des HAUTEURS sans SIGNIFICATION CHRONOLOGIQUE ni SPATIALITÉ

6. Le réarrangement de la matrice selon l'ordre tendancielle chronologique des assemblages (table Fig.3 et matrice Fig. 5) confirme en effet que les hauteurs moyennes ne sont pas réglées sur la chronologie. Il apparaît que les meules minces (ca. 5-6 dgt) comme celles très épaisses (ca. 16 dgt soit 1 pied) sont rares : 2 sites pour ces dernières (Els Vilars et Portus) et 3 pour les premières (Borken au Ier s. aC et sans doute Ier pC, Châbles au Ier s. pC, enfin Agde

dont la production débute au moins au IV^e s. aC mais qui est un assemblage chronologiquement composite et comprenant des meules utilisées).

Par ailleurs les deux sites à meules très épaisses sont l'un très ancien (Els Vilars) et l'autre d'époque romaine. Il serait d'ailleurs surprenant que ce dernier soit antérieur à 100 voire 200 pC dans la mesure où il associe comme il est rare à la fois de grands diamètres, une forte épaisseur (26,83 cm soit presque 1 pied) et une très forte conicité (80% des meules ont un angle de 30 à 47° pour une moyenne de 32°), ces caractéristiques suggérant un emploi spécifique, de caractère industriel et à motion hydraulique.

Figure 5 : Classement chronologique des Hauteurs observées sur les ateliers



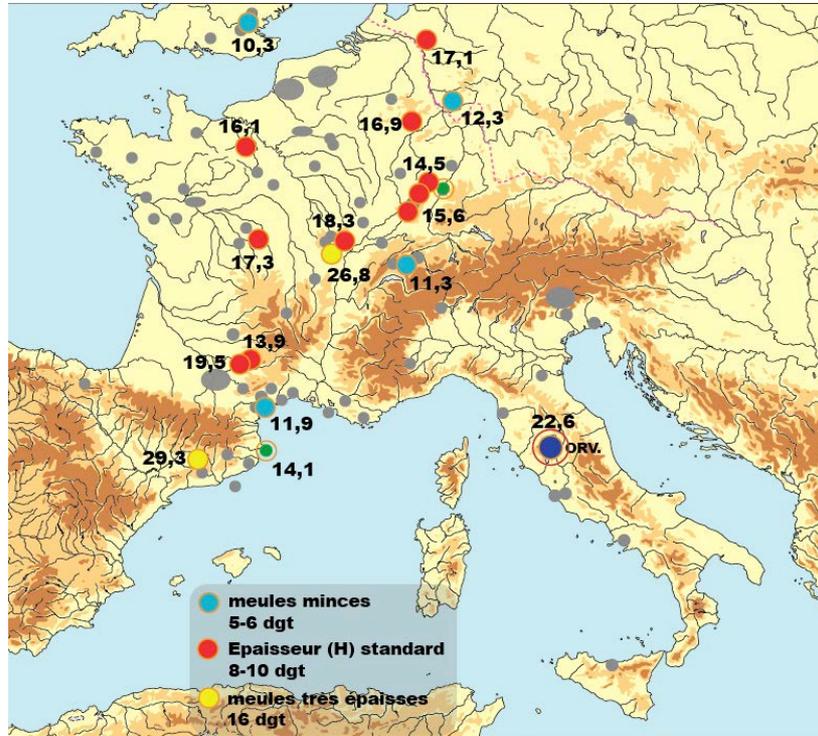
Enfin l'épaisseur moyenne des MRB ne répond pas plus à un schéma géographique (Fig.6) : il n'y a ni zone à meules minces ni zone à meules épaisses et celles d'épaisseur

standard couvrent l'ensemble de l'espace tout en étant présentes à toutes les périodes (voir Fig.7).

Des HAUTEURS relativement INDIFFÉRENTES à la CONICITÉ

Figure 6 :
Distribution spatiale des Meules minces, standard et épaisses

7. Un rapide examen croisant hauteur et conicité moyennes montre en outre (Fig.7) que l'angulation de la surface active des Meules Rotatives Basses ne semble pas non plus expliquer leur épaisseur, même s'il existe une relation très générale : les meules minces ne supportent pas une conicité forte (ce qui est logique car cette dernière tendrait à réduire à néant la hauteur utile de la meule) et les meules de très forte conicité sont des meules épaisses (pour les mêmes raisons – voir CHAP. 9 partie 4 § 24-25).



Mais entre ces deux extrêmes, la relation conicité/épaisseur apparaît relativement libre et fluctuante. Un diagramme croisant hauteur moyenne et conicité moyenne des assemblages (Fig.8) permet de dégager une structure.

Figure 7 : **Conicité & hauteur moyennes des meules (minces, standard, épaisses)**

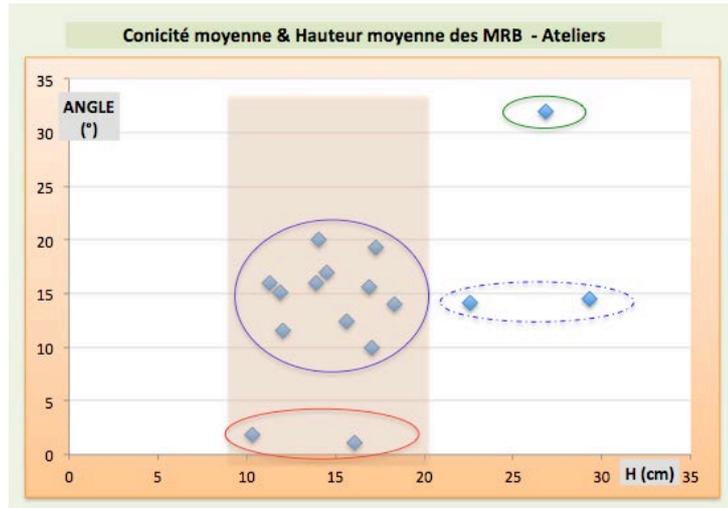
8. L'écrasante majorité des ateliers (14 sur 17 soit 82%) a fabriqué les meules dans une épaisseur comprise entre 10 et 19 cm soit entre 6 et 10 doigts (zone orangée sur la Fig.8) et que nous dirons épaisseur ou hauteur « standard », la plupart étant

HAUTEURS & CONICITÉ des MRB						
ORDRE CHRONOLOGIQUE						
N°	NOM	Chronologie	Meules	\bar{x} Conicité	Angles mesurés	\bar{x} H série
5	ELS VILARS	V - IV aC	28	14,5°	8	29,33 1. EPAISSE
2	ORVIETO	IV? - I? aC	55	14,18°	60	22,57 1. EPAISSE
58	AGDE	IV ? aC - II? pC	21	15,09°	23	11,91 3. MINCES
4	ILLA PEDROSA	II aC	96	20,01°	140	14,08 2. 8-10 DGT
76	OBERNAI	LT - D	6	17°	3	14,5 2. 8-10 DGT
86	BAD NAUHEIM	II? aC - I pC	42	11,61°	28	12,03 3. MINCES
64	La MAREZE	LT - ROM	12	-	-	19,54 2. 8-10 DGT
87	BORKEN	LT-D / I aC	12	10°	2	17,08 2. 8-10 DGT
34	Le CHAUDRY	LT - II pC ?	47	19,36°	42	17,29 2. 8-10 DGT
38	Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	65	12,48°	21	15,60 2. 8-10 DGT
29	AVRILLY	AUGUSTE	22	1,14°	22	16,07 2. 8-10 DGT
33	HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	10	1,90°	10	10,3 3. MINCES
67	CHABLES	70 - 120 pC	106	16°	3	11,31 3. MINCES
74	AUTUN Fbg d' Arroux	I pC	11	14°	7	18,33 2. 8-10 DGT
73	La LANDE, La VERNHE	I pC	25	16°	2	13,9 2. 8-10 DGT
68	EIFEL Mangartz	I - IV pC	57	15,67°	27	16,92 2. 8-10 DGT
17 40	PORTUS	LT - ROM	25	31,96°	28	26,83 1. EPAISSE

hautes de 13 à 19 cm c'est-à-dire de 8 à 10 dgt (groupe cerclé bleu sur la Fig. 8). Certains centres (groupe 1 cerclé rouge) ont produit en conicité très faible (1,14 et 1,9°). Ils correspondent en fait à la zone septentrionale du Moulin Plat (aire anglo-normanno-picarde – cf. CHAP.19), car en effet, contrairement à la hauteur, la conicité est zonée et périodisée.

Figure 8: Rapport entre Conicité moyenne & Hauteur moyenne des MRB sur ateliers

L'un de ces deux ateliers (le petit centre d'Avrilly d'époque augustéenne) a émis des meules épaisses et de type anglo-normand en dôme, l'autre (le Hertfordshire nord londonien au Ier s. pC) présente des meules de même type mais plus minces (moyennes 10 cm) sans



doute en raison du caractère utilisé de la plupart de celles figurées dans l'article GREEN 2011. Mais il est probable qu'elles aient présenté des hauteurs à neuf semblables à celles d'Avrilly (moyenne 16 cm soit un peu plus d' 1/2 pied donc dans le standard 8-10 dgt).

Deux ateliers se distinguent par le fait qu'ils ont produit dans une conicité standard (autour de 16°) mais en meules épaisses (22,5 cm pour Orvieto et 29,3 pour Els Vilars). Leurs meules hautes s'expliquent par une fonction support indéniable à Els Vilars et atténuée à Orvieto.

Enfin, l'atelier du Portus se singularise, seul à ce jour en son genre, par une conicité très élevée et des hauteurs de meules très prononcées (moyenne 26,83 cm). Nous avons déjà vu que ces deux particularités s'ajoutaient à des diamètres également hors-normes (moyenne 50,56 cm). et nous avons proposé d'y voir pour l'essentiel une fabrication probablement à destination industrielle et à motorisation hydraulique, sans doute assez avancée dans l'époque romaine (à partir du IIè s. pC).

9. Lorsque le corpus des ateliers aura pu être suffisamment étoffé quantitativement, notamment par l'adjonction d'ateliers de la période ancienne et de centres producteurs de période romaine situés au-delà du Ier s. pC, il nous semble qu'il sera alors intéressant de conduire une analyse multivariée croisant (au minimum) les données relatives aux diamètres des meules, à leur conicité et à leur hauteur (ainsi que leur hauteur utile) sinon également le diamètre de l'œillard des *Catilli*. Cette démarche pourrait permettre de dégager des groupes et de mieux appréhender les relations entre ces paramètres configurants, y compris en fonction de la chronologie et de la spatialité. Au stade actuel on retiendra que l'épaisseur (H) des MRB n'est strictement liée ni à la conicité, ni à la chronologie ni à la géographie. Cet attribut pourrait être essentiellement libre et lié à la durabilité proposée, il est très probablement filtré par la hauteur utile. Toutefois, il est possible que les fabrications minces tendent à être plus nombreuses avec le temps (à partir de LT-D) et ce dans certaines zones (aire rhénane).

2 ou 3 STANDARDS d'ÉPAISSEUR propres à CHAQUE ATELIER

10. Enfin, l'examen des valeurs à neuf de la hauteur des meules issues des ateliers permet de constater que chaque centre producteur a fabriqué dans un registre d'épaisseurs, en général 2 ou 3, parfois 4 (Orvieto). Ces standards ou normes de hauteur sont définis par les pics de fréquence que l'on observe sur le spectre de distribution des hauteurs de chaque site de production (*supra* Fig.4). La durée d'activité des ateliers, souvent plus indicative que précisément établie, ne permet pas de dire exactement quelles étaient pour chacun les hauteurs fabriquées de manière contemporaine ainsi que leur nombre. Toutefois la récurrence des registres à 2 normes de hauteur (Fig.9) suggère que telle ait pu être la règle. Les ateliers présentant 3 ou 4 normes de hauteur sont anciens (Els Vilars, Orvieto) et celui des Fossottes

qui en présente 3 semble susceptible de superposer 2 ensembles, l'un caractérisé par des fabrications hautes de 11 à 13 cm et l'autre par des épaisseurs de 16 et 19,5 cm.

Figure 9 : Table des standards de hauteur de chaque atelier

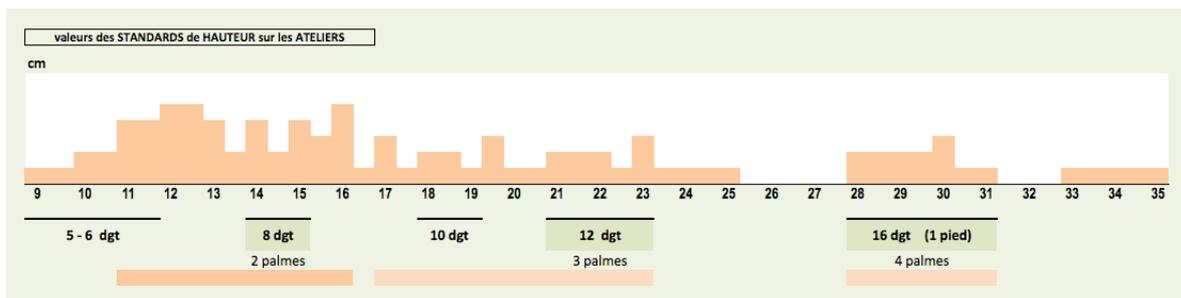
La distribution des valeurs des pics de fréquence ou standards de hauteur montre (Fig.10) une forte prédilection pour la zone comprise entre 11 et 16 cm, soit des meules de 7 à 9 doigts d'épaisseur. Tendanciellement les standards majeurs s'organisent donc autour de la valeur métrologiquement canonique qu'est 8 dgt c'est-à-dire 1/2 pied.

Les hauteurs fabriquées dans un standard supérieur, situé sur 10-12 dgt, ne sont cependant pas rares. Enfin comme déjà noté, un groupe restreint (4 ateliers : Els Vilars, Orvieto et Portus) a fabriqué dans de très fortes épaisseurs de l'ordre du pied (18 à 30 voire 35 cm).

STANDARDS de HAUTEUR sur les ATELIERS				
ATELIERS	Standard	Standard	Standard	Standard
	1	2	3	4
ELS VILARS	23-25	30	33-35	
ORVIETO	14	17	23	28-30
AGDE	11 - 14			
BAD NAUHEIM	10 - 12	15 - 16		
Le CHAUDRY	12 - 14	20 - 22		
Les FOSSOTTES	11 - 13	14,5 - 16	19,5	
	ou			
	11 - 13			
	et			
	16	19,5		
AVRILLY	12,5	16 - 18,5		
CHABLES	9 - 11	14-15	17	
EIFEL 2008*	15 - 16	18 - 20		
PORTUS	21 - 23	28 - 31		

les standards sont exprimés en cm
** courbe de Gauss anormale pour Eifel 2008, les standards indiqués sont une possibilité*

Figure 10 : Distribution des standards de hauteur



11. On retiendra donc que les ateliers ont chacun fabriqué leurs meules non pas selon un *continuum* de hauteurs mais selon 2 ou 3 standards ou normes d'épaisseur. Il est difficile en l'état des données d'établir si les pics de fréquence constatés sur ces valeurs récurrentes correspondent plutôt à des standards, c'est-à-dire des valeurs ciblées observées avec récurrence mais exprimées chacune sous la forme d'un pic de valeurs relativement symétrique autour de la valeur-cible, ou bien s'ils constituaient de véritables normes dont le degré de standardisation⁵ est étroit. Il faudrait pour le déterminer disposer de populations quantitativement plus importantes et surtout constituées de meules parvenues au stade de façonnage V (finitions) car les ébauches entraînent fatalement une dispersion des valeurs autour de la cible comme discuté à propos de la conicité des meules d'Autun Faubourg d'Arroux (JACCOTTEY, BOYER, ALIX 2017, 180, Fig.8).

2. La Hauteur des meules sur les sites d'utilisation

12. La hauteur des meules étant affectée par l'usure et diminuant au fur et à mesure de l'utilisation du moulin, les assemblages issus des sites de consommation et de rejet des meules

⁵ Mesurable par la formule suivante : hauteur du pic divisé par la largeur de sa base (voir indice de standardisation appliqué à la céramique ROUX 2003).

ne peuvent à priori être sollicités pour la définition de l'épaisseur à neuf des meules. En revanche l'examen du spectre des hauteurs de ces ensembles permet de dégager deux faits.

Le premier concerne le seuil d'usure. En effet, les hauteurs minimales qui sont observables sur ces assemblages nous indiquent la hauteur passive incompressible des meules.

Le second concerne le profil des hauteurs, depuis les moins usées jusqu'à celles parvenues à leur épaisseur minimale, profil qui montre des constantes et permet de formuler quelques remarques notamment sur la présence d'une fraction de meules neuves dans les assemblages de consommation ainsi que sur le caractère non étroit de la fraction des meules usées.

A. LA HAUTEUR PASSIVE INCOMPRESSIBLE : 2 ou 4 doigts

13. On examine ici la hauteur minimale observable sur les *Metæe* d'un échantillon de 22 sites d'utilisation de meules (Fig. 11) répartis sur les 5 périodes que nous avons définies, soit un total de plus de 300 individus. On considère les *Metæe* car le rapport entre hauteur et usure s'exprime de manière simple et directement visualisable par l'intermédiaire de la différence entre la hauteur totale (H) et la hauteur du cône (HCo). Cette différence (H – HCo) est égale à la hauteur du flanc (HFL) dont le minimum indique l'épaisseur passive incompressible (HPi).

On observe ainsi sur les *Metæe*, la récurrence de 3 minima de hauteur du flanc : 2,5 cm, 4 et 7 cm. Selon divers pieds, ces valeurs correspondent respectivement à ca. 1,25/1,5 dgt ou plutôt 1 pouce, à 2/2,25 dgt et à 4 dgt⁶.

Figure 11 : Hauteurs minimales du flanc (HFL) des *Metæe* de 22 sites d'utilisation

Les hauteurs de flanc minimales de 2,5 cm (codées en jaune sur la Fig.11) ne sont pas en correspondance avec des meules de conicité particulièrement faible⁷ et peuvent donc être coiffées d'une hauteur de cône importante. L'extrême minceur de leur flanc indique probablement que sur ces sites les *Metæe* étaient portées à un degré d'usure particulièrement poussé (surexploitation). Si cette hypothèse est vraie, on devrait, en élargissant ultérieurement l'échantillon, observer régulièrement des hauteurs de flanc minimales de 2,5 cm également en période romaine (Période 4).

La HAUTEUR d'USURE : HFL Minimale des METÆE					
Période	SITE	minima de HFL	Q. <i>Metæe</i>	Classe	7 4 2,5 cm
P.1 Vè - IIIè s. aC	ALORDA PARK *	7,5/8,5 10,5*	10	7 cm	[Diagramme à barres montrant la présence de hauteurs minimales de 7 cm, 4 cm et 2,5 cm pour chaque site]
	PECH MAHO	7 / 8	19	7 cm	
	BOLUNBURU	7 / 8,5	2	7 cm	
	PUIG St. ANDREU	3/4,5/5	13	4 cm	
	PUIG CASTELLAR *	3,5/4 10,5*	12	4 cm	
	ENSÉRUNE Basalte	7/7,5/8	26	7 cm	
P.2 LT C-D / IIè-Ier s. aC	Le PATURAL	4 / 5 / 6	19	4 cm	[Diagramme à barres montrant la présence de hauteurs minimales de 4 cm, 2,5 cm et 7 cm pour chaque site]
	MARTIGUES	2,5/3/4	6	2,5	
	YMONVILLE	6/6,5/7	7	7 cm	
	BLOIS La Croupe	4/9,5/13	5	4 cm	
	LEVROUX	6,5/11,5	2	7 cm	
	PICARDIE L-T	4/4,5/5	23	4 cm	
P.3A LT-D / Ier aC	GONDOLE	4,5	1	4 cm	[Diagramme à barres montrant la présence de hauteurs minimales de 4 cm, 2,5 cm et 7 cm pour chaque site]
	Le REBOUT	3/3,5/4/4,5	18	2,5	
	SARAN	2,5/3,5/6	6	2,5	
P.3B Ier aC + ROM ?	PEYRIAC-de-MER	2,5/3/4/5	12	2,5	[Diagramme à barres montrant la présence de hauteurs minimales de 2,5 cm, 4 cm et 7 cm pour chaque site]
	BEZANNES	2 / 3 / 4	10	2,5	
	OSTIA	5,5 / 6	8	4/7	
P.4 ROM	AVENCHES	4,5/5/6	64	4 cm	[Diagramme à barres montrant la présence de hauteurs minimales de 4 cm, 2,5 cm et 7 cm pour chaque site]
	TUNGRI	4 / 4,5 / 5,5	21	4 cm	
	ARGENTOMAGUS	4,5 / 5 / 5,5	31	4 cm	
	POULTRY	5 / 6 / 7	-	4/7	

* avec *Metæe* piédestal

14. Le fait principal qui se dégage est que la hauteur passive incompressible des *Metæe* tend à avoir diminué au cours du temps. En effet les minima de 7 cm (4 dgt) se concentrent sur la période molinologique ancienne (Période 1, V-IIIè s aC) pour se raréfier ensuite tandis que les hauteurs de flanc minimales mesurant 4 cm (codées en orange sur la Fig.11), apparues dès la période ancienne puis assez constantes, deviennent quasi systématiques à l'époque romaine (Période 4).

Ce phénomène traduit soit la tendance à une exploitation de la longévité des *Metæe* devenant maximale avec le temps, soit un processus chronologique de minimalisation de la

⁶ La première valeur correspond à un pied de 29,56 et la seconde à un pied, fréquent sur les meules, de 27,5 cm.

⁷ La conicité moyenne de ces 5 sites est : 24,74° (Martigues), 14,23° (Le Rebout), 19,43° (Saran), 11,43° (Peyriac) et 6,13° ; Bézannes se situe en zone de dominance des Meules Plates et Le Rebout en marge (4% de MPL attestées sur les *Catilli*).

hauteur passive lors de la fabrication, optimisation qui serait intervenue principalement en période romaine⁸. Pour le savoir il faudrait étudier en détail le rapport entre la hauteur utile (HU) d'une part et d'autre part la hauteur passive (soit HCo) et la hauteur passive incompressible (soit HFL minimale). Cela supposerait de disposer d'un nombre suffisant d'assemblages de consommation dont la provenance des *Metae* serait établie et fournirait ainsi les hauteurs à neuf permettant de connaître la hauteur utile initiale.

B. Le PROFIL SPECIFIQUE des ASSEMBLAGES d'UTILISATION

14. Comme on le verra plus en détail à propos de la Hauteur Utile (CHAP.17, notamment Fig. 66 et 67), la hauteur minimale des meules n'est pas régie par la chronologie. Nous avons vu précédemment que la hauteur constitue un paramètre très libre à l'égard de la conicité, de l'espace et des périodes. Outre par rapport à la hauteur utile, c'est donc surtout par rapport à la hauteur maximale, donnée par les exemplaires des ateliers, qu'il faut appréhender la hauteur minimale atteinte par les meules utilisées.

Figure 12 : Profil-type des hauteurs des meules sur les sites d'Utilisation - exemples des assemblages de Pech Maho (IV-II aC), du Musée d'Avenches et de la cité des Tongres (époque romaine) - comparaison avec le profil d'ensemble des Ateliers (au centre) et celui d'Orvieto (à droite) -



Généralement la distribution des hauteurs des meules dans les assemblages d'utilisation se concentre sur les valeurs 4 à 10 cm, le plus souvent sous la forme de pics de fréquence

⁸ Il est par ailleurs possible que les meules des 2 sites laténiens du centre de la France (Levroux et Ymonville) qui montrent un minimum de 7 cm et sont encore pour la plupart massives, aient pu, à usure complète, avoir mesuré 4 cm d'épaisseur finale voire moins, ce qui aurait pour conséquence de limiter la catégorie 7 cm **essentiellement** aux périodes anciennes.

rapprochés (Pech Maho et Avenches sur la Fig.12) voire à tendance coalescente (Tungri). Les hauteurs sont ramassées sur la zone 4-8 ou 7-12 cm et la distribution devient plate et faible en direction des valeurs fortes (15 à 30 cm) c'est-à-dire vers ½ et 1 pied d'épaisseur.

15. La comparaison avec le profil des ateliers (qui sont figurés en bleu ciel sur les illustrations telles que la Fig.12) fait ressortir un net contraste : sur les ateliers les pics de fréquence se déplacent vers les valeurs plus fortes et la zone des 4-10 cm est désertée (comme à Orvieto, à droite sur la Fig.12) ou faiblement représentée (assemblage total des ateliers, au centre sur la Fig.12). Cette différence entre les profils traduit l'affaiblissement logique des hauteurs au cours de l'utilisation. Elle montre que les valeurs usées ne se concentrent pas sur un seul pic (par exemple autour de 7-8 cm soit 4 dgt) mais qu'elles se distribuent sur une bande large de l'ordre de 5-6 cm.

Cette pluralité des pics traduit soit le fait que les meules n'étaient pas toutes usées à leur maximum lors du rejet, soit que le degré d'usure était proportionnel à des hauteurs à neuf diversifiées : les épaisseurs initiales observent plusieurs valeurs que les hauteurs usées répliquent dans la zone des faibles épaisseurs (par exemple un standard de meule initialement haute de 23 cm donnera un pic d'usure plus fort d'environ 6 cm qu'un standard initial sur 17 cm).

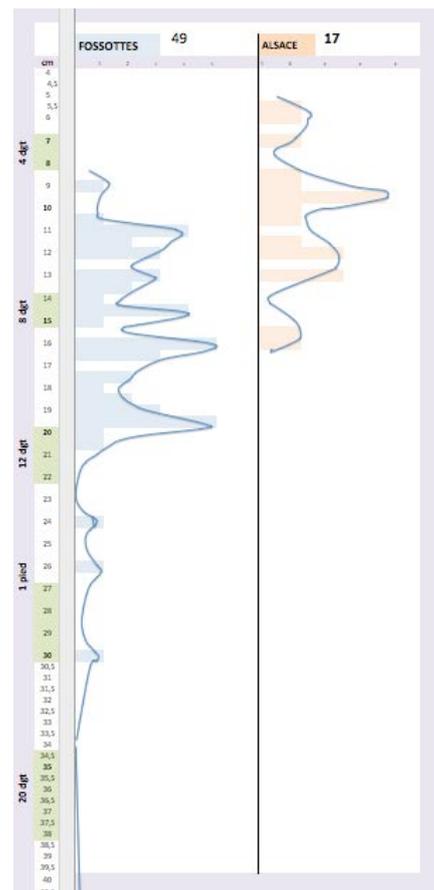
C. COMPARAISON entre le PROFIL des HAUTEURS d'un ATELIER & le PROFIL des HAUTEURS des sites d'UTILISATION lui correspondant

On ne dispose pas encore d'assemblage d'utilisation ayant livré une série suffisante de meules provenant d'Orvieto⁹ pour pouvoir comparer le spectre des hauteurs de cet atelier avec celui des sites d'utilisation lui correspondant. En revanche nous pouvons présenter 3 exemples d'une telle comparaison, chacun de suggestivité variable.

Figure 13 : Comparaison entre le profil des hauteurs de l'atelier des Fossottes et le profil d'utilisation de meules d'Alsace
(source : BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011)

. Les FOSSOTTES & L'ALSACE

16. La hauteur moyenne des meules produites dans l'atelier des Fossottes dans les Vosges est de 15,60 cm soit 8 ou 9 dgt¹⁰. La plupart des fabrications sont épaisses de 11 à 17 cm complétées par un groupe d'une hauteur de 19 cm (10 dgt), on est dans une zone de meules plutôt minces. Les Fossottes ont diffusé leurs productions en rhyolite principalement vers l'Ouest, en Lorraine, mais aussi en partie en Alsace. La hauteur moyenne du petit échantillon alsacien de meules utilisées s'établit à 10,53 cm soit 8 doigts, les meules les plus usées mesurant 5-6 cm. La compatibilité



⁹ Quelques découvertes sont signalées deci-delà (par ex. RENZULLI *et al.* 2002) mais les quantités sont faibles, aucune Meule Rotative Basse n'est mentionnée et il s'agit alors de meules en leucite sans que dimensions ou typologie ne permettent une attribution à Orvieto. Un inventaire des MRB de la zone Emilie Romagne-Toscane-Ombrie-Marche- Nord Latium serait nécessaire pour que l'on puisse disposer d'ensembles de comparaison issus de sites d'utilisation et si possible de fouilles.

¹⁰ Respectivement en pied de 27,5 ou de 31,1.

avec les Fossottes est très relative car la perte moyenne par usure serait de 6 cm (soit un peu plus de 3 dgt). Si l'on suppose que les deux plus grands gabarits de hauteur des Fossottes (16 et 19 cm) ont ravitaillé l'échantillon alsacien l'usure moyenne serait de 10 cm (5,5 dgt) si l'on considère les deux pics les plus faibles de l'Alsace (6 et 9 cm). Elle serait de 6,5 cm (3,5 dgt) si l'on considère les deux pics les plus importants (9,5 et 12,5 cm). Une usure de 3 ou 4 doigts est probablement trop faible et rend plus probable que, si les Fossottes ont fourni l'Alsace cela ait été en meules de 16 et 19 cm avec une usure moyenne de l'ordre de 6 dgt. Mais il s'agit d'un pur exercice exploratoire, car il faudrait comparer uniquement le profil des Fossottes avec celui de meules alsaciennes en rhyolithe¹¹, échantillon qui reste à réunir et traiter en ce sens.

. Le CHAUDRY & ARGENTOMAGUS

17. La comparaison entre les hauteurs fabriquées dans l'atelier de St. Christophe-le-Chaudry et des sites d'utilisation que ce centre a approvisionnés est plus précise (Fig.14). En effet on dispose dans le catalogue du Chaudry (GAULTIER 2009) de 26 meules visiblement utilisées qui peuvent être examinées en regard des 26 neuves.

Les hauteurs neuves du Chaudry sont principalement centrées sur un seul standard (20-23 cm) qui correspond à 12 dgt soit $\frac{3}{4}$ de pied. Le profil des meules utilisées provenant du Chaudry est tout à fait comparable (2^e diagramme sur la Fig.14 - on a contraposé en rouge le profil des hauteurs neuves) mais il se trouve naturellement déporté vers les valeurs faibles. Les hauteurs minimales, qui indiquent l'épaisseur passive incompressible (HPi), se situent sur 7-8 cm.

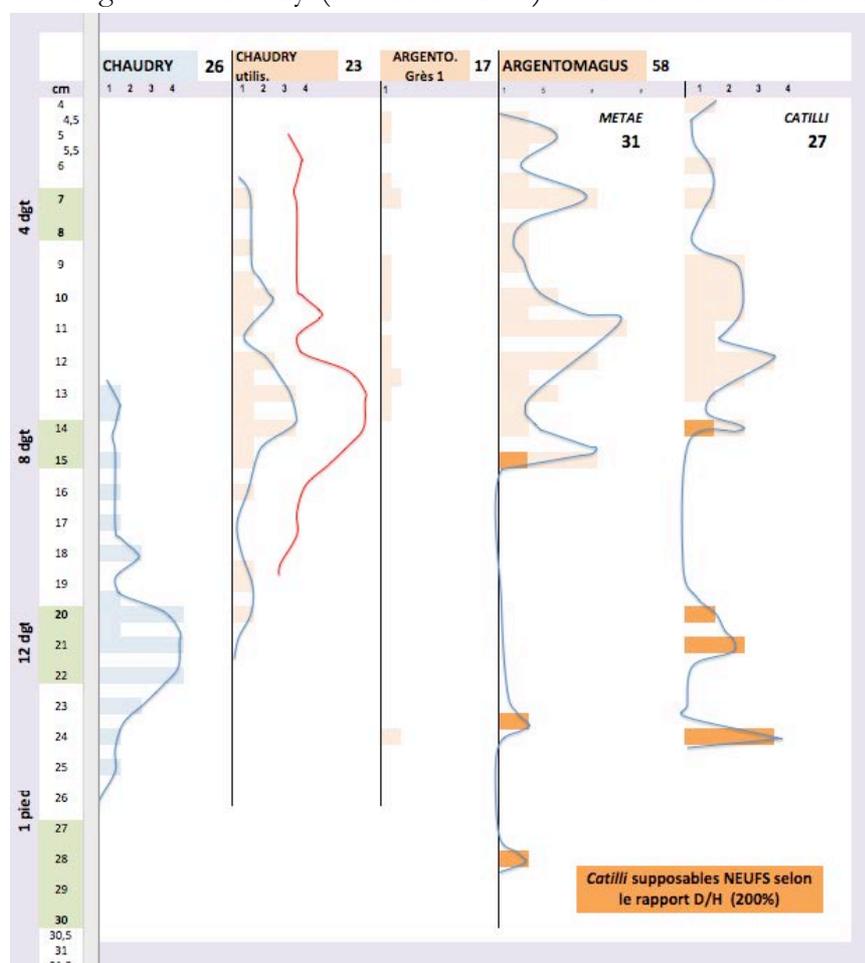


Figure 14 : Comparaison entre le profil des hauteurs de l'atelier du Chaudry et le profil d'utilisation des meules d'Argentomagus

18. Sur ces meules utilisées, le standard principal de 20-23 cm est devenu 12-14 cm soit une usure de 8 cm (4 dgt). Le petit pic de fréquence de 18 cm en neuf devient 10 cm et traduit une fonte identique (8 cm).

¹¹ L'échantillon pris en compte n'en comporte pas mais la roche est non identifiée pour la moitié d'entre elles ; 3 des 6 meules de l'atelier temporaire d'Obernai en Alsace sont en rhyolite attribuable au centre producteur de La Salle/Les Fossottes (FELIU, JODRY 2017).

On remarque dans l'assemblage des meules utilisées, la présence d'un renflement situé sur les valeurs de hauteur de 18-20 cm : il transcrit très probablement en domaine usé les meules du standard neuf principal (20-23 cm) dont l'utilisation a entraîné une usure de 2-3 cm. Cette petite fraction (3 meules sur 23 soit 13%) correspond donc à des meules assez peu usées. En effet si la longueur d'usure est de 8 cm ces meules seraient usées de 25 à 35% (2-3 cm sur 8), si la longévité était en revanche supérieure par exemple de 12 cm (voir § suivant) elles seraient usées de 17 à 25%.

Une question pour cet ensemble serait de savoir si le parcours d'utilisation est arrivé à son terme : le pic de fréquence sur les hauteurs de 12-14 cm correspond-il ainsi aux valeurs minimales prises par les meules du standard initial 20-23 cm avec une usure de 8 cm soit ca.1 palme (4 dgt), ou les productions du Chaudry peuvent-elles montrer un groupement de plus faibles hauteurs, notamment sur 8-10 cm c'est-à-dire une usure de 12 cm (soit ca. 6 dgt) ? La réponse est fournie par les meules du site d'utilisation d'Argentomagus dont une partie consistante (Grès 1 : 20 meules sur 54 soit 37%) provient du Chaudry. En effet (3^e diagramme sur la Fig.14), on constate que les meules en grès 1 montrent 3 individus dans la zone 4,5-6,5 cm qui était absente du spectre des meules utilisées du Chaudry. Ces 3 exemplaires correspondent d'ailleurs à des *Metae*, qui toutes (5 meules sur les 17) présentent une hauteur comprise entre 4,5 et 7 cm. Cela constitue un exemple d'assemblage où le registre des hauteurs usées peut être différent entre *Metae* et *Catilli*.

. AGDE & Pech Maho, Ensérune, Peyriac ou Lattes

19. L'embouchure de l'Hérault a vu à partir du VI^e s. aC se développer une agglomération liée à la colonisation grecque (UGOLINI 2012 ; UGOLINI, PARDIES 2017). Une activité d'extraction et de façonnage meuliers sur basalte scoriacé s'est développée d'abord à travers la production de meules à va-et-vient, bien attestées par exemple à Ensérune, puis de Meules Rotatives Basses. Le démarrage de la fabrication de MRB n'est pas clairement établi, d'autant que l'un des principaux sites (Agde-Embonne) a été détruit sans fouille par l'urbanisation littorale des années 60-80. Seuls les observateurs locaux ont pu sauver quelques données (article ARIS 1973 et quelques dizaines de meules dans les divers musées d'Agde)¹².

L'analyse du basalte des meules protohistoriques du Languedoc conduite par J.-Louis Reille et publiée dans les années 2000-2002¹³, a permis de mettre en évidence une production meulière plus étendue qu'on ne l'imaginait. En effet est attestée l'exploitation de basalte provenant du delta de l'Hérault (Cap-d'Agde Embonne, St. Thibéry, Bessan) mais aussi plus au Nord dans la moyenne vallée de l'Hérault. Le provenancement ne pouvant être réalisé que par analyse et aucun site d'extraction n'étant documenté à l'exception de, fugacement, Agde-Embonne, nous désignons cette aire de provenance par le terme de « complexe volcanique héraultais ».

20. Les premières émissions de meules rotatives par le complexe volcanique héraultais ont été situées au IV^e s. aC d'après les plus anciens exemplaires rotatifs documentés (avant l'An 2000) à Lattes (REILLE 2000). Cependant cette chronologie n'est pas complètement assurée, le V^e s aC pouvant être envisagé sur la base de plusieurs arguments. Le premier est que la date du IV^e s. aC (qui correspond aux niveaux anciens les plus abondamment publiés alors par l'équipe de M. Py) suppose une interruption de la fabrication meulière héraultaise entre une phase probablement plus ancienne ayant produit des meules à va-et-vient. Une telle interruption est certes possible mais peu probable. Par ailleurs les sites du Languedoc oriental (de Lattes à Martigues) montrent un décalage dans la diffusion du moulin rotatif (GARCIA 1995

¹² Meules inédites que nous avons pu examiner brièvement (photo au CHAP.7 Stades de Façonnage, Fig.11) et dont l'inventaire et l'étude constituent une de nos priorités post-doctorales.

¹³ Meules d'Ambrussum REILLE 2000 ; meules de Lattes (REILLE 2000) ; meules d'Agde (REILLE in BUXO 2000) ; meules de Pech Maho et de Mailhac (REILLE 2000) ; meules agathoise de Poppidum provençal de La Cloche (REILLE, CHABOT 2000) ; meules de Montlaurès (REILLE 2001) ; meules d'Olbia (REILLE 2001) ; meules du Massif Central (Les Coirons) sur 2 sites du Gard (Le Marduel, Nages) REILLE 2002.

et, ce mémoire **CHAP.3 Fig.6c**) avec semble-t-il une concurrence entr MRB et moulin de type Olynthe (voir CHAUSSERIE-LAPREE 1998 pour Martigues)¹⁴. Aussi le IV^e s. aC pourrait-il plutôt constituer l'apparition un peu tardive à Lattes du fait rotatif meulier dont l'émergence remonte à 500 aC en Catalogne (ALONSO MARTINEZ 1995 et 2002) et qui pourrait avoir été connu en zone agathoise avant la date lattoise.

Notons que les meules à va-et-vient, abondantes à Ensérune (les différents sites mentionnés sont localisés sur la **Fig.15** ci-dessous), pourraient très bien dater du IV^e s. mais également être plus anciennes, une fraction non négligeable des meules de ce site pouvant renvoyer au V^e s. aC¹⁵. Mais les arguments les plus favorables à une possible ancienneté de l'activité meulière du complexe volcanique héraultais résident sans doute dans la probabilité d'existence de meules en basalte dans la partie la plus ancienne de l'assemblage ancien qu'est Pech Maho dont toutefois la plupart des meules ne sont pas datées¹⁶. Un second argument tient à la diffusion rapide du Moulin Rotatif Bas en Gaule intérieure au cours de la période IV-III^e s. laquelle voit être défini et généralisé ce que nous appelons le modèle « gaulois » ou « continental » (voir **CHAP.10.C**) : peut-on raisonnablement envisager qu'un tel double mouvement se soit déroulé aussi rapidement, à peine les ateliers héraultais s'étant mis à produire des meules rotatives ? ce alors-même qu'on peut supposer que le jalon meulier ancien que constitue l'Auvergne (MRB au III^e sinon au IV^e s. aC) soit redevable aux productions héraultaises.

Peut-on ainsi admettre sans discussion que les modèles « pré-continentaux » (*Catilli* à manchons, *Catilli* sans trémie et à mortaise d'emmanchement radial supérieur, voire *Catilli* à encoches supérieures), qui sont attestés à la phase ancienne en Catalogne, datent tous seulement du IV^e s. aC lorsqu'ils sont présents à Pech Maho¹⁷ dans des basaltes dont la provenance héraultaise est fort probable¹⁸ ou de même à Ensérune¹⁹ et toujours en basalte ?

Aussi considèrera-t-on ici, sous réserve que les basaltes des MRB de Pech Maho et Ensérune soient comme il est probable héraultais, que la production meulière rotative du complexe héraultais a démarré au minimum au IV^e s. et qu'elle pourrait même dater du V^e.

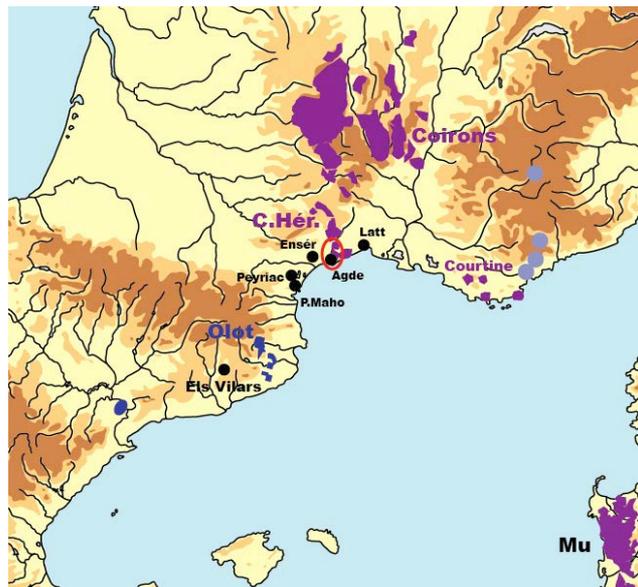


Figure 15 : Agde et les sites d'utilisation (Lattes, Ensérune, Peyriac, Pech Maho), les ensembles volcaniques environnants et le complexe héraultais

21. On comparera à présent le profil des hauteurs des meules du centre producteur d'Agde avec celui des meules en basalte de 4 sites d'utilisation qui proviennent

¹⁴ Notre étude inédite des meules d'Ensérune compte 6 meules de type Olynthe, toutes en basalte, sur 58 meules enregistrées (soit 10%).

¹⁵ Notamment la série des *Catilli* de type ibérique à manchons à moins qu'ils n'aient perduré et disparu au cours du IV^e s.

¹⁶ D'après GAILLEDRAIT *et al.* 2012 un seul *Catillus* en basalte (Longepierre n°30) apparaît daté sur l'intervalle 550-475/450 ?, cela d'après la datation (PORTILLO 2006) du F.41.B dont il provient.

¹⁷ *Catilli* à manchons ibérique n° 6, 14 et 20 (peut-être 7 aussi ?), *Catillus* à encoches supérieurs n° 9 en basalte ; *Catilli* à mortaise radiale supérieure n° 17, 35, 36, 38 et 41 en basalte.

¹⁸ Si ces meules ne provenaient pas du Complexe volcanique héraultais il faudrait alors supposer une provenance d'Olot –contre les données actuelles qui font état de la rareté de cette dernière (WILLIMAS-THORPE, THORPE 1987) - ou une origine plus lointaine encore et peu probable.

¹⁹ *Catilli* à manchons Ensérune-ACH n°14 et 28, *Catillus* à mortaise radiale d'emmanchement supérieur Ensérune-ACH n°24.

vraisemblablement du complexe volcanique héraultais dont fait partie Agde-Embonne. En effet, l'oppidum de Pech Maho (Aude) comprend 54% de MRB en basalte (22 sur 41 selon l'inventaire PORTILLO 2006), le site côtier de Peyriac-de-Mer²⁰ (Aude) montre 29% de basalte (5 sur 17, enregistrement inédit Chartrain), le site perché entouré d'étangs d'Ensérune (dans l'Hérault, et qui comporte grosso modo une phase IV^e aC et une phase II^e aC) comprend 73% de Meules Rotatives Basses en basalte (32 sur 44, inédit Chartrain)²¹, enfin l'agglomération deltaïque de Lattes (Hérault) qui pourrait être située dans un district saunier (CHARTAIN, DE LABRIFFE 2003) comporte 91% de MRB en basalte (77 sur 84) et même 94% sur les meules protohistoriques datées (IV-II aC, soit 17/18 - PY, 1992, RAUX 1999, DAVEAU *et al.* 2007). Précisons auparavant que malheureusement l'actuel assemblage agathois, déjà peu fourni en nombre, trouve une seconde limitation dans le fait que parmi ses 23 meules (dont un moulin provenant de l'épave des Riches Dunes) seules 4 sont des ébauches présentant une valeur neuve de hauteur. A part cette restriction importante, l'échantillon (131 meules) est par ailleurs équilibré entre *Metae* et *Catilli*. Les hauteurs moyennes des meules en basalte de ces 5 sites sont les suivantes :

Agde	: 11,91 cm	(centre producteur)
Peyriac	: 9,0 cm	
Ensérune	: 10,83 cm	
Pech Maho	: 9,87 cm	
Lattes	: 9,82 cm	

Les hauteurs non-neuves sont donc semblables et les meules en basalte héraultais relativement minces puisqu'elles se situent toutes autour de 10 cm. La hauteur maximale observée est de 17-18 cm à Agde même, elle est également présente à Pech Maho et Ensérune. Se pose la question de savoir si cette valeur maximale correspond à des meules neuves ou peu usées. Il en est de même pour les quelques meules en basalte montrant, à Lattes et à Ensérune, une hauteur de 20 ou 21 cm.

22. La comparaison fait (Fig. 16) ressortir la grande similarité du profil des hauteurs utilisées entre les 5 sites.

L'essentiel des hauteurs usées se situent dans la zone 9-10 cm (plutôt 9 que 10 à Lattes), Pech Maho, Ensérune voire Lattes montrant un pic de fréquence secondaire sur les hauteurs 17-20 cm. Cette fraction de meules plus épaisses (cela reste globalement mince en comparaison de bien d'autres sites) s'observe également à Agde où l'on est pas sûr qu'elles y représentent des hauteurs à neuf. Ce groupe de hauteurs sur 17-20 cm pourrait correspondre à des meules peu usées dont la hauteur neuve serait alors plutôt dans les 21-23 cm soit 12 dgt ou $\frac{3}{4}$ de pied. L'enregistrement des ébauches présentes dans les musées agathois pourrait nous donner prochainement la réponse.

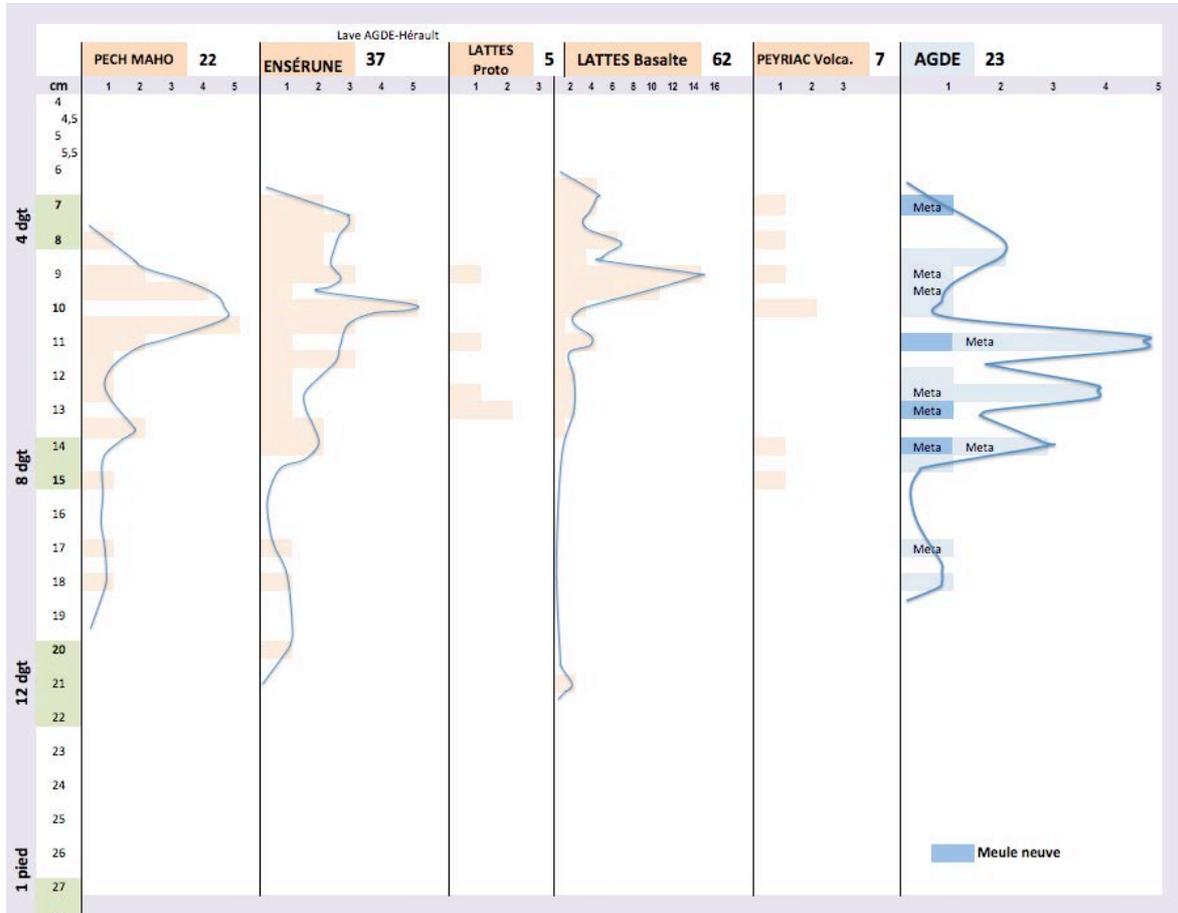
L'autre fait concerne la concentration des meules sur les hauteurs de 9-10 cm (soit autour de 6 doigts ou 1 palme $\frac{1}{2}$), valeur qui ne peut que représenter la masse des meules usées et rejetées. On observe cependant l'existence d'un groupe quantitativement non négligeable de meules dont la hauteur se positionne sur l'intervalle 6-8,5 cm. En faible nombre à Pech Maho, ces exemplaires ultra-minces représentent la fraction archi-usée des meules, celles dont ne subsiste que la hauteur passive incompressible (HPi). Ces meules usées à leur maximum sont présentes à Peyriac ainsi qu'à Agde mais elles sont particulièrement nombreuses à Ensérune et à Lattes. Sur ce dernier site, la zone 6,5-8 cm est composée de *Metae* tandis que l'intervalle 9-9,5 correspond à des *Catilli*. Cela montre que la typologie des *Metae* se traduisait, au reste comme il est fréquent, par une épaisseur passive moindre que celle des *Catilli*. Cela montre également

²⁰ La documentation attribue l'occupation principale de Peyriac à la période II-I er aC (SOLIER, FABRE 1969) et certaines habitations au III^e s. aC (DEDET 1999). Toutefois certaines meules nous semblent présenter des traits de type IV^e s. (notamment 3 des 4 *Catilli* : le *Catillus* n° ACH-12 à encoches supérieures, le *Catillus* n° ACH-2 à mortaise d'emmanchement radial supérieur ou le *Catillus* n° ACH-5 sans trémie), il ne s'agit toutefois pas de basaltes.

²¹ La fraction basaltique d'Ensérune est même portée à 88% si l'on compte les 6 meules de type Olynthe - enregistrement inédit Chartrain.

que l'archi-usure a touché les deux catégories de meules, comme il est logique mais finalement documenté.

Figure 16 : Comparaison entre les Hauteurs des meules d'Agde et des sites d'utilisation de Pech Maho, ensérune, Lattes et Peyriac-de-Mer



23. L'exploitation maximale de la longévité d'une partie importante des meules ainsi constatée à Lattes et Ensérune traduit-elle une intensité particulière de l'activité molaire ou bien des difficultés à renouveler l'équipement meulier ? La quasi absence sur ces sites de meules dont la forte hauteur montrerait le caractère neuf ou sub-neuf (pic de fréquence sur 20-23 cm ou sur 17-19 cm) tend à accréditer la difficulté d'autant qu'elle ne saurait être imputée aux échantillons, ici plutôt fournis (22 et 37 hauteurs mesurées). Cependant ces meules neuves sont également absentes à Pech Maho qui est pourtant dépourvu d'individus archi-usés : cela signifie-il que se ce site les meules ultra-usées sont plus épaisses pour des raisons tyologique et qu'elles relèvent de l'intervalle 8-10 cm ? Cette discussion montre les limites de l'exploitation de tels diagrammes de distribution et oriente vers une approche plus précise basée sur la hauteur passive minimale : établir celle-ci, de manière différenciée pour *Metae* et *Catilli*, en établir la fréquence pour chaque site (ou période) et comparer avec la présence de meules de pleine hauteur (H. neuve) serait très probablement riche d'enseignements, à fortiori lorsque le spectre spécifique des meules neuves d'Agde aura pu être établi²².

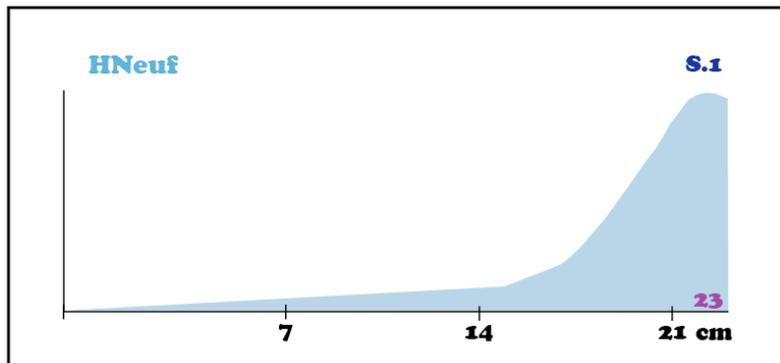
D. SCHÉMAS COMPARÉS des HAUTEURS NEUVES et USÉES

²² En effet, comme représenté en bleu foncé sur la Fig.16, l'échantillon agathois actuel (ARIS 1973 complété de REILLE 2000) est surtout composé de meules utilisées seulement 4 étant des ébauches livrant des paramètres à neuf.

24. Pour finir cette approche comparative du spectre des hauteurs dont on voit qu'elle débouche sur des questions intéressantes et sur la nécessité de construire les données pour y répondre, on proposera une représentation schématique des profils de hauteur à neuf et d'usure pour 2 configurations : celle d'abord d'un atelier produisant ses meules selon un seul standard de hauteur (S.1) et celle ensuite d'un centre producteur fabriquant 2 standards de hauteur (S.1 et S.2)

Dans le premier cas (Fig. 17, 18, 19) toutes les hauteurs produites se concentrent assez étroitement autour de la valeur-cible (23 cm), les valeurs moindres représentent les ratés, les hauteurs légèrement supérieures correspondent aux ébauches insuffisamment finies en attente de démaigrissement. Quel spectre des hauteurs usées peut correspondre à cette population de départ ?

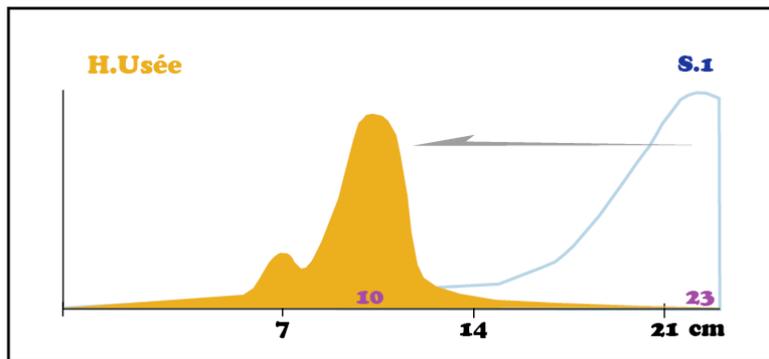
Figure 17 : Distribution théorique des hauteurs des meules d'un atelier fabriquant en 1 seul standard (S.1 H. 23 cm)



On proposera une double réponse, polarisée selon que la totalité des meules est usée (Fig. 18) ou qu'une partie d'entre elles (a sur la Fig. 19) ne l'est que partiellement.

Figure 18 : La totalité des meules sont usées

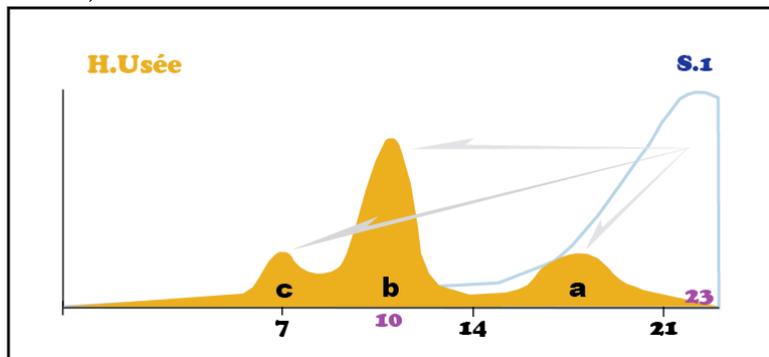
Toutes les meules sont usées et le pic des hauteur à neuf a migré de 23 vers 10 cm. L'usure est donc de 13 cm (8 dgt soit 1/2 pied). Un petit pic secondaire sur 7 cm (4 dgt) traduit l'existence d'une fraction de meules archi-usées dont la hauteur est totalement réduite à celle de HPi (hauteur passive incompressible).



réduite à celle de HPi (hauteur passive incompressible). Selon la typologie des meules (en particulier les rapports entre diamètres et conicités) ce renflement peut ne correspondre qu'à un seul genre (le plus souvent des *Metae*).

Figure 19 : Spectre théorique combinant des meules totalement usées (b) à une fraction en cours d'usure (a)

L'histogramme (Fig. 19) montre un pic majeur (b) situé autour de la valeur de 10 cm. Ces hauteurs correspondent à des meules usées en provenance du pic original des hauteurs à neuf de 23 cm.



Le mini pic de fréquence sur 7 cm correspond aux meules les plus usées (H étant réduite à HPi). La particularité de cette distribution est de comporter un pic secondaire (a) situé sur 18 cm et qui représente des meules en cours d'usure dont le degré de consommation est de 38% (hauteur consommée 5 cm sur un décours total de 13 cm ; hauteur restant à user : 18 – 10 soit 8 cm).

Dans la réalité, face à une telle distribution on doit d'abord se demander si le pic secondaire (a) ne correspond pas à un standard de meules (18 cm) neuves mais moins hautes que S.1 (23 cm). Enfin, le caractère continu de l'usure depuis la valeur de départ (23 cm) favorise la probabilité qu'entre la borne initiale 23 cm et la borne finale 10 cm s'observe un étalement des valeurs relativement monotone (puis croissant à l'approche de 10 cm). Par ailleurs l'éventuelle présence d'une fraction de meules neuves ou sub-neuves peut se manifester par un pic secondaire dans la zone des 23 cm (voir *supra* le cas d'Argentomagus sur la Fig. 14).

25. On examinera maintenant le spectre des hauteurs à neuf et d'usure dans le cas d'une production ayant fabriqué en 2 standards, l'un (S.1) sur 23 cm et l'autre (S.2) sur 17 cm (Fig. 20, 21, 22). Toutes les hauteurs produites se concentrent alors assez étroitement autour des 2 valeurs-cibles (23 et 17 cm). Si la fraction d'ébauches en attente de démaigrissement est importante, les pics s'épaississent par la droite le celui de S.2 peut tendre à une certaine coalescence avec S.1. Quel spectre des hauteurs usées peut correspondre à cette population de départ de distribution pluri-modale ?

Figure 20 : Distribution théorique des Hauteurs des meules d'un atelier fabriquant en deux standards (S.1 meules H. 23 cm et S.2 hauteurs de 17 cm)

Le phénomène d'usure peut tendre à reproduire dans la zone des valeurs faibles de la hauteur les deux pics S.1 et S.2 (Fig. 21). Il faut pour cela que l'usure de chacun des 2 standards soit égale (10 cm dans notre exemple théorique, c'est à dire de 23 à 13 cm et de 17 à 7 cm). Comme très souvent, un mini pic de fré-

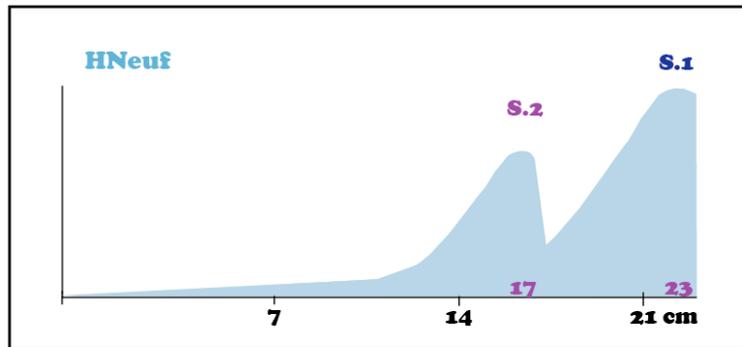


Figure 21 : Toutes les meules sont usées, l' usure est de même puis-sance, les 2 standards sont représentés par 2 pics distincts

quence sur de très faibles hauteurs (ici 4 cm) correspond aux meules archi usées dont ne subsiste que la hauteur passive incompressible (HPi). Nous avons déjà rencontré de tels spectres pour des assemblages d'utilisation (par exemple *supra* Avenches Fig. 12 ou Alsace Fig. 13).

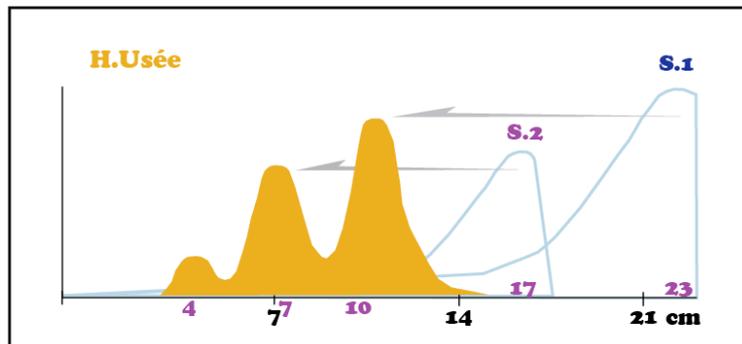
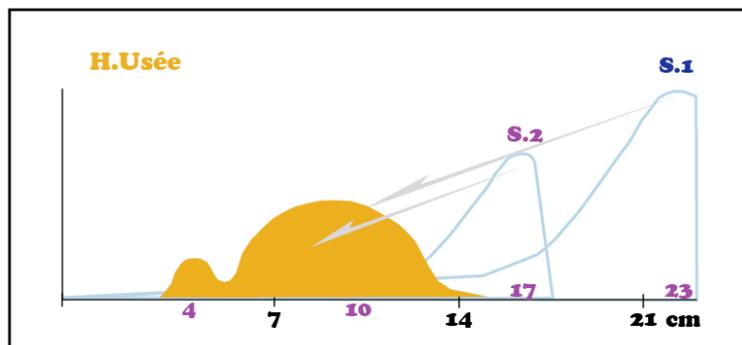


Figure 22 : Assemblage d' utilisation présentant, sur les hauteurs faibles, un pic de fréquence unique mais large



26. Dans cette configuration (Fig. 22), les 2 pics situés en zone de hauteur faible correspondent aux 2 pics initiaux (S.1 et S.2 sur 23 et 17 cm) et entrent en coalescence pour ne former qu'un ensemble relativement étalé (une telle situation peut aussi prendre la forme de multiples pics très rapprochés). Pour que des hauteurs à neuf différentes puissent converger

vers une hauteur d'usure similaire il faut que les 2 standards initiaux aient une hauteur utile (HU) différente, plus grande pour le standard S.1 (HNF 23 cm). On se rappellera que la hauteur d'une meule est composée de la réunion de 2 composantes, la hauteur utile (consommable) et la hauteur passive (non soumise à usure) soit la formule $H = HU + HP$. La hauteur restante finale constitue la hauteur d'usure (Hr ou Hus) ; Or la configuration ci-dessus correspond aux données suivantes :

S.1	H 23 cm	HU = (H – HUs) soit (23 – 10)	donc HU = 13 cm
		HP = (H – HU) soit (23 – 13)	ainsi HP = 10 cm
S2	H 17 cm	HU = (H – HUs) soit (17 – 7 ou 8)	donc HU = 10 ou 9 cm
		HP = (H – HU) soit (17 – 10 ou 9)	ainsi HP = 7 ou 8 cm

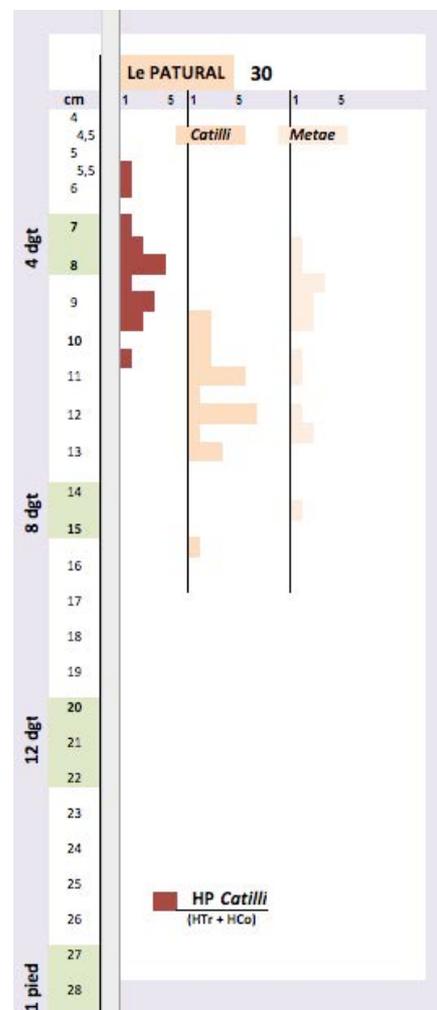
On constate ainsi que la hauteur d'usure finale, qui n'est autre logiquement que la hauteur passive, tend à être la même pour le standard initial de hauteur S.1 et pour le standard S.2. Cela se comprend aisément si un atelier fabrique des meules en plusieurs modèles similaires mais dont seule varie la hauteur utile (et donc la hauteur totale initiale HNF). C'est par exemple le cas de *Catilli* qui ont la même profondeur de trémie (HTr) et la même hauteur de cône (HCo) mais dont la hauteur totale est différente : partageant une même hauteur passive (HP = HTr + HCo) ils se retrouveront au même endroit sur le diagramme des hauteurs usées.

27. Par conséquent, la comparaison entre les plus petits pics de l'histogramme des hauteurs d'un assemblage d'utilisation et la valeur ou les valeurs des hauteurs passives permet de dire si les pics observables sur l'histogramme correspondent à des meules entièrement usées ou bien à des rejets ou abandons d'équipement meulier intervenu avant le terme d'usure. L'avantage est que la hauteur passive, tant sur *Metae* que sur *Catilli* peut se calculer sur toute meule : on peut donc pour tout ensemble meulier d'utilisation estimer la fraction des meules totalement usées ou presque totalement usées. Prenons l'exemple du site rural laténien du Pâtural en Auvergne occupé à La Tène C, au III^e et II^e s. aC (DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007).

Figure 23 : Site d'Utilisation du Pâtural – comparaison entre la Hauteur finale et la hauteur passive des *Catilli* (la hauteur passive est figurée en couleur prune)

On peut ainsi constater (Fig. 23) que les plus petites hauteurs observables sur les *Catilli* (9,5 à 13 cm) ne correspondent pas à la hauteur passive de ces mêmes meules. En effet celle-ci va de 7 à 10,5 cm et les deux plages de valeurs sont quasiment en relai l'une de l'autre²³. Par conséquent on peut affirmer que les *Catilli* du Patural ont été rejetés avant d'être parvenus au maximum possible de leur usure.

Si l'on considère l'intervalle occupé par les pics de fréquence d'une part des hauteurs passives (couleur prune sur la Fig. 23) et d'autre part par les hauteurs usées, soit respectivement 7,5-9,5 cm pour HP et 11-13 cm pour H, on mesure une



²³ On notera au plan méthodologique l'importance qu'il y a (lorsque les quantités le permettent) à distinguer un histogramme des *Metae* et un autre pour les *Catilli*. En effet, sans cette distinction on ne pourrait ici constater la différence entre l'usure effective, finale, des *Catilli* et leur usure possible. Pire, la fusion des deux histogrammes en un seul aurait conduit à affirmer que toute une partie des meules avait atteint son degré maximal d'usure, les valeurs minimales des *Metae* (7,5 à 9,5 cm) correspondant en effet à l'essentiel de celles (HP) des *Catilli*.

différence de 3,5 cm (soit 2 dgt). Comme on ignore les hauteurs initiales des *Catilli* du Pâtural réalisés dans des basaltes ou des trachytes, on ne peut mesurer leur degré exact d'usure.

28. On peut seulement proposer deux estimations, l'une basée sur une hauteur initiale de 12 dgt (ca. 21 cm) qui comme nous l'avons vu est fréquente, de même que l'est une hauteur de 10 dgt (ca. 17 cm) qui sera le deuxième terme de l'estimation.

Si les *Catilli* du Pâtural étaient initialement hauts de 21 cm, leur hauteur d'usure maximale (correspondant à HP) étant de 8-9 cm, leur longévité s'établit alors à 13 cm (soit 1/2 pied ou 8 dgt)²⁴. Leur hauteur finale constatée étant centrée sur 11-12 cm, leur utilisation a donc entraîné la consommation d'une hauteur de pierre de 9-10 cm (HNf 21 cm – HUs 11-12 cm). Leur degré d'usure peut alors être estimé à 75% (usure 9-10 sur longévité 13).

Si les *Catilli* du Pâtural étaient initialement hauts de 17 cm, leur hauteur d'usure maximale (correspondant à HP) étant de 8-9 cm, leur longévité s'établit alors à 8/9 cm (soit 4 ou 5 dgt)²⁵. Leur hauteur finale constatée étant centrée sur 11-12 cm, leur utilisation a donc entraîné la consommation d'une hauteur de pierre de 5-6 cm (HNf 17 cm – HUs 11-12 cm). Leur degré d'usure peut alors être estimé à 65% (usure 5-6 cm sur longévité 8-9).

Conclusions

29. La hauteur des meules varie grandement selon les fabrications, elle ne dépend pas de la géographie ou de la chronologie même si les meules minces semblent un peu moins rares à l'horizon du changement d'ère.

La hauteur est un paramètre trompeur car elle diminue avec l'usure de la meule. Aussi ne peut-elle être analysée de la même manière que les paramètres a priori fixes que sont notamment le diamètre, la hauteur de cône ou l'envergure de l'œil. La hauteur ne peut fournir la base d'une approche métrologique, à l'exception toutefois des hauteurs non usées constatées sur les ateliers. Prendre en compte la hauteur d'une meule nécessite en conséquence de faire un détour obligatoire par les données recueillies sur les ateliers ou sur les zones de production.

30. Les ateliers sont en effet fondamentaux en ce qu'ils permettent de connaître la valeur à neuf de la hauteur, ce qui autorise notamment à définir (en doigts) le gabarit des hauteurs et sa gamme, à établir la hauteur utile des meules (leur longévité en cm), enfin à calculer le degré d'usure des meules trouvées sur les sites d'utilisation. L'examen de la distribution des hauteurs dans un profil d'atelier permet ainsi de déterminer s'il a fabriqué en un ou plusieurs gabarits de hauteur et lesquels. On constate que la production y a généralement connu 2 voire 3 standards de hauteur, ce qui parfois peut correspondre à une superposition dans le temps de standards synchrones moins nombreux. En moyenne les gabarits de hauteur majoritaires sont 8 à 10 doigts (14 à 19 cm) soit des meules d'un demi-pied de haut, mais une série non négligeable d'ateliers montre des meules minces, dont le gabarit moyen (9-12 cm) se situe sur 6 doigts.

La connaissance des hauteurs d'atelier donne par ailleurs accès à la hauteur utile qui était fabriquée, permettant d'en établir le gabarit (par exemple 4, 6 ou 8 doigts – voir **CHAP.17**). Déterminer la hauteur utile permet d'examiner si la longévité de la meule qu'elle représente était un paramètre maîtrisé et pré-conçu, ou s'il résultait simplement du plus ou moins grand développement donné par les meuliers aux autres composantes de la hauteur (hauteur du cône, profondeur de la trémie, hauteur passive incompressible, impact des emmanchements).

²⁴ Leur rendement en hauteur utile (HU / HNf) est en ce cas de 62% (13 / 21), une valeur récurrente pour les *Catilli*.

²⁵ Leur rendement en hauteur utile (HU / HNf) est en ce cas de 50% (8-9 cm / 17), une valeur récurrente mais minimale pour les *Catilli*.

31. Néanmoins, la hauteur observable sur les meules utilisées est également exploitable d'autant qu'elle constitue le plus souvent la seule donnée disponible. Cette hauteur observée, en réalité hauteur restante ou hauteur usée (Hr ou HUs), permet une approche indirecte, peu précise mais assez intéressante de l'usure des meules, en particulier lorsque l'on ne connaît pas les ateliers de provenance, ce qui est la situation archéologique la plus fréquente.

Tout d'abord la confrontation des plus grandes hauteurs observées dans un assemblage d'utilisation avec les différents gabarits fabriqués dans les ateliers correspondants permet d'établir la part de meules neuves ou peu usées présentes dans un assemblage de consommation. Cela conduit à questionner le taux de renouvellement et permet également de comprendre la signification de la fraction la plus usée des meules.

En effet, le profil d'un assemblage d'utilisation montre le plus fréquemment une forte proportion de hauteurs faibles, qui souvent prend la forme d'une succession rapprochée de pics de fréquence et plus rarement celle d'un dôme. Ces faibles hauteurs correspondent logiquement à des meules usées et donc rejetées. Théoriquement tout assemblage de meules utilisées devrait être entièrement constitué de cette fraction, les meules incomplètement usées ou en cours d'utilisation, à priori conservées, emportées ou échangées échappant alors à la trajectoire de rejet et n'entrant pas dans l'assemblage archéologique.

32. Une première question consiste donc à établir si le profil est constitué uniquement de meules parvenues à leur terme d'usure ou s'il contient également des meules rejetées avant ce terme. Ces données peuvent éclairer les conditions de formation de l'assemblage et la nature de l'abandon du site en indiquant l'état d'usure homogène ou variable des meules rejetées. Tous les sites en effet ne montrent pas des meules rejetées à un degré d'usure achevé et le rejet de meules aptes à l'utilisation devient source d'interrogation²⁶.

Une seconde question a trait à la fraction, souvent présente, de meules qu'on peut qualifier d'archi-usées. L'usure maximale correspond en effet à la hauteur passive incompressible d'une meule, épaisseur qui ne peut être consommée. Ce degré maximal n'est pas toujours, loin s'en faut atteint sur les sites d'utilisation. Tendanciellement les meules étaient en fait renouvelées un peu avant leur usure maximale. Ce renouvellement avant limite traduit un évitement et peut signifier que ce point d'usure pouvait représenter des inconvénients techniques (tels par exemple qu'une rotation elliptique, le battement du bord d'une meule sur l'autre, un mauvais broyage par insuffisance de poids et pression).

Mais le rejet des meules avant le terme extrême de leur usure peut aussi traduire l'éventualité que *Metae* ou *Catillus* aient pu parfois s'user plus rapidement l'un que l'autre (voir à ce sujet les différences de hauteur utile parfois observables entre *Metae* et *Catilli* dans le **CHAP. 17** parties 4 et 5B). Établir la présence ou l'absence de cette composante archi-usée impose de séparer l'histogramme des hauteurs de *Metae* et *Catilli* ainsi que de former le spectre de leurs hauteurs passives respectives. L'absence, dans un assemblage d'utilisation, d'une fraction de meules archi-usées tandis qu'est présente une fraction de meules neuves ou sub-neuves témoigne de l'absence soit d'une pression tendant à la sur-exploitation de l'équipement meulier, soit d'une limitation du pouvoir d'acquisition. La présence de meules archi-usées associée à une absence de meules sub-neuves tend à traduire l'une de ces pressions.

33. Les fabrications de Meules Rotatives Basses d'Orvieto se caractérisent par leur forte hauteur dont la moyenne (22,57 cm) correspond à 12 doigts et n'est dépassée que par celle de Els Vilars (29,33 cm soit 1 pied) et par les meules particulièrement épaisses, larges et pentues à la fois de l'atelier du Portus en Bourgogne (hauteur moyenne 21,5 cm soit 14 dgt). A Orvieto la différence de hauteur est importante (6,5 cm soit plus de 3 dgt) entre d'une part la moyenne des *Catilli* (18,79 cm soit 11 dgt), valeur qui rentre dans la partie supérieure de la norme majoritaire, et d'autre part la moyenne des *Metae* (25,3 cm soit 14 dgt) qui témoigne

²⁶ Il est alors intéressant d'aller examiner des aspects tels que le degré de conservation des meules (voir **CHAP.6 en Partie I**) ou le cas de Blois La Croupe en **ANNEXE 14**), qui peuvent être très lacunaires ou parfois en gros fragments, ainsi que la distribution intrasite des restes meuliers.

d'une fonction piédestal ou de support revêtue par ces dernières. Ces valeurs tendent à faire des MRB d'Orvieto des produits situés en marge et montrant des affinités avec les meules de la période molinologique ancienne (Vè-IVè s. aC), notamment celles d'Els Vilars. Notons cependant que les fortes hauteurs orviétanes ne se traduisent pas dans des hauteurs utiles élevées (voir **CHAP.17**, partie 3 §55 et partie 4) : potentiellement forte pour les *Metae*, la hauteur utile de ces dernières est systématiquement rabattue sur 8 dgt (ca. 14 cm) par la réalisation d'un important évidement de l'assise. Les *Catilli* sont quant à eux de faible hauteur utile (en moyenne 7,2 cm soit 4 dgt et peut-être plutôt 6 dgt sur les exemplaires fiables). La hauteur utile des Meules Rotatives Basses d'Orvieto rentre ainsi dans les valeurs communes sans apporter d'indice particulier quant à la chronologie de la production ou à son inscription éventuelle dans une communauté géographique.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO MARTINEZ 1995 – ALONSO MARTINEZ 2002 – ARIS 1973 – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011 – CHARTAIN, DE LABRIFFE 2003 – CHAUSSERIE-LAPREE 1998 – DAVEAU *et al.* 2007 – DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007 – DEDET 1999 – FELIU, JODRY 2017 – GAILLEDRAT *et al.* 2012 – GARCIA 1995 – GAULTIER 2009 – GREEN 2011 – JACCOTTEY, BOYER, ALIX 2017 – PORTILLO 2006 – PY, 1992 – RAUX 1999 – REILLE 2000 – REILLE 2000 – REILLE 2000 – REILLE in BUXO 2000 – REILLE, CHABOT 2000 – REILLE 2001 – REILLE 2001 – REILLE 2002 – RENZULLI *et al.* 2002 – SOLIER, FABRE 1969 – UGOLINI 2012 – UGOLINI, PARDIES 2017 – WILLIMAS-THORPE, THORPE 1987 –

CHAPITRE .12

La CONICITÉ des MRB

Dans ce chapitre on présentera le registre des Conicités employées à Orvieto en s'efforçant de le situer dans le contexte plus général de l'expression de la Conicité des Meules Rotatives Basses entre Ebre et Rhin.

Bien qu'on ne l'expose pas dans ce mémoire, il existe une spatialisation de la Conicité, certaines régions étant marquées par une forte angularité des Meules tandis que d'autres le sont par des pentes plus modestes voire par des Meules Plates. Il y a place pour une approche chrono-culturelle (de type « zones de style ») de la Conicité antique, incluant un examen des évolutions possibles entre La Tène et l'époque Romaine. Il reviendra aux recherches futures de montrer à quelle période se met en place dans une région donnée une tradition de Conicité, éventuellement après une rupture¹, quels ont pu être les mouvements affectant les conicités régionales, si les frontières entre domaines de Conicité ont été mouvantes ou au contraire d'une grande stabilité, enfin si ont existé des phénomènes d'unification ou de conquête entre zones de Conicité comme on le constate par exemple pour la Conicité 0° (voir CHAP.19).

On examinera ici le registre des Conicités pratiquées dans l'Antiquité en soulignant à la fois, hors de la conicité 0°, l'existence d'un tronc commun (conicités très majoritairement de 10 à 19°) et celle d'une petite fraction, limitée mais constante, de conicités qui ne sont pas en elles-mêmes fortes mais constituent un groupe particulier qui s'éloigne du corps principal de conicité d'un assemblage.

Figure 1 : Classes de Conicité

1. La Conicité des MRB

1. La notion de Conicité a été définie au **Chapitre 9** dans la partie consacrée à la Géométrie des Meules Rotatives Basses. On rappellera simplement en début de ce développement que par Conicité on entend la Pente de la surface active d'une meule, mesurée par son Angle Latéral, soit l'inclinaison du cône. La Conicité sera aussi parfois désignée par les termes d'Angularité ou d'Angulation, tous équivalents.

2. La pente individuelle de chaque meule a été ramenée à la valeur du centre de classes de 3° (**Fig.1**)². L'écart de 3° est basé sur le fait qu'en pratique il est difficile ou illusoire d'afficher une angularité plus précise et que par ailleurs les angles manipulés par les meuliers antiques semblent l'avoir été en 16è ou en 32è

Classes de Conicité (°)	
classe	centre
0 - 2°	1
3 - 5°	4
6 - 8°	7
9 - 11°	10
12 - 14°	13
15 - 17°	16
18 - 20°	19
21 - 23°	22
24 - 26°	25
27 - 29°	28
30 - 32°	31
33 - 35°	34
36 - 38°	37
39 - 41°	40
42 - 44°	43
45 - 47°	46
48 - 50°	49

¹ On pense ici à l'importance de la Conicité 0° (Meules Plates) dans les niveaux anciens de Lattes (V-IVè s aC) et à la disparition de l'aire méridionale du Moulin Plat dont relevait ce phénomène jusqu'au IIIè s. aC (voir CHAP.19).

² Ainsi une meule de pente 8° est attribuée à la classe 6-7-8° et donc exprimée par le centre 7°, les meules de conicité 0° (Meules Plates) sont exprimées par la valeur 1° (classe 0-1-2°).

de l'Angle Droit soit 2,81° (voir *infra* et SYNTHÈSE).

Figure 2 : Conicité des Assemblages sur les sites d'Utilisation et Rejet

3. La conicité des meules qui sont retrouvées sur les sites d'Utilisation (Fig.2) apparaît relativement symétrique et centrée sur les classes 10/13/15°. De fait la moyenne des *Catilli* est de 14,16° et celle des *Metae* de 14,26°. La distribution montre cependant une tendance à l'assymétrie à gauche qui traduit un renforcement des effectifs dans les classes 1°/4° soit celles du Moulin Plat (voir CHAP.19). Ce renforcement est de l'ordre de +2% pour la classe 4° et de +7% pour celle de 1° (soit un total d'environ 10% et ca. 140 meules).



Figure 3 : Conicité des Assemblages sur les sites d'Ateliers meuliers



4. La structure des conicités transparaît peut-être mieux encore à travers sa distribution sur les Ateliers (Fig.3). Celle-ci fait en effet apparaître également 2 pics majeurs (sur 10/13° et sur 19°) ainsi qu'un pic secondaire sur la classe 1°. Elle confirme l'existence d'un petit pic isolé vers les hautes conicités, centré sur 31/34°. Il est complété par un signal anormalement élevé bien que très modeste (2,8%) situé sur la Conicité 40°, surfréquence perceptible aussi sur les sites d'Utilisation.

Figure 4 : Conicité population totale



ou de fréquence modérée selon que l'assemblage se situe hors zone ou en zone de mixité Meules Plates / Meules Coniques ;

- le troisième fait correspond à l'existence d'un groupe de Fortes Conicités³ situé sur le pôle 31/34° avec un complément sur 40°.

5. La distribution des conicités met ainsi si en évidence trois faits :

- la dominance d'un bloc constitué des angularités mesurant 10°/13°/16°/19°, chacune à hauteur de 13 à 15% des effectifs ;
- l'existence d'un pic secondaire correspondant aux meules Plates (conicité 1 et 4°) qui sont géographiquement zonées et peuvent être absentes

³ A l'occasion abrégées en FoCO pour les nécessités des tableaux ou pour éviter des longueurs dans le texte.

2. La Conicité des MRB à Orvieto

6. L'examen (Fig.5) de la conicité des MRB d'Orvieto, site d'Atelier, permet d'emblée de montrer comment un assemblage particulier, bien qu'il corresponde déjà à un certain degré de palimpseste (plusieurs aires de production et sans doute plusieurs périodes), peut se singulariser par rapport à la structure d'ensemble.

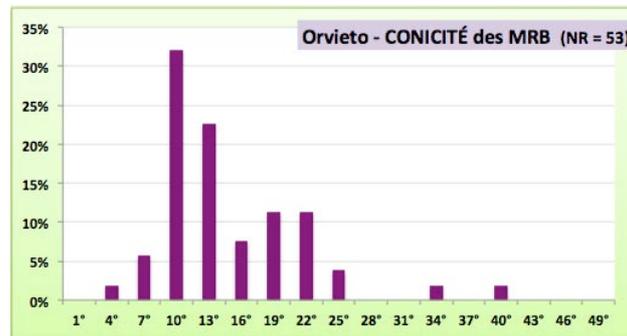


Figure 5 : La Conicité des MRB d'Orvieto

Deux normes de conicité à Orvieto

7. Les Meules Plates et les faibles conicités sont absentes. Le registre de conicité se décline en 2 normes : la Norme de conicité 1 (NCo.1) regroupe les meules de pente 10/13° qui ont été fabriquées pour un total de 54,7% ; la Norme de conicité 2 (NCo.2) rassemble celles dont l'inclinaison est plus forte, sur 19/22°. Ces dernières sont deux fois moins nombreuses (total 22,6%).

8. Ces deux normes ont chacune une étendue de 6° (9 à 14° pour NCo.1 et 18 à 23° pour NCo.2). On ignore si cette largeur des normes est due à une standardisation lâche ou à l'expression de 2 normes de valeur centrale légèrement décalée (par exemple pour NCo.1 l'une plutôt vers 10° et l'autre plutôt vers 13°) qui pourraient traduire l'existence à Orvieto de 2 officines ou de 2 traditions de fabrication.

Une production Duale à Orvieto

9. Deux schémas sont alors envisageables pour une production qui serait ainsi duale :

- Dédoublément A : la fabrication a lieu en 1 seule Norme et une première ligne de production, (ou officine ou période) pourrait avoir fabriqué en conicité 10/13° tandis qu'une seconde produisait des meules de Conicité 19/22° ;

La dualité peut alors traduire l'existence de 2 officines chacune produisant selon une conicité bien différenciée de l'autre, l'une modérée (10/13°), l'autre forte (19/22°). Ces deux lignes de production distinctes et de conicité distante (9°) pourraient correspondre à 2 périodes de production caractérisées par un changement de la conicité dans le temps.

- Dédoublément B : la fabrication avait lieu en 2 normes, une première ligne fabriquant sur 10° et une seconde ligne plutôt sur 13° tandis que leur seconde norme de fabrication se situait l'une sur 19 et l'autre sur 22°. Dans ce cadre à 2 normes on peut tout autant envisager un couple 10° + 19° qu'un couple de normes 10° + 22°. Dans ce cas la distance au sein des couples de normes peut avoir été de 9 ou 12° mais aussi de seulement 6° (entre une NCO.1 de 13° et une NCO.2 de 19°).

Une possible détermination géométrique des normes de Conicité

10. On remarquera que la conicité de 10° est proche de la valeur 11,25° qui correspond à 1/8è ou 2/16è ou encore à 4/32è de l'Angle Droit tandis que la valeur 22,5°, qui constitue le double la première, correspond à 2/8è ou 4/16è et 8/32è de l'Angle Droit. Ce rapprochement pourrait traduire chez les meuliers d'Orvieto la manipulation des angles à travers une partition en 16è ou en 32è de l'Angle Droit, soit des unités correspondant à 5,6° ou à 2,81° sinon à 1,4°.

Toutefois la valeur 22,5° semble trop éloignée de l'intervalle observé (19/22° soit l'étendue de 18 à 23°), ce qui porte à considérer une partition différente ou à considérer que cette seconde Norme a été réalisée de manière plus approchée.

11. Même si plus l'unité est petite plus elle a de chances d'ajuster l'ensemble des valeurs, la Fig.6 fait apparaître que la partition utilisée serait plus vraisemblablement celle des 64è ou 48èmes de l'Angle Droit, le premier relevant du système de partition par 16 (celui du Doigt) tout comme le second (48è) mais ce dernier relève aussi du système de partition par 12 (celui du Pouce). La prise en compte des 2 conicités éloignées (34° et 40°) montre (Fig.7) que la partition en 12èmes serait exclue et qu'il s'agirait donc plutôt d'une partition par 16 exercée sous la forme des 64è.

12. L'examen des normes de conicité pratiquées à Orvieto sous l'angle des systèmes de partition pouvant les générer, suggère que la Norme 19/22° ne serait pas cohérente avec celle de 10/13°, proposant ainsi qu'elle corresponde soit à une période différente, soit à une officine distincte. En effet, dans l'hypothèse où les Angulations pratiquées en domaine meulier répon-

Figure 6 : Normes de Conicité moyenne à Orvieto

	Valeurs attendues selon une partition en 48è de 90° (12 x 4 ou 16 x 3)	Conicités observées	Valeurs attendues selon une partition en 64è de 90° (16 x 4)	
Norme 1	5/48è 9,37°	10°	9,8° 7/64è	Moyenne 11,25° (17 x 10° + 12 x 13°)
	1/8è = 2/16è 6/48è 11,25°	13°	11,25° 8/64è = 4/32è = 2/16è = 1/8è	
	7/48è 13,12°		12,65° 9/64è	
	2/12è = 8/48è 15°		14,06° 10/64è = 5/32è	
Norme 2	10/48è 18,75°	19°	18,28° 13/64è	Moyenne 20,5° (6 x 19° + 6 x 22°)
	11/48è 20,62°	22°	19,68° 14/64è = 7/32è	
	2/8è = 4/16è 12/48è 22,5°		21,09° 15/64è	
			22,5° 16/64è = 8/32è = 4/16è = 2/8è	
valeur cible probable (Norme) n°1 = 11,25° soit 6/48è ou 8/64è soit 1/8è de 90°				
valeur cible probable (Norme) n°2 = 20,6° ou 19,7° soit 11/48è ou 14/64è de 90°				
distance entre les 2 Normes : de 6 à 11/48è soit 5/48è (9,37°) de 8 à 14/64è soit 6/64è soit 3/32è (8,43°)				

draient à une partition de l'Angle Droit en 16èmes⁴, on peut situer les conicités fabriquées à Orvieto dans ce système 16 (Fig.8). Les valeurs exactes (n 16è) sont considérées comme répondant au canon de la partition.

On constate alors que la première Conicité canonique possible (1/16è soit 5,6°) n'est pas réalisée. De fait

Orvieto se situe hors du champ technique et sans doute géographique du Moulin Plat⁵. Il en est de même de la 3è valeur canonique (3/16è soit 16,8°) alors que cette conicité 16° est pourtant l'une des principales inclinaison des meules antiques entre Ebre et Rhin (cf. Fig.4 supra).

Figure 7 : Conicités Fortes à Orvieto

	Valeurs attendues selon une partition en 48è de 90° (12 x 4 ou 16 x 3)	Conicités observées	Valeurs attendues selon une partition en 64è de 90° (16 x 4)	
	3/8è = 6/16è 18/48è 33,75° = 4,5 /12è	34°	33,75° 24/64è = 12/32è = 6/16è = 3/8è	distance 3/48è ou 1/16è
	21/48è 39,37°	40°	39,37° 28/64è = 14/32è = 7/16è	distance 4/64è ou 1/16è
	22/48è 41,25°		40,78° 29/64è	
Située à même distance de 40° que 40,78° la valeur cible probable pour 40° est toutefois probablement 39,37° car cette valeur correspond à une partition canonique (16èmes)				
la distance entre les pics marginaux 34 et 40° serait ainsi canonique (1/16è de l'Angle Droit) (24 vs 28/64è ou 12 vs 14/32è)				

Bien plus rare (23 exemplaires sur 1.655 et score de 1,4% sur la population totale) la 5è conicité canonique (5/16è soit 28,1° donc notre classe 28°) est également absente à Orvieto..

13. Les conicités pratiquées sur les meules d'Orvieto révèlent donc l'existence de choix effectués parmi un éventail de valeurs

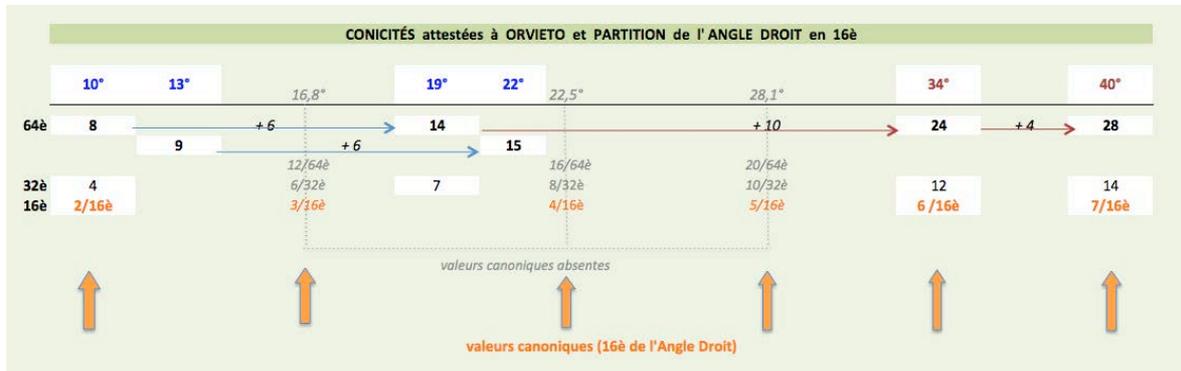
canoniques et éventuellement plus intermédiaires qui pouvaient être réalisées. Parmi les 4

⁴ Ou de l'Angle Plat en 32è soit aussi une division du cercle en 64 parts soit 16 par quadrant.

⁵ Voir CHAP.9 ; notons cependant que les Meules Plates sont attestées (fréquence globale 3%) dans la région Trentino/Veneto (DONNER 1992) bien qu'avec une fréquence globale très faible (3%) qui tend à indiquer qu'elles ont été présentes à une période ou sur un nombre de sites limités.

conicités fabriquées à Orvieto, 3 correspondent à des valeurs canoniques de la partition en 16è : une des **deux** normes principales (celle sur 10° soit 2/16è) ainsi que les 2 Fortes Conicités éloignées des normes principales (34 et 40° soient 6 et 7/16è) et qui sont de fréquence très marginale. Les meules orviétanes font donc fortement écho à un possible système de partition par 16 qui régirait les angles.

Figure 8 : Conicités d'Orvieto et partition de l'Angle Droit par 16



Dans ce cadre deux questions intéressantes se posent :

- la conicité 13° qui forme le premier pic de fréquence avec celle de 10°, correspond-elle à la réalisation approchée d'une seule Norme ou bien à la proximité de 2 normes de conicité différentes ?

- la norme orviétane de conicité située sur 19/22° constitue une anomalie, la norme attendue selon les valeurs canoniques en 16è serait en effet (Fig.8) soit 16,8° (4/16è) ou 22,5° (5/16è).

En tentant d'apporter une réponse à cette question on constatera qu'un écart minimal est nécessaire entre 2 conicités au sein d'une même fabrication et que par ailleurs toutes les conicités majoritairement observées ne répondent pas en effet aux valeurs canoniques de la partition de l'angle droit par 16, Orvieto n'échappant pas à ce phénomène.

Réalisation approchée des Normes de Conicités ?

14. Comme nous l'avons vu (*supra* Fig.6), les conicités 10 et 13° peuvent être vues comme une séquence de 3 angles (9,8°/11,25°/12,65°) correspondant à la suite 7/8/9 64è de l'angle droit. A ce titre on peut estimer qu'elles traduisent la fabrication par défaut ou par excès d'une même norme. Dans notre exemple d'Orvieto de la norme de conicité n°1 (10/13°) la conicité visée serait 11,25° et répondrait à la valeur canonique de 2/16è. La réalisation de ces 8/64è se ferait à 1/64è près par défaut (9,8° soit 7/64è) et à 1/64è près par excès (soit 12,65° et 9/64è) autour de la valeur cible exacte (11,25° soit 8/64è). Le travail fluctuerait ainsi à 1,4° près sur une étendue de 2,8°.

Figure 9 : Différences entre Hauteurs de Cône pour les Angles 9,8°/11,25°/12,65° correspondant à la Norme 1 de conicité d'Orvieto (10/13°)

15. L'erreur apparaît importante puisqu'elle est de 12,4% (1,4° sur 11,25°). Mais ce chiffrage est trompeur. En effet, sur un diamètre de 35 à 45 cm une différence de 1,4° est proche de l'imperceptible, dans le même temps où la différence de Hauteur du Cône qu'elle entraîne est de 0,5 ou 0,6 cm (Fig.9). Il est donc en réalité impossible de fabriquer des conicités aussi faiblement différenciées manuellement en taille de pierre et sans usinage mécanique moderne. Il en résulte que la norme de conicité 10 /13° peut tout à fait correspondre à la variabilité produite par la réalisation

Différence des HAUTEURS de CÔNE selon un même DIAMÈTRE						
DIAM	Rayon	9,8°	écart	11,25°	écart	12,65°
D. 36 cm	18	3,1 cm	5 mm	3,6	5 mm	4,1
D. 38 cm	19	3,3 cm	5 mm	3,8	5 mm	4,3
D. 42 cm	21	3,7 cm	5 mm	4,2	6 mm	4,8

manuelle d'une seule norme pour un cône en pierre dure. Il en est de même pour la Norme 2 (19/22°) qui traduirait la réalisation d'une norme cible de 19,68° à 1/64è près par défaut et par excès (soit 18,3° et 21,09° -cf. *supra* Fig.6).

Conicités Distantes à Orvieto

16. A distance du corps principal des conicités d'Orvieto (à 9° soit 3 unités) se situe un tout petit groupe de Très Fortes Conicités (Fig.10). Il s'agit de 2 *Catilli* l'un dont la pente est de 32° l'autre de 39° (nous reviendrons sur ce fait au CHAP.21). Cette importante conicité peut être exagérée par l'état d'ébauche des deux meules, toutefois une fois achevée elle a peu de chances d'être inférieure à 22 ou 25°.

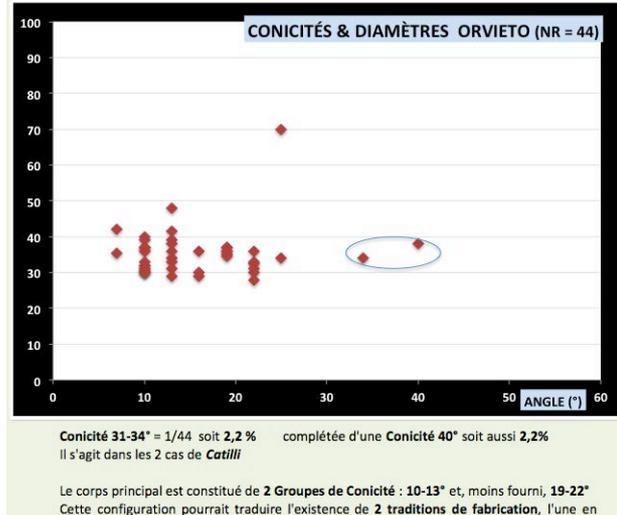


Figure 10 : Deux *Catilli* dont la conicité se détache nettement

3. Conicité et Diamètre

17. Le présent développement consacré au rapport entre la conicité des meules et leur diamètre repose sur un corpus de 1.655 associations entre une mesure de conicité et une mesure de diamètre concernant 77 sites, soit une moyenne de 21,5 références par assemblage (site). De ce total, 1.408 couples Conicité-Diamètre proviennent de 62 sites d'Utilisation et rejet de meules (soit en moyenne 22,7 références par site) et de 15 sites d'Atelier (soit 16,5 couples CO-DIAM par atelier).

Le Diamètre est exprimé au demi-centimètre. Comme déjà indiqué, chaque conicité a été ramenée à la valeur du centre de classes de 3° (*supra* Fig.1). A titre d'exemple on montre dans la Fig.11 un extrait de la base de données concernant le site «Toulousain»⁶. Lorsqu'une meule présente une double conicité (par ex. D.40 et Co. 10 + 14°), il a été procédé au dédoublement du couple (ainsi D.40 et Co.10° et D.40-Co.14°) afin de ne pas avoir à trancher en faveur d'une conicité plutôt que de l'autre. Ce phénomène ayant concerné 118 valeurs sur les 1.655 soit 7,1% il est resté limité.

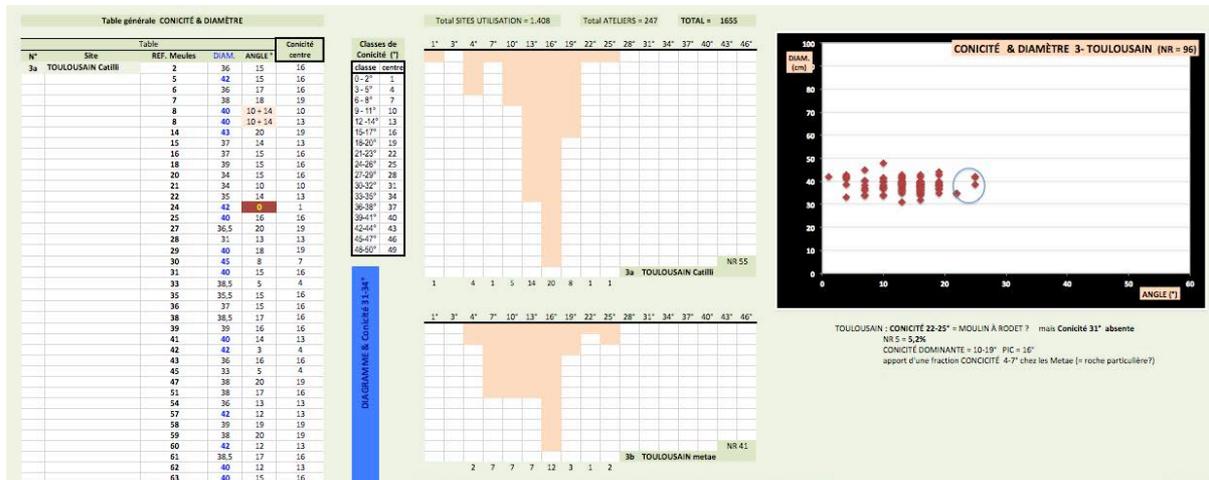
18. Le croisement entre les conicités et les diamètres sur les 1.408 couples fournis par les sites d'Utilisation (Fig.12) permet de dresser trois constats.

1- La conicité des MRB va de la classe 1° à la classe 34° au-delà de laquelle elle se raréfie pour être quasi-absente après 40°

⁶ Cet assemblage correspond à l'ensemble des meules de l'Age du Fer de la région Toulousaine étudiées dans les deux mémoires de Master d'Emilie THOMAS.

Figure 11 : Exemple des Conciités de l'assemblage Toulousain

- au centre sont figurés en couleur saumon les effectifs des classes de Conicité - à droite le cadre noir présente un diagramme qui croise Conicité en horizontale et Diamètres en verticale -

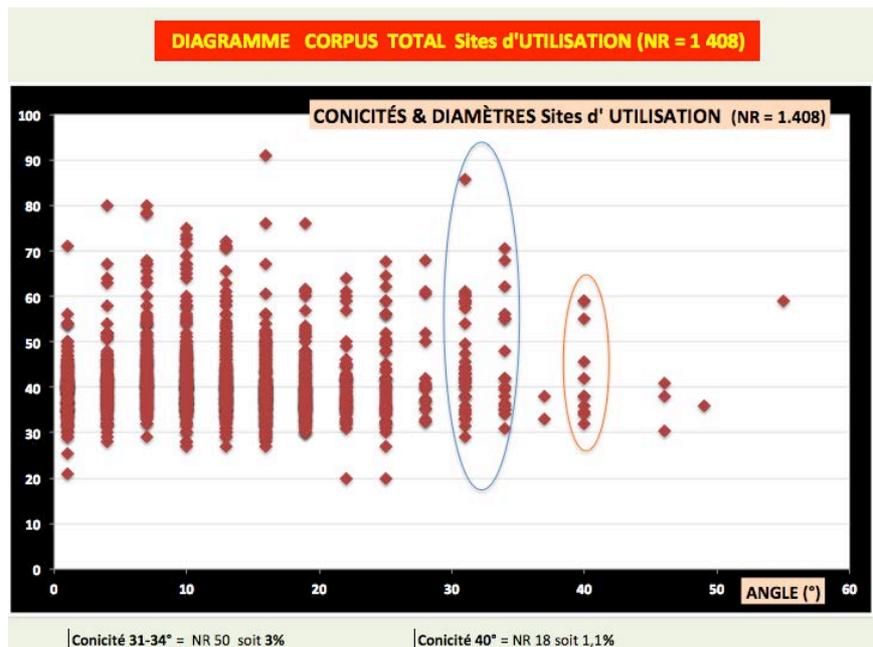


2- Diamètre et Conicité ne sont pas liés, en effet chaque conicité adopte tout le registre des diamètres, soit généralement de 28 à 60 cm, les diamètres sont moins nombreux entre 60 et 70 cm et deviennent rares au-delà. Notons que jusqu'à 70 cm les diamètres s'expriment dans toutes les conicités, jusqu'au seuil de 34°.

3- Enfin, troisième point, les grands diamètres ne sont pas liés aux fortes conicités, et tendent même à se cantonner à la limite des 16-19°, tandis que les fortes conicités connaissent leur plus gros contingent de diamètres entre 10 et 50 cm). Il n'y a donc pas de spécificité liée aux forts diamètres ou aux fortes pentes. Les plus grandes meules ne sont pas plus pentues et les meules les plus coniques ne sont pas les plus grandes.

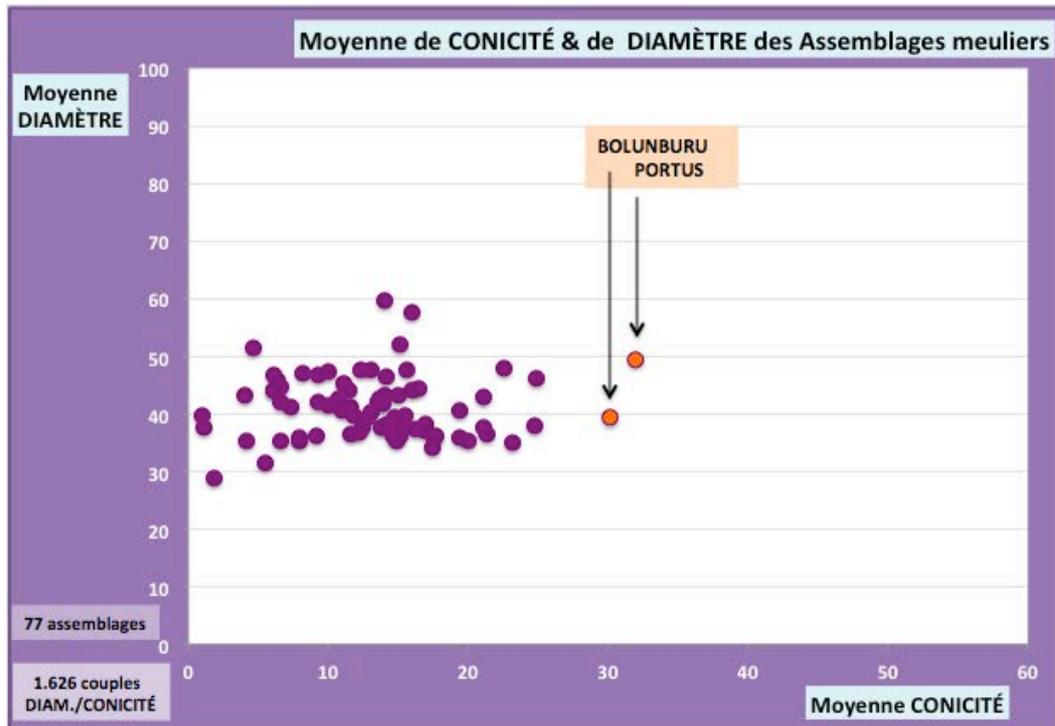
Figure 12 : Diagramme croisant le total des Conicités & des Diamètres de notre corpus de Meules Rotatives Basses

19. Cette indépendance entre Diamètre et Conicité durant l'Antiquité doit être notée dans la mesure où, pour une même angularité, l'augmentation du diamètre diminue la hauteur de meule disponible à l'usure (la H.Utile – voir *infra* CHAP.14 et 17). Disposer d'un grand diamètre implique donc dans une molinologie antique qui est conique, soit d'augmenter l'épaisseur de la meule et donc son poids, soit de changer de registre de conicité. Les meules médiévales et modernes, plates, peuvent en revanche librement augmenter le Diamètre sans



perdre en épaisseur à user (longévité) et peuvent même diminuer cette épaisseur afin de maîtriser le poids (voir CHAP.17 et Synthèse).

Figure 13 : Croisement de la Moyenne des Diamètres et des Conicités de l'ensemble des sites



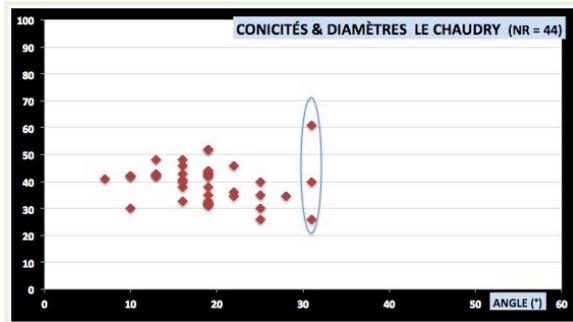
20. Au-delà de la classe de conicité 19°, la quantité des meules diminue de manière importante. Cela se constate aussi bien sur la population des assemblages d'Utilisation (Fig.12) que sur celle des sites d'Ateliers (Fig.14).

Ces deux distributions font en outre apparaître un pic de fréquence, mineur mais net, centré sur la Conicité 31° et dans une moindre mesure 34°.

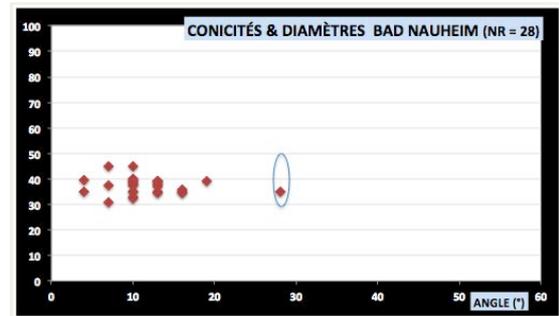
La question se pose de la fonction peut-être particulière de cette conicité singulière et notamment de sa correspondance avec l'entraînement hydraulique : cet aspect est traité au CHAP.21). On trouvera ci-contre (Fig.13) le pendant de la Figure 12 établi cette fois avec les moyennes : il fait ressortir la place singulière de l'atelier de Portus en Charollais et de l'assemblage du site de Bolunburu au Pays Basque espagnol.

On trouvera en page suivante (Figures 14) le même diagramme renseignant 9 ateliers qui peuvent ainsi être comparés avec Orvieto (Fig.10).

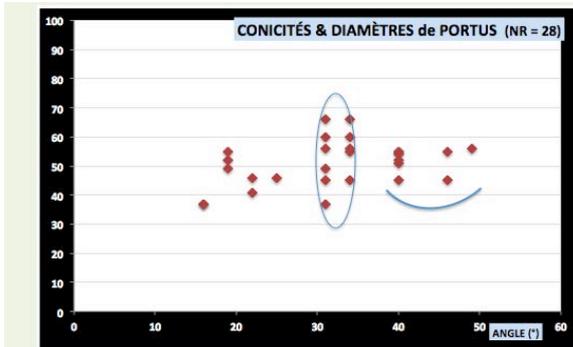
Figure 14 : Diamètre & Conicité de 9 Ateliers



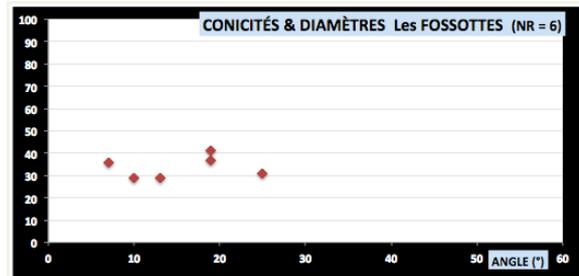
Conicité 31-34° = 3/43 soit 7% mais ce sont des ébauches : il pourrait s'agir de conicités 25-28 en version achevée.
 Noter que la conicité majeure, assez élevée, est 16-19° et que la conicité 25° est plutôt détachée : 25-28° pourrait donc correspondre à 31-34° chez d'autres assemblages



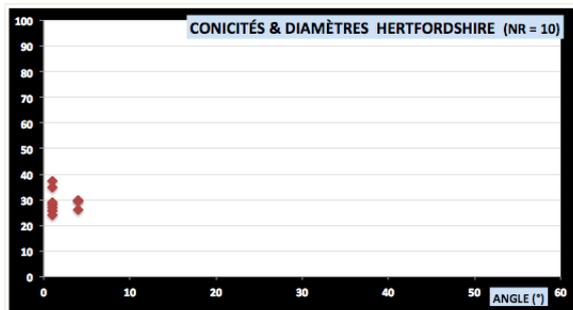
Conicité 31-34° = 1/28 soit 3,6 %



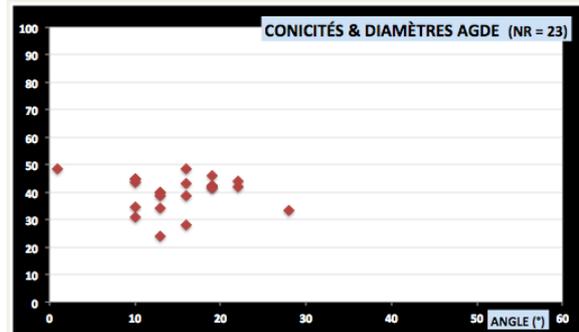
Conicité & Diamètres forts - Conicité 31-34° = 11/28 soit 39,2 % dont Grands Diamètres (60 cm 2 pieds) complétée par conicités très élevées 40 et 46-49° (9/28 soit 32%)
 => probable fabrique de Meules Hydrauliques de fort Gabarit (1,5 à 2 pieds)



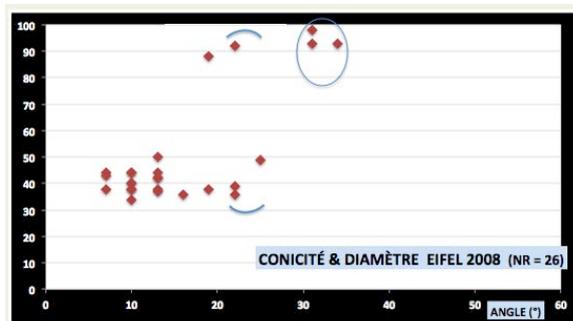
Conicité 31-34° absente



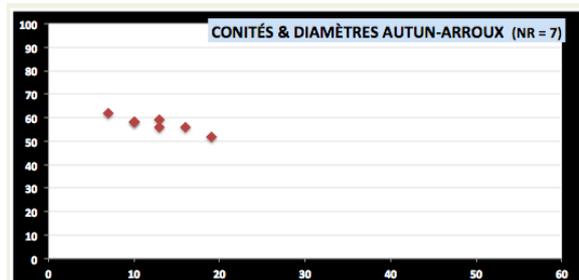
Zone du Moulin Plat (noter la petitesse des Diamètres)



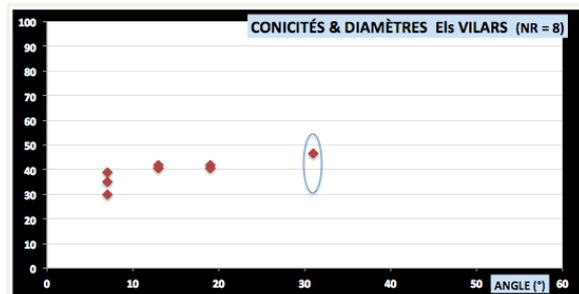
Conicité 31-34° absente mais conicité détachée 28° (1/23 soit 4,3%)



CONICITÉ 31-34° = 3/26 soit 11,5% , uniquement sur Très Grands Formats (3 pieds) complétée par Conicité détachée 22-25° sur formats ordinaire (D. 35-45)



Forts Gabarits (1,75/2 pieds) mais pas de conicité 31-34° ni détachée type 25-28°
 => meules hydrauliques peu probables



Conicité 31-34° = 1/8 soit 12,5%

4. Conicité, Diamètre et Hauteur du Cône

21. Le croisement entre les diamètres les plus couramment pratiqués (15 et surtout 17 à 32 doigts) et les hauteurs de cône mesurées en demi-doigt montre (Fig.15) que les conicités ainsi produites sont principalement centrées sur 7°, 10°, 13° et 16° pour des cônes hauts de 1 à 4 doigts. Les conicités supérieures se raréfient parce qu'elles correspondent soit à de très forts diamètres, peu pratiqués, soit à des cônes très hauts pour de petits diamètres tels que 16 à 20 dgt. Ainsi, pour chaque diamètre les meuliers disposaient de 3 à 5 conicités possibles, écartées de 3° et réalisables avec un panel de hauteurs de cône allant seulement de 1 à 3 doigts.

Figure 15 : Conicités produites pour chaque Diamètre par les différentes Hauteurs de Cône (valeurs en dgt et demi-dgt)

TAB.4		Conicité approchée à 1°																
		HAUTEUR du CÔNE HCo (en DGT)																
DIAM.	rayon	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12
1 pied	16 DGT 8	7°	10-11°	14°	17°	20-21°	22-23°	26-27°	29°	32°	34-35°	37°	41°	45°	48-49°	51°	54°	56°
	17 DGT 8,5	7°	10°	13°	16-17°	19-20°	22°	25°	28°	30-31°	33°	35°	39-40°	43°				
	18 DGT 9	6°	9-10°	12-13°	15-16°	18-19°	21°	24°	26-27°	29°	31-32°	33-34°	38°	41-42°	45°	48°	51°	53°
1,25	19 DGT 9,5	6°	9°	12°	15°	17-18°	20°	23°	25°	28°	30°	32°	36-37°	40°	43-44°			
	20 DGT 10	6°	8-9°	11°	14°	17°	19°	22°	24°	26-27°	29°	31°	35°	39°	42°	45°	48°	50°
	21 DGT 10,5	5-6°	8°	11°	13-14°	16°	18-19°	21°	23°	25-26°	27-28°	30°	33-34°	37°	40-41°	43-44°		
1,5	22 DGT 11	5°	8°	10°	13°	15°	17-18°	20°	22°	24-25°	26-27°	28-29°	32-33°	36°	39°	42°	45°	47-48°
	23 DGT 11,5	5°	7-8°	10°	12°	14-15°	17°	19°	21-22°	23-24°	25-26°	27-28°	31°	35°	38°	41°	44°	
	24 DGT 12	5°	7°	10°	12°	14°	16°	18-19°	20-21°	22-23°	24-25°	26-27°	30°	33-34°	37°	40°	42-43°	45°
1,75	25 DGT 12,5	4-5°	7°	9°	11°	13-14°	15-16°	18°	20°	22°	24°	25-26°	29°	32-33°	36°	38-39°	41°	44°
	26 DGT 13	4-5°	6-7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°	25°	28°	31-32°	35°	37-38°	40°	43°
	27 DGT 13,5	4°	6°	8-9°	10-11°	12-13°	14-15°	16-17°	18-19°	20°	22°	24°	27-28°	30-31°	34°	36-37°	39°	41-42°
28 DGT 14	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	19-20°	21-22°	23°	26-27°	30°	33°	35-36°	38°	40-41°	

Si par exemple l'atelier fabriquait ses meules dans les gabarits 18, 20, 21, 22 et 24 doigts, il ne pouvait produire une conicité plus basse que celle centrée sur 7° qui était en effet obtenue avec un cône de 1 ou 1,5 doigt. S'il désirait une pente plus élevée pour ses meules, telle que la très prisée 10°, il pouvait l'obtenir en réalisant des cônes hauts de 1,5 et 2 doigts. Une conicité particulièrement forte, telle celle de 34° que nous avons examinée il y a peu, nécessitait en revanche de façonner des cônes élevés (6 à 8 dgt) dont chacun ne permettait de réaliser que 2 diamètres.

22. Le tableau ci-dessus permet ainsi de comprendre la faveur dont jouissaient les conicités 10 et 13° ainsi que 19°.

Les deux premières (10 et 13°, représentées en bleu moyen et bleu foncé sur la Fig.15) permettaient en effet de réaliser tous les diamètres avec un cône mesurant 1,5 à 3 doigts.

La seconde conicité (19° représentée en orangé sur la Fig.15) permettait de faire de même avec un cône haut de 3 à 4 ou 4,5 doigts.

Il fallait donc une raison particulière au fait de pratiquer pour de tels diamètres une conicité plus élevée, de même qu'il devait y avoir des causes à la faible fréquence de l'angulation 7° (insuffisance de l'écoulement gravitaire des broyats ? insuffisance de l'encapsulation du *Catillus* sur la *Meta* ?).

On comprend en définitive que la conicité est géométriquement déterminée par le Diamètre. Son registre sur un atelier donné dépendait des Hauteurs de Cônes qui étaient manipulées. L'examen individuel, par atelier, des conicités croisées avec les diamètres (Fig.14) montre qu'au-delà des valeurs communes que sont 10-13 et 19°, les ateliers antiques pratiquaient un registre propre de conicités. Ainsi 7-10° à Bad Nauheim, 10-13° pour l'Eifel 2008 tandis que le Chaudry dans le centre de la France privilégiait la gamme de conicité 16-19°

et que l'atelier du **Portus** fabriquait essentiellement en fortes conicités (31-34°) ce qui pourrait correspondre à des machines particulières. Ces remarques sur la diversité du registre de conicités pratiquées par les ateliers ouvrent la voie à une exploration des géographies différentielles de la conicité et de leur mise en place dans le temps. Elles conduisent aussi à s'interroger sur les raisons du choix de pentes particulières, soit qu'elles caractérisent certains ateliers soit qu'elles concernent une fraction seulement de leurs fabrications (comme celle de 31° au Chaudry ou à Orvieto). Toutefois on retiendra, anticipant en cela sur le **Chapitre 21**, que les plus fortes conicités marquent essentiellement la période molinologique ancienne (avant le III^e s.) et qu'elles disparaîtront ensuite.

Auteurs cités dans ce Chapitre : DONNER 1992 – THOMAS 2006 –

CHAPITRE .13

L'Œil & l'Œillard des Meules Rotatives Basses

FIG.1 Ensérune (IV- II aC) : Œil large Œil étroit entouré d'un col d'usure (ébréché)



_____ La perforation centrale des meules, Œil chez les *Metæ* et Œillard chez les *Catilli*¹, joue un rôle important mais différencié. Chez les premières elle accueille un axe, fixe ou tournant, et peut traverser complètement l'épaisseur de la meule (Œil dit *traversant* ou *perforant*) afin de permettre, par une hausse ou baisse de l'axe, un réglage de l'écartement entre les meules. Pour sa part l'Œillard du *Catillus* revêt plusieurs fonctions : il permet d'abord l'entrée du grain ou des denrées à broyer, il est aussi le lieu d'insertion de et de liaison avec le dispositif de rotation (axe et

¹ En Anglais *Eye* et *Feed-pipe*, en Italien il *Foro* ou, moins souvent, l'*Occhio*.

moyeu), enfin sa largeur contribue, à travers le paramètre Hauteur de l'Œil (HOE), à définir la durée de vie de la meule tournante (Hauteur Utile).

Les caractères principaux des Œils des meules ne semblent pas montrer d'évolution chronologique particulière et paraissent acquis très tôt dans le développement de la technologie molinologique. Chacun aura remarqué assez vite d'une part que l'Œillard du *Catillus* est plus large que l'Œil de la *Meta* et d'autre part que certaines meules présentent un percement central de petit calibre alors que d'autres, parfois au sein des mêmes assemblages comme à Ensérune (Fig.1), montrent un œil plus large.

On ignore à ce jour l'ampleur et la nature de ces variations : a-t-on à faire à 2 ou 3 calibres qui, fixes, seraient des standards généralisés ? ou bien le Diamètre de l'Œil est-il par exemple proportionnel à celui de la meule ? De telles différences dans le gabarit de la perforation centrale tiennent-elles à la nature ou à la dimension des denrées soumises au mordant de la meule ? ou bien procèdent-elles plutôt de déterminations géométriques ou mécaniques, la dimension de l'Œil étant en ce cas donnée par des paramètres tels que la Conicité, le mode d'entraînement ou par exemple la vitesse de rotation ?

Toute une série de questions très intéressantes sont ainsi soulevées par les Œils des meules, y compris celles ayant trait aux effets de l'usure sur ces percements. On ne sait par exemple si la profondeur de l'Œil des *Metae* reste constante au fur et à mesure de l'usure, ou si elle doit être régulièrement retouchée dans l'éventualité où l'usure abaisserait progressivement le sommet de la *Meta*. Cette dernière éventualité semble indiquée par certains exemplaires telle une *Meta* ancienne du site ibérique de Puig Castellar (III-II^e s. aC) dont la base de l'Œil (Fig.2) touche presque l'assise de la meule ce qui a peu de chances de correspondre à une configuration donnée à la fabrication. Cette question rejoint celle de la formation d'un éventuel *col d'usure* (Fig.3) autour de l'Œil associé à l'inflexion progressive de la Conicité et à une diminution de la Surface Active à partir de l'Œil, dans la zone proximale aussi appelée *cœur* de la meule. Une autre série de questions concerne naturellement les formes de l'Œil, et plus exactement (Fig.4) les morphologies (en plan et en section) que donnent à l'Œil les différents dispositifs de liaison avec l'axe.

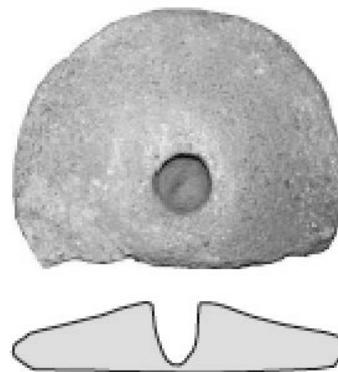


Figure 2 : *Meta* de Puig Castellar (PORTILLO 2006)

PC.5
R2-P1-2

Figure 3 : Formation d'un Col d'usure autour de l'Œil (à droite profil à neuf, en rouge le profil en cours d'usure ; le col correspond à la pointe qui amorce en arrondi le cône à partir de l'œil)

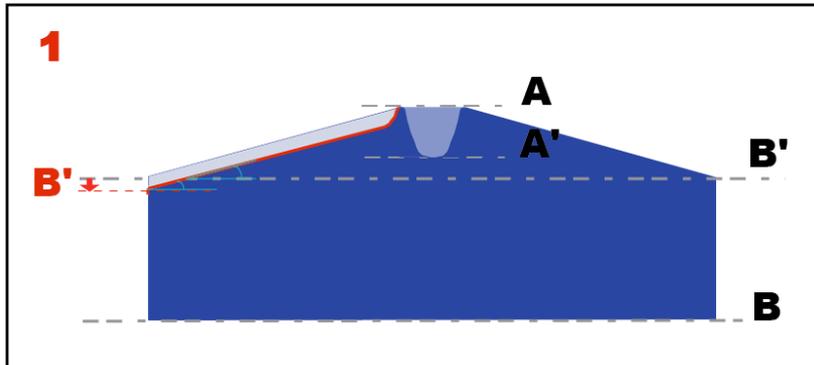


Figure 4 : Typologie (en plan) des Œillards de la Gaule (PICAVET 2019 thèse p. 166)

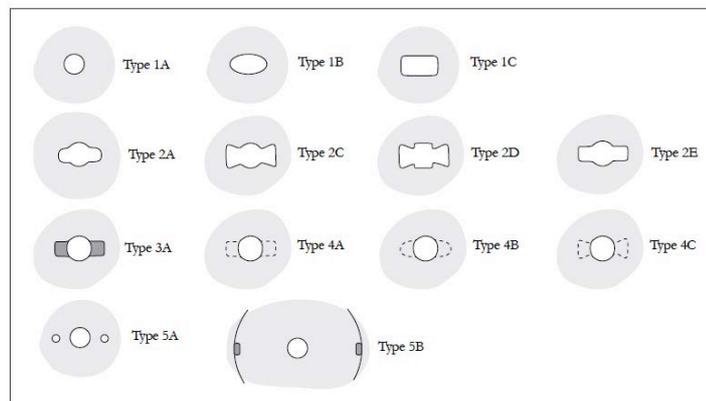


Figure 179 Typologie des œils de meules développée par le Groupe Meule. D'après ROBIN, BOYER 2011

Le percement de l'Œil étant absent sur les *Metae* d'Orvieto², le présent chapitre sera consacré principalement au Diamètre de l'Œillard des meules tournantes, les *Catilli*, à Orvieto et dans un corpus de comparaison restreint³. Le corpus réuni est ainsi composé de 17 assemblages réunissant 157 données relatives à l'Œil, il se compose comme suit (Fig.5):

- 4 assemblages sont issus d'Ateliers et totalisent 42 données (3 assemblages comprennent 10 à 15 items, le quatrième qui est Orvieto en réunit 6) ;
- 13 assemblages proviennent de sites d'Utilisation et de Rejet de meules et totalisent 115 données (5 assemblages comprennent autour de 10 items, 7 assemblages autour de 5 et 1 ensemble (Provence) regroupe 30 données⁴).

Figure 5 : Composition du Corpus support de l'étude de l'Œillard des *Catilli*

CORPUS d'ÉTUDE des OEILS de <i>Catilli</i>			
	Nom	NR	Total
ATELIERS	ORVIETO	6	4
	Le CHAUDRY	11	
	AGDE	15	
	BAD NAUHEIM	10	
		42	10,5
sites d'UTILISATION	NANTAIS	9	13
	PECH MAHO	11	
	PROVENCE 1992	30	
	ENSÉRUNE Basalte	9	
	CARCASSONNE	10	
	PEYRIAC de MER	4	
	TUNGRI	11	
	REIMS 2017	7	
	BÉZANNES	5	
	YMONVILLE LT	6	
	SARAN LT	4	
	BLOIS La Croupe LT	4	
	Els VILARS	5	
		115	8,85
	Total Corpus	17 assemblages	157 données œil
			9,2 par assemblage

² Seule la *Meta* R.16-37 comporte en son centre un curieux creusement rectangulaire de 4 cm sur 2,5 et 2,8 cm.

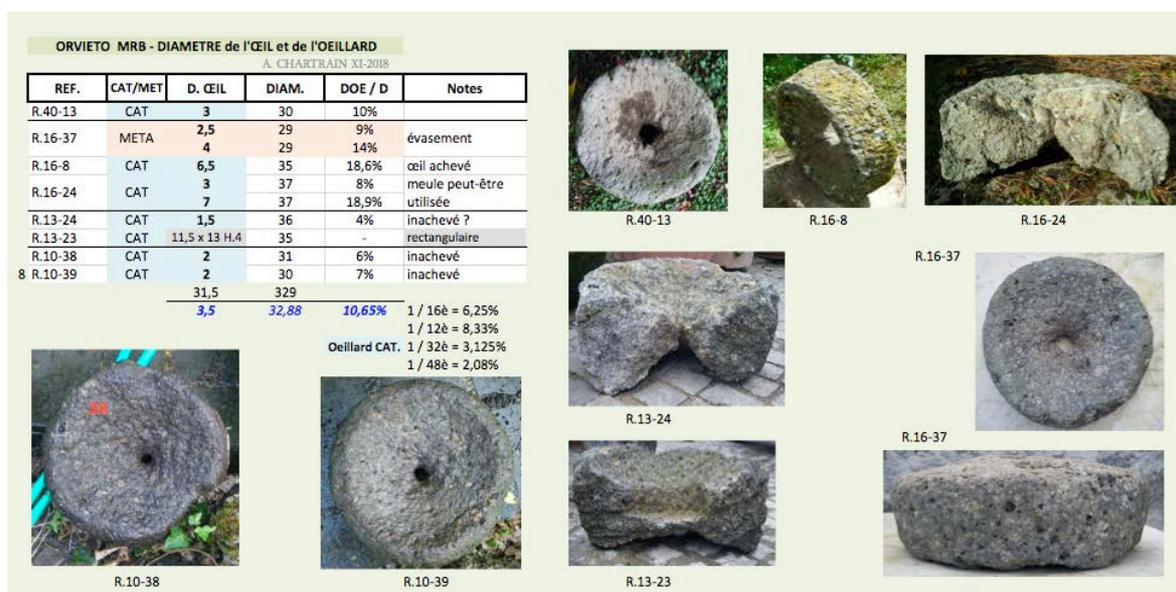
³ Un dépouillement spécifique de la dimension des œils de tous les assemblages de notre corpus de comparaison aurait nécessité un volume de travail très important, naturellement hors de portée de la présente étude doctorale.

⁴ Cet ensemble paraît cependant peu homogène, mêlant probablement au moins deux populations différentes comme le montre sur les diagrammes la distribution de ses diamètres.

A. L'Œillard des *Catilli* d'Orvieto & des Ateliers

1. En l'état actuel du recensement de ses restes de Meules Rotatives Basses, Orvieto a livré 8 exemplaires où apparaît un percement central, amorcé ou porté à son terme (**Fig.6A**). Il s'agit de 7 *Catilli* sur les 23 et de 1 *Meta* sur les 32. Le taux global de percement est donc de 31%

Figure 6A : Panorama des Œils sur les MRB d'Orvieto



mais si l'on compte les seules meules parvenues au stade de façonnage (IV et V) où est réalisée la perforation centrale, le taux réel de percement est de 75% pour les *Catilli* (6/8) et d'un provisoire 100% pour la seule *Meta* de même stade.

Les stades de finition semblent avoir été réalisés auprès des aires primaires de façonnage et d'extraction. En effet 35% des *Catilli* rebutés (8/23) sont retrouvés ayant atteint les étapes de finition (stade IV ou V) contre 3% des *Metae* (1/32). Or ce total (9/55 soit 16%) est proche de la probabilité théorique de rebut qui est pour de 20%⁵ chaque stade. Ces données ne conduisent donc pas à envisager qu'une partie de la chaîne opératoire et en particulier les stades de finition ait été réalisée sur des aires plus éloignées voire dans des officines extérieures dans le cadre d'une éventuelle segmentation de la production. Toutefois le percement des *Metae* pourrait avoir pris place sur les lieux d'installation.

Les chiffres relatifs à l'Œil (6 *Catilli* et 1 *Meta*) sont insuffisants pour statuer sur un éventuel traitement différentiel entre *Metae* et *Catilli*, ces dernières pièces, plus complexes, étant plus susceptibles d'un déplacement vers d'autres aires de façonnage sinon vers d'autres ateliers. Enfin, pour les mêmes raisons d'échantillonnage il est impossible de savoir si le taux de finition et de percement axial a pu varier entre les différents sites de production (R.10, R.16, R.40) ou de recueil des meules (R.13).

⁵ Voir CHAP.7.

Figure 6B Table des Diamètres des Œillards des *Catilli* sur les Ateliers -partie 1

1. L'Œillard des *Catilli* provenant des Ateliers

2. On donne ici (Fig.6B) la table relative aux Œillards des *Catilli* en contexte d'Atelier (4 sites, 42 données). Sont fournis pour chaque meule le Diamètre de l'Œillard (DOE) et le pourcentage qu'occupe ce percement central sur le Diamètre total (D) du *Catillus*. L'indication de la Conicité permet vite de remarquer que le Diamètre de l'Œillard n'est pas en rapport avec la pente de la meule.

Si l'échantillon disponible est faible (4 Ateliers et 42 DOE), il permet néanmoins de constater les faits suivants :

- la distribution fait apparaître un groupe majeur de Diamètres de l'Œillard (DOE) compris entre 2 et 7,5 cm qui se trouve, si l'échantillon dépasse 10 éléments (Fig.7), complété par une fraction (6 DOE sur les 42 soit 14%) de plus grande ampleur (8,5 à 16,5 cm soit près de 1/4 et 1/2 pied),

- la moyenne de chaque Atelier semble fluctuer entre 5 et plus de 7 cm, autour de la moyenne générale (5,8 cm)⁶,

- sur presque tous les Ateliers il existe une petite part des Diamètres de l'Œillard inférieure à 3 cm : elle paraît raisonnablement relever de percements seulement ébauchés comme cela est manifeste à Orvieto (Fig. 6A) où ces petites sections pourraient correspondre à un pré-trou obtenu par forage⁷ après évidemment des cônes ou de l'un d'entre eux,

- l'atelier Est-rhénan de Bad Nauheim se singularise par une grande calibration de ses œillards (la fraction 1-4 cm et celle entre 7 et 10 cm y sont absentes).

3. La distribution globale des DOE (Fig.8) montre que l'envergure de l'Œillard sur les Ateliers se situe le plus souvent entre 5 et 6,5 cm (45% du total) et qu'elle est rare en dehors de la plage principale allant de 2 à 7,5 cm, soit 1 à 4 dgt.

ŒILLARD des <i>Catilli</i>						
ORVIETO						stade de
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
R.10-39	2,2	7%	30	22°	IV	40%
R.10-38	2	6%	31	21°	IV	
R.13-24	1,3	4%	36	21°	IV	14%
R.16-8	6,5	19%	35	10°	V	40%
R.16-24	5	14%	37	18°	IV	
6 R.40-13	3	10%	30	16°	IV	33%
		20	199			
moyenne		4,00	10,1%	39,80	6 / 23 26%	
en rouge Œillard vraisemblablement achevé						
CHAUDRY						stade de
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	2,5	8%	31	20°		
	7	18%	38	20°		
	4	11%	38	16°		
	5	14%	35	25°		
	5	16%	32	20°		
	7	18%	38	20°		
	14	47%	30	25°		
	2,5	8%	31,5	19°		
	9,5	23%	42	14°		
	16,5	32%	52	19°		
11	6	15%	40	15°		
AGDE						
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	4,5	10%	43,5	9°		
	5,5	11%	48,5	0°		
	3,5	10%	34,5	9°		
	5,5	13%	43	15°		
	7,5	19%	40	12°		
	3	11%	28	15°		
	10,5	22%	48,5	17°		
	5,5	14%	40	12°		
	5	12%	42	22°		
	3,5	9%	38,5	12°		
	2	6%	34	12°		
	7,5	18%	42,5	20°		
	8,5	19%	44	21°		
	6	14%	42,5	20°		
15	5	15%	33,5	27°		
		83	603			
moyenne		5,53	13,8%	40,20		
BAD NAUHEIM						stade de
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	6	15%	39,5	5°		
	11	28%	39,5	5°		
	5,5	14%	38	18°		
	4,5	13%	34	12°		
	6	18%	33	10°		
	6,5	17%	39	9°		
	5,5	15%	37,5	9°		
	5	14%	35	27°		
	5	15%	34	10°		
10	6,5	17%	39	13°		
		61,5	368,5			
moyenne		6,15	16,7%	36,85		
		243,5	1578			
		5,80	37,57			

⁶ Laquelle à titre indicatif, correspond à 3 dgt d'un Pied de 30,9 cm (Manching) ou à 3,25 dgt d'un Pied de 28,5 cm (Glanum).

⁷ Le calibre de ce pré-perçement amorçant l'œillard serait de 1 ou 1,5 dgt (1,72 et 2,5 cm pour un pied de 27,5 et 1,84 ou 2,75 cm pour un pied Impérial de 29,56).

Figure 7 : Distribution des DOE de chacun des 4 Ateliers (41 mesures)

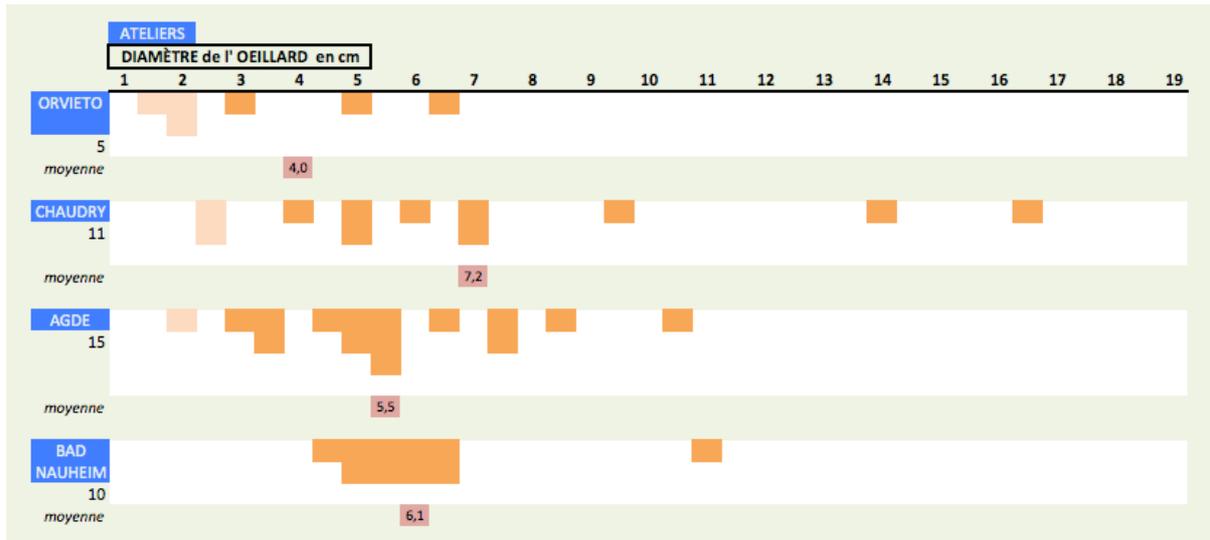
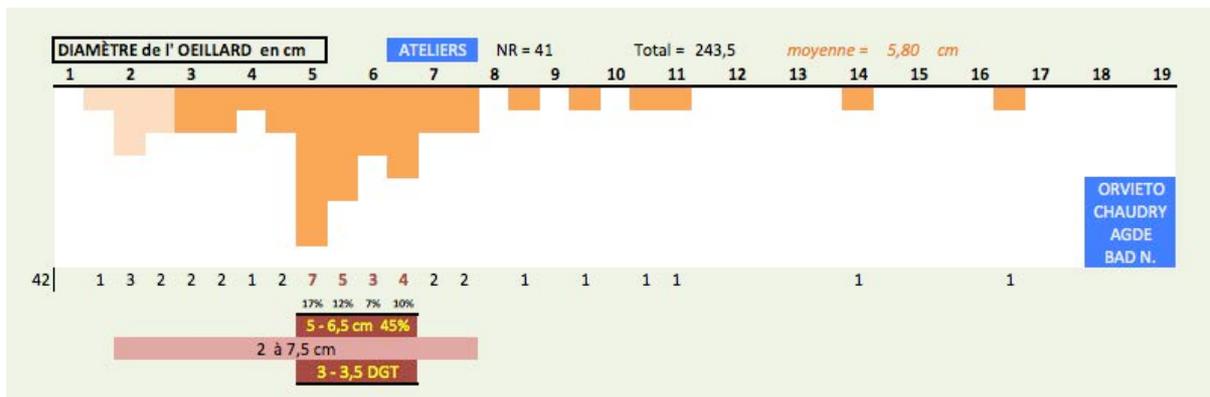


Figure 8 : Distribution d'ensemble des DOE de tous les Ateliers disponibles



Le pic des valeurs de DOE (5 à 6,5 cm) indique que l'Œillard des Ateliers observait surtout (à 45%) une norme unique (N1), c'est à dire un Gabarit de 3 à 3,5 dgt, cela du moins sur les 4 officines que nous considérons. Cette norme était complétée par quelques diamètres nettement plus larges, principalement étirés entre 8 et 11 cm (soit le double de la Norme N1) voire sur 16 cm. Cette plage d'œils larges se situe ainsi entre 2 et 4 palmes (soit de 4 à 8 dgt et de ca. 7 à 15 cm). La dimension de l'Œillard des *Catilli* sur les Ateliers (N1) est donc comprise dans le champ du premier palme d'un pied (1 à 4 dgt), plus rarement dans celui du second palme (5 à 8 dgt, plage qui totalise seulement 14% du total).

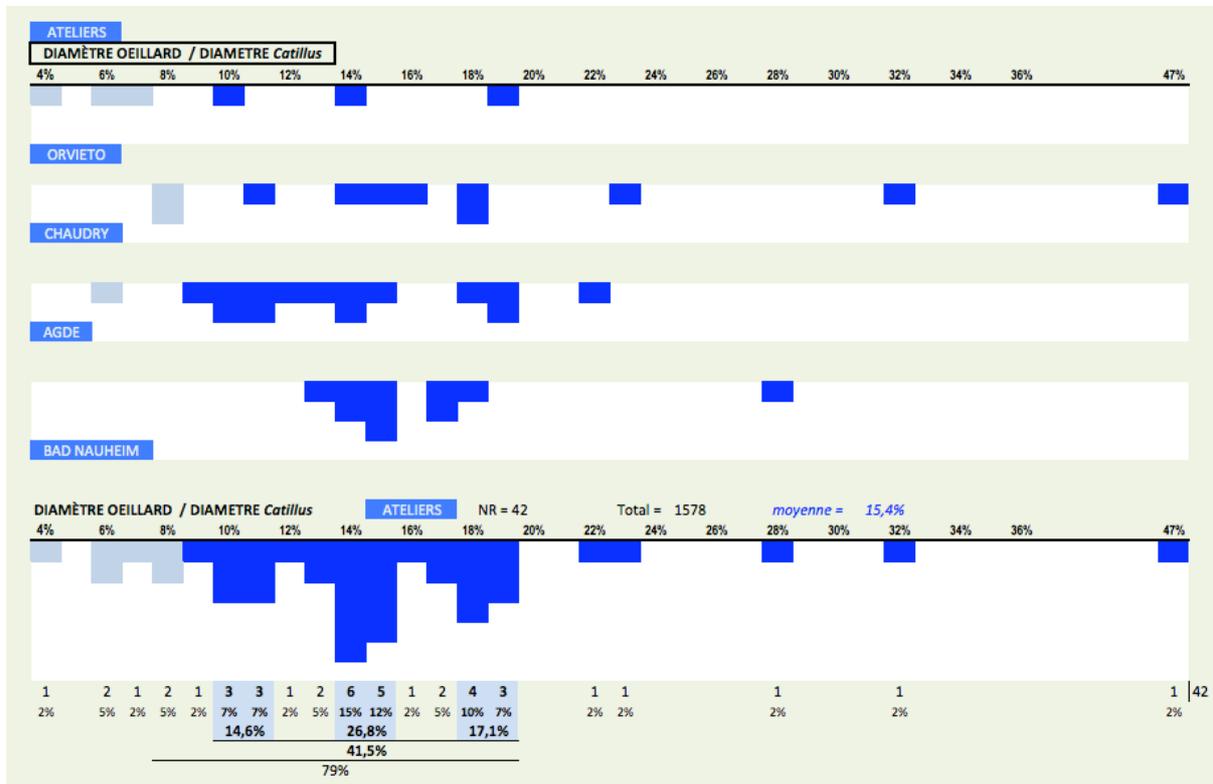
2. Diamètre de l'Œillard et du *Catillus*

4. La question se pose de savoir si cette envergure de l'œillard correspond à une grandeur proportionnelle au diamètre du *Catillus* ou bien à une valeur fixe, par exemple déterminée par des nécessités techniques ou des habitudes métrologiques ou de fabrication.

L'examen de la distribution du rapport DOE/D (Fig.9) montre qu'elle se répartit également en deux zones. L'une regroupe un faible effectif (5 œillards sur 42 soit 12%) et correspond à un grand diamètre du percement central, compris entre 22 et 47% de celui de la meule. Mais s'agissant des ateliers l'essentiel des Diamètres de l'Œillard (73%) se concentre sur la proportion allant de 10 à 19% du Diamètre du *Catillus*. Ces valeurs du rapport DOE/D prennent la forme

de 3 pics très nets correspondant ainsi à 3 normes : N1 sur 10-11% de D, N2 sur 14-15% et N3 sur 18%. La Norme 2 est la plus fréquente qui regroupe environ 30% du total tandis que N3 totalise 22% et N1 15%.

Figure 9 : Part du Diamètre du *Catillus* occupée par l'Œillard



5. On constate donc que la norme unique de dimension du Diamètre de l'Œillard (5 à 7 cm soit 3 à 3,5 dgt) se décline en 3 proportions du Diamètre de la meule (10, 14 et 18%). Cela signifie que le Diamètre de l'Œillard obéit à une valeur constante (N1) que la variété du diamètre de *Catillus* vient faire varier entre 1 et 2/10^e de l'envergure de la meule.

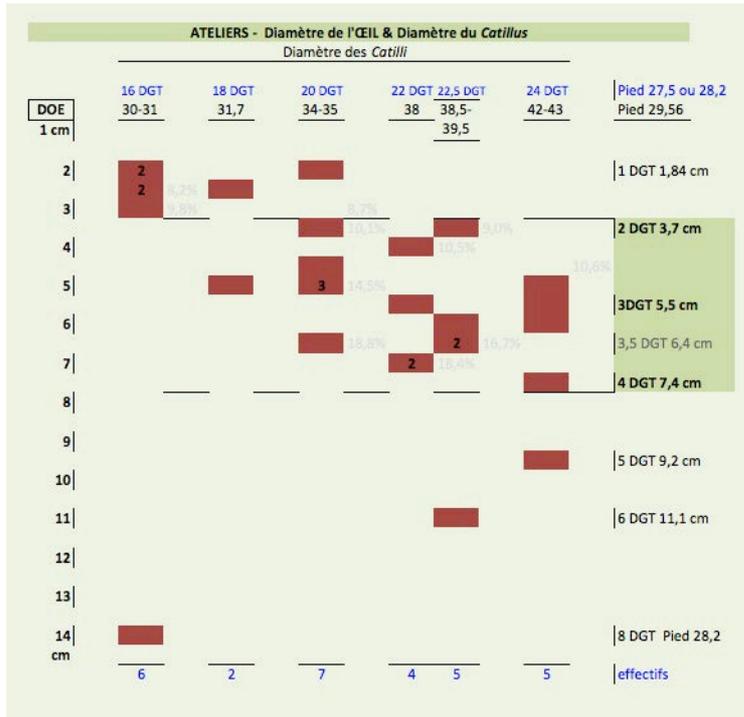
Il est par conséquent clair que le **Diamètre de l'Œillard obéit d'abord à une valeur fixe** qui sur les Ateliers varie le plus souvent de 3 à 3,5 dgt, **et que la proportion dérive secondairement des gabarits pratiqués pour les *Catilli*.**

6. Le tableau de la **Fig.10** transcrit en dgt les dimensions centimétriques des principaux Diamètres, ceux dont la valeur revient plusieurs fois dans les 41 données. Il montre qu'à chaque Gabarit de meule est associée une certaine diversité de Diamètre de l'Œillard (DOE), généralement une plage de 2,5 ou 3 dgt⁸.

Le DOE de 1 dgt est réservé aux *Catilli* de petit gabarit (16 à 20 dgt soit 1 pied à 1 pied ¼). Ce percement est si étroit (1,8 à 2 cm) qu'il a toutes chances de correspondre à une amorce d'Œillard plutôt qu'à une dimension définitive.

⁸ Si le DOE était défini selon une gradation de 0,5 dgt (soit 0,9 cm) il pouvait ainsi prendre 5 à 6 valeurs, cependant nous avons vu *supra* (Fig.8) que l'on constatait sur les ateliers étudiés seulement 2 valeurs principales : la pluralité des diamètres en cm observable sur la Fig.10 est sans doute en partie la manifestation de normes en dgt moins nombreuses mais diversifiée par la multiplicité des pieds employés (notamment 27,5 cm, 28,2 cm et 29,25 ainsi sans doute que 29,56 voire 30,9 cm) .

Figure 10 : Gabarits en dgt du Diamètre de l'Œillard (DOE) et du Diamètre d'un *Catillus* (D) – valeurs sur Ateliers

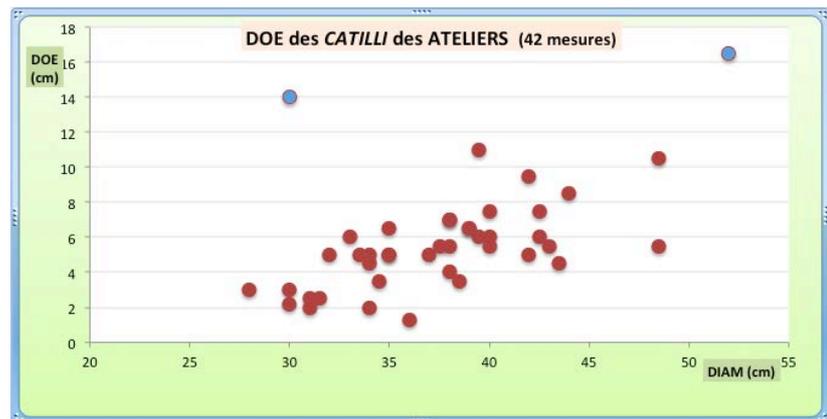


Dès que l'envergure du *Catillus* atteint 18 dgt, qui est un Gabarit fréquent notamment à l'Age du Fer⁹, sont réalisés des œillards de 3 dgt (soit 5 à 5,5 cm selon les pieds utilisés). De fait, les Diamètres d'Œillard les plus fréquents se situent dans la zone allant de 2 à 4 dgt (surlignée en vert foncé sur la Fig.10) soit entre 3,5 et 7,5 cm. Les œillards mesurant plus de 4 dgt sont rares et, au-delà de 6 dgt pourraient plutôt relever d'erreurs de fabrication¹⁰.

7. Dans le même temps la diagonalisation du tableau de la Fig.10 montre que le Diamètre de l'Œillard augmente régulièrement en fonction de celui de la meule.

Cela est encore plus net sur le diagramme (Fig.11) qui prend en compte toutes les valeurs de DOE et de D. La croissance tendancielle de DOE en fonction de celle du Diamètre semble encadrée par un minimum de 1 dgt de DOE en plus chaque 7 cm environ et un maximum de 1 dgt en plus *circa* chaque 3 cm. La tendance moyenne serait une croissance de DOE de 1 dgt (ca. 1,9 cm) chaque 2,25 dgt supplémentaire de Diamètre du *Catillus*¹¹. Les meuliers paraissent donc avoir réalisé un Diamètre d'Œillard compris entre 2 et 4 dgt tout en respectant une certaine proportionnalité entre l'Œillard et le Diamètre du *Catillus*.

Figure 11 : Distribution des DOE & des Diamètres des *Catilli* sur les Ateliers (valeurs en cm)



⁹ Les meules d'une envergure de 16 dgt, soit 1 pied, sont rares au point qu'on peut se demander si cette valeur ronde n'était pas volontairement évitée (un peu comme une valeur 0 qui dans l'Antiquité n'existait pas).

¹⁰ En particulier les DOE de 14 et 16,5 cm de l'atelier du Chaudry, à moins qu'il ne s'agisse de moulins très particuliers, à très large Œillard ce qui peut être le cas du second dont le Diamètre est de quasiment 2 pieds (52 cm) tandis que le DOE de 14 cm est associé à un Diamètre courant (30 cm).

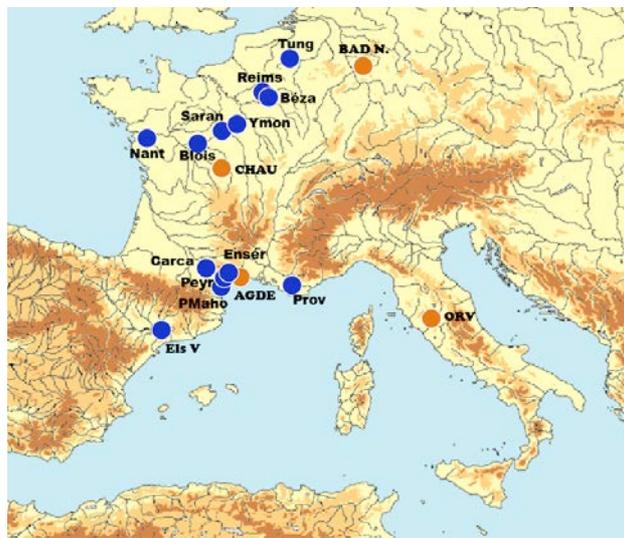
¹¹ Les raisons de ces ratios restent à établir mathématiquement, elles tiennent vraisemblablement à la géométrie des meules (trigonométrie) et à certaines habitudes de partition et de proportion dans l'Antiquité (par exemple retrancher une valeur constante à une grandeur impaire pour obtenir sa divisibilité, opérer une croissance en ajoutant régulièrement un nombre fixe de dgt ou une suite progressive chaque 1 ou 2 dgt, en utilisant des fractions canoniques telles que 1/8è, 1/4, 5/4, 3/2 etc.).

B. L'Œillard des *Catilli* issus des contextes d'Utilisation & de Rejet des meules

8. Par rapport à ceux issus des ateliers, les assemblages produits par les sites d'Utilisation des meules ont comme particularité de généralement mêler plusieurs approvisionnements. Cela conduit le plus souvent à des spectres complexes ou brouillés parce qu'ils superposent les configurations spécifiques à chaque fabrication. Le résultat en sont des distributions plurimodales ou, si les caractéristiques des différentes populations meulières sont proches, des pics élargis souvent associés à des plages de valeurs larges ou monotones. S'en suit une moins grande capacité des spectres d'Utilisation à renseigner les caractéristiques précises des meules.

En revanche et en particulier grâce à leurs effectifs plus nombreux, ces spectres mettent régulièrement en lumière des aspects globaux, des champs de variation ou des phénomènes absents des Ateliers, dont ceux qui dérivent de l'utilisation des meules et de leur usure.

Figure 12 : Carte des DOE étudiés :
Ateliers (en orangé)
sites d'Utilisation (en bleu)



1. L'Œillard des *Catilli* en contexte d'Utilisation

9. Les données relatives au Diamètre de l'Œillard (DOE) des *Catilli* trouvés sur 13 sites d'Utilisation et Rejet figurent en fin de ce chapitre. A partir des distributions du Diamètre de l'Œillard de ces 13 sites (Fig.12), on examinera ici la configuration des DOE sur chaque site, notamment la plage des valeurs observées ainsi que les proportions de DOE par rapport au Diamètre du *Catillus*, puis on comparera cette configuration avec celle offerte par les ateliers. Cela nous permettra de statuer sur le rapport entre valeurs fixes du Diamètre de l'Œillard et tendance ou nécessité de proportionnalité avec l'envergure de la meule, puis de dégager un phénomène spécifique soit à l'usure soit à la chaîne de fabrication.

10. Le tableau d'ensemble des Diamètres de l'Œillard des 13 sites d'Utilisation permet de souligner quelques points. En premier lieu on constate sur la matrice ordonnée (Fig.13) qu'une partie des assemblages (les 7 premiers) présente des Œillards d'un diamètre de 6,5 à 10 cm tandis que les autres montrent des percements centraux plus petits, situés sur l'intervalle 3-8 cm.

Par ailleurs 7 des 13 assemblages comprennent quelques œillards de grand diamètre (12 cm ou plus). Il semble ainsi exister trois filières principales ou trois traditions de dimensionnement de l'Œillard. Nous y revenons au paragraphe C. ci-dessous.

Figure 13 : Valeurs de DOE pour les *Catilli* de 13 contextes d'Utilisation – la Matrice est ordonnée par ordre décroissant des pics principaux

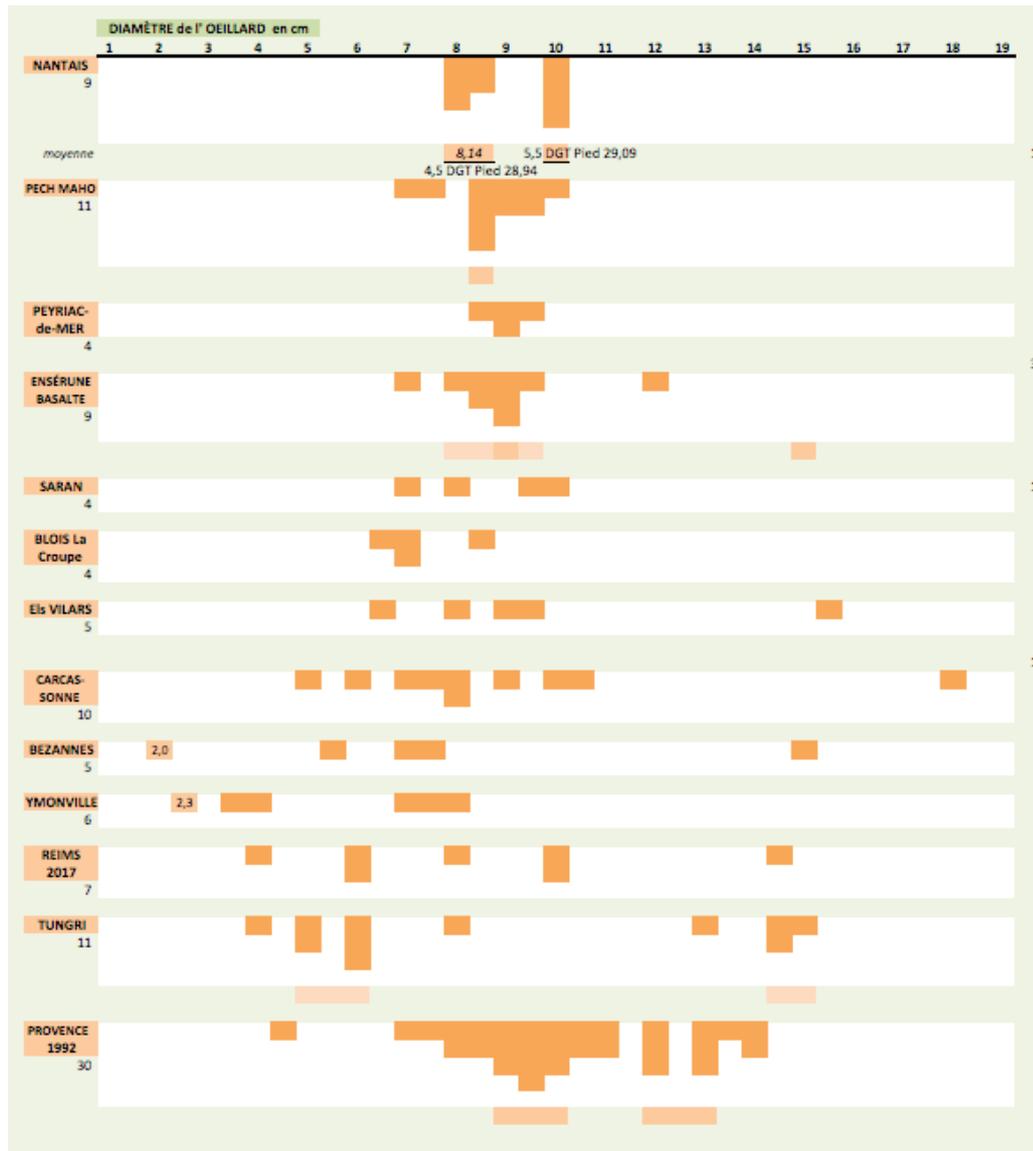
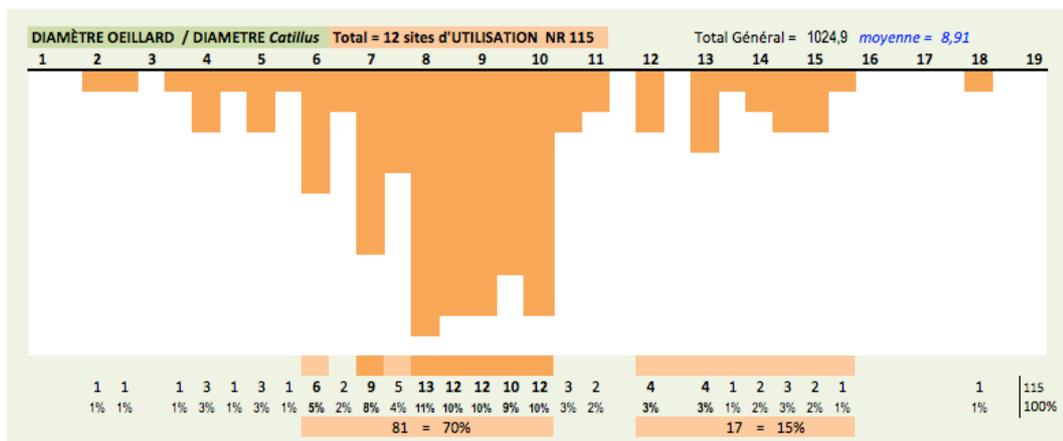


Figure 14 : Distribution globale des Diamètres de l'Œillard des sites d'Utilisation

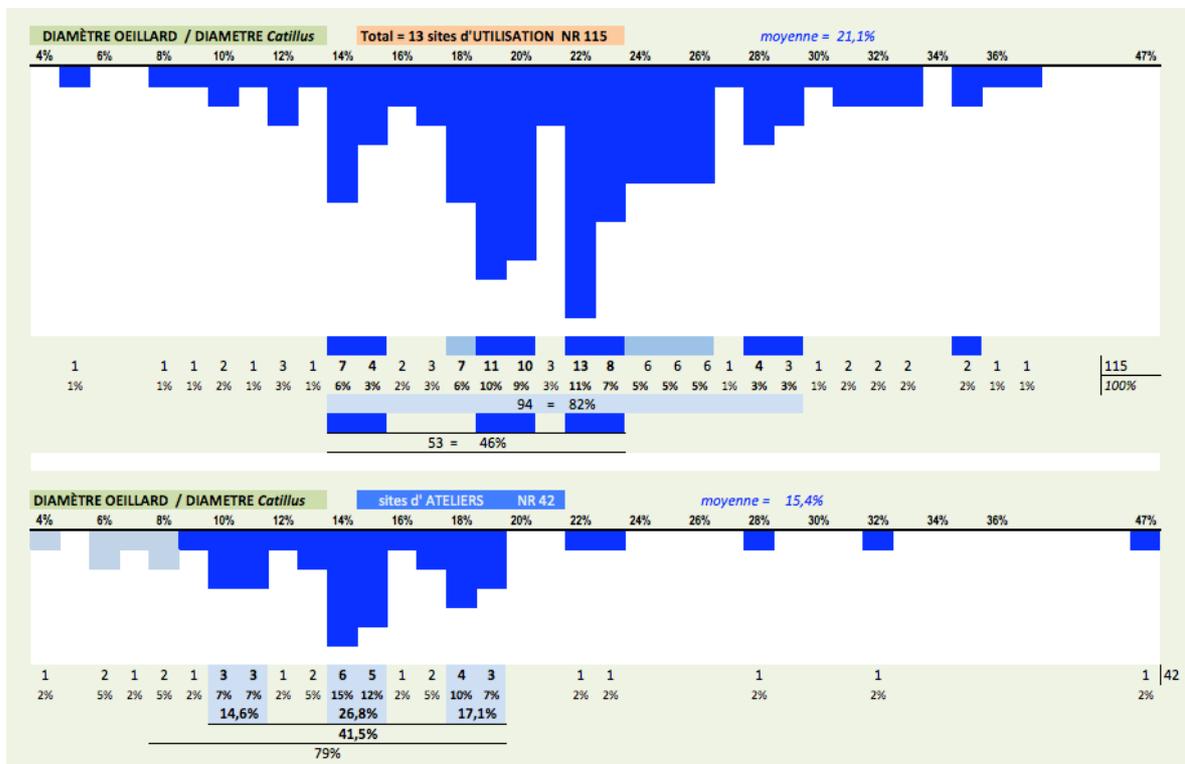


11. La distribution de l'ensemble des 115 mesures correspondant aux *Catilli* des 13 sites d'Utilisation (**Fig.14**) fait ainsi apparaître une tripartition entre une plage peu nombreuse de valeurs faibles (de 2 à 5,5 cm), une plage centrale très dense (70% des effectifs) où les Diamètres de l'Œillard sont compris entre 6 et 10 cm, enfin une plage peu fournie (15% du total) de valeurs fortes (DOE de 12 à 15,5 cm). Les Diamètres les plus fréquents mesurent de 8 à 10 cm.

2. Proportionnement de l'Œillard

12. La proportion entre Diamètre de l'Œillard (DOE) et Diamètre des *Catilli* (D) se distribue (**Fig.15**) de façon égale entre deux plages mineures et une plage centrale très dense.

Figure 15 : Proportion des Diamètres de l'Œillard & du Diamètre du *Catillus* (sites d'Utilisation en haut, Ateliers en bas)



Elle fait cependant apparaître au sein de celle-ci 3 pics qui désignent les proportions les plus pratiquées : un DOE de 22-23% du Diamètre, un DOE de 19-20% et, moins souvent, un Diamètre de l'Œillard de 14-15% de D. Ces 3 valeurs dominantes réunissent 46% du total des mesures de DOE. La fréquence des pics 22 et 19% de D est identique (un peu moins de 20% des effectifs), le pic secondaire sur 14% étant deux fois moins pratiqué (9%). En résumé **sur les sites d'Utilisation des meules, le Diamètre de l'Œillard antique est le plus souvent dimensionné autour de 20% du Diamètre du *Catillus*** (soit 1/5è) et, dans une moindre mesure, sur 14% (soit 1/7è) du Diamètre. Ces proportions semblent avoir été régulièrement conservées également aux périodes médiévale, moderne et subactuelle malgré une augmentation de l'envergure des œillards en lien avec celle des meules tournantes (tableau **Fig.16**).

Figure 16 : Exemples de Proportion de l'Œillard sur le Diamètre sur des meules de moulin hydraulique ou à vent (envergure 3 pieds ou plus)

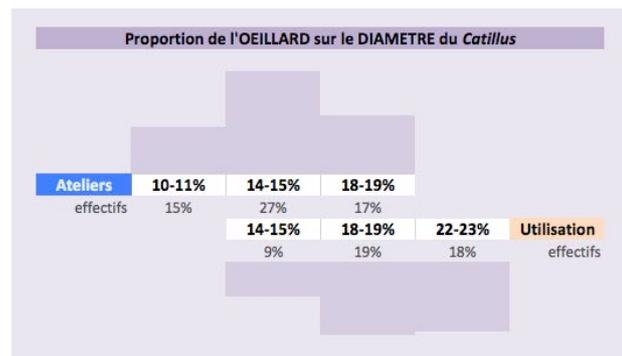
OEILS & OEILLARDS des meules Médiévales, modernes & Subactuelles				
DIAM cm	DOE	DOE / D	Source et REF.	
78	14	18%	ORVIETO R.3 ; inédit ACH.2013	ANTIQ/MED ?
ca. 100		17%	AOSTA Scavi Cattedrale, CORTELAZZO	MED
110	-	21%	Medina Sidonia (ANDERSON 2013, 538)	MED/MOD
-	14,5	16%	Fonte Vecchia, CORTELAZZO, S.Marcel Fig. 45	MED/MOD
86	21	24%	BROCHNU Mülli, CORTELAZZO 2018 p.43	MOD
103	27	26%	BROCHNU Mülli, CORTELAZZO 2018 Fig.20	MOD
-	-	31%	S. GRATO SCHEITI, CORTELAZZO 2018, Fig.31	MOD
-	-	21%	Airale Carema, CORTELAZZO 2018, Fig.22A	MOD
60	15	25%	Craigmadie (Scot.), ca.1750, TUCKER 1984	MOD (XVIIIè s.)
145	-	16%	Pereto , BASILICI 2012, Fig. 45	SubACTUEL
-	-	17%	Pereto , BASILICI 2012, Fig. 39	SubACTUEL
165	ca. 24	ca. 14,5%	Gassac, ined. ACH 2016	SubACTUEL
122	33	27%	Oxfordshire 2002, COCKSON 2003	ACTUEL

13. La comparaison avec les proportions de DOE /D observées sur les Ateliers (bas de la Fig.15) montre une même structuration en trois plages dont une centrale très fournie et présentant égale-

ment 3 pics qui totalisent aussi un peu plus de 40% des effectifs. Les 3 pics sont 14-15% (27% des œillards d'Ateliers), 18-19% (17% des effectifs) et 10-11% (15% des DOE), la seule différence avec les œillards des sites d'Utilisation est que l'on observe sur les Ateliers non pas deux proportions majoritaires mais une seule (celle du milieu) et qu'elle domine de près du double les deux autres.

Figure 17 : Normes de Proportion entre DOE et le Diamètre du Catillus

14. Le spectre des Ateliers et celui des sites de consommation partagent ainsi 2 de leurs 3 Normes de proportionnalité entre DOE et D (Fig.17), l'une où le Diamètre de l'Œillard correspond à 14% du Diamètre et l'autre où il en occupe 18%. Cette situation pourrait correspondre à une transposition des 3 pics avec un glissement de +4 ou +5% vers une proportion plus forte. Le Diamètre restant inchangé au long de l'utilisation du *Catillus*¹², on est donc conduit à admettre que le



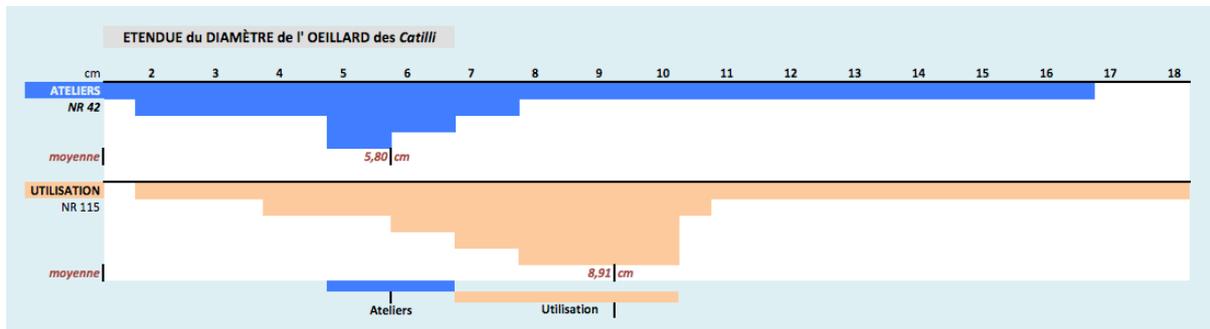
Diamètre de l'Œillard croît à mesure de l'utilisation de la meule tournante.

3. Augmentation de l'Œillard sur les Catilli des contextes d'Utilisation

15. Cette croissance de l'envergure de l'Œillard s'observe mieux encore lorsque l'on compare le spectre d'étendue et de plages principales des Ateliers **acc** celui des sites d'Utilisation (Fig.18). L'étendue est identique mais les dimensions privilégiées diffèrent et même se relaient (5 à 6,5 cm pour les Ateliers vs 7 à 10 pour les sites de consommation). La moyenne passe de 5,80 cm sur les Ateliers à 8,91 soit une augmentation de l'Œillard de 3,11 cm et de ca.1,75 dgt.

¹² Ce n'est toutefois pas tout à fait exact concernant les exemplaires à flanc oblique mais la réduction est généralement très limitée, de l'ordre de 3 à 4 cm ce qui donne une incidence de +2% sur le rapport DOE/D.

Figure 18 : Etendue et plages principales du Diamètre de l'Œillard sur les Ateliers et les sites d'Utilisation des meules (schématisation)



16. Deux hypothèses sont envisageables pour expliquer cette différence entre le gabarit de l'œillard sur les Ateliers sur les sites d'Utilisation des meules : soit l'utilisation des *Catilli* entraîne un élargissement de l'œillard, soit le spectre des Ateliers comporte un biais, une sélection qui privilégie des officines à petit diamètre de percement axial.

La moyenne des diamètres est sur les Ateliers (NR 42) de 37,52 cm contre 42,25 sur les sites d'Utilisation. Cette différence de 4,68 cm (2,5 dgt) signifie que les assemblages de consommation présentent une envergure moyenne des *Catilli* supérieure de 12,5% à celle des Ateliers¹³. Parallèlement, la moyenne des Diamètres de l'œillard augmente de 3,11 cm (1,68 dgt) entre Ateliers et sites d'Utilisation (moyennes respectives de 5,80 et 8,91 cm). La progression de l'œillard entre Ateliers et sites est donc significativement différente (53%) de celle du diamètre.

Un tel écart ne paraît donc pas imputable à la différence des diamètres entre les deux échantillons, ce qui **suggère que l'utilisation du *Catillus* entraînerait une croissance de l'envergure de l'œillard**. Sur les sites d'Utilisation le percement central occupant en moyenne 21,1% de l'envergure de la meule contre 15,4% sur les Ateliers, cet agrandissement de l'œillard serait de l'ordre de 6% du Diamètre total.

17. Le fait que l'augmentation de la dimension de l'œillard se traduise par la quasi disparition de la classe DOE/D 10% présente sur les Ateliers, et par ailleurs par le glissement des classes vers 18-19 et 22-23% (supra **Fig.17**) rend difficile que la croissance de la taille de l'œillard soit due à une catégorie ou un groupe particuliers de *Catilli*.

On peut alors envisager principalement 3 causes pour une augmentation qui apparaît sinon systématique du moins affecter un grand nombre de meules tournantes :

.A. soit l'œillard s'élargit en raison de l'usure due au frottement du grain ou des denrées ; si cette hypothèse est vraie, on devrait pouvoir observer un œillard significativement plus étroit sur les *Catilli* neufs retrouvés de manière assez régulière dans les assemblages de consommation et rejet¹⁴,

.B. soit, en raison d'un autre type d'usure, par exemple lié au fonctionnement du dispositif de moyeu central ou aux effets de l'oscillation, l'œillard était amené à être périodiquement retaillé et le dispositif de moyeu réajusté,

.C. soit encore, la mise en service du moulin entraînait un ajustement de l'œillard qui sortait de l'atelier meulier dans l'état d'une forme initiale standard. Si cette hypothèse est vraie, on devrait pouvoir observer un œillard significativement large sur les *Catilli* neufs des assemblages de consommation et rejet par rapport aux de stade IV ou V observables sur les ateliers correspondant.

¹³ Ou ces derniers de 11% inférieurs à celle des sites d'Utilisation.

¹⁴ Sur les meules neuves trouvées en contexte d'utilisation, voir le **CHAP.18**.

C. Les trois GABARITS d'Œillard

La mise en évidence de 3 gabarits d'Œillard pour les *Catilli*, permet de soulever quelques hypothèses, qu'il faut toutefois considérer avec la prudence qu'appelle le caractère limité de l'échantillon. Les 17 sites, Ateliers d'une part et ensembles de consommation d'autre part, ont été classés en 4 périodes. Certains assemblages, tel celui d'Agde, pourraient renvoyer à plusieurs périodes et celui de la Provence, hétérogène, semble regrouper plusieurs populations.

18. Les 3 gabarits d'Œillard observables sur les *Catilli* sont définis à partir de la matrice ordonnée des diamètres des 13 sites d'Utilisation (Fig.19). Les DOE mesurés sur les 4 ateliers confirment ces 3 plages (et portent la plus grande, codée en vert, sur les 16 cm).

. Le premier gabarit correspond à un **Œillard Etroit** : le DOE mesure de 3 à 7,5 cm). Ce petit œillard est attesté sur 11 des 13 sites ainsi que sur les 4 Ateliers.

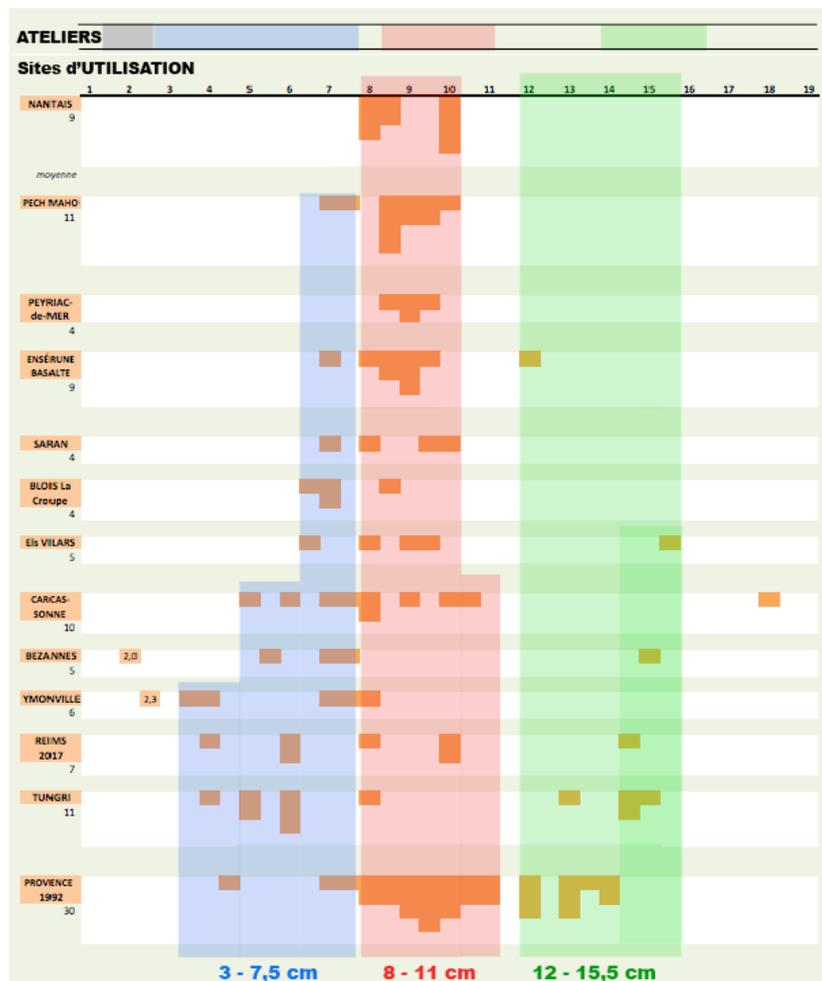


Figure 19 : Les 3 Gabarits d'Œillard sur l'ensemble des sites

. Le second gabarit correspond à un **Œillard Large** dont le diamètre mesure 8 à 11 cm. Cet Œillard Large est présent sur 12 sites et sur 3 des 4 Ateliers.

. Enfin, il existe un gabarit d'**Œillard Très Large** dont le DOE mesure 12 à 16 cm. Il est attesté sur 7 des 13 sites d'utilisation et sur 1 atelier parmi les 4 (Le Chaudry), il regroupe 20 *Catilli* soit 13% du total.

19. On observe généralement la présence de 2 ou bien de 3 de ces Gabarits (chacun dans 7 cas sur 17) pour chaque assemblage, autant sur les Ateliers que sur les ensembles de consommation. La pluralité des gabarits est donc la règle. Les Gabarits 1 et 2 apparaissent équilibrés, étant présents sur 88% des sites (voir *infra* Fig.31) et totalisant chacun autour de 40% des effectifs. En revanche, s'il est attesté dans près de la moitié des assemblages, le Gabarit 3 est trois fois moins représenté (13% des *Catilli*). Ce Grand Gabarit d'Œillard marque notablement l'assemblage de Provence (9 exemplaires sur 30 *Catilli*) et celui de la cité des Tongres (4 sur le total de 11), pour lesquels on pourrait de ce fait envisager un dispositif de moyeu central particulier, éventuellement lié à une mécanisation sinon à la motion hydraulique.

20. La très petite dimension de l'Œillard (1 à 2,5 cm soit autour 1 dgt), apparaît caractéristique des Ateliers où elle est présente 3 fois sur les 4 (exception faite de Bad Nauheim) et pourrait correspondre à un pré-perçement. Elle s'observe également (en 1 exemplaire sur 5 ou 6) dans les assemblages d'utilisation d'Ymonville et de Bézannes. Cette présence ouvre la possibilité que ces ensembles aient été composés à forte proximité d'un atelier ou qu'ils aient comporté une fraction de *Catilli* neufs ou bruts d'officine.

Figure 20 : Assemblages classés par Similarité du Profil des Gabarits

Les 3 FILIÈRES du DIAMÈTRE de l'ŒILLARD														
2- Classement par Similarité du Profil de DOE														
Site	NR CAT.	Chrono	Diamètre ŒILLARD (DOE)				Géogr.	moyenne	Diamètre ŒILLARD (DOE)				Gabarits par Site	moyenne DIAM.
			IV-III aC	II-I aC	IaC/Rom	ROM			3 - 7,5 cm	8 - 11	12 - 16	1 - 2,5		
			A	B	C	D		ETROIT	LARGE	TrLARG	Atelier			
ORVIETO	6	III - I aC ?		?			Sud	4,0	50%			50%	1	39,80
PEYRIAC-de-MER	4	II - I aC		1			Sud	9,0			100%		1	44,25 1,5 pied
NANTAIS	9	ROM					Nord	8,97			100%		1	54,33 2 pieds
PECH MAHO	11	V-III aC	1				Sud	8,68	18%	82%			2	43,32 1,5 pied
AGDE	15	IV? aC- ROM	1	1	1		Sud	5,53	80%	13%		7%	2	40,20 1,5 pied-
SARAN	4	LT-D / ROM		1			Nord	8,58	25%	75%			2	36,0
BLOIS La Croupe	4	LT - C2/D1b		1			Nord	7,25	75%	25%			2	36,0
YMONVILLE	6	LT C1-D2		1			Nord	5,38	67%	17%		17%	2	33,83
BAD NAUHEIM	10	I aC			1		Nord	6,15	90%	10%			2	36,85
10 Els VILARS	5	V - IV aC	1				Sud	9,70	20%	60%	20%		3	40,60 1,5 pied
ENSÉRUNE Basalte	9	IV - II aC	1	1			Sud	8,94	11%	78%	11%		3	41,39 1,5 pied
PROVENCE 1992	30	II - I aC		1			Sud	10,20	10%	60%	30%		3	38,0
CARCASSONNE	10	II - I aC		1			Sud	8,90	40%	50%	10%		3	41,05 1,5 pied
CHAUDRY	11	I aC - ROM			1		Nord	7,18	55%	9%	18%	18%	3	37,05
REIMS 2017	7	I aC / ROM			1		Nord	8,43	43%	43%	14%		3	46,64 1,5 pied+
TUNGRI	11	I aC / ROM				1	Nord	8,82	55%	9%	36%		3	50,55 1,75 pied
17 BEZANNES	5	I aC / ROM			1		Nord	7,40	60%		20%	20%	2	43,30 1,5 pied

19. Le classement de la table de tous les assemblages de notre échantillon selon la similarité de leur profil en Gabarits (Fig.20) permet de constater que chaque composition (de 1 à 3 Gabarits présents) ne dépend ni de la chronologie ni de la situation géographique. En revanche apparaissent deux faits :

- d'une part les assemblages comportant le Gabarit 3 (Très Large, DOE 12 à 16 cm) sont souvent (6 cas sur 8) composés de *Catilli* larges (1,5 pied ou plus –cf. dernière col. Fig.20) et sont toujours associés aux Gabarits 1 et 2 (sauf à Bézannes)

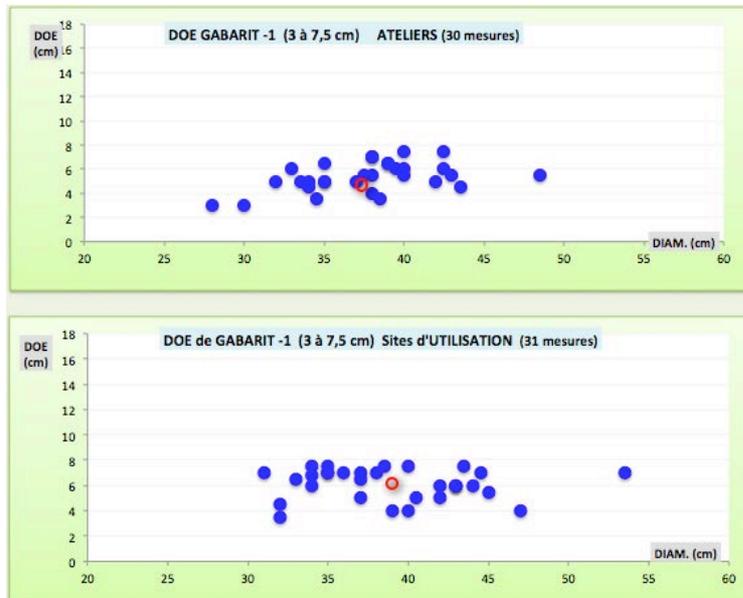
- d'autre part les assemblages composés du seul Gabarit 2 (DOE 8 à 11 cm) sont composés de *Catilli* à fort envergure (moyenne du diamètre : 44 et 54 cm).

Dans ces deux assemblages on attendrait une fraction, d'ailleurs assez importante, d'œillards réalisés dans le gabarit 3. Leur absence pourrait signifier que ce très large gabarit est plutôt lié à la présence du petit Œillard de Gabarit 1 et pourrait alors peut-être constituer une fabrication particulière plutôt qu'un simple proportionnement à l'envergure de la meule. Le fait que le Gabarit 3 ne soit pas associé aux plus larges *Catilli* mais régulièrement à des meules d'un diamètre tout à fait standard de 1,25 ou 1,5 pied (34 à 44 cm), cette non proportionnalité du grand Gabarit de l'Œillard avec l'envergure des *Catilli* suggère que le Gabarit 3 puisse renvoyer à des moulins à moyeu central particulier, peut-être lié à l'entraînement hydraulique.

C1. Présentation des 3 Gabarits d'Œillard

20. La comparaison entre les *Catilli* à Œillard Etroit (**Gabarit 1**) des Ateliers et ceux des assemblages d'Utilisation (**Fig.21**) montre que sur ces derniers la taille de l'Œillard passe sur l'intervalle 6-8 cm alors qu'elle est située sur 4-6 cm dans les officines.

Figure 21 : Les *Catilli* à Œillard de Gabarit 1 (3 -7,5 cm)



21. L'examen du diagramme des Œillards de **Gabarit 2** par rapport à l'envergure de leurs *Catilli* (**Fig.22**) montre que l'échantillon ateliers ne représente qu'une fraction centrale des diamètres de ce groupe.

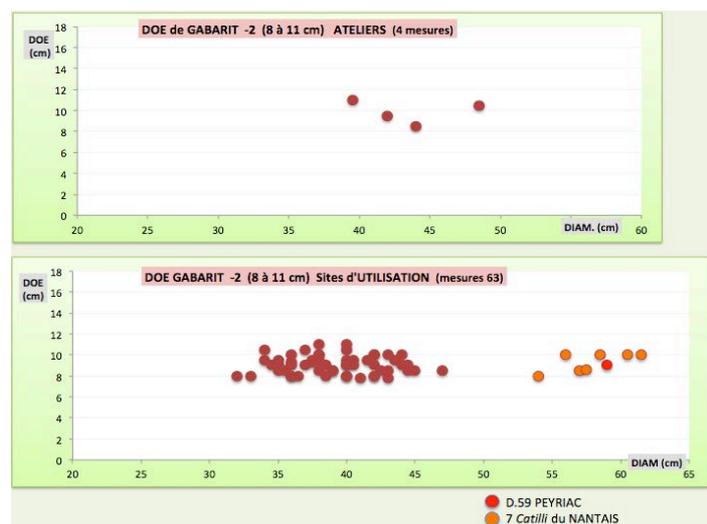
En réalité, comme le montre le diagramme des sites de consommation, tous les diamètres sont fabriqués, entre un peu plus de 30 cm et un peu au-delà de 45. La dimension de l'Œillard est alors bien standardisée, comprise entre 9 et notamment 10 cm.

Mais ce qui frappe dans cette distribution des Œillards de

Gabarit 2 est l'existence d'un groupe de fort Diamètre (sur 55-62 cm, soit 2 pieds). Il s'agit en réalité de meules munies d'un Œillard plutôt petit relativement à leur envergure puisque le rapport DOE /D se situe autour de 15%¹⁵ contre 20 à 25% pour la masse des autres *Catilli*.

Figure 22 : Les *Catilli* à Œillard de Gabarit 2 (8-11 cm)

22. Ce groupe de grandes meules à petit Œillard correspond à un *Catillus* du site de Peyriac-de-Mer (au Sud de Narbonne) dont les meules datent plutôt du II-Ier s. aC, et surtout à 7 *Catilli* de la région nantaise (**Fig.23**) fabriqués dans des trachyandésites du massif Central et de type hydraulique¹⁶. Cependant l'exemplaire de Peyriac¹⁷ est d'un genre différent (**Fig.24**): massif (D. 59 H.23) et dépourvu de trémie, de conicité modérée (10°), d'un poids élevé (130 kg) et d'une Hauteur Utile restante de 17 cm, il est muni de 2 encoches latérales supérieures en queue d'aronde verticale qui renvoient à des modèles hispaniques (ALONSO, PEREZ 2014, Fig.5 p. 245 : type 2a1) en vigueur surtout du IV-IIIè s. aC



¹⁵ De 8 cm pour un Diamètre de 55 (rapport 1/7è ou 14%) à un Œillard de 10 cm pour un Diamètre de 60 (1/6è ou 16%).

¹⁶ POLINSKI 2009, Fig.3 p. 192 : *Catilli* référencés ME.18, ME.20 et ME.25 à 29, ce qui du même coup attire l'attention sur l'exemplaire de Peyriac .

¹⁷ Etude inédite ACH 2016, n° 12.

ainsi qu'au II-Ier aC. Des Œillards semblables semblent donc pouvoir renvoyer à des dispositifs d'entraînement à priori différents, sauf à envisager une motion hydraulique pour le *Catillus* de Peyriac.

Figure 23 : *Catilli* de la région Nantaise : Diamètre de 2 pieds & Œillard de Gabarit 2 (8-11 cm) (POLINSKI 2009)

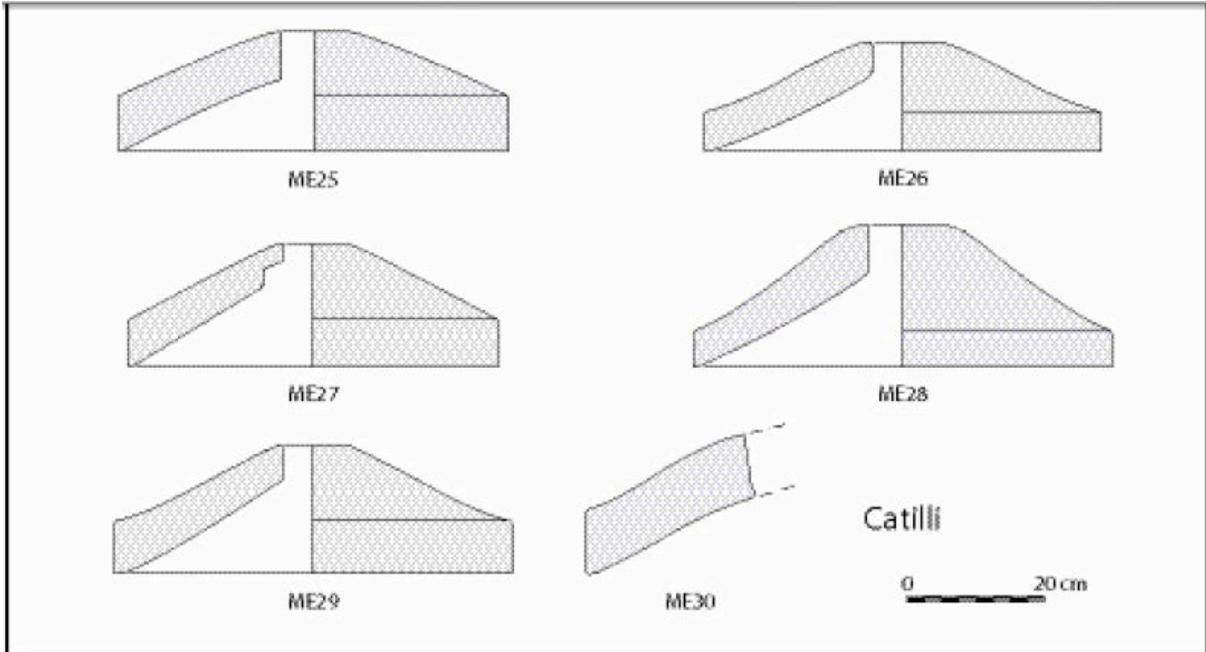


Figure 24 : *Catillus* n° 12 de Peyriac-de-Mer (Aude) : Diamètre de 2 pieds & Œillard de Gabarit 2 (8-11 cm) - modèle de type hispanique à encoches



C2. une Spécificité pour l'Œillard de Gabarit 3 ?

23. Les *Catilli* portant des Œillards de **Gabarit 3** (12 à 16 cm) sont au nombre de 20 sur 157 soit 13% du total et 20% des 8 sites où ils sont présents (Fig.25), dont l'Atelier du Chaudry. Leur examen montre d'abord que les Diamètres correspondent à plusieurs pieds et à leur scansion en palmes, chaque 4 DGT (Fig.26). L'éventail des *Catilli* à Œil Très Large occupe donc toute l'étendue des meules Antiques, à l'exception des quelques unes (très rares dans l'Antiquité) qui atteignent 3 pieds.

Figure 25 : Les *Catilli* à Œillard de Gabarit 3

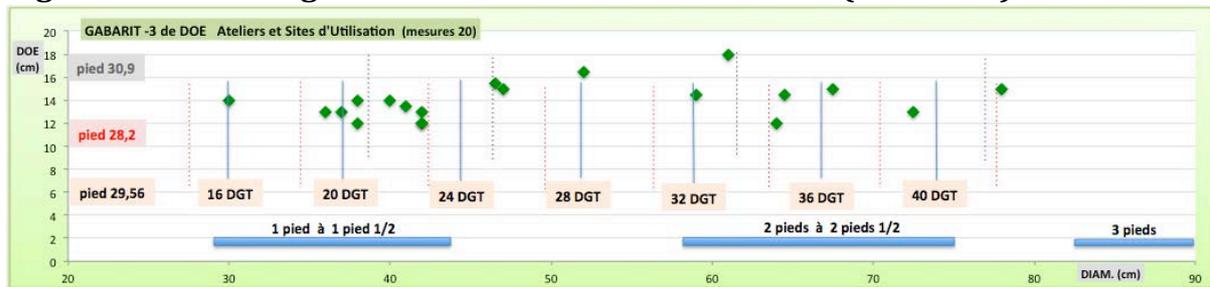
SITES avec <i>Catilli</i> à ŒILLARD Très LARGE (Gabarit 3)				
Gabarit -3	12 à 16,5 cm	6,5 à 8 DGT	8 Sites (1 Atelier)	
Total <i>Catilli</i> GAB.3	20 / 157	13 % sur l'ensemble des sites		
	20 / 99	20% sur les 8 sites à Gabarit .3		
Période	Site	GAB.3 / Total CAT. du site	%	Zone
IV-III aC	Période A Els VILARS	1 / 5	20%	Sud
	Péri. A/B ENSÉRUNE	1 / 9	11%	Sud
II-I aC	Période B PROVENCE	9 / 30	30%	Sud
	Période B CARCASSONNE	1 / 10	10%	Sud
I aC/ROM	Période C AT- CHAUDRY	2 / 11	18%	Nord
	Période C BÉZANNES	1 / 5	20%	Nord
ROM	Période C REIMS 2017	1 / 7	14%	Nord
	Période D TUNGRI	4 / 11	36%	Nord
		20 / 99	20%	

Le Gabarit 3 est attesté dès la période molinologique ancienne, sur le site de Els Vilars autour du IV^e s. aC. Il se développe ensuite dans le Sud de la France. A la transition avec la période Romaine il est attesté au Nord, dans le Bassin Parisien.

24. Sur les 18 exemplaires trouvés en contexte d'Utilisation (Fig.27), on perçoit d'une part un ensemble de *Catilli* dont le diamètre est courant, c'est-à-dire compris entre 30 cm et 48 cm (1 à

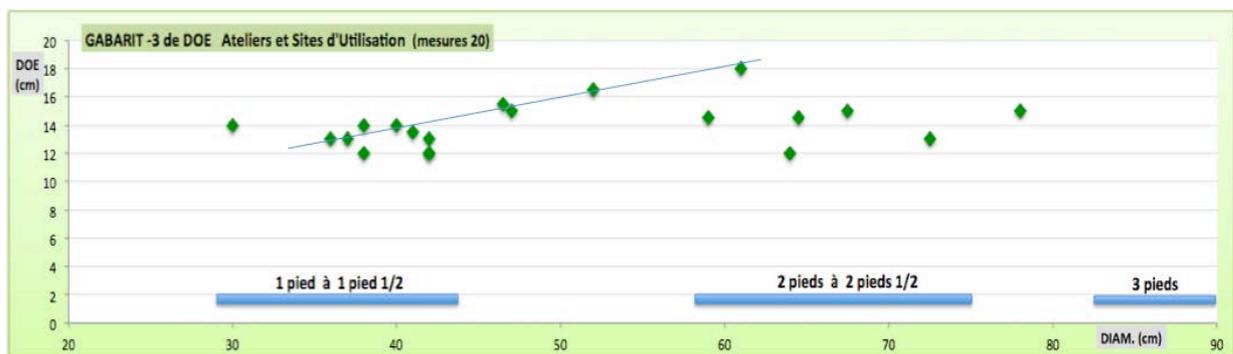
1,5 pied) et dont l'œillard observe le Gabarit 3. Il s'agit donc de meules qui ont la même ampleur que la plupart des autres mais qui présentent un œil nettement large.

Figure 26 : Métrologie des *Catilli* à Œillard de Gabarit 3 (12 -16 cm)



Ce groupe qui, avec 10 individus, rassemble la moitié des Gabarits d'Œillard 3¹⁸, semble observer, au moins en partie, une croissance régulière de l'Œillard en fonction du Diamètre (ligne tendancielle sur la Fig.27). Cette croissance maintient une proportion de 30% entre l'Œil et la meule, ce qui correspond au maximum observé.

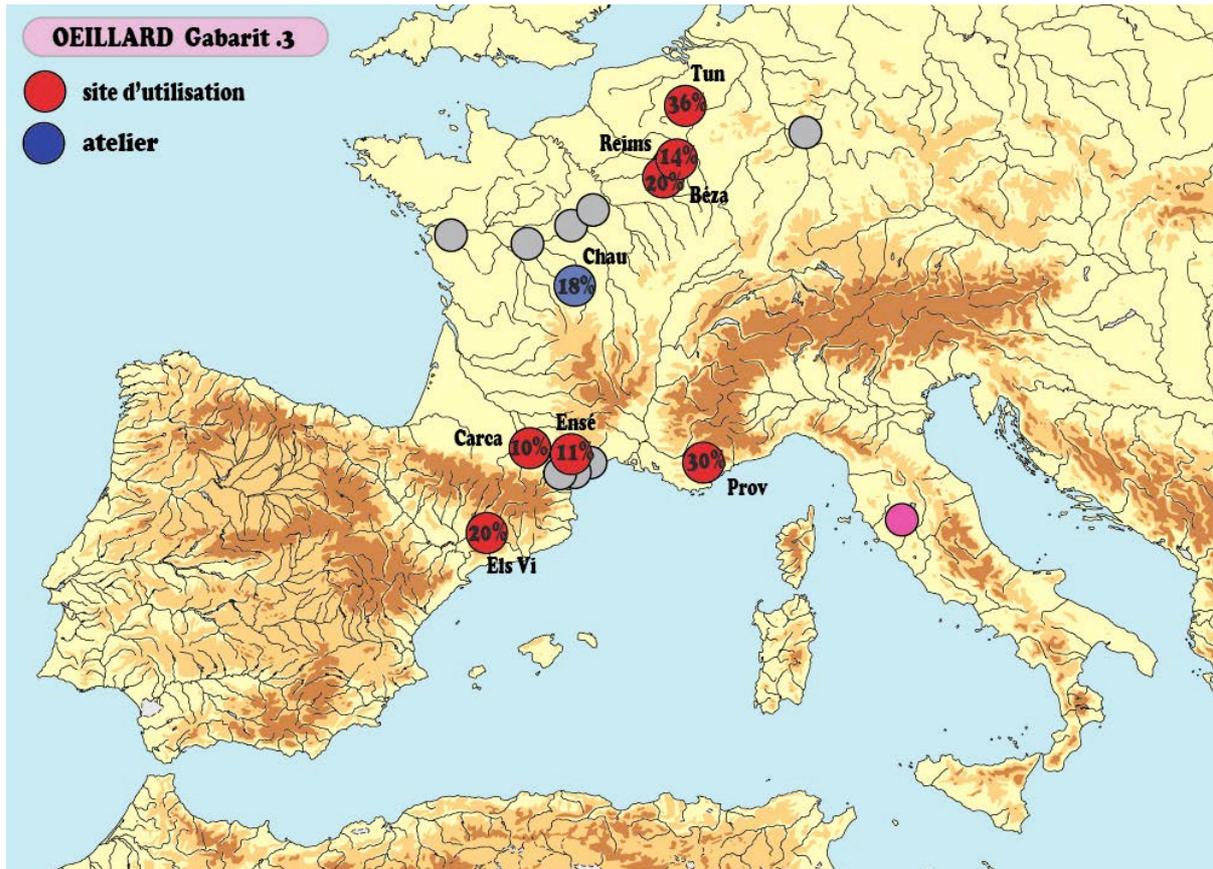
Figure 27 : Œillard & Diamètre des *Catilli* à Œillard de Gabarit 3 (12 -16 cm)



S'ajoute d'autre part un groupe, assez fourni (7 meules sur les 20), composé de grands Diamètres mesurant 2 à 3 pieds. Le percement axial obéissant à un Gabarit 3 confère en réalité à 5 d'entre eux un Œillard de dimension moyenne (19 à 23% du Diamètre).

¹⁸ Le *Catillus* marginal situé sur la gauche du diagramme Fig.27, de Diamètre 30 et de DOE 14 provient de l'Atelier du Chaudry (n° M020), il est vraisemblablement assez neuf et doté d'un œillard complexe à ailettes large; il semble en réalité que l'ampleur de l'œillard *stricto sensu* soit de l'ordre de 8 cm ce qui le placerait dans le Gabarit 2 avec un DOE proportionné à 27% de D.

Figure 28 : Spatialité des *Catilli* à Œillard de Gabarit 3



25. Les *Catilli* présentant un Œil Très Targe (Gabarit 3 soit 6,5 à 8 dgt) se divisent donc en deux catégories : ceux qui d'un diamètre courant (1 à 2 pieds) présentent un œil occupant 30% du diamètre et ceux qui, au nombre de 7 sur les 20 (soit 35%) sont de grande envergure (2 à 3 pieds). De ce fait, leur Œillard Très Large prend pour 5 d'entre eux¹⁹ une proportion modérée (ca. 19-23% de D). Mais le fait notable est qu'il existe un groupe de meules dont l'envergure est commune mais l'œillard surdimensionné (30% du Diamètre). Rappelant par ailleurs que l'impact en diminution de la Surface Active se limitent en ce cas à 8%, on ne peut que s'interroger sur le rapport que cette amplitude de l'œillard a pu entretenir avec le dispositif central d'entraînement ou d'alimentation du *Catillus*.

26. A cet égard, l'essentiel pourrait résider dans le fait être que *Catilli* d'envergure courante ou de grand format sont tous dotés d'un œillard de Gabarit 3 tendant vers le demi-pied (DOE de 12 à 16 cm soit 7 ou 8 dgt). La proportion du diamètre occupée par l'œillard (30% pour les *Catilli* d'envergure courante et 19-23% pour les grands diamètres) devient peut-être secondaire, ce qui compte étant alors l'équipement du *Catillus* avec un Œillard Très Large. Cet aspect, ainsi que leur nombre restreint (20 soit 12,7% du total et 20% sur les sites où ils sont présents) pourrait les constituer en groupe technique particulier.

Faut-il ainsi mettre ces *Catilli* à Œillard Très Large (Gabarit 3) en correspondance avec le petit moulin hydraulique à rodet ? avec le broyage de denrées particulières nécessitant une large entrée de meule ? ou bien encore cette envergure de l'œil découle-t-elle de nécessités techniques liées au moyeu central ?

27. L'attestation du Gabarit 3 à la période ancienne (Els Vilars) interdit de

¹⁹ 2 grands diamètres relèvent en effet de la catégorie des Œil de Carcassonne et celui D.52 du Chaudry.

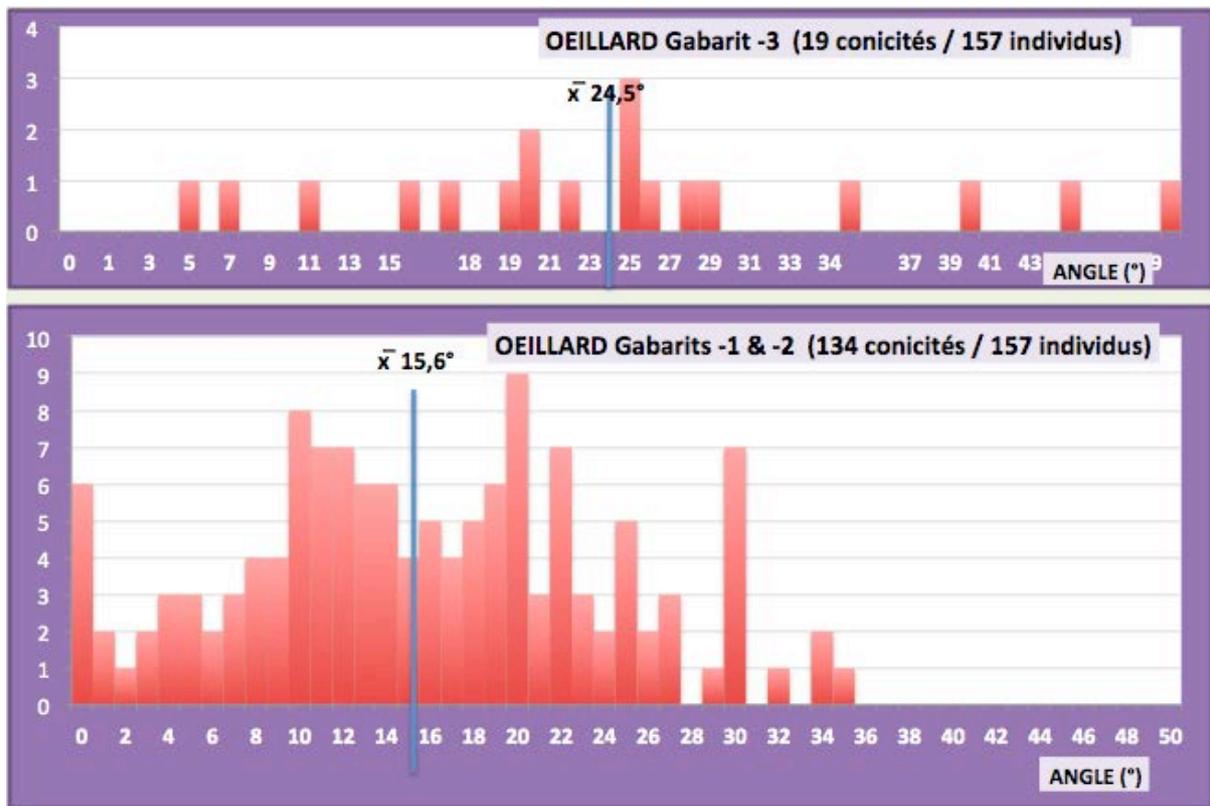
PROFILS de CONICITÉ selon les GABARITS d'ŒILLARD					
	GABARITS -1 & -2		GABARIT -3		
	NR	%	NR	%	
0 à 18°	82	61%	5	26%	\bar{x}

poser une équivalence automatique entre ce Très Large Gabarit d'Œillard et la motion hydraulique, alors difficilement concevable.

Figure 29 : Œillard de Gabarit 3 et Fortes Conicités

En revanche, vraisemblablement à partir du II^e-I^{er} s. aC, l'Œillard de gabarit 3 semble régulièrement présent dans le Midi de la France où le pôle producteur héraultais pourrait avoir joué un rôle²⁰. Les *Catilli* à Œillard Très Large, occupent alors 10 à 20% des assemblages où il sont présents. Alors qu'ils n'y sont généralement attestés qu'en 1 ou 2 exemplaires, le fait que sur l'assemblage de Provence 1992²¹ ils atteignent la part de 30% incite à s'interroger sur l'utilisation particulièrement intense, au voisinage d'une zone de production (laves meulières de la région de La Courtine, Var) de meules à fort gabarit d'Œillard alors qu'elles pourraient correspondre à une machine particulière voire à un entraînement hydraulique dont ce serait ici l'un des plus anciens indices.

Figure 30 : Conicités des *Catilli* à Œillard de Gabarit 3 & de Gabarit 1 et 2



28. On retiendra à cet endroit que le Très Large Œillard (Gabarit 3) montre une forte association avec les Conicités Fortes sinon très Fortes (Fig.29). En effet sur les 19 exemplaires (sur 20) dont l'Angle est connu, 74% présentent une Conicité supérieure ou égale à 19° et 53% supérieure ou égale à 25° soit 3 fois plus que pour les meules des Gabarits 1 et 2. Ce profil se distingue donc nettement de celui des autres *Catilli* du même échantillon par l'importante représentation des fortes Conicités. Cela se traduit d'ailleurs par le fait que la moyenne de l'Angulation s'établisse sur 24,5° contre 15,6° chez les Œillards de Gabarit 1 ou 2.

29. En conséquence nous soumettons à validation par des études ultérieures l'hypothèse que les *Catilli* mécanisés, et notamment ceux à entraînement hydraulique, correspondent à

²⁰ Ce pôle ravitaille très probablement en effet le site d'Ensérune en meules réalisées dans un basalte vacuolaire.

²¹ Ainsi que, plus tard, en période Romaine sur celui de la cité des Tongres.

l'association d'une Conicité élevée avec un Œillard de Gabarit 3. Ces meules tournantes se répartissent en 2 séries : les *Catilli* d'envergure courante (soit de 1 à 1,75 pied et donc de 28 à 48 cm de diamètre) qui pourraient correspondre à la petite hydraulique (moulin à roue horizontale dit à rodet), les *Catilli* de grand format (2 pieds et plus) qui correspondraient à la grande hydraulique, c'est-à-dire au moulin à roue horizontale dit aussi vitruvien. Rien à priori ne s'oppose toutefois au fait que le rodet ait pu entraîner des meules de 2 pieds voire plus.

30. L'absence du percement central sur la plupart des *Catilli* d'Orvieto ne permet pas d'établir à ce jour si ce centre meulier a produit des Œillards de Gabarit 3. Cependant, le fait que 6 des 23 *Catilli* actuellement recensés montrent une Conicité élevée (4 de l'ordre de 22° et 2 de 33 ou 40°) rend possible une fabrication orviétane de MRB potentiellement hydrauliques, si toutefois ces 6 inclinaisons reflètent leur Conicité définitive²².

C3. Dominance du Gabarit d'Œillard 1 ou 2 : une Dualité Géographique ?

Figure 31 : Fréquence & Chronologie des 3 Gabarits d'Œillard

Les 3 FILIÈRES du DIAMÈTRE de l' ŒILLARD													
3- Classement Chronologique													
Site	NR CAT.	Chrono	Classement Chronologique				Géogr.	moyenne	Classement Géographique				Gabarits par Site
			IV-III aC	II-I aC	IaC/Rom	ROM			3 - 7,5 cm	8 - 11	12 - 16	1 - 2,5	
			A	B	C	D		ETROIT	LARGE	TrLARG	Atelier		
Els VILARS	5	V - IV aC	1				Sud	9,70	20%	60%	20%		3
PECH MAHO	11	V-III aC	1				Sud	8,68	18%	82%			2
AGDE	15	IV? aC- ROM	1	1	1	1	Sud	5,53	80%	13%		7%	2
ENSÉRUNE Basalte	9	IV - II aC	1	1			Sud	8,94	11%	78%	11%		3
ORVIETO	6	III - I aC ?	1	?			Sud	4,0	50%			50%	1
YMONVILLE	6	LT C1-D2	1	1			Nord	5,38	67%	17%		17%	2
BLOIS La Croupe	4	LT - C2/D1b	1	1			Nord	7,25	75%	25%			2
PROVENCE 1992	30	II - I aC	1	1			Sud	10,20	10%	60%	30%		3
CARCASSONNE	10	II - I aC	1	1			Sud	8,90	40%	50%	10%		3
10 SARAN	4	LT-D / ROM	1	1			Nord	8,58	25%	75%			2
PEYRIAC-de-MER	4	II - I aC	1	1			Sud	9,0		100%			1
BAD NAUHEIM	10	I aC			1		Nord	6,13	90%	10%			2
CHAUDRY	11	I aC - ROM			1		Nord	7,18	55%	9%	18%	18%	3
BEZANNES	5	I aC / ROM			1		Nord	7,40	60%		20%	20%	2
REIMS 2017	7	I aC / ROM			1		Nord	8,43	43%	43%	14%		3
NANTAIS	9	ROM				1	Nord	8,97		100%			1
17 TUNGRI	11	I aC / ROM				1	Nord	8,82	55%	9%	36%		3
157													
								<i>Catilli</i>	61	66	20	8	3 - 7 - 7
									39%	43%	13%	5%	
								assemblages	15	15	8	5	
									88%	88%	47%	29%	

31. Globalement, les assemblages de *Catilli* sur sites d'Utilisation comme sur Ateliers associent donc 2 Gabarits : un Œillard Etroit (3 à 7,5cm soit 1,5 à 4 dgt) et un Œillard Large (8 à 11 cm soit 4,5 à 6 dgt) parfois complétés d'un Grand Gabarit (n°3) dont on vient de voir une possible spécificité.

On examine à présent le comportement de ces 3 Gabarits d'œillard au long de la chronologie, gardant à l'esprit le caractère limité de notre échantillon et l'absence de finesse de la périodisation²³. Si l'association des Gabarits d'Œillard 1 et 2 apparaît permanente et sans signification chronologique, en revanche le Gabarit 2 pourrait être d'une fréquence plus souvent dominante aux périodes C et D donc à partir de l'époque Romaine. Mais surtout, le petit Gabarit 1 apparaît dominant dans les assemblages de la zone Nord (6 sur 7 dominances et 9

²² Il s'agit pour la pente de 22° des *Catilli* R.10-38 et -39, R.13-24 et R.43-2 ainsi que des *Catilli* R.40-18 et -24 pour la Conicité 33 et 39° ; les diamètres sont compris entre 30 et 38 cm soit 1 pied à 1, 5 pied.

²³ Compte-tenu du caractère le plus souvent composite voire non-daté des assemblages, il ne peut s'agir que d'un classement chronologique tendanciel.

ensembles) alors qu'au contraire le Gabarit 2 domine en zone Sud (5 sur 6 dominances et 8 assemblages).

32. Plutôt que chronologique, le contraste pourrait résider dans l'opposition entre **une** zone méditerranéenne attachée à un œillard large (Gabarit 2 : 8 à 11 cm) et une zone continentale pratiquant préférentiellement un œillard étroit (Gabarit 1 : 3 à 7,5 cm), cela toujours cependant à travers la fabrication d'un double standard (Gabarit 1 + Gabarit 2). Cette configuration soulève l'éventualité qu'il s'agisse de 2 machines différentes, l'une à Œil Large et l'autre à Œil Étroit dont la fréquence est inverse entre le Sud et le Nord, par exemple en raison du broyage de denrées différentes ou d'un traitement différent des mêmes denrées.

33. Mais le caractère bi-zonal du diamètre de l'œillard pourrait aussi provenir d'habitudes de partition, bien que ce cadre s'accommode mal avec la coexistence des 2 Gabarits majeurs dans les mêmes assemblages : il faut en ce cas supposer qu'ils aient été approvisionnés par des ateliers différents pratiquant pour certains un œillard de Gabarit 1 et pour d'autres un Œillard de Gabarit 2. Cependant la coexistence des Gabarits 1 et 2 sur 3 de nos 4 Ateliers pris en référence dément cette éventualité²⁴.

Aussi faut-il sans doute estimer que les deux gabarits d'œillard puissent plus vraisemblablement relever de déterminations géométriques et notamment avoir été choisis en fonction de l'envergure du *Catillus* à fabriquer.

Dans cette optique (Fig.32) une piste nous est peut-être offerte par les diamètres moyens des œillards (DOE) et des *Catilli* (D).

D. Un système cohérent de rapports entre le Diamètre de l'Œillard & celui du *Catillus*

34. Dans le présent développement nous allons explorer les rapports entre le Diamètre de l'œillard et le diamètre de la meule. La première question consiste à savoir si la dimension de l'œillard est aléatoire ou approximative, si elle est proportionnelle ou si elle obéit à un nombre restreint de valeurs fixes. La seconde question porte sur l'existence éventuelle d'un système cohérent régissant les rapports entre D et DOE, voire de plusieurs systèmes correspondant à des régions meulières ou à des périodes.

Nous procéderons au moyen des valeurs métrologiques (en nombre de Doigts ou dgt). En effet, il s'agit en particulier d'appréhender -si tel était le cas- les rapports arithmétiques entre ces deux diamètres : un *Catillus* d'une amplitude par exemple de 20 dgt présentera-t-il un œillard de diamètre 4 ou 5 dgt, c'est à dire relevant de sa divisibilité, ou bien par exemple un œillard de 3 dgt d'amplitude ?

D1. Moyennes des Gabarits de DOE et système des rapports entre DOE et D

²⁴ Sauf à considérer que les 2 gabarits seraient attachés à l'emploi de 2 pieds différents sur un même atelier.

35. Les moyennes, qui correspondent aux centres des groupes de DOE (voir Fig.36) nous proposent peut-être une piste. En effet, elles définissent un *Catillus* moyen dont l'envergure exprimée en valeur métrologique est la suivante (Fig.32) :

- **GABARIT -1 : D. 21 DGT & DOE. 3 DGT**
- **GABARIT -2 : D. 23 DGT & DOE. 5 DGT**
- **GABARIT -3 : D. 28 DGT & DOE. 8 DG**

La métrologie de chaque moyenne a été définie en prenant en compte empiriquement les valeurs en DGT des 3 moyennes dans les différents pieds les plus courants dans le domaine des MRB (FIG.23A et 23B).

Figure 32 : Moyennes DOE et D des 3 Gabarits d'Œillard des *Catilli*

3 GABARITS de DOE - moyennes			
	\bar{x} DOE	\bar{x} DIAM.	DOE / D
GABARIT -1 3 - 7,5 cm NR = 61	5,75 cm = 3 DGT	38,3 cm = 21 DGT	15,01% 3/21 DGT
GABARIT -2 8 à 11 cm NR = 67	9,12 cm = 5 DGT	41,7 cm = 23 DGT	21,87% 5 / 23 DGT
GABARIT -3 12 à 16 cm NR = 20	13,98 cm = 8 DGT	49,9 cm = 27 DGT	28,02% = 7,5 DGT = 28 DGT

Figure 33 & 34 Métrologie des moyennes de DOE et D pour les 3 Gabarits de DOE

Métrologie des Moyennes de DOE				
Pieds cm	\bar{x} DOE			
	5,75	9,12	13,98	
27,5	3,35	5,31	8,13	
28,2	3,26	5,17	7,93	
28,5	3,23	5,12	7,85	
29,25	3,15	4,99	7,65	
29,56	3,11	4,94	7,57	
30,9	2,98	4,72	7,24	
	3 DGT	5 DGT	8 DGT	

Métrologie des Moyennes de DOE				
	\bar{x} DIAM.			
	38,3	41,7	49,9	
22,28	24,26	29,03		
21,73	23,66	28,31		
21,50	23,41	28,01		
20,95	22,81	27,30		
20,73	22,57	27,01		
19,83	21,59	25,84		
	21 DGT	23 DGT	27/28 DGT	

36. Le diagramme des trois moyennes de DOE et D (Fig.36) montre la croissance proportionnée entre les trois Gabarits. Le léger décalage du Gabarit 2 (en orangé) peut indiquer soit des valeurs un peu fortes pour ce dernier, soit que la proportion correspondrait à

l'axe Gabarit 1/Gabarit 2 et non à l'axe Gabarit 1/Gabarit 3. Cependant, la proportion pourrait

Figure 35 : Croissance proportionnelle de DOE et D à travers les moyennes des 3 Gabarits

être moins régulière et montrer une inflexion à mesure qu'augmente le Diamètre (Fig ;36) ceci afin de ne pas obtenir des œillards trop grands (8 dgt du Gabarit 3 c'est 1/2 pied et couramment 1/3 du Diamètre) qui pourraient alors poser problème au système central de liaison avec l'axe ou diminueraient la surface active du *Catillus*.

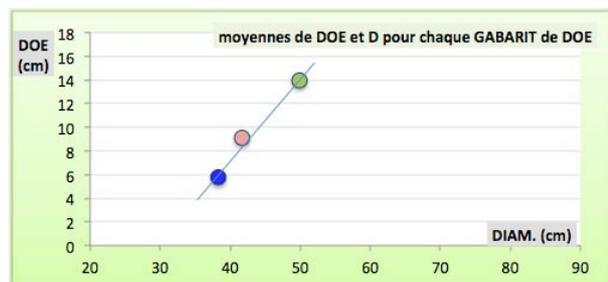


Figure 36 : Croissance proportionnelle entre DOE et D : moyennes des 3 Gabarits en dgt (en jaune les coordonnées d'un *Catillus* mesurant DOE. 6/D. 24 et DOE. 9/D. 27 soit un rapport D/DOE de 4 et de 3)

37. On remarque que ces 3 moyennes, barycentres des groupes de *Catilli* appartenant à chacun des Gabarits relèvent d'une cohérence qui n'est probablement pas fortuite. En effet, le Diamètre du *Catillus* du Gabarit 1 vaut 7 fois celui de l'œillard (Fig.37), tandis que pour le Gabarit 3 le diamètre vaut 3,5 fois l'œillard. La situation du Gabarit 2 est intermédiaire (4,6).

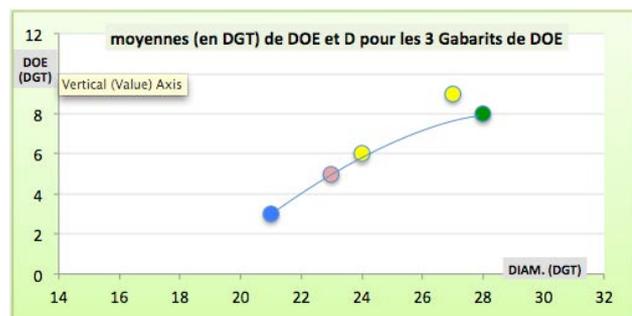


Figure 37 Rapport de Proportion

entre les moyennes des 3 Gabarits

Ratio D / DOE	progression		
GABARIT -1 D = 7 DOE	2	2/14è	14%
GABARIT -2 D = 4,6 DOE	1,33	3/14è	21%
GABARIT -3 D = 3,5 DOE	1	4/14è	29%

Ainsi, si l'on considère le rapport D/DOE du Gabarit 3 (D = 3,5 DOE) comme une unité, le Gabarit 2 correspond à 1,33 fois cette unité et le Gabarit 1 la vaut 2 fois. Cette cohérence est proche d'un rythme en 7è (1/7è - 1,5/7è et 2/7è) et peut s'exprimer dans une première fraction en 14èmes du diamètre du *Catillus*, (le diamètre dans le Gabarit 1 vaut 7 DOE et DOE vaut 2/14è du D.), mettant alors en valeur une progression régulière de 1/14è (soit aussi 7%) entre chacun des 3 gabarits.

38. Le maniement du 7è ou du 14è est un peu surprenant en particulier dans une culture antique habituée à la manipulation des grandeurs par le 16è, le 12è ainsi que le système décimal ou vigésimal. On peut ainsi se demander, à fortiori lorsqu'on remarque que les moyennes apparaissent peu fiables en métrologie²⁵, si les 14è ne seraient pas l'expression d'une partition plus exacte en 16è. En ce cas les 7èmes seraient à percevoir comme des 8èmes et le Gabarit 1 correspondrait à un œillard proportionné à 1/8è du diamètre et le Gabarit 3 à 1/4 selon une progression 2/3/4 16è plutôt que 2/3/4 14è. Dans ce cadre, le pourcentage qui exprime le rapport DOE/D serait non pas de 14/21/29% (en 1/7è) mais de 12,5% (2/16è), 18,75% (3/16è) et 25% (4/16è) soit une très bonne correspondance avec les pics observés (14%/18-19%/24-26%).

Reste toutefois que ce système régissant les rapports entre DOE et D ne rend pas compte des pics sur 10%, sur 20% et sur 28-29% qui représentent respectivement 2%, 9% et 7% des *Catilli*. Ainsi, à un système proportionnant le Diamètre de l'œillard au diamètre de la meule selon une progression en 16è de ce diamètre pourrait s'ajouter un second système, peut-être employé par certains ateliers et une partie des *Catilli*, et qui serait décimal, justifiant alors des rapports DOE/D établis sur 10% et 20% tandis que le rapport 25% serait partagé avec le système des 16è. Force est néanmoins de constater que cette dualité de système ne justifie pas le pic sur le rapport DOE/D de 28-29%.

39. Diamètre de l'œillard et diamètre du *Catillus* apparaissent en conséquence liés par un système qui n'emprunte pas aux proportions et fractions antiques les plus communes²⁶ mais semble obéir à une progression arithmétique²⁷, la dimension de l'œillard augmentant de 1 ou n dgt à mesure que croît l'envergure du diamètre de la meule. Il est par ailleurs probable que dans leur recherche d'une proportionnalité entre envergure de la meule et œillard, les meuliers antiques aient recouru à des approximations²⁸.

La mise en lumière, par l'examen des moyennes, d'une régularité du rapport D/DOE nous conduit à explorer plus avant cette configuration afin qu'il soit rendu compte de tous les pics caractérisant le rapport entre l'œillard et le diamètre du *Catillus*.

D2. Un DOE dimensionné en DGT entiers

²⁵ Les séries d'objets sont souvent « impures » soient qu'elles comprennent quelques éléments hétérogènes soit qu'elles mêlent des métrologies différentes, par ailleurs les séries meulrières sont souvent courtes et les moyennes rarement stabilisées car modifiées dès que quelques objets sont ajoutés ou retirés ; il est de ce fait généralement préférable de travailler sur les pics de fréquence des dimensions et si possible sur les pics les mieux séparés et les moins coalescents possibles.

²⁶ Notamment les divisions du système 16 du Pied (4/8/12/16/20/24/28/32), du système 12 du Pouce (3/6/9/12/15/18/21/24/27/30/33/36) ou les fractions de type 1/4, 1/3, 1/2, 1/5, 2/5, 3/4, 4/5, 3/2, 4/3, 5/4, 7/4, 5/3.

²⁷ De type ajout de 1 ou 3 unités à chaque étape (par ex. diamètre de 21 dgt avec DOE de 3 dgt donc diamètre de 24 dgt avec DOE de 4 dgt).

²⁸ De telles approximations, notamment données par des fractions, étaient courantes ainsi 9/4 pour $\sqrt{5}$ ou le couple de mesures (26 ; 15) pour $\sqrt{3}$ (1,73) ou encore le couple (17 ; 12) pour $\sqrt{2}$ (1,41) – voir FREY 2001 notamment p. 9-11.

40. Si l'on choisit un Diamètre d'Œillard régulier qui mesure un nombre entier de dgt (Fig.38), on constate qu'une progression de DOE chaque 3 dgt (3/6/9 dgt –supra Fig.37) peut, avec certains Diamètres du *Catillus*, donner un rapport D/DOE entier (7/4/3 – Fig.38) et rendre compte du pic secondaire 24-26% (Fig.38 ligne DOE 6 dgt et D. 24, rapport 4). Cependant les pics de 10% et 18-19% n'apparaissent toujours pas. La solution est donnée par une table qui indique le rapport DOE / D pour chaque couple formé entre un Œillard (en dgt) et un Diamètre de *Catillus*.

Figure 38 DOE : Progression 3/6/9 dgt

Moyennes DOE et DIAMETRES Catilli				
	\bar{x} DOE	\bar{x} DIAM	DOE/D	D / DOE
GABARIT -1	3	21	14%	7,0
GABARIT -2	5	23	22%	4,6
G.2 attendu	6	24	25%	4,0
GABARIT -3	8	28	29%	3,5
GAB.3 attendu	9	27	33%	3,0
	DGT	DGT		

Dans un premier temps (Fig.39), sont fournis les couples DOE – D correspondant à un rapport D/DOE entier (par ex 9,0 ou 6,0) tel que donné par exemple par un *Catillus* d'un Diamètre de 18 dgt et un œillard de 2 dgt ou par un *Catillus* d'une envergure de 18 dgt dont l'œillard mesure 3 dgt.

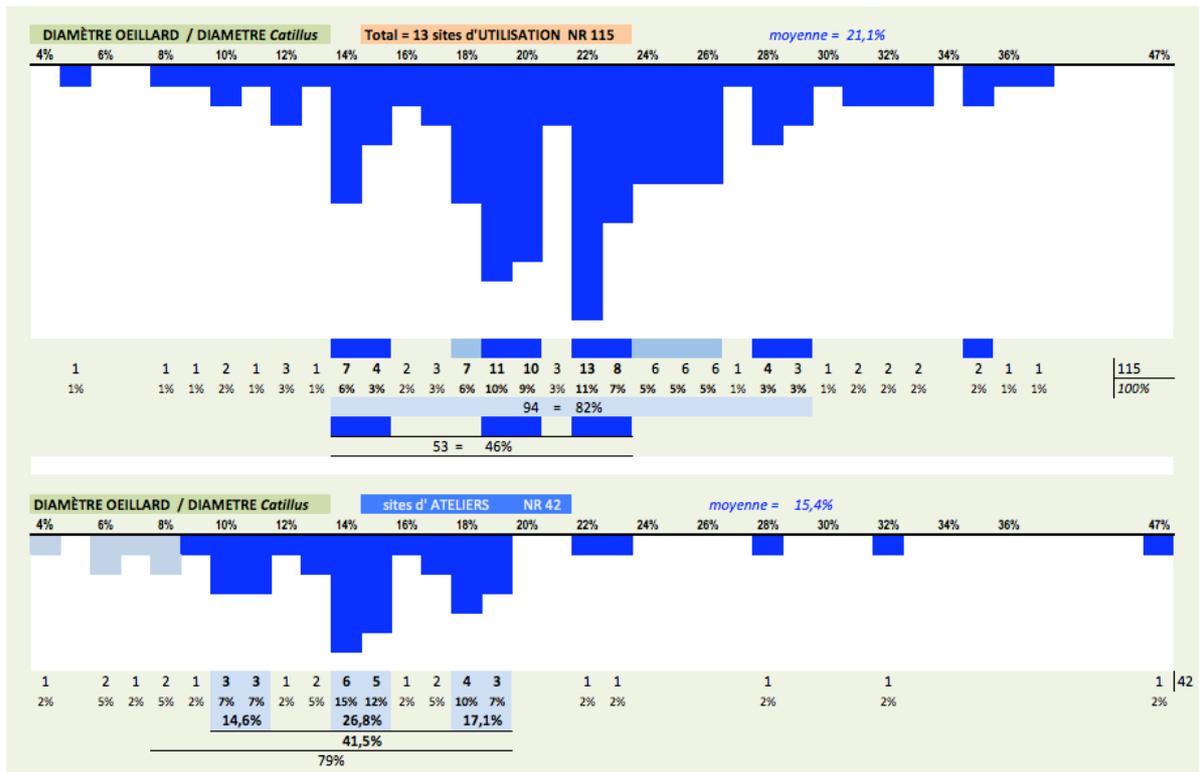
Figure 39 : Couples de Diamètres de *Catillus* et d'Œillards correspondant à un rapport D/DOE entier

(la colonne 4 donne la proportion de DOE/D et permet de voir si celle-ci correspond aux pics observables sur les assemblages des Ateliers ou des sites d'Utilisation – cf. Fig.15 ; la correspondance avec ces pics figure dans la colonne la plus à droite, intitulée « Pic observé ». Dans la colonne « Diam. » sont affichés en gras les diamètres en nombre pair de dgt, plus aisés à réaliser sur un objet centré comme la meule)

rapport Diamètre / DOE entier exprimé en DGT					
	DOE	DIAM.	DOE/D	D/DOE	Pic observé
Gabarit 1	2	18	11%	9,0	pic 10-11%
	3	27	11%	9,0	14% sur Ateliers
	4	36	11%	9,0	2% sur sites
Gabarit 1	2	16	13%	8,0	rare
	3	24	13%	8,0	5% sur Ateliers
	4	32	13%	8,0	1% sur sites
GAB.2	2	14	14%	7,0	pic 14(13)%
	3	21	14%	7,0	27% sur Ateliers
	4	28	14%	7,0	9% sur sites
GAB.2	5	35	14%	7,0	
	6	42	14%	7,0	
	7	49	14%	7,0	
GAB.1	3	18	17%	6,0	5% sur Ateliers
	4	24	17%	6,0	3% sur sites
	5	30	17%	6,0	rare
GAB.2	6	36	17%	6,0	malgré les couples canoniques 4-24, 6-36 et 8-48 DGT
	7	42	17%	6,0	
	8	48	17%	6,0	
GAB.3	4	20	20%	5,0	
	5	25	20%	5,0	absent des Ateliers
	6	30	20%	5,0	pic 20%
GAB.2	7	35	20%	5,0	
	8	40	20%	5,0	> 9% sur sites
	9	45	20%	5,0	
GAB.1	4	16	25%	4,0	
	5	20	25%	4,0	absent des Ateliers
	6	24	25%	4,0	
GAB.2	7	28	25%	4,0	pic secondaire 24-26%
	8	32	25%	4,0	
	9	36	25%	4,0	15% sur sites
GAB.3	10	40	25%	4,0	
	11	44	25%	4,0	
	12	48	25%	4,0	

41. Sur les 3 pics (DOE/D 10% ainsi que 18-19% et 24-16%) qui manquaient dans la configuration proposée supra par la moyenne des DOE et des diamètres, cette table des couples DOE et D vient rendre compte du pic 10% (colone 11%), du pic 24-26% à travers la série sur 25% c'est à dire celle des Diamètres en nombre pair de dgt divisibles par 4) et dégage également le pic sur 20% qui dans l'histogramme (Fig.40) s'avère coalescent avec le pic sur 18-19% : en réalité il s'agit bien d'un pic particulier, qui correspond aux diamètre divisibles par 5 (cf. série D/DOE rapport 5,0 sur la Fig.39).

Figure 40 : Pics du rapport Œillard / Diamètre (sites d'Utilisation et Ateliers)



42. Dans un second temps (Fig.41 et 42), on examine les couples DOE – D qui correspondent à un rapport D/DOE non entier (par ex 5,3 ou 4,6) tel que donné par exemple par un *Catillus* d'un Diamètre de 21 dgt pour un œillard de 4 dgt (Gabarit 1) ou un diamètre de 23 dgt pour un œillard de 5 (Gabarit 2).

Ces couples ont été choisis car ils donnent un rapport œillard sur Diamètre (DOE/D) qui correspond au pic de fréquence manquant 18-19%. Cette table dégage par ailleurs le contingent des couples DOE et Diamètre qui correspondent au pic de fréquence 22-23%. Ces derniers sont principalement produits par des Œillards supérieurs à 4 dgt et

Pics non représentés dans les rapports entiers							
	DOE	DIAM.	DOE/D	D/DOE	Pic observé		
GABARIT - 2	3	16	19%	5,3	17% sur Ateliers 16% sur sites Utilisation		
	4	22	18%	5,5			
	4	21	19%	5,3			
	5	26	19%	5,2			
	5	27	19%	5,4			
	5	28	18%	5,6			
	6	32	19%	5,3			
	6	33	18%	5,5			
	7	36	19%	5,1			
	7	38	18%	5,4			
GABARIT - 3	8	42	19%	5,3	18% sur sites Utilisation		
	8	43	19%	5,4			
	8	44	18%	5,5			
	9	47	19%	5,2			
	9	48	19%	5,3			
	10	52	19%	5,2			
	GAB.1	3	13	23%		4,3	4% sur Ateliers 18% sur sites Utilisation
		4	18	22%		4,5	
		5	23	22%		4,6	
		6	27	22%		4,5	
7		31	23%	4,4			
7		32	22%	4,6			
8		35	23%	4,4			
8		36	22%	4,5			
9		40	23%	4,4			
9	41	22%	4,6				

Figure 41 : Couples de Diamètres de *Catillus* et de Diamètres d'Œillards correspondant à un rapport D/DOE non entier et aux pics de fréquence DOE/D de 18-19% ainsi que 22-23%

donc par les Gabarits 2 et 3. Enfin elle montre également que le pic sur DOE/D 28-20%, qui totalise 6% des *Catilli*, correspond à des meules dont Œillard et Diamètre sont mesurés en dgt entiers mais dont le rapport DOE/D n'est pas entier (Fig.42). A ce pic correspondent de nombreux Diamètres de la gamme courante (18 à 32 dgt soit 2 pieds), mais la moitié sont des Diamètres impairs dont la réalisation est peut-être discutable (cf. *infra*).

Figure 42 : Couples de Diamètres de *Catillus* et d'Œillards correspondant à un rapport D/DOE non entier et aux pics de fréquence DOE/D de 28-29%

	DOE	DIAM.	DOE/D	D/DOE	Pic observé
GABARIT - 3	5	18	28%	3,6	pic mineur 28-29%
	5	17	29%	3,4	
	6	21	29%	3,5	
GABARIT - 3	7	24	29%	3,4	
	7	25	28%	3,6	
	8	28	29%	3,5	
	8	29	28%	3,6	
	9	31	29%	3,4	
	9	32	28%	3,6	

43. Dans un troisième temps on s'est demandé si certains pics de fréquence du rapport DOE/D se trouvaient alimentés par des *Catilli* dont l'Œillard pouvait ne pas mesurer un nombre entier de dgt. Si c'est mathématiquement possible (Fig.43), la difficulté de réaliser des œillards en 3,5 ou 6,5 dgt²⁹ suggère que leur fabrication a pu être évitée.

Figure 43 : Œillards du groupe DOE/D mesurés en demi-DGT

	DOE	DIAM.	DOE/D	D/DOE	Pic observé
GAB.1	3,5	16	22%	4,6	pic 22 (23%)
	4,5	20	23%	4,4	
GAB.2	5,5	24	23%	4,4	
	5,5	25	22%	4,5	
GABARIT - 3	6,5	28	23%	4,3	
	6,5	29	22%	4,5	
	7,5	32	23%	4,3	
	7,5	33	23%	4,4	
	7,5	34	22%	4,5	
	8,5	37	23%	4,4	
GAB.1	8,5	38	22%	4,5	
	3,5	18	19%	5,1	
4,5	24	19%	5,3		
4,5	25	18%	5,6		

En effet un œillard mesurant une quantité impaire (ici des demi-dgt tels que 3,5 ou 4,5 soit 7 ou 9 unités) est difficilement implantable sur un objet centré : pour distribuer une même distance (rayon) de chaque côté de l'axe, il faut que la quantité soit rendue paire en passant en quarts de dgt (soit ca. 0,4 cm) c'est-à-dire une finesse de taille difficilement réalisable dans une roche dure et grenue, à fortiori dans un espace réduit et tubulaire (un forage intégral, sans taille en percussion, peut en revanche réaliser une telle précision).

44. Aussi de tels gabarits d'œillard étaient-ils vraisemblablement évités au maximum, à fortiori lorsque d'autres dimensions permettaient pour un Diamètre donné de *Catillus* d'atteindre un DOE qui corresponde à un rapport accepté (i.e les pics de fréquence de 10/14/18-19/20/22-23/25%). A cet égard, la comparaison des tables (Fig.40 à 42) montre par exemple que les 3 diamètres (18, 24 et 25 dgt) associés à un œillard de 3,5 ou 4,5 dgt afin de répondre à la norme DOE/D de 18-19%, pouvaient tout à fait être remplacés par les mêmes Diamètres de 18, 24 et 25 **DGT** couplés avec un autre gabarit d'Œillard tels que :

- D. 18 dgt avec Œillard de 2 dgt (DOE = 18% de D)
- avec Œillard de 4 dgt (DOE = 22% de D)
- D. 24 dgt avec Œillard de 6 dgt (DOE = 25% de D)
- avec Œillard de 4 dgt (DOE = 17% de D) non pratiqué
- D. 25 dgt avec Œillard de 5 dgt (DOE = 20% de D)

De surcroît, ces alternatives relèvent toutes des pics de fréquence (18%, 20%, 22% et 25%) à l'exception du couple 24/4 dgt qui, bien que correspondant à des dimensions métrologiquement canoniques (24 dgt c'est 1,5 pied ou 6 palmes et 4 dgt c'est ¼ de pied ou 1 palme), n'est pas pratiquée (les Œillards mesurant 17% du diamètre ne totalisent que 3% des *Catilli* sur les sites d'Utilisation –cf. Fig.15).

²⁹ En effet un œillard mesurant une quantité impaire (ici des demi-DGT tels que 3,5 ou 4,5 soit 7 ou 8 unités) est difficilement implantable sur un objet centré : il faut en effet rendre la quantité paire en passant en quarts de DGT (soit ca. 0,4 cm) c'est-à-dire une finesse de taille difficilement réalisable dans une roche dure et grenue, à fortiori dans un espace réduit et tubulaire (seul un forage intégral, sans taille en percussion, peut réaliser une telle précision) : de tels gabarits d'œillard étaient vraisemblablement évités au maximum, d'autant plus si d'autres dimensions de l'œillard pouvaient permettre d'atteindre le rapport souhaité entre DOE et le Diamètre du *Catillus*.

Figure 44 : Les Diamètres particuliers 17, 19, 23, 29 et 31 DGT

(sont figurés en bleu clair les couples Œil -Diamètre qui donnent un rapport D/DOE non entier)

45. On peut légitimement se demander si les Diamètres impairs de 17, 19, 23 et 31 dgt, non divisibles par un nombre entier de dgt (il s'agit de quatre nombres premiers), ont été utilisés pour fabriquer des meules, même si par exemple leur traitement en demi- dgt les transforme en quantité paire et divisible. Le tableau des couples Œillard-Diamètre de ces gabarits singuliers (Fig.44) montre néanmoins que les *Catilli* de 29 ou 31 dgt étaient compatibles avec un œillard de 3 ou 4 dgt

DOE DGT	Diamètre <i>Catillus</i>		DOE/D	D/DOE
	DGT	demiDGT		
2	17	34	12%	17
2	19	38	11%	19
2	23	46	9%	23
2	29	58	7%	29
3	29	58	10%	19,3
4	29	58	14%	14,5
2	31	62	6%	31
3	31	62	10%	20,7
4	31	62	13%	15,5
5	31	62	16%	12,4

qui les faisaient alors entrer dans la proportion DOE/D de 10%, la plus petite qui ait été admise et dont la fréquence (voir Fig.40) s'avère relativement marginale sur les sites d'Utilisation (maximum de 3% du total des *Catilli*) bien qu'elle atteigne 14% (3è pic) sur les ateliers. Par ailleurs la fabrication des gabarits de 17 ou 19 dgt associés à un œil de 2 dgt rentrait dans les fabrications admises (DOE/D 12%) même si peu fréquentes (2 à 3% du total).

En définitive, la production de *Catilli* dimensionnés selon les gabarits impairs et premier que sont 17 dgt ainsi que 19, 23 et 29 ou 31 dgt apparaît possible et semble avoir été pratiquée de manière cependant réduite, sauf peut-être pour 19 dgt (voir *infra* Fig.48).

46. La mise en évidence de l'emploi de gabarits mesurés en dgt entiers pour définir le Diamètre de l'Œillard nous permet d'appréhender les proportions observées par chaque DOE (Fig.45). Chaque gabarit permettait de fabriquer chacune des proportions, à l'exception de la 7ème (28-29%) non réalisable (le diamètre de la meule devrait alors être au maximum de 12 dgt) et des proportions 1 et 2 (10 et 14%) qui appelleraient des meules de 3 ou 4 pieds³⁰, non attestées à l'époque antique.

Figure 45 : Proportions du Diamètre du *Catillus* observées par chacun des gabarits d'Œillard

PROPORTIONS entre ŒILLARD et DIAMÈTRE par Gabarit d'ŒILLARD							
GABARIT .1 (3 - 7,5 cm)	2 DGT	10%					
	3 DGT		14%	19%		25%	
	4 DGT	10%		18-19%	20%	22%	25%
GABARIT .2 (8 - 11 cm)	5 DGT	10%		18-19%	20%	22%	25% 28-29%
	6 DGT		14%	19%	20%	22%	25% 29%
GABARIT .3 (12-16,5 cm)	7 DGT			18-19%	20%	22-23%	25% 28-29%
	8 DGT			18-19%	20%	22-23%	28-29%
	9 DGT			19%		22-23%	25% 28%
n°	1	2	3	4	5	6	7
	2%	9%	16%	10%	18%	15%	6%
Fréquence globale observée sur les sites d'Utilisation							

D3. Dominance des Gabarits canoniques

47. Les pics de fréquence du rapport entre le Diamètre de l'Œillard et celui du *Catillus* (DOE/D) transcrivent les fabrications les plus pratiquées. Nous avons donc examiné quels Diamètres ont été produits pour chacun des gabarits d'Œillard, en considérant d'une part les

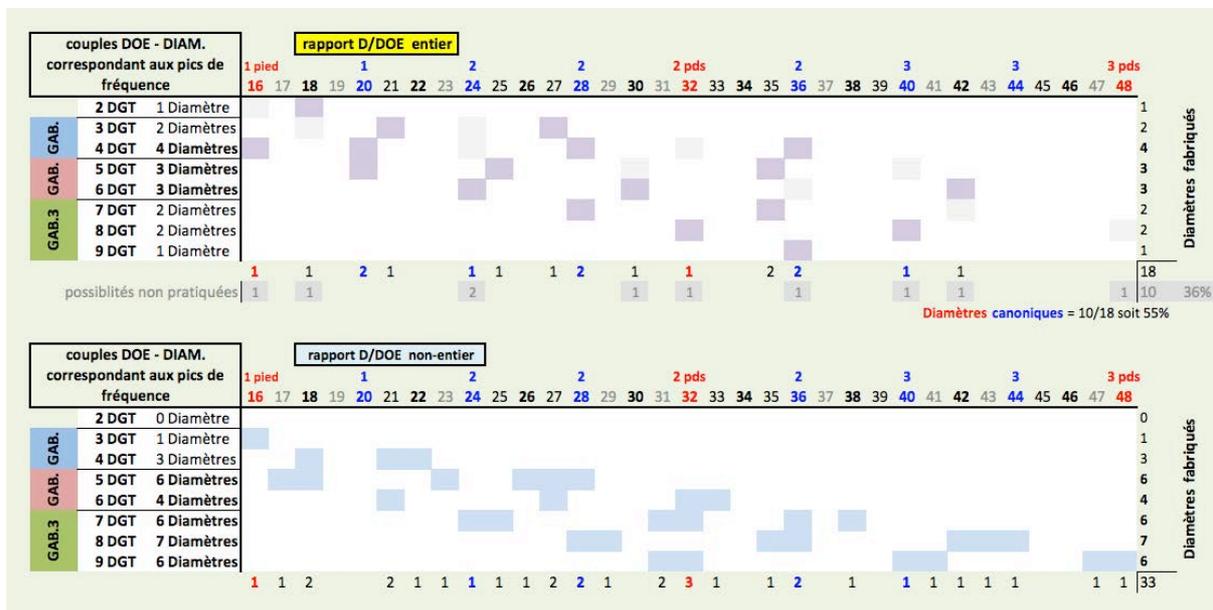
³⁰ En effet un DOE de 7 dgt valant 10% du diamètre donne au *Catillus* une envergure de 70 dgt soit plus de 4,25 pieds, si ce même Œillard de 7 dgt vaut 14% du diamètre le format du *Catillus* s'établit alors à 50 dgt soit un peu plus de 3 pieds.

rapports DOE/D entiers³¹ puis les rapports non-entiers³², les résultats sont consignés dans la Fig.46.

Le diagramme sélectionne les diamètres qui pour chaque gabarit de l'œil correspondent aux pics de fréquence observés pour le rapport DOE/D (voir Fig.40). Les carrés en gris indiquent les Diamètres qui ne sont pas attestés ou très marginalement (situés hors des pics). Les Diamètres sélectionnés correspondent ainsi aux fabrications récurrentes, à la nuance près qu'à l'intérieur d'une même série (par exemple les Diamètres et Œillards qui entretiennent un rapport de 14%), on ignore quels diamètres ont été les plus fréquents et ceux moins fabriqués ou bien délaissés³³.

La première observation à faire concerne la tendance à l'augmentation de la taille de l'œillard à mesure que s'accroît l'envergure de la meule, proportionnellement assez régulier qui se traduit par la diagonalisation du diagramme.

Figure 46 : Diamètres des *Catilli* (de 16 à 48 dgt) fabriqués pour chaque gabarit d'œillard (2 à 9 dgt)



48. Mais le point principal concerne la probabilité de fabrication attachée à chaque diamètre. La Fig.47 totalise le nombre de possibilités de couplage entre un diamètre et les dimensions de l'œillard. On peut ainsi constater que, de manière un peu surprenante, les meules d'une envergure de 27 à 36 dgt, c'est-à-dire des *Catilli* d'assez fort gabarit puisque compris entre 1 pied $\frac{3}{4}$ et 2 pieds $\frac{1}{4}$, offrent plus de possibilités (47% des 51 combinaisons) avec les différentes tailles de l'œillard. La raison en est purement mathématique, plus les nombres sont grands plus ils comptent de diviseurs et la prise en compte d'un rapport non entier accentue ce phénomène.

Cette importante possibilité de combiner le Diamètre de l'œillard avec ceux les gabarits de meules compris entre 28 et 36 dgt augure un potentiel important dans la perspective d'augmentation de l'envergure des meules qui se produit au cours de l'époque Romaine et ensuite. Mais dans l'Antiquité l'essentiel des meules mesurant moins de 2 pieds, les diamètres favorisés par la nécessité d'être combinés avec un œillard relativement proportionné se trouvent de ce fait en nombre assez réduit : la Fig.47 indique ainsi que sont les plus « fabricables » les

³¹ Dont la table a été fournie *supra* en Fig.39.

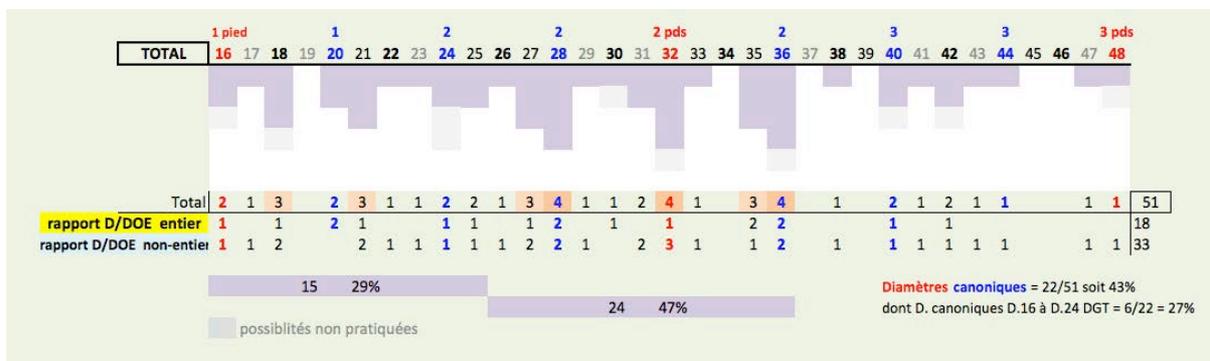
³² Tables livrées *supra* dans les Fig.40-43.

³³ Il faudrait pour cela calculer la valeur en dgt du diamètre de chaque *Catillus*, ce qui serait un travail non seulement très lourd mais très incertain car supposant qu'un seul pied soit possible pour les *Catilli* observés, ce qui est malheureusement rarement le cas.

Catilli d'un gabarit de 16 et 18 dgt (autour de 1 pied), ceux de 20-21 dgt (1 pied ¼) et de 24-25 dgt (1 pied ½), ceux enfin de 27-28 dgt (1 pied ¾). Il s'agit de dimensions métrologiquement « canoniques » puisqu'elles correspondent à la division en palmes (¼ du pied).

49. La dominance de ces gabarits de *Catilli* s'observe statistiquement sur les diamètres des assemblages meuliers (voir **CHAP.10**) même s'ils sont exprimés en cm et à fortiori lorsque l'on peut les évaluer en dgt. Autrement dit, la prévalence des dimensions canoniques des meules tournantes est le produit du choix du gabarit de l'œillard, ce percement axial devant être à la fois un nombre entier de Doigts et proportionné à l'envergure du *Catillus*. Il est probable que le gabarit de l'œillard sélectionne les diamètres canoniques de la meule plus que ces derniers ne sélectionnent l'œillard car si tel était le cas ne seraient fabriquées que des meules de 16, 20, 24, 28 et 32 dgt.

Figure 47 : Spectre des Diamètres de *Catillus* proportionnés avec les Œillards



50. Il est d'ailleurs intéressant de noter, avec la **Fig.47**, que (à l'exception de D.16 ou 18 dgt) les diamètres fabricables sont toujours situés sur un intervalle de 2 dgt consécutifs (20-21 dgt, 24-25, 27-28, 31-32 et 35-36 dgt). Mettant en lumière les normes de gabarit des meules sur la base de la distribution des diamètres de chaque assemblage (**CHAP.10**), nous avons constaté que les dimensions s'étaient le plus souvent sur au moins 1 dgt de chaque côté de la valeur centrale du pic de fréquence correspondant à la norme de diamètre visée. Nous avons conclu à une standardisation assez lâche de la fabrication de l'envergure d'une meule, dont le diamètre serait réalisé à 1 dgt par défaut ou 1 dgt par excès (ce qui représente une approximation de 6 à 3,5% pour un diamètre entre 16 et 28 dgt).

La mise en évidence des couples de diamètres sélectionnés pour être proportionnés à l'envergure d'un *Catillus* suggère cependant qu'un tel étalement des valeurs fabriquées autour de la norme du diamètre, plutôt que de sa réalisation approchée à 1 dgt près, découlerait en réalité de l'expression duale de chaque norme liée à la valeur fixe de l'œillard.

D4. Rareté du Gabarit de 16 dgt

51. Enfin, le panorama des Diamètres sélectionnés par la règle de leur proportionnement à l'œillard semble venir expliquer le constat que nous avons régulièrement fait de la rareté des meules du gabarit de 1 pied (16 dgt) au point qu'on peut se demander si l'étalon (Pied) ne faisait pas l'objet d'une sorte de tabou dans le domaine des meules.

On observe que le Diamètre de 16 dgt est compatible avec 3 gabarits d'œillard :

- . un œil de 2 dgt, qui donne une envergure de meule de 8 fois l'œillard ce dernier mesurant 13% du diamètre

- . un œil de 4 dgt, qui donne une meule large de 4 fois son percement axial, l'œillard valant alors 25% du Diamètre de la meule

. enfin un œil de 3 dgt, qui donne un rapport D/DOE non entier avec un diamètre valant 5,3 fois l'œillard, ce dernier mesurant 19% de l'envergure de la meule.

Cependant, sur ces 3 couples possibles, seuls 2 sont fabriqués (Fig.47), la fréquence de l'œillard mesurant 13% du Diamètre étant seulement de 1% sur notre échantillon de 115 *Catilli* issus des sites d'Utilisation (Fig.40). Par conséquent les meules d'une envergure de 16 dgt ne sont compatibles qu'avec le seul Gabarit d'œillard 1 (3 et 4 dgt) : elles ont été produites (Fig.48) soit avec un œillard mesurant 3 dgt et 19% du diamètre, soit avec un œillard de 4 dgt qui représente l'avant-dernier standard (œil de 25% avant l'œil maximal qui est de 28-29%). Or les diamètres qui ont une plus forte probabilité de réalisation sont ceux qui présentent une compatibilité avec 3 ou 4 œillards et non seulement 2 (Fig.48).

Figure 48 : Eventail des Œillards praticables pour chaque gabarit de *Catillus*

52. Certes, ce potentiel réduit pourrait être compensé par la fabrication d'un volume plus important de meules dans ce diamètre, volume important auquel ne conduit pas obligatoirement la possibilité d'une riche combinaison du Diamètre d'un *Catillus* avec 3 ou 4 dimensions d'œillard plutôt qu'avec seulement deux.

En réalité, on observe rarement des meules de 28, 29 ou 30 voire 31 cm de diamètre. Les meules d'une envergure de 1 pied (16 dgt) sont réellement assez rares : elles représentent en effet 3,3% du total (68 sur un corpus de 2082 Diamètres dont 2,8% sur les sites d'Utilisation et 4,3% sur les Ateliers – voir CHAP.10).

53. Si l'on retient que les meules étaient fabriquées en 5 ou 6 principaux diamètres (gabarits de 18/20/24 dgt éventuellement complétés par du 16, du 22 et du 28 dgt) la fréquence potentielle de chaque dimension est de 16 à 20% selon qu'il y ait 5 ou 6 gabarits. Avec un total de 3%, les meules mesurant 16 dgt s'avèrent ainsi fabriquées 5 ou 6 fois moins que leur potentiel moyen. Il n'y a donc pas, par un fort volume de production, de compensation du faible potentiel du gabarit de 16 dgt qui découle de la pauvreté de sa combinatoire avec les dimensions possibles de l'œillard. Toutefois, avec 15% de meules³⁴ mesurant 16 dgt, Orvieto fait partie d'un groupe de sites³⁵ à fort taux de meules de 1 pied. Une telle compensation a donc parfois pu avoir lieu, a fortiori dans des contextes à meules de petite taille, où l'éventail des gabarits glisse vers le pôle 16 dgt plutôt que d'être développé vers le pôle 24 dgt.

ŒILLARD pratiqué pour chaque DIAMÈTRE										
LIRE : "Le Diamètre 16 DGT reçoit un Œillard de 4 DGT proportionné à 25% du Diamètre"										
DIAM DGT	DOE	DOE/D	DOE	DOE/D	DOE	DOE/D	DOE	DOE/D	Total Œills	
1 pied 16 DGT	3	19%	4	25%					2	
	17	5 29%							1	
	18	2 10%	4	22%	5	28%			3	
	19								-	
	20	4 20%	5	25%	7	28%			3	
1,25 20	21	3 14%	4	19%	6	29%			3	
	22	4 18%							1	
	23	5 22%							1	
	24	6 25%	7	29%					2	
	25	5 20%	7	28%					2	
1,5 24	26								-	
	27	3 10%	5	19%	6	22%			3	
	28	4 14%	5	18%	7	25%	8	28%	4	
	29	8 28%							1	
	30	6 20%							1	
1,75 28	31	7 23%	9	28%					2	
	32 DGT	6 19%	7	22%	8	25%	9	28%	4	
	33	6 18%							1	
	34								-	
	35	5 10%	7	20%	8	23%			3	
2,25 32 DGT	36	4 10%	7	19%	8	22%	9	25%	4	
	37								-	
	38	7 18%							1	
	39								-	
	40	8 20%	9	23%					2	
2,5 40	41	9 22%							1	
	42	6 14%	8	19%					2	
	43	8 19%							1	
	44	8 18%							1	
	45								-	
2,75 44	46								-	
	47	9 19%							1	
	48 DGT	9 19%							1	

italiques = nombres premiers

³⁴ *Catilli* et *Metae* confondus.

³⁵ Tous septentrionaux, à l'exception d'Orvieto et d'Agde (13%), ces assemblages essentiellement laténiens sont : Le Puy du Tour (Corrèze), le département du Calvados, et Prasville (Eure & Loir) ; ils sont complétés par Roanne (Loire) avec 20% de meules de 16 dgt et Blois la Croupe (E. & L.) avec 27%.

D5. L'Œillard & la Surface du Catillus

54. Le fait qu'un œillard occupe 18 ou 25 voire 28% du diamètre de la meule peut paraître important. En réalité la surface correspondante occupe au maximum 12% de celle du *Catillus* et plus souvent entre 3 et 8% soit du 30^e au 12^e de la partie active de la meule (Fig.49)³⁶.

L'impact de l'œillard en termes de perte de Surface Active peut donc être qualifié de marginal sinon dérisoire.

Figure 49 : Impact réducteur de l'Œillard sur la Surface du *Catillus*

Le fait également que la surface de l'œillard ne corresponde qu'approximativement à une fraction de celle de la meule³⁷, et moins encore à des fractions usuelles (de type 1/10^e, 1/12^e, 1/16^e, 1/20^e, 1/30^e etc. n'incite pas à envisager que le gabarit de l'œillard ait été déterminé en fonction de la surface et, sur la pierre, la concrétisation d'une surface passerait quoi qu'il en soit par la projection d'une longueur, en l'occurrence un diamètre.

impact de l'ŒILLARD sur la Surface Active selon le Diamètre										
LIRE : "Le Diamètre 16 DGT appelle un Œillard de 4 DGT occupant 6% de la surface"										
DIAM DGT	DOE	DOE/D								
1 pied 16 DGT	3	1%	4	6%						
17	5	9%								
18	2	1%	4	5%	5	8%				
19										
1,25 20	4	4%	5	6%	7	12%				
21	3	2%	4	4%	6	8%				
22	4	3%								
23	5	5%								
1,5 24	6	6%	7	9%						
25	5	4%	7	8%						
26										
1,75 28	3	1%	5	3%	6	5%				
29	4	2%	5	3%	7	6%	8	8%		
30	8	8%								
31	6	4%								
2 pieds 32 DGT	7	5%	9	8%						
33	6	4%	7	5%	8	6%	9	8%		
34	6	3%								
35	5	2%	7	4%	8	5%				
1,25 36	4	1%	7	4%	8	5%	9	6%		
37										
38	7	3%								
39										
2,5 40	8	4%	9	5%						
41	9	5%								
42	6	2%	8	4%						
43	8	3%								
2,75 44	8	3%								
45										
46										
3 pieds 48 DGT	9	4%								
47	9	4%								

CONCLUSIONS

55. L'Œillard du *Catillus* des MRB est une dimension fixe, mesurée en Doigts entiers et proportionnée mais non proportionnelle au Diamètre de la meule. Cet œillard, qui accueille un dispositif variable opérant la liaison avec l'axe, fixe ou tournant, enchâssé dans la *Meta*, mesure une fois achevée, entre 3 et 9 doigts. Sa dimension est choisie en fonction du diamètre du *Catillus* afin de respecter 1 des 7 normes de proportion : préférentiellement 22-23%, 18-19% ou 24-25% du diamètre, à un moindre degré 14 et 20%, enfin 28-29% et 10%. Si les œillards de 2 et 3 dgt ne

³⁶ L'impact est à vrai dire moindre puisque par simplification la surface de l'Œillard est pour ce tableau déduite de la surface plane du *Catillus* et non de sa surface inclinée laquelle est augmentée par la Conicité.

³⁷ Les pourcentages affichés dans le tableau Fig.48 sont le plus souvent des arrondis et correspondent généralement à plusieurs rapports, ainsi de 3% pour 1/33^e, 1/32^e ou 1/30^e ou encore de 4% pour 1/25^e mais aussi 1/28^e.

sont compatibles qu'avec 1 à 3 diamètres, en revanche à partir de 4 dgt chaque taille d'œillard s'accorde avec 5 à 7 diamètres.

56. Cette liaison obligatoire entre une envergure de *Catillus* et une largeur d'œillard qui ne soit ni trop petite ni excessive favorise la sélection de certains diamètres, en particulier ceux dits « canoniques » qui répondent aux multiples du palme : 20, 24 et 28 dgt, plus rarement 32 et 36 dgt. Cet éventail est cependant complété par le gabarit de 18 dgt, réglé sur ½ palme. Compatible avec 3 dimensions de l'œillard (2, 4 et 5 dgt) contre 2 seulement au gabarit 16 dgt (œil de 3 et 4 dgt), le modèle 18 dgt pourrait venir compenser le diamètre de 16 dgt, moins pratiqué, et fournir l'essentiel du contingent des *Catilli* dont l'œillard mesure 10% du diamètre.

57. Trois gabarits d'œillard servent à exprimer les 7 Normes de proportionnement entre le Diamètre de l'œillard et celui du *Catillus* : le Gabarit 1 correspond à un Œillard Étroit (3 à 7,5 cm soit 1,5 à 4 dgt), le Gabarit 2 est constitué d'un Œillard Large (8 à 11 cm soit 5 à 6 dgt) et le Gabarit 3 manifeste un Œillard Très Large (12 à 16 voire 18 cm soit 7 à 9 dgt) qui varie autour de un demi-pied (8 dgt). Les Gabarits 1 et 2 sont les plus fréquents, rassemblent chacun 40% des *Catilli* et sont présents dans 85% des assemblages.

58. Chronologiquement, les Gabarits 1 et 2 apparaissent associés dans les plus anciens assemblages (Els Vilars et Pech Maho). Mais à cette période (V-III^e s. aC) puis à la suivante (III-II^e aC (assemblages d'Ensérune et de Provence), le petit œillard (Gab.1) est d'une fréquence limitée (10 à 20%) tandis que domine un Œillard Large (Gab.2) attesté sur 60 à 100% des *Catilli*. Ce phénomène pourrait traduire l'importance, notamment au Sud, des moulins d'une envergure de 24 dgt (1 pied ½).

59. Plus rare, le Gabarit 3 d'œillard apparaît dans la moitié des assemblages mais souvent en un seul exemplaire, de ce fait il regroupe seulement 13% des *Catilli*. Il s'attache aux grands formats de diamètre, à partir de 24 et surtout de 28-32 dgt (soit 1 pied ¾ et 2 pieds). Son association nettement préférentielle avec des conicités fortes (plus de 19° et souvent de 25° à 45°) fait soupçonner qu'il corresponde principalement à des meules mécanisées ou hydrauliques, d'envergure courante (30 à 48 cm soit de 1 à 1,5 pied) ou de grand format (2 à 3 pieds, soit de 55 à 90 cm). L'assemblage provençal se signale par sa densité dans ce type (44%).

60. En 2015, R. Shaffrey spécialiste britannique des meules avait, sur la base d'un corpus de 499 meules provenant de 198 sites, montré qu'il existe « *a general correlation between feed-pipe and quern/millstone diameter* » (SHAFFREY 2015, 75). Nos résultats sont donc en accord avec ses conclusions concernant un œillard proportionné mais non proportionnel au diamètre. Pour cette étude, centrée sur la différenciation entre meules manuelles (dites *querns*) et meules hydrauliques ou mécanisées (dites *millstones*)³⁸, un œillard supérieur à 10 cm de diamètre correspond, en Angleterre, « presque certainement » à une meule hydraulique tandis qu'un œillard en dessous de 7 cm de largeur renvoie « selon toute probabilité » à une meule actionnée manuellement.

³⁸ La distinction n'est pas très nette, et implicitement le *millstone* de SHAFFREY 2015 renvoie à *hydraulique* (*water-powered*) sauf lorsqu'elle parle p. 58 de pierres d'un diamètre de 45-50 cm qui *may have been mechanically operated* ouvrant alors un débat à nos yeux fécond ; en effet, en dehors du terme *ground-stone* le plus souvent relatif à du matériel non rotatif, il n'existe pas dans la littérature anglo-saxonne de terme générique équivalent au français *meule* ou à l'Italien *macina* : un anglophone doit toujours choisir entre les termes *quern* et *millstone*, fortement marqués par l'opposition fonctionnelle entre *manuelle* et *hydraulique* même si une évolution se fait jour vers une généralisation de l'emploi de *millstone* alors qu'au temps de Curwen le terme *quern* dominait ; cette dualité *quern / millstone* ou *manuelle / hydraulique* reste pertinente tant qu'il s'agit de distinguer deux pôles opposés, deux grandes familles de meules ; mais la difficulté commence avec les formes ou dimensions intermédiaires, avec l'incertitude d'attribution fonctionnelle de certaines pierres : c'est pourquoi le terme, a-fonctionnel, de *meule* est nécessaire et l'opposition entre *manuelle / hydraulique* trop schématique sinon stérilisante ; c'est pourquoi nous appelons à l'établissement de catégories fonctionnelles molinologiques plus détaillées correspondant, des origines à l'actuel, aux différentes modalités d'entraînement et aux degrés possibles de mécanisation notamment non-hydraulique (par bielle, par bâton, par manivelle, par pédale ou encore par courroie).

Si l'on note la grande similitude quant au seuil individualisant la catégorie la plus large d'œillard (11 cm pour SHAFFREY 2015 et 12 cm dans le présent travail), en revanche l'étude anglaise n'isole pas de groupe qui associe à la fois un diamètre de format courant (ici 36-38 à 42-47 cm -voir *supra* § C.2 et **Fig.26**) à un Œillard Large (Gabarit 3), soit qu'un tel groupe n'existe pas dans le Sud de la Grande Bretagne, soit que les données n'aient pas permis de le saisir. En conséquence l'auteur n'aborde pas l'éventualité que nous soulevons, à savoir que la petite hydraulique (le *norse mill*) pourrait être munie de meules tout à fait similaires par leur envergure à celles dites manuelles mais distinctes en revanche par leur grand gabarit d'Œillard ainsi que, du moins sur le continent, par une conicité élevée³⁹.

61. A Orvieto le percement axial est présent sur 7 des 23 *Catilli*, soit 75% de ceux qui ont atteint un état de façonnage suffisamment avancé pour qu'intervienne cette opération (stades IV et V). Le fait que 30% des *Catilli* rebutés soient ainsi parvenus aux stades finaux d'élaboration tend à indiquer que ces dernières phases, qui accueillent la réalisation de l'œillard, étaient pour l'essentiel sinon en totalité réalisées sur place, auprès des zones d'extraction et sur le lieu des premiers stades d'ébauchage et de genrage des meules, et non dans des aires éloignées voire dans des ateliers secondaires.

62. Seul l'œillard du *Catillus* R.16-8 d'Orvieto apparaît achevé tandis que 5 autres exemplaires montrent un percement central très étroit (1,5 à 2 ou 2,5 cm soit près de 1 à 1,5 dgt) par ailleurs susceptible d'avoir été obtenu par forage. En 2 cas (R.16-24 et R.13-24) ce conduit axial est évasé à la broche au cœur de l'un des deux cônes. On ignore si le percement de ce tube axial étroit précède l'évidement des cônes ou s'il intervient à son issue. Toutefois aucune ébauche d'œillard n'a été à ce jour observée sur un *Catillus* dépourvu d'au moins l'un de ses cônes (celui de la surface active ou celui de la trémie).

Il semble donc qu'à Orvieto le percement axial ait été réalisé sur place, auprès des aires d'extraction et d'ébauche, vraisemblablement après évidement partiel ou total des cônes. Il serait le plus souvent amorcé par un forage large de 1 Doigt ensuite élargi à la pointe. Seul deux exemplaires documentent l'ampleur finale de l'œillard : mesurant 6,5 ou 7 cm, elle correspond au Gabarit 2 (3 à 7,5 cm soit 1,5 à 4 dgt) et à la proportion de 18-19% du diamètre du *Catillus*, soit l'une des trois les plus fréquemment attestées sur l'ensemble du corpus.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO, PÉREZ 2014 – FREY 2001 – PICAVET 2019 – POLINSKI 2009 – PORTILLO 2006 – SHAFFREY 2015 –

³⁹ La situation pourrait sur ce point être différente en Grande Bretagne où le Moulin Plat tient une large part (**CHAP.19**).

Table des données relatives au Diamètre de l'Œillard du *Catillus* de 12 contextes d'Utilisation & Rejet de meules

ŒILLARD des <i>Catilli</i> sites d'UTILISATION						
NANTAIS					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	7,8	19%	41	21°		
	7,8	18%	43	30°		
ME.18	10	16%	61,5	20°		
ME.20	10	17%	58,5	32°		
ME 25	10	18%	56	26°		
ME 26	8,5	15%	57	23°		
ME 27	8	15%	54	30°		
ME 28	10	17%	60,5	27°		
9 ME 29	8,6	15%	57,5	30°		
	80,7		489			
<i>moyenne</i>	<i>8,97</i>	<i>16,5%</i>	<i>54,33</i>			

en rouge Œillard vraisemblablement inachevé

PECH MAHO						
					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	8,5	19%	45	11°		
	10	23%	44	13°		
	9	22%	40,5	11°		
	7	13%	53,5	14°		
	8,5	19%	44,5	11°		
	7,5	17%	43,5	16°		
	8,5	20%	43	13°		
	8,5	22%	39	14°		
	9,5	22%	43,5	15°		
	9,5	23%	41,5	12°		
11	9	23%	38,5	10°		
	95,5		476,5			
<i>moyenne</i>	<i>8,68</i>	<i>20,0%</i>	<i>43,32</i>			

PROVENCE 1992						
					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux ŒIL
	9,5	25%	37,5	26°		
	9,5	25%	38	22°		
	13	35%	37	20°		
	9	23%	40	30°		
	13,5	33%	41	28°		
	10,5	26%	40	24°		
	14	37%	38	45°		
	12	32%	38	40°		
	14	35%	40	25°		
	9	26%	34,5	21°		
	10,5	31%	34	35°		
	11	29%	38	30°		
	13	36%	36	50°		
	8,5	24%	35,5	24°		
	8,5	24%	35	30°		
	9,3	25%	37,5	22°		
	11	28%	40	21°		
	12	29%	42	29°		
	9,5	24%	40	29°		
	8	20%	40	25°		
	9	23%	40	30°		
	10	26%	38	30°		
	10	26%	38	34°		
	8	22%	36	34°		
	7,5	22%	34	25°		
	4,5	14%	32	13°		
	10	24%	42	20°		
	12	29%	42	17°		
	13	31%	42	35°		
	6,8	20%	34	22°		
	306,1		1140			
<i>moyenne</i>	<i>10,20</i>	<i>26,9%</i>	<i>38,00</i>			

ENSÉRUNE Basalte					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux CEIL
	9	20%	44	13°		
	9	20%	44,5	14°		
	9,5	28%	34	11°		
	8,5	20%	42,5	10°		
	7	23%	31	19°		
	8,5	22%	39	13°		
	9	26%	35	8°		
	12	19%	64	5°		
9	8	21%	38,5	19°		
	80,5		372,5			
	<i>moyenne</i>	<i>8,94</i>	<i>21,6%</i>	<i>41,39</i>		

CARCASSONNE					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux CEIL
	9	21%	42	22°		
	5	12%	42	0°		
	8	19%	42	0°		
	6	18%	34	18°		
	10,5	28%	37	0°		
	7	19%	37	17°		
	10	23%	44	18°		
	7,5	19%	38,5	17°		
	18	30%	61	20°		
10	8	24%	33	16°		
	89		410,5			
	<i>moyenne</i>	<i>8,90</i>	<i>21,7%</i>	<i>41,05</i>		

PEYRIAC-de-MER				
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	9	25%	36	8°
	8,5	18%	47	10°
	9,5	27%	35	14°
4 ACH n° 12	9	15%	59	10°
	36		177	
	<i>moyenne</i>	<i>9,00</i>	<i>20,3%</i>	<i>44,25</i>

TUNGRI					stade de	
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)	Façonnage	Taux CEIL
	6	14%	43	13,5°		
	5	14%	37	3°		
	4	10%	40	4°		
	15	19%	78	7°		
	5	12%	40,5	10,5°		
	13	18%	72,5	11°		
	14,5	22%	64,5	26°		
	8	22%	36,5	9°		
	14,5	25%	59	22,5°		
	6	14%	42	10°		
11	6	14%	43	6°		
	97		556			
	<i>moyenne</i>	<i>8,82</i>	<i>17,4%</i>	<i>50,55</i>		

REIMS 2017				
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	15	22%	67,5	25°
	4	9%	47	4°
	10	23%	43	1°
	8	20%	40	0°
	6	14%	43	19°
	6	14%	44	17°
7	10	24%	42	8°
	59		326,5	
	<i>moyenne</i>	<i>8,43</i>	<i>18,1%</i>	<i>46,64</i>

BEZANNES				
Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	5,5	12%	45	2°
	2	5%	40	11°
	7,5	19%	40	3°
	15	32%	47	16°
5	7	16%	44,5	11°
	37		216,5	
	<i>moyenne</i>	<i>7,40</i>	<i>17,1%</i>	<i>43,30</i>

YMONVILLE

Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	4	10%	39	7°
	3,5	11%	32	7°
	8	25%	32	5°
	7,5	21%	35	1°
	2,3	8%	30	4°
6	7	20%	35	5°
	32,3		203	
	<i>moyenne</i>	5,38	15,9%	33,83

SARAN

Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	9,3	26%	36	19°
	10	28%	36	23°
	8	22%	36	18°
4	7	19%	36	25°
	34,3		144	
	<i>moyenne</i>	8,58	23,8%	36,0

BLOIS La Croupe

Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	8,5	22%	38	8°
	6,5	20%	33	0°
	7	18%	38	12°
4	7	20%	35	20°
	29		144	
	<i>moyenne</i>	7,25	20,1%	36,0

Els VILARS

Référence	DOE (cm)	DOE/D	D. (cm)	Angle (°)
	6,5	18%	37	-
	9	24%	37	-
	8	19%	42	-
	15,5	33%	46,5	-
5	9,5	23%	40,5	-
115	48,5		203	
	<i>moyenne</i>	9,70	23,9%	40,60

Total DOE	DOE/D	Total D.
1024,9	21%	4858,5
8,91	D = 4,38 DOE	42,25
		28,165 pied

CHAPITRE .14

RÉDUCTION & POTENTIALISATION de la LONGÉVITÉ des MRB

_____ Une meule subit une usure au fur et à mesure de son utilisation. Cela signifie qu'existe une épaisseur de pierre disponible pour le fonctionnement de la meule, épaisseur qui se trouve réduite à zéro une fois que celle-ci est parvenue à son terme d'usure. Nous avons défini cette épaisseur consommable par la notion de Hauteur Utile d'une meule (CHAP.17). Sur certaines meules cette Hauteur Utile correspond à la totalité ou presque de la Hauteur tandis que, plus généralement, elle n'en occupe qu'une partie, la Hauteur totale comportant en effet une seconde composante : la Hauteur Passive. Cette dernière est faite d'une ou plusieurs épaisseurs, telles qu'une Hauteur incompressible (une meule usée ne mesurant jamais 0 cm d'épaisseur –cf. CHAP.9 et 17), une profondeur de Trémie pour les *Catilli* et, presque toujours, une Hauteur de Cône (sauf dans la zone du Moulin Plat –cf. CHAP.19).

_____ A partir des exemplaires d'ateliers, la connaissance de la Hauteur Utile à Neuf d'une meule (HUNf) permet, en la comparant à la Hauteur restante (HUr), de déterminer son degré d'usure ou en quelque sorte son âge. Mais il est tout aussi intéressant de s'intéresser à la Hauteur Utile, c'est à dire à la Longévité de la meule, cette fois du point de vue de la fabrication. En effet, la comparaison de la Hauteur Utile à Neuf (HUNf) avec la Hauteur totale à Neuf de la meule (HNf) permet de définir le Rendement en Hauteur Utile d'une façon fabricatoire ou d'un modèle.

_____ Ainsi, la décomposition du différentiel existant entre Hauteur et Hauteur Utile permet de saisir les différents segments de la Hauteur Passive et de voir comment le Potentiel de Hauteur Utile se trouve impacté en réduction et par quels segments. Ceux-ci peuvent être le Cône, et pour les *Catilli* une trémie et éventuellement un trou d'Emmanchement, tandis que pour une *Meta* il s'agira d'une Hauteur incompressible correspondant à une fonction support ou à un Evidement important de la base. La mise en évidence de ces composantes réductrices, de leur nombre et de leur impact minorant permet d'appréhender le degré d'optimisation d'une fabrication et son souci, ou non, d'une optimisation. Elle permet aussi d'examiner si, au long de sa durée, la production d'un atelier ou d'un centre meulier a développé des dispositions de potentialisation de ses fabricats ou si au contraire elle a ignoré cette possibilité.

_____ Pour Orvieto l'absence de chronologie des productions nous prive de cette approche et nous nous en tiendrons à la caractérisation du Rendement en Hauteur Utile afin d'ouvrir la possibilité d'une comparaison avec d'autres centres émetteurs. Il semble en revanche que les productions de l'Eifel se soient engagées, peut-être avec la période Romaine, dans une démarche de haute standardisation des produits (Normes strictes et régulièrement appliquées) mais aussi, sans doute en lien avec le caractère plus mince de leurs meules, dans un certain souci

d'optimisation (la Trémie est quasi inexistante et la Conicité relativement faible sans pour autant que soit, avant le Haut Moyen Age, adoptée la Meule Plate). Ce cas appelle une étude précise et si possible une comparaison entre phases datées de la production de l'Eifel afin de voir, si elle était confirmée, si la rationalisation opérée l'a été en un seul moment ou bien si elle résulte de mises au point progressives dans la durée des Ateliers Ouest-Rhénans. Une comparaison avec des centres plus orientaux tels que Borcken, Bad Nauheim mais aussi Oparno-Lovosice serait sans doute instructive. En Gaule les Ateliers sont à ce jour trop mal connus et datés pour se prêter à une telle étude mais il pourrait être intéressant de voir si certains comportent des séries de meules plus optimisées que d'autres.

Dans le présent Chapitre nous allons définir les dispositifs qui impactent en réduction la Hauteur Utile et mettre symétriquement en évidence ceux qui, *de facto* ou plus volontairement, constituent une optimisation de la Longévité d'une meule. L'idée, sinon l'idéologie, très Engelsienne, d'un progrès obligatoire, comme inscrit dans les gènes du social et qui se manifeste graduellement à travers toute activité humaine ou tout champ technique voudrait (théorie des stades) que la production meulière ait débuté par les modèles les plus frustes et les plus imparfaits pour développer au cours du temps des améliorations tendant vers l'*optimum*.

Or rien n'est moins automatique ni aussi simple. En premier lieu, nous pencherions pour substituer à la linéarité d'un progrès constant et tendanciellement optimisateur, celle d'un progrès par sauts qualitatifs, par bifurcations phylogénétiques qui font prendre aux meules certaines routes plutôt que d'autres, lesquelles ont d'ailleurs pu faire l'objet du choix d'autres sociétés ou d'autres zones géographiques (il est par exemple clair que l'aire hellénistique a opté longuement pour le mouvement alternatif et a rejeté le moulin rotatif jusqu'au Ier siècle pC). Ainsi, nous serions enclin à voir dans l'histoire meulière occidentale (à l'exclusion de la partie Grèce, Anatolie, Levant, Egypte et Cyrénaïque voire Afrique du Nord) une succession de mutations ou de révolutions telles d'abord que le passage au rotatif, ensuite le règlement de problèmes tels que l'oscillation d'abord par la Conicité puis par l'Anille, enfin l'abandon de la Conicité qui permet la libération du Diamètre puis (sans doute par le calcul) la maîtrise de la pression à mesure que les meules devenaient plus grandes et que s'accroissait la puissance des moteurs hydrauliques et éoliens.

Dans le même sens, et comme il est bon de se prémunir des risques d'actualisme, on gardera à l'esprit qu'à la période Molonologique Ancienne (notre Période 1 soit les V-IV^e s. aC) se sont fabriquées des meules d'assez grand gabarit (1 pied ½ - les *molins de gran format* d'ALONSO, PEREZ 2014) qui ne réapparaîtront qu'avec la Période Romaine. En outre, les premiers siècles molinologiques ont régulièrement connu des meules dépourvues de Trémie et donc à forte Hauteur Utile (voir CHAP.17). Des meules en quelques sorte optimisées avant l'heure tandis qu'au contraire le développement meulier a, à travers l'expansion du Modèle continental (cf. CHAP.10) généralisé la Trémie qui pourtant impacte fortement la Longévité des *Catilli* au lieu d'optimiser en bannissant ce dispositif. De même nous pensons que l'abandon, autour sans doute du changement d'ère, des trous d'Emmanchement latéraux procède peut-être plus probablement d'une évolution des systèmes d'entraînement que d'une démarche d'optimisation accroissant la durée de la meule.

Ces quelques données montrent que la prudence doit accompagner sans cesse notre approche même s'il est nécessaire, sinon simplement fécond, d'affronter la question d'une éventuelle optimisation des fabrications dans l'Antiquité. Rien ne dit en effet que les meuliers antiques se soient cantonnés à la position d'une simple offre de produits configurés par eux seuls, dans une sorte de culture close ignorant les demandes en retour concernant des améliorations ou des mises au goût du jour de la part des utilisateurs. Tout, au contraire, laisse supposer que les modèles, les innovations, les retouches, les savoirs étaient largement partagés et circulaient relativement vite, du moins à certaines périodes et dans certaines zones.

_____ Rien ne dit par ailleurs que les meuliers aient été à l'abri de facteurs tendant à une organisation du travail plus ou moins rationalisée, à fortiori dans un contexte où plusieurs Ateliers pouvaient distribuer sur une même zone de chalandise ou sur de mêmes places de marché, emprunter les mêmes transports fluviaux et être diffusés par de mêmes négociants, ou bien plusieurs officines se trouver en concurrence dans un même centre producteur. Enfin rien ne dit que la production antique, y compris dans le domaine apparemment humble des meules, n'aurait pas développé une démarche ou une rationalité de type commercial, visant tantôt à maximiser le profit en volume ou en proportion (par exemple si l'officine était dans les mains d'un *possessor* qui en attendait un certain rendement) ou tantôt visant plus simplement à diminuer les coûts de production si se manifestaient le cas échéant des tensions sur les prix ou des pertes de parts de marché au profit d'autres fabrications.

Les questions, distinctes, de la rationalisation et de l'optimisation se posent inévitablement lorsqu'il s'agit, comme pour l'Eifel, pour les meules du Massif central, pour les modèles Pompéiens d'Orvieto ou encore pour les productions du Sud-Est espagnol, de meules émanant de centres producteurs peu nombreux, fabriquant en lave et diffusant à large échelle, bien au-delà de la zone usuelle que celle-ci soit d'ordre « ethnique », politique ou clientélaire (la *civitas*) ou qu'elle soit d'ordre plus purement économique (i.e. définie par la limite de prix atteinte suite à l'augmentation du coût de transport avec la distance).

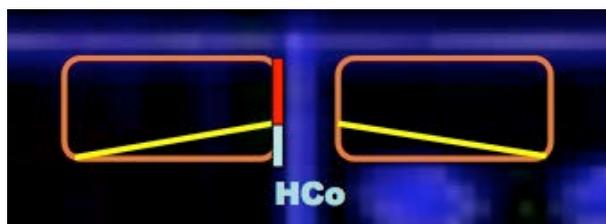
_____ **A** cette considération s'ajoute, s'agissant y compris des productions d'échelle locale, le fait qu'il est plus que probable que les acquéreurs de meules (que la transaction fût monétarisée ou non) ne disposaient pas tous d'un même pouvoir d'acquisition : partant, les producteurs meuliers ont-ils laissé ces populations en dehors de l'équipement meulier ou bien ont-ils développé des produits adaptés ? Nos simulations sur certains sites (tels que Blois la Croupe ou Nages) tendent à indiquer un fort degré d'Equipement Meulier à partir (IIè s aC) de la généralisation du Moulin Rotatif Bas alors que parallèlement la présence de cette machine est précoce et souvent intense dans les villes et sur certains oppida. La clé de cette problématique d'une préoccupation de nature commerciale réside sans doute dans la découverte par l'archéologie de l'existence de gammes meulières, d'une offre de modèles quelque peu diversifiée ou simplement de meules dont la longévité soit échelonnée : cette configuration, pas obligatoirement systématique et ubiquiste, constituerait une réponse favorable dès lors que gammes, variété de modèles et durées modulées seraient contemporaines.

1. Dispositions Minorant la Longévité

1. Réduction de HU par la Conicité

1. La réduction la plus fréquente de Hauteur Utile d'une meule est consécutive à l'existence d'une conicité (Fig.1). En effet, la Hauteur de Cône (HCo) vient en diminution de HU.

FIG. 1 Réduction de Longévité par la Conicité (HCo diminue la Hauteur Utile)

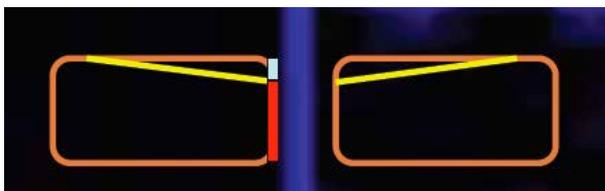


Sur la série de Figures qui suit, la Hauteur Utile sera indiquée par un segment rouge, un segment bleu ciel indiquant la Perte en Hauteur Utile.

2. Réduction par la Trémie

2. La seconde modalité de réduction de la Hauteur Utile (Fig.2), très fréquente quant à elle sur les *Catilli*, est due au façonnage d'une Trémie, une dépression en forme d'entonnoir, plus ou moins profonde. L'archéologue suppose que la trémie est destinée à faciliter la conduite du grain dans l'œillard, bien que certaines données soient contradictoires : elle est loin d'être systématique, et parfois subplate. Nous proposons aux études ultérieures d'en explorer un possible rôle mécanique, dans la répartition des masses et la rotation en contribuant à alléger le *Catillus* et à en abaisser le centre de gravité.

FIG. 2 Réduction de Longévité du *Catillus* par la présence d'une Trémie



3. Réduction par Emmanchement

3. Un troisième dispositif conduit le plus souvent, sauf s'il se trouve en position haute (Type A ou D cf. *infra*), à une réduction de la Hauteur Utile : il s'agit de la présence d'un trou d'Emmanchement latéral (Fig.3).

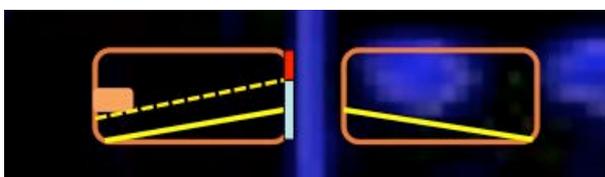
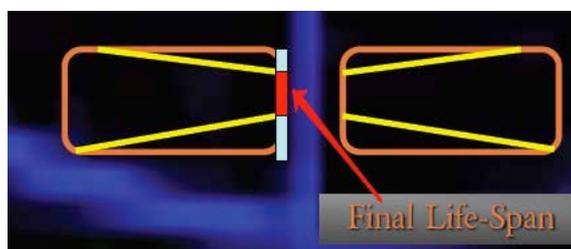


FIG. 3 Réduction de Longévité du *Catillus* par un Trou d'Emmanchement

En définitive, un *Catillus* se trouve amputé d'une assez notable part (régulièrement de 35 à 50%) de sa Hauteur Utile potentielle par la seule réalisation de son Cône et d'une Trémie (Fig.4).

FIG. 4 Réduction fréquente de la Longévité d'un *Catillus* par l'effet du Cône et d'une Trémie

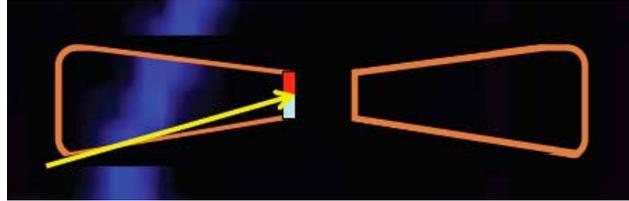


4. Réduction accrue par Forte Conicité

4. Une quatrième source de réduction de la Hauteur Utile, s'appliquant aussi bien aux *Catilli* qu'aux *Metae* réside dans l'importance de la Conicité (Fig.5). En effet si l'Angle du

Cône (ou de la Trémie) est élevé la perte de H.U croît de manière substantielle. Elle est, pour prendre l'exemple de normes fréquentes, de l'ordre du doublement entre une Conicité de 12° et un Angle de 23° . On verra que cette incidence minorante de l'Angle de travail posera des problèmes spécifiques à certaines meules à entraînement hydraulique et aboutira à une géométrie particulière.

FIG. 5 Réduction de Longévité du *Catillus* par l'importance de l'Angle



5. La Hauteur Utile des *Metae* est impactée tout comme celle des *Catilli* par l'existence d'un Cône (Fig.6) avec toutefois une particularité : si la profondeur de l'Œil (HOE) excède la Hauteur du Cône (HCo) la réduction est égale à HOE (cf. *infra* §7).

5. Réduction par fort Evidement de la Base (*Metae*)

FIG. 6 Réduction de la Longévité d'une *Meta* par son Cône

6. Un facteur de réduction de Longévité plus spécifique aux *Metae* réside dans la présence fréquente d'un Evidement de leur base afin de ménager une assise annulaire. Si la profondeur de cet Evidement (H_c) est supérieure à la Hauteur du Cône (H_{Co}) c'est alors elle qui donne la valeur de la réduction de Hauteur Utile (Fig.7).

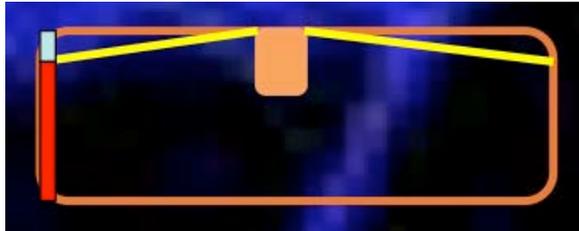


FIG. 7 Réduction de Longévité d'une *Meta* par l'Evidement de son assise

Si ce cas est rare, notamment à partir de la Généralisation du Modèle Continental de MRB (cf. CHAP.9 C §14) qui intervient à la période III-IIè s. aC, il est néanmoins présent sur une large part des *Metae* d'Orvieto (21/32 soit 65%) au point que l'association entre Leucitite et fort Evidement de la base d'une MRB peut être considérée comme signant avec une bonne probabilité la provenance orviétane d'une *Meta*¹.

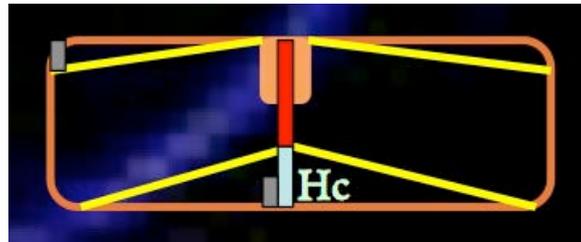
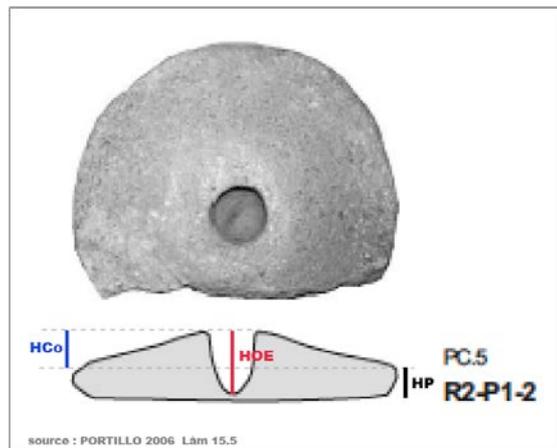


FIG. 8 Exemple de *Meta* dont la profondeur de l'Œil réduit plus la Hauteur Utile que ne le fait la Hauteur de Cône

6. Réduction par forte Profondeur de l'œil (*Metae*)



¹ Naturellement tant que d'autres productions en Leucitite avec cet évidement n'ont pas été signalées.

7. Enfin un dernier facteur minorant la Longévité d'une *Meta* réside (Fig.8) dans la présence d'un Œil dont la profondeur (HOE) soit supérieure à la Hauteur du Cône (HCo). Dans ce cas, HU est déterminée non pas par la formule

$$HU = H - HCo$$

mais par le calcul approprié

$$HU = H - HOE.$$

Dans le cas de la *Meta* n° 5 de Puig Castellar objet de la Fig.8, on est en droit de supposer que la profondeur de l'Œil a été retaillée, migrant ainsi vers la base de la meule au fur et à mesure de l'usure à moins que l'Œil n'ait d'emblée été taillé très profond, de façon quasi perforante, ce qui ne correspond pas loin s'en faut à la grande majorité des œils observés.

2. Dispositions Majorant la Longévité d'une

1. Ni Cône ni Trémie

8. Le premier moyen d'augmenter la longévité d'un *Catillus* est naturellement qu'il soit dépourvu de Trémie (HTr = 0) ou de Conicité (HCo = 0 soit une Meule Plate) come c'est doublement le cas sur la Fig.9. Notons que cette configuration, que l'on pourrait appeler « *meule pleine pierre* », deviendra systématique du Moyen Age (environ An Mil) jusqu'à l'avènement des cylindres dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Les meules antiques de ce type pèsent couramment le double ou le triple de leurs homologues munies d'une Trémie ou d'une Surface Actie cônique.

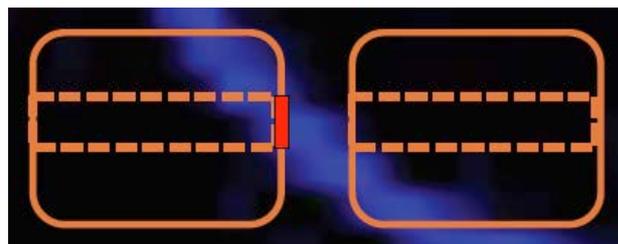
FIG. 9 Longévité Maximisée: Hauteur (H) et Hauteur Utile (HU) se confondent



2. Surépaisseur

9. Un second moyen de majorer la longévité d'une meule, *Meta* comme *Catillus*, est d'ajouter une tranche d'épaisseur par rapport aux standards (Fig.10). Ce cas de figure ne peut être détecté que si l'on connaît les classes d'épaisseur en vigueur dans un Atelier et devant quelques individus ou un groupe qui présenterait une Hauteur hors Normes.

FIG. 10 Longévité augmentée: ajout d'une tranche d'Épaisseur



La certitude en la matière viendrait du fait que la surépaisseur détectée corresponde à une unité métrologique. Par exemple, si l'atelier produit, comme il est fréquent, principalement des meules de 14 cm et de 22 cm d'épaisseur (soit respectivement 2 et 3 Palmes d'un Pied de 29,25 cm soit 7,31 cm le Palme), l'existence de

quelques meules de 29 ou 36 cm de Hauteur indiquerait l'ajout d'une épaisseur de 1 et 2 unités puisque 29 et 36 cm correspondent à 4 et 5 palmes.

Si les différences de Hauteurs présentées par des meules d'un même Atelier n'expriment pas une même unité (palme ou demi-palme de 2 dgt) on doit alors s'interroger sur leur contemporanéité ou sur le fait qu'elles relèvent d'une même ligne de production ou d'une même officine, le pied générateur ayant alors toutes chances d'être différent entre les unes et les autres.

3. Elargissement de l'Œil

10. Un troisième moyen d'augmenter la Longévité d'une meule et qui s'applique seulement aux *Catilli*, réside dans l'élargissement de l'Œil. En effet la Hauteur Utile est minimale à l'axe puisque à cet endroit la profondeur de la Trémie (HTr) et la Hauteur du Cône (HCo) sont maximales (Fig.11).

La création de l'Œillard a pour effet quelque peu contre-intuitif d'augmenter la Hauteur Utile (Fig.12) puisque celle-ci, chez les *Catilli* coniques, augmente à mesure que l'on

s'éloigne de l'axe et tend à se rapprocher du maximum qui rest représenté par le flanc de la meule. La réalisation d'un Œillard large (Fig.13) entraîne une augmentation de la H.U et donc de la longévité du *Catillus*.

11. Il est ainsi possible que l'existence d'un Œil large chez toute une partie des *Catilli* (CHAP.13) corresponde à une pratique de maximisation de la durée de la meule plutôt qu'à une alimentation par des denrées réclamant une plus large ouverture que le grain ou à un dispositif particulier d'entraînement (par exemple hydraulique). Le fait que des *Catilli* dotés d'un Œillard large le soient aussi d'une Trémie profonde et/ou avec une Conicité élevée, deux caractéristiques fortement réductrices de la Hauteur Utile, renverrait avec une forte probabilité à la recherche d'une augmentation de longévité. Dans ce cas, le Rendement en Hauteur Utile de ces exemplaires devrait être du même ordre que celui des *Catilli* issus de la même production mais présentant un Œil plus étroit.

FIG. 11 Hauteur Utile à l'axe

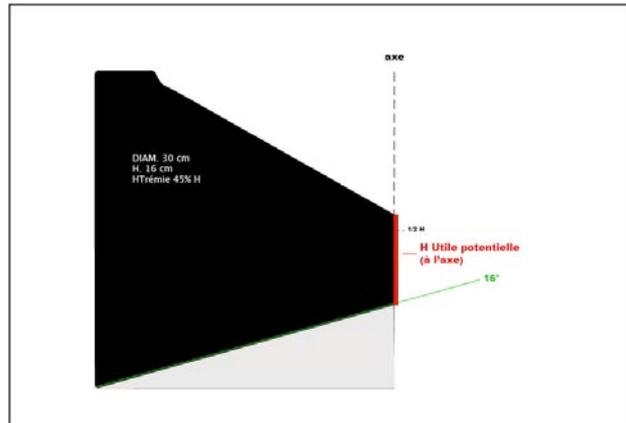


FIG. 12 H.Utile accrue par l'Œillard

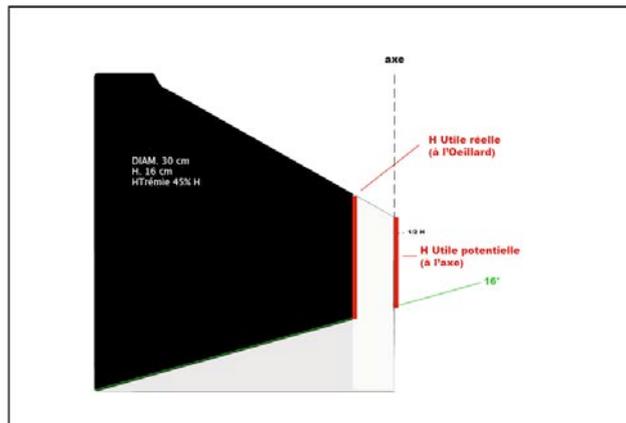
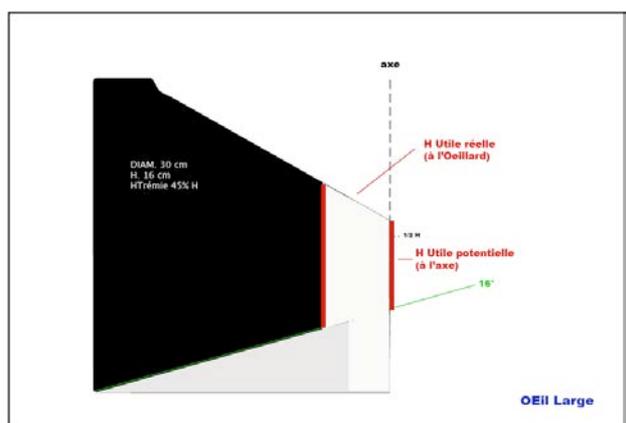


FIG. 13 Œillard large accroissant la Hauteur Utile du Catillus



12. Enfin, certains *Catilli* montrent un état d'usure extrême² associé à un Œillard particulièrement large, dont le bord est réduit à un anneau des plus minces et fragile dont le plan s'éloigne souvent du cercle. On peut, devant de tels cas (Fig.14) se demander si l'on n'a pas volontairement procédé à l'élargissement de l'Œillard pour redonner quelques cm de Hauteur utile et relancer la longévité du *Catillus*, ou bien si l'on n'a pas simplement laissé l'Œillard s'élargir par usure pour prolonger au maximum, jusqu'à cassure, la durée de la meule.

FIG. 14 Catilli à Œillard élargi par l'usure



14-A : Œillard utilisé ramené à un fin anneau (Carcassonne n°11, villa de Flassian, roche sédimentaire)

14-B : le même *Catillus*, face supérieure, bord de l'Œillard irrégulier et ébréché

14.C : Œillard mince et polylobé par l'usure, vue par face active (Peyriac-de-Mer n°7, lave)

14.D : Œillard à bordure très fine, élargi au maximum par une usure extrême, lave (Silchester, SHAFFREY 2003, 152)

14.E : Œillard à bord très aminci (Ensérune 36), lave

14-F : *Catillus* en fin d'usure : Œillard à bord très aminci et arrondi mais non élargi, Surface Active quasi tangente à l'Emmanchement latéral (Bibracte, Le Rebout Phase 3 Nord -BUSCHENSCHUTZ, BOYER 1999)

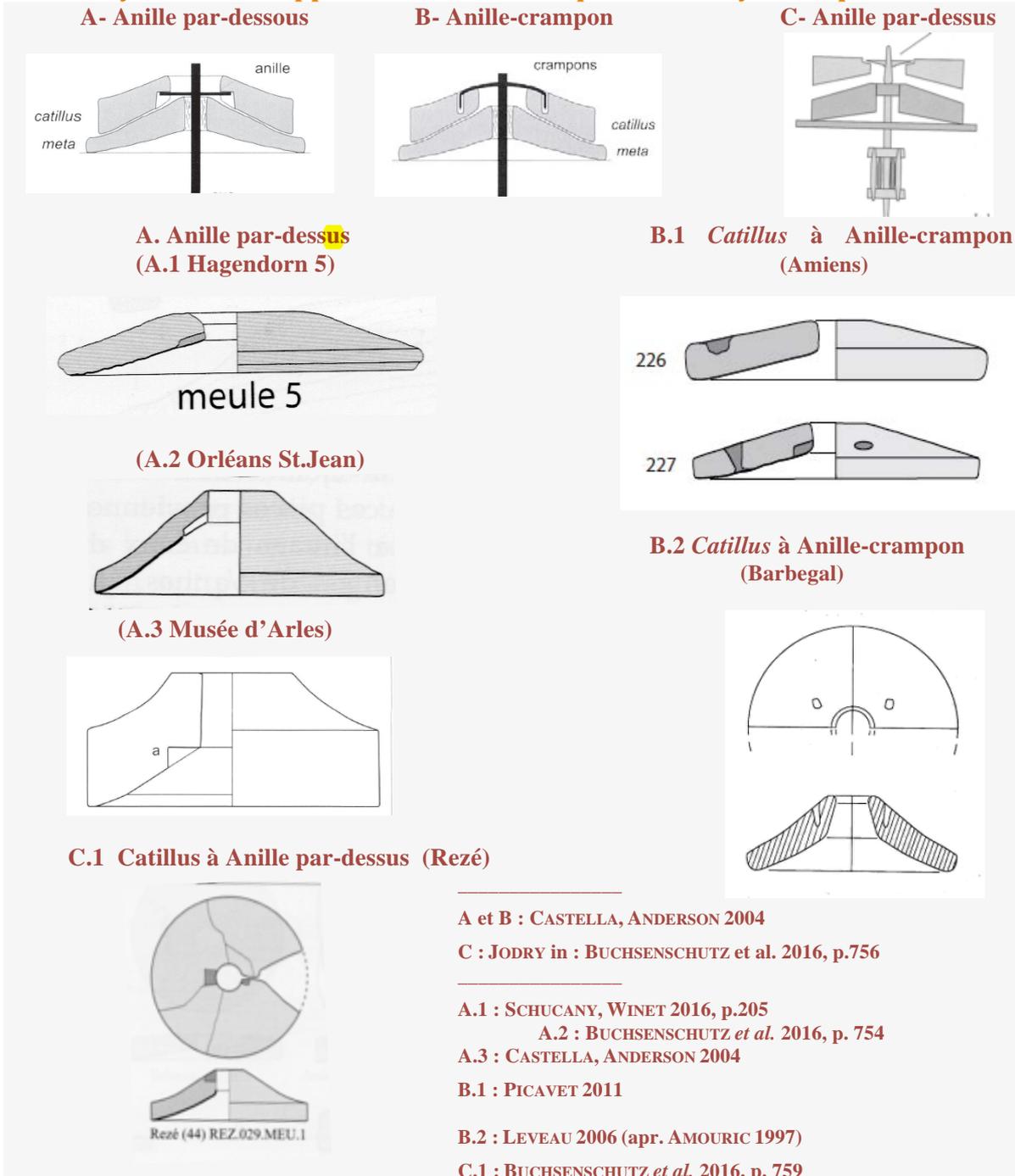
14-G : Œillard à bord très aminci en arrondi sur *Catillus* à Manchons hispaniques (Ensérune 36), lave

² L'usure est complète lorsque la Hauteur Utile a disparu, amenant pour un *Catillus* (sans Emmanchement latéral) à une Hauteur de l'Œil (HOE) proche de 0 cm, généralement mince et réduite à un profil aigu : il s'agit d'un trait acquis ; il est étonnant à cet égard que certaines typologies utilisent une configuration acquise pour faire type (LONGEPierre 2016, p.723 : Formes 5 et 6 a, b ; Forme 11 a à c et Forme 12) ou font dépendre le type de l'épaisseur de la meule (PY 2016, par ex. toutes les meules de la p. 323).

3. Majoration de la Longévité des Catilli à entraînement hydraulique

12. Enfin, les *Catilli* peuvent également bénéficier d'une géométrie particulière ayant pour effet d'en augmenter la Longévité. Cette solution réside dans le report dans le Plan Supérieur de la meule de l'épaisseur perdue en raison de la Conicité. Cette géométrie astucieuse a été largement appliquée dans le domaine des meules hydrauliques (Fig.15) munies tantôt d'une Anille par-dessous, tantôt d'une Anille par-dessus, tantôt encore d'une Anille-crampon.

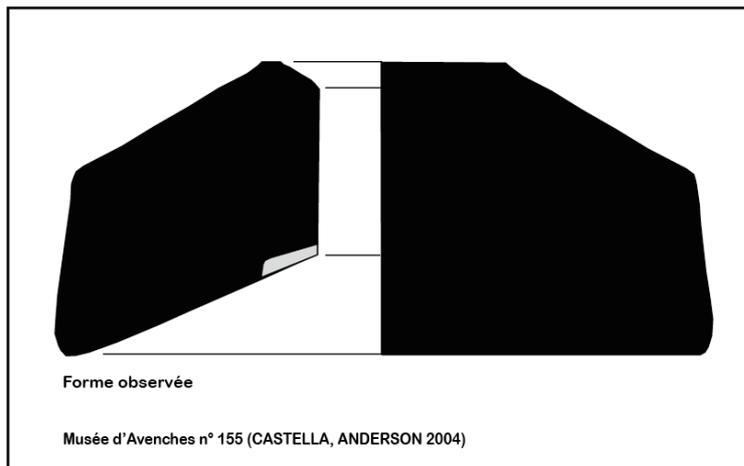
FIG. 15 Systèmes de support & entraînement pour *Catilli* hydrauliques



Ces meules hydrauliques présentent une conicité variable mais généralement plutôt forte : en effet elle est régulièrement située dans la plage de Conicité des Meules Rotatives Basses haute, et plutôt rare (cf. **CHAP.12**) soit 21-26° et souvent également sur 30° (par ex. Arles et Orléans **Fig.15**), quelques exemplaires atteignant les 45°.

13. Par ailleurs l'œil archéologique est trop imprégné de la **forme le plus souvent usée de ces meules hydrauliques**, qui apparaissent alors minces et de silhouette gracile. La réalité à neuf est toute autre et généralement une restitution à partir des exemplaires les plus hauts ou tout simplement à partir d'une Hauteur Utile usuelle (au moins ½ pied soit 14-15 cm) donne **une contre-image de massivité**. Une illustration exemplaire est fournie par la restitution inverse, celle de la forme usée à partir d'un *Catillus* épais à forte Hauteur Utile et très probablement proche de l'état à neuf (**Fig.16**).

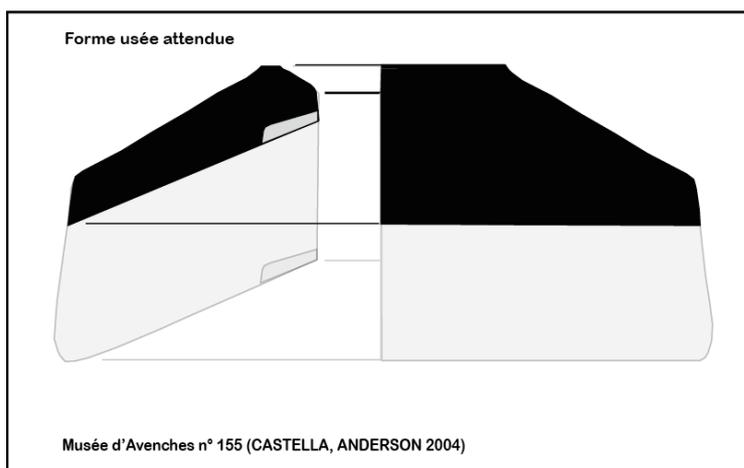
FIG. 16-A Forme observée du *Catillus* n° 155 du Musée d'Avenches



Ce *Catillus*, entraîné par une Anille par-dessous et d'une Conicité de 20° montre une forte épaisseur et une Hauteur Utile (correspondant à la Hauteur de l'Éillard) proche de la Hauteur du Flanc et de une demi- Hauteur. L'impression visuelle est celle d'un caractère massif. L'Indice de Rectangularité de son profil (IREC) est de 222% ce qui, avec la HU de ½ H dénote

son caractère neuf ou très peu usé. En revanche, si l'on restitue³ (**Fig.16-B**) la forme usée qui lui correspondrait, le rapprochement est saisissant avec les formes que l'on observe

FIG. 16-B restitution de la forme usée du *Catillus* n° 155 du Musée d'Avenches



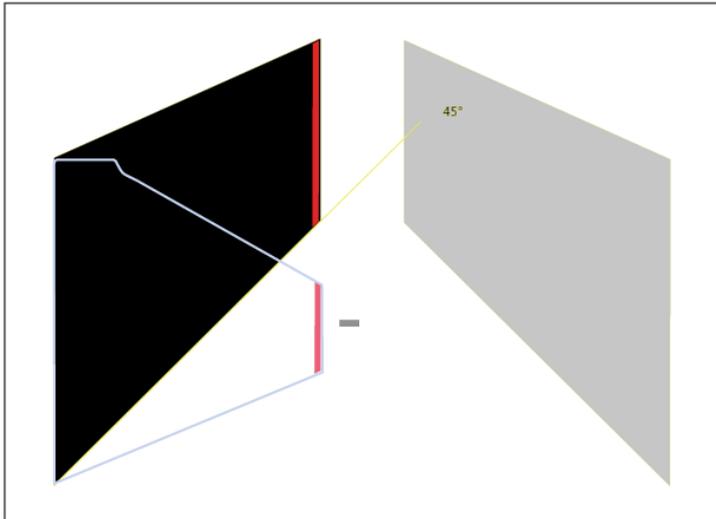
sur la plupart des meules à motion hydraulique (par ex. **Fig.15** à l'exception du *Catillus* d'Arles, comparable à celui d'Avenches).

14. Ce biais d'une minceur d'usure trompeuse une fois en tête, nous allons examiner la géométrie compensatrice qui permet à ces meules hydrauliques de bénéficier d'une bonne longévité malgré leur conicité importante.

³ La restitution s'obtient en ramenant la H.Utile (et donc ici HOE) à zéro ; la minceur finale elle pourrait même être plus avancée que sur la Fig.16-B, le Flanc résiduel pouvant encore diminuer et le logement de l'Anille également remonter vers l'ouverture de l'Éillard.

La **Fig.17** ci-dessous fait d'emblée comprendre l'enjeu géométrique de cette adaptation en comparant un *Catillus* de Meule Rotative Basse commune à un profil de *Catillus* à entraînement hydraulique, la Conicité maximale choisie (45°) permettant de bien contraster les caractéristiques des deux profils.

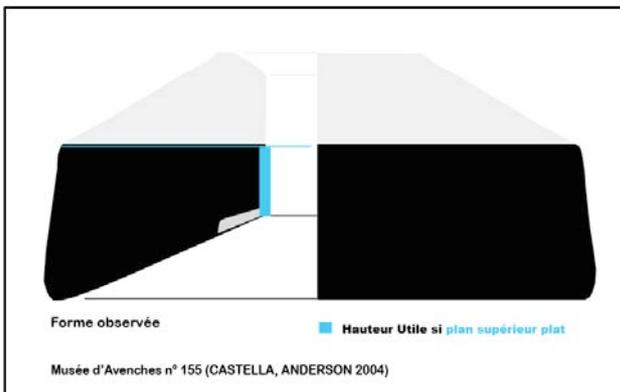
FIG. 17 Comparaison du profil d'un *Catillus* de MRB commune (Trémie et Conicité 23°) avec celui d'un *Catillus* à entraînement hydraulique de forte Conicité (45°) la Hauteur Utile de chaque modèle est figurée par un segment rouge -



On perçoit ainsi que la Hauteur Utile, qui débute au sommet du Cône, se situe sous le plan supérieur dans le cas de la MRB elle se trouve diminuée par la hauteur de la trémie. En revanche, dans le cas du *Catillus* à entraînement hydraulique, une partie de la H.Utile se situe au-dessus du plan supérieur défini par le sommet du Flanc. On peut donc lire la forme conique qui est celle de la plupart des *Catilli* à motion hydraulique comme

issue de report d'une épaisseur en partie haute.

FIG. 18 *Catillus* hydraulique 155 d'Avenches ramené à un modèle sans Trémie (sommet plat -Flat top)



Ce report apparaît bien (zone grisée) si l'on part d'un modèle de *Catillus* dont le plan supérieur est plat (**Fig.18**), modèle qui existe (par ex. à Beaune –JACCOTTEY 2016, p.736). Dans cette configuration la Hauteur Utile (en bleu vif) apparaît réduite du fait de l'importance de la Conicité.

En revanche, le report d'une certaine épaisseur vers le haut a pour

conséquence de majorer la Hauteur Utile (segment rouge sur la **Fig.19**).

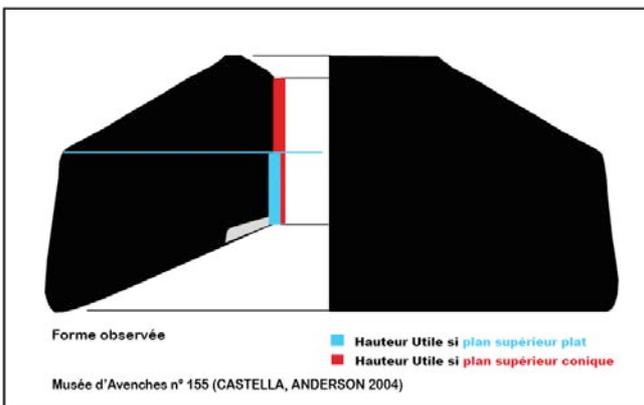


FIG. 19 Comparaison entre la Hauteur Utile du modèle de *Catillus* à plan supérieur plat et du modèle à plan supérieur conique, sur la base du n° 155 d'Avenches

15. Au plan géométrique, ce report semble correspondre à la dimension du Cône (segment de

Hauteur en vert sur la Fig.20 ou, en section, triangle vert sur la Fig.21)

FIG. 20 Report d'Épaisseur en partie en partie supérieure

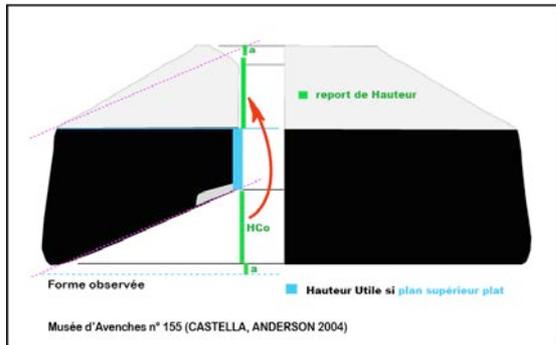
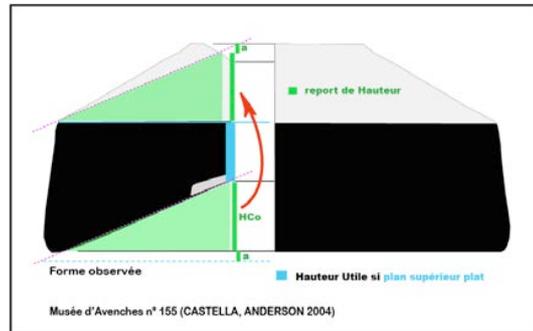


FIG. 21 Report d'Épaisseur correspondant à la hauteur de Cône



La hauteur reportée étant même légèrement plus grande que celle du Cône (la différence est appelée « **a** » sur les Fig.20 et 21), on peut estimer que la Hauteur à Neuf de ce *Catillus* (HNf) serait constituée de 2 fois le segment <HCo + **a**> ajouté au segment intermédiaire (ca. ½ HOE) figuré en bleu vif (et mesurant ca. ½ HOE). En ce cas l'usure (égale au segment **a**) serait de l'ordre de 5 ou 6% de la Hauteur totale (H) et de 9 à 10% de la Hauteur Utile.

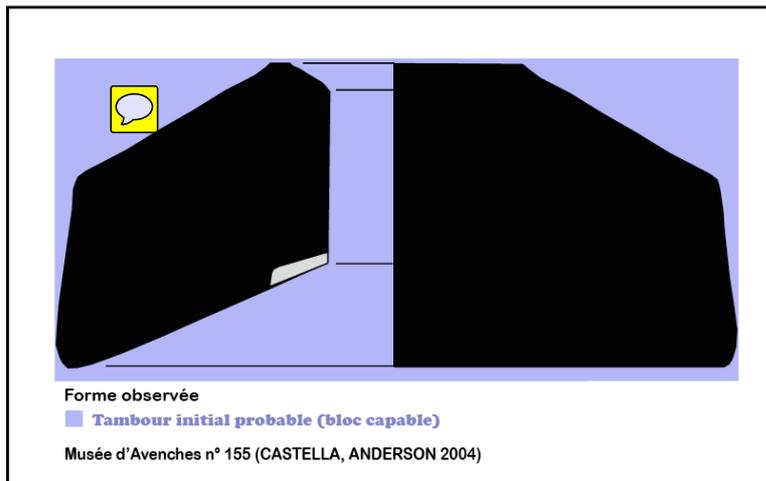


FIG. 22 Restitution de la Hauteur à Neuf et du Tambour initial du *Catillus* 155 du Musée d'Avenches

(le tambour du bloc capable initial est figuré par le fond beu)

16. Plutôt que du report d'un segment d'épaisseur vers le haut on peut tout autant envisager qu'il ait été procédé à une diminution conique de la partie haute. C'est ce qui se passe matériellement lors de la taille du puisque l'on est obligé de partir d'un tambour réglé sur la plus grande hauteur (Fig.22).

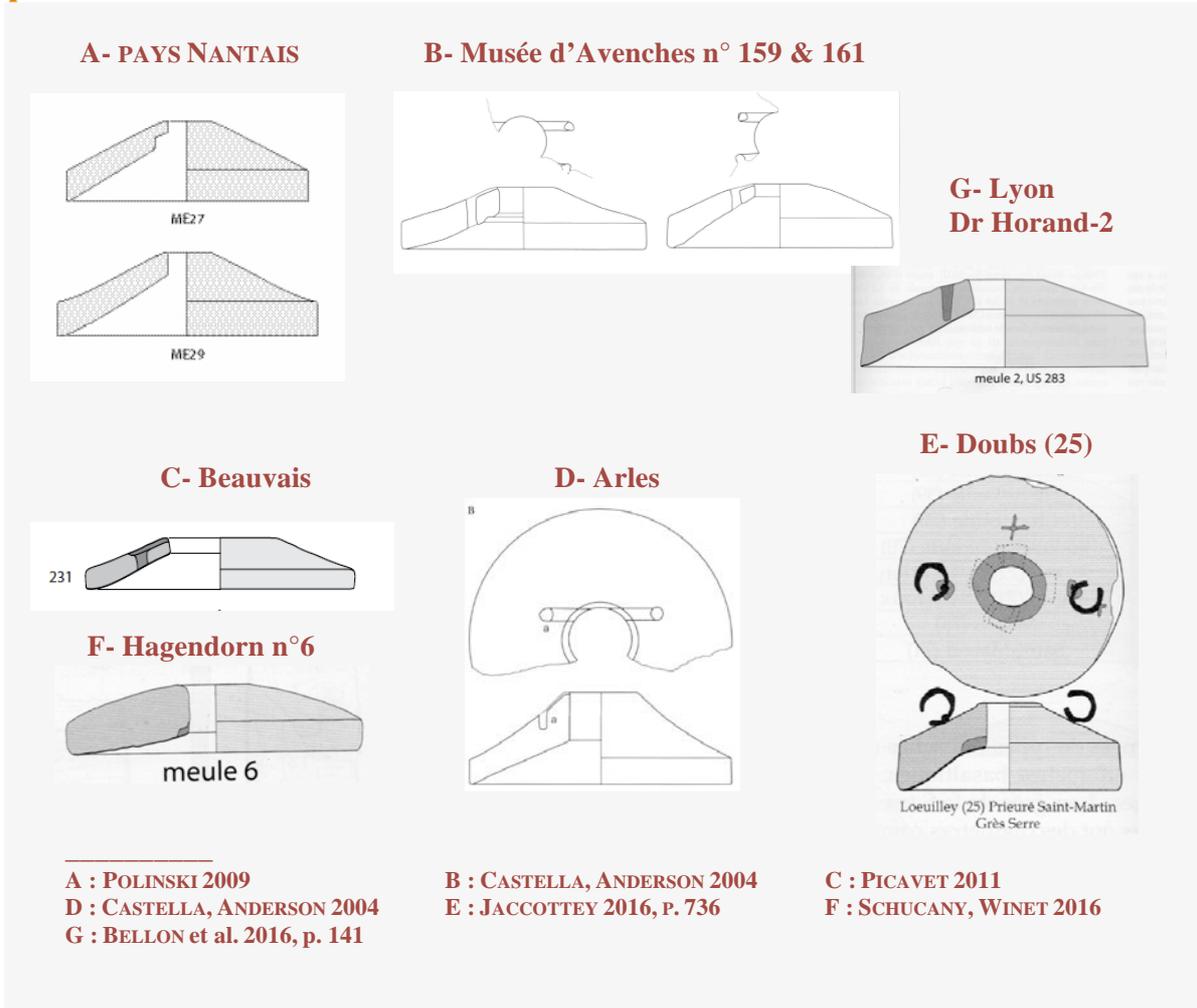
17. Fait peu souligné dans la littérature archéomolinologique, la présence d'une Anille par-dessous conduisait au fur et à mesure de l'usure de la pierre, à devoir retailler les deux logements d'Anille (sinon de surcroît à changer d'Anille si celle-ci subissait une usure semblable à celle de la pierre). Cet ajustement pouvait, selon le rythme d'usure, accompagner les périodes de ravivage et de levage de la meule tournante. Il n'est pas rare que l'on observe en sous-face de *Catilli* des logements d'Anille ramenés à un relief fort mince et à une quasi empreinte. Il serait à cet égard intéressant d'établir une statistique des profondeurs de logement d'Anille (mesures proximales et distales).

18. Remarquons pour finir sur ce point que si l'usure de la pierre était plus rapide que celle de l'Anille, le ménagement d'une lumière autour de l'Ceillard pouvait permettre une usure moins rapide de cette partie proximale et à l'Anille d'acquérir, progressivement et sans dommage pour les meules, un léger relief. Une éventuelle usure de l'Anille devait se traduire

par son amaigrissement et donc par la réduction de sa longueur : on peut se demander si cette possibilité ne comptait pas au rang des causes qui font que l'on observe 3 classes de longueur d'Anille (45% du Diamètre du *Catillus*, 31% et 25%) les deux plus longues pouvant sans doute subir ou anticiper une réduction de longueur.

19. Il est par ailleurs clair que les systèmes de fixation de la meule tournante et de communication de la rotation à la pierre qui opéraient par l'axe et par le dessus, tels que l'Anille par-dessus ou l'Anille-Crampon (*supra* Fig.15) ne posaient pas de problème d'usure du dispositif puisque l'Anille n'est pas en ce cas intégrée à la surface de broyage.

FIG. 23 Diversité et similitude des *Catilli* à motion hydraulique : faces parallèles



20. Cette géométrie particulière que nous venons de voir, compensatoire par le haut de la Hauteur Utile perdue par le bas en raison de la Conicité élevée (le plus souvent supérieure à 20-23°)⁴ confère à nombre des meules hydrauliques un profil particulier, conique et creux à la fois, où finalement face de travail et face supérieure du *Catillus* sont parallèles ou quasi-parallèles (Fig23). Ce parallélisme si caractéristique nous paraît fonder une conception que nous évoquions *supra*, celle opérant une majoration de Hauteur Utile par report supérieur de la Hauteur de Cône.

⁴ Toute une famille de meules hydrauliques est cependant difficile à distinguer des Meules Rotatives Basses communes : il s'agit des meules de la « petite hydraulique » paysane (moulin à rodet) même s'il semble en définitive (voir CHAP.21) qu'elles s'en distinguent par une conicité plus élevée (et sans doute un œillard des *Catilli* plus large).

21. Cette forme en cône creux a également pour effet de répartir une pression égale sur toute la surface du *Catillus*, depuis l'axe jusqu'à la périphérie tandis chez les *Catilli* à Trémie ou à plan supérieur plat, une masse majoritaire est reportée vers l'extérieur du disque où en conséquence la pression augmente⁵. Dans les modèles à Trémie la dépression formée par ce réceptacle en cuvette équilibre, globalement les masses sur le plan médian mais leur localisation déportée vers l'extérieur favorise l'oscillation. Sur les *Catilli* à face plate une partie du poids étant située au-dessus du plan et une autre vers la périphérie le risque d'oscillation est vraisemblablement le plus fort⁶. Ainsi, au-delà de la compensation majorante apportée en termes de Hauteur Utile, il est possible que la géométrie des *Catilli* en chapeau chinois ait joué un rôle amélioratif dans l'ordre mécanique. Il est de même probable que, en sus de l'apport de la Conicité en ce domaine, les dispositifs d'Anille par dessous, par dessus ou crampon aient cherché, avec des avantages ou des fortunes diverses et peut-être aussi en fonction d'une vitesse plus ou moins lente, à limiter les tendances à l'oscillation qui selon nous ont constitué un important problème de la molinologie antique (qui ne sera résolu qu'avec l'adoption généralisée du Moulin Plat).

4. Proposition de Classement des MRB selon le Type de leur Hauteur Utile

23. On propose ici un classement simple mais que nous espérons efficace des meules rotatives selon la puissance de leur hauteur utile, c'est à dire selon l'importance de l'épaisseur de pierre qu'elles mettent à disposition de l'usure et qui définit leur longévité (voir *infra* CHAP.17). En effet comme nous venons le voir dans les points précédents du présent chapitre, certaines dispositions peuvent minorer ou majorer cette hauteur utile. En leur absence la hauteur usable sera au maximum de son potentiel c'est-à-dire tendanciellement la totalité de la hauteur de la meule bien qu'il existe toujours une épaisseur minimale incompressible (HPi) qui ne peut être usée. A l'inverse, en présence d'un cumul de dispositions réductrice, la hauteur utile peut être fortement réduite. Le classement proposé procède en ordre décroissant de hauteur utile ou si l'on veut, en ordre croissant des réductions qui l'affectent.

A. Types de *Catilli*

Les classes de *Catilli* sont désignées par la lettre C suivie d'un chiffre qui indique le nombre des dispositions venant réduire la Hauteur Utile.

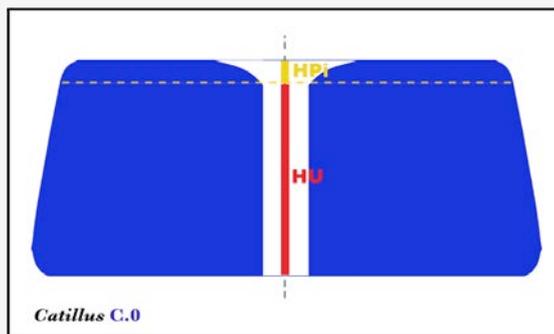
⁵ Sauf si la vitesse linéaire, nettement plus importante sur le pourtour d'une meule, entraînant une réduction de la pression en zone distale.

⁶ On imagine sans peine qu'une boule ou un disque coiffant un axe et que l'on fait tourner sur soi-même comme une toupie, va se mettre à osciller et tomber plus rapidement qu'une boule ou un disque situés en partie basse et prolongés par un axe analogue ; plus l'axe est long ou plus la masse supérieure est large plus rapidement l'objet entre en rotation conique, décrivant une spirale autour de l'axe, et plus rapidement il penche et chute.

24. **Classe HU C.0**
CATILLUS PLEIN (MPL)
(0 réduction)

FIGURE 24

(la partie située au-dessus de la ligne pointillée jaune correspond à la physionomie du *Catillus* parvenu au stade final d'usure)



Ce modèle de *Catillus* est dépourvu à la fois de trémie et de conicité. Il ne s'agit de rien d'autre que d'une meule plate (MPL).

On pourrait traduire ce type général en anglais par *full-stone* et en italien par *pietra piena* ou *Catillus pieno*.

Sa Hauteur Utile correspond en théorie à la totalité de son épaisseur et répondrait à la formule : **HU = H.**

En réalité, compte-tenu de l'existence d'une épaisseur minimale incompressible non soumise à usure (HPi) située dans le haut (Fig.24), la meule répond plutôt à la formule :

$$\mathbf{HU = H - HPi .}$$

Sur les meules plates du Moyen Age et de l'Époque Moderne, HPi mesure quelques centimètres comme on peut le constater sur les relevés de dimension effectués aux XVII et XVIII^e siècles en Flandres (BRUGGEMAN 2003).

Ce modèle est à partir du Moyen Age et jusqu'à nos jours la meule par excellence (dormante et tournante confondues). Si sa présence est régulière dans l'aire du Moulin Plat à l'Antiquité dès l'âge du Fer (Fig.C1), ce *Catillus* n'est pas absent dans le Sud (Languedoc et Catalogne - Fig.C2) notamment aux périodes anciennes (IV-III^e s. a.C.) quoique souvent il présente une légère conicité qui le place alors dans la Classe I.A.

FIGURE C.1 *Catillus* plein (mi-usé) site de Villeneuve-St-Germain (FR, Aisne) LT-D (POMMEPUY 1999)

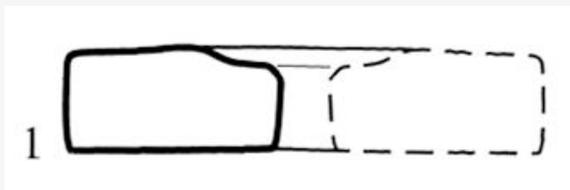
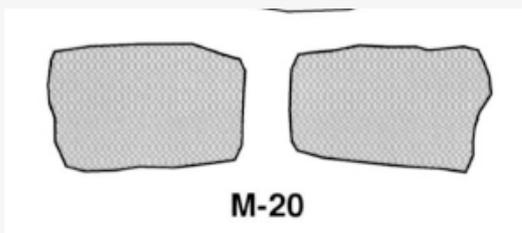


FIGURE C.2 *Catillus* plein, site d'époque ibérique Alorda Park (ASENSIO et al. 2001) - cet exemplaire est muni de 2 manchons

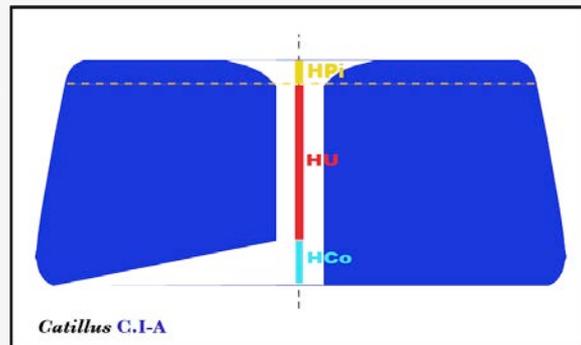


25.

Classe HU C.I-A CATILLUS conique sans Trémie (1 réduction)

FIGURE 25 :

Ce type de *Catillus* présente une surface active conique mais dépourvu de trémie, il ne comporte qu'un seul cône. Au stade de l'ébauchage il ne peut être distingué d'un *Catillus* biconique dont le second cône ne se trouve pas encore amorcé. Sa Hauteur Utile est réduite par un seul facteur (la Hauteur de Cône HCo).



Il répond en théorie à la formule :

$HU = H - HCo$. En réalité s'y ajoute un segment HPI situé au plan supérieur.

Il est souvent désigné en anglais par les termes *flat-topped* ou *hopperless stone*. Pour l'italien on suggèrera *Catillus senza tramoggia*.

Ce type général n'est pas d'une fréquence très élevée mais il est régulièrement présent dans le Sud (Languedoc et Catalogne) aux périodes anciennes (IV-IIIè s. aC.). Sa face supérieure est alors souvent munie d'une mortaise horizontale, radiale ou mi-radiale d'emmanchement (par ex. Peyriac-de-Mer, Pech Maho : **Fig.C3**) ou bien d'encoches (par ex. Ensérune, Alorda Park : **Fig.C4**). Ces deux aménagements sont des signes d'ancienneté (vers le IVè s. aC.). Mais on le trouve également en zone septentrionale, par ex. en Gaule Belgique (**Fig.C4b**).

FIGURE C.3 *Catillus* conique sans trémie, à mortaise radiale pour emmanchement, site de Pech Maho (FR) – antérieur à 200 aC. (GAILLED RAT et al. 2012)

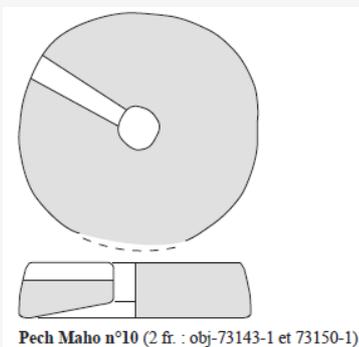


FIGURE C.4 *Catillus* conique sans trémie, à encoches supérieures, site d'Alorda Park (Esp, Cat. -ASENSIO et al. 2001)

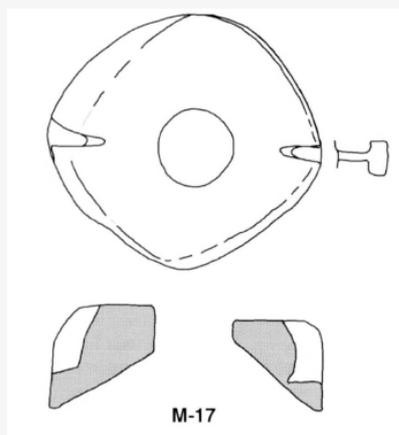


FIGURE C.4b *Catillus* conique sans trémie cité des Tongres, période romaine (HARTOCH 2015, n°62)

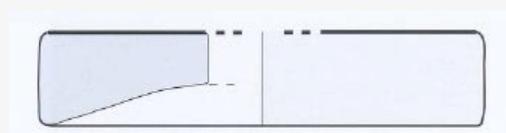
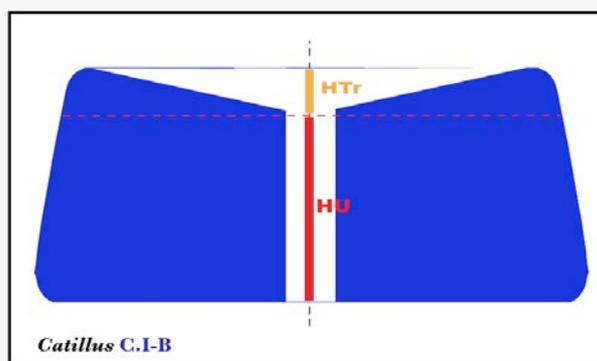


FIGURE 26 :

Ce type général de *Catillus* est une meule plate munie à sa face supérieure d'une trémie, d'une cuvette ou bien d'une légère dépression. Cet aménagement réduit la Hauteur Utile potentielle (constituée par $H - H_{pi}$).

Ce modèle n'est présent que dans l'aire du Moulin Plat. Certains *Catilli* des meules en dôme (de type *Beebie querns*, ou de type MRB à flanc incliné et arrondi comme on en trouve à la Tène moyenne dans le Bassin Parisien) relèvent de ce type.



Cette classe de *Catilli* répond à la formule : $HU = H - H_{Tr}$. On y observe en effet une seule disposition ayant un effet réducteur sur la Hauteur Utile : c'est la trémie, à travers sa profondeur qui est variable (d'une simple cuvette à un décaissement plat de 1 ou 2 cm ou à une véritable trémie (Fig.C.6b) en forme de cône creusé de plusieurs cm (2 à 3 doigts).

Certains exemplaires sont munis d'un emmanchement latéral qui opère une seconde réduction.

On pourrait traduire en anglais par *flat stone with hopper* et en italien par *Catillus piano con tramoggia*.

FIGURE C.5 *Catillus* plat à cuvette site laténien d'Acy-Romance (FR, Ard.) (POMMEPUY 1999)



FIGURE C.6 *Catillus* plat à trémie site laténien de Villeneuve-Saint Germain (FR) - (POMMEPUY 1999)

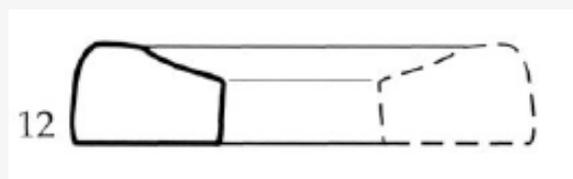
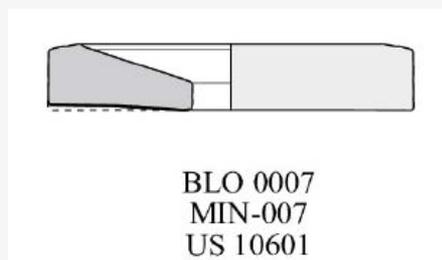


FIGURE C.6b : *Catillus* plat à trémie, fosse LT-D1b du site de Blois La Croupe (FR, 41) - (PEYNE 2019)



27.

Classe HU C.I-C **CATILLUS conique à faces parallèles**
(1 réduction)

FIGURE 27 :

Ce type de *Catillus* ne comporte pas de trémie mais sa face inférieure, excavée, est à peu près parallèle à celle du cône de travail. C'est une forme biconique qui caractérise un grand nombre de *Catilli* à motricité hydraulique voire animale.

En général il répond à la formule :

$$HU = H - HCo$$

mais il peut arriver que la hauteur du cône excavé inférieur (Hc) soit plus importante que celle du cône de travail et qu'elle définisse donc la Hauteur Utile, en ce cas le *Catillus* répond à la formule :

$$HU = H - Hc.$$

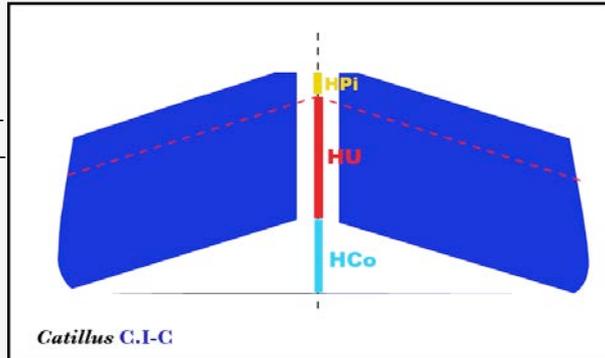


FIGURE C.7 *Catillus* conique à faces parallèles - ville antique de Beauvais (FR, 60) - (PICAVET 2011)

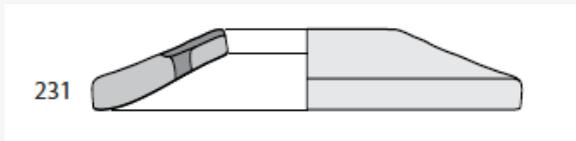
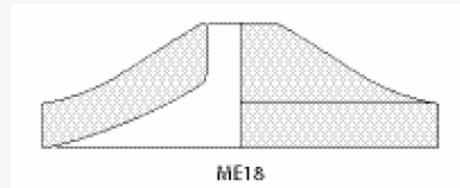


FIGURE C.8 *Catillus* conique à faces parallèles - période gallo-romaine, région de Nantes (Fr) (POLINSKI 2009)



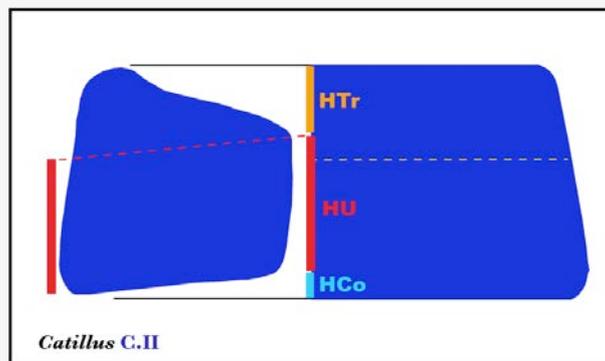
28.

Classe HU C.II **CATILLUS Classique (conique à trémie)**
(2 réductions)

FIGURE 28 :

Ce type de *Catillus* est le plus courant à la Tène et à l'époque antique. Il correspond à ce que nous désignons par les termes « modèle classique » ou « continental » dans la version sans emmanchement.

Il semble apparaître dans la zone géographique ibéro-languedocienne à la période IV-IIIè s. aC. Une apparition similaire en Gaule intérieure, en Germanie voire en bohème-Moravie (Lovosice)⁷ n'est par ailleurs pas impossible.



⁷ Le centre producteur de Lovosice ou Oparno (WALDHAUSER 1981 ; HALAMA, ZEMAN 2009 ; WEFERS 2012 ; SALAC 2017) est localisé tout au Nord de la Tchéquie, à mi-distance entre Prague et Dresde ; malheureusement le faible nombre d'ébauches publiées et l'obstacle linguistique (publications en allemand et tchèque) ne nous ont pas permis d'en incorporer les meules dans notre corpus de comparaison.

Ce modèle répond à la formule : $HU = H - (HCo + HTr)$.

En effet, sa Hauteur Utile est affectée les deux dispositions que sont la trémie et le cône de mouture qui cumulent leur effet réducteur.

On pourrait désigner cette classe en anglais par le terme *fully reduced upper-stone*, pour l'italien on suggèrera celui de *Catillus bi-ridotto*.

FIGURE C.9 Catillus conique à trémie sans emmanchement - Site antique d'Entrammes (FR, 49) N° F.7-3 (GUILLIER, COFFINEAU 2012)

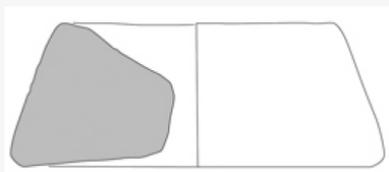
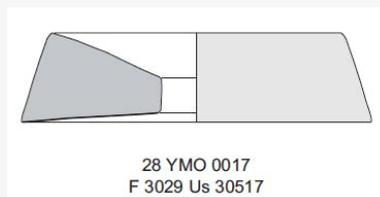


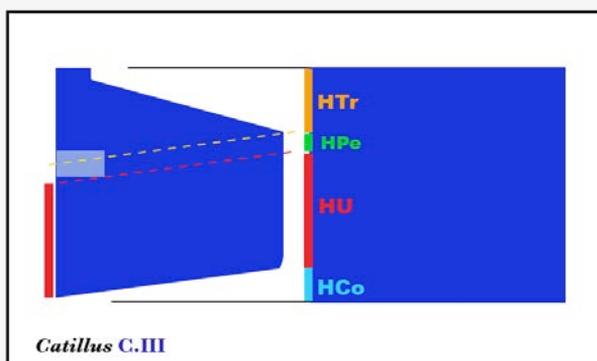
FIGURE C.10 Catillus conique à trémie sans emmanchement - La Tène D, site d'Ymonville (FR, 28) - (ROBIN 2012)



29. **Classe HU C.III CATILLUS Classique à Emmanchement(s) (conique à trémie et emmanchement) (3 réductions)**

FIGURE 29 :

Ce type de *Catillus* ne se distingue du précédent que par la présence d'un (parfois plusieurs) trou d'emmanchement, le plus souvent latéral mais parfois supérieur, qui vient réduire la durée de vie de la meule. Ces *Catilli* font souvent l'objet d'un rejet lorsque la face active vient à toucher la mortaise d'emmanchement (Fig.C11) alors qu'il reste pourtant une hauteur usable (manifestée par un reliquat d'épaisseur de l'oeillard).



Ce *Catillus* répond à la formule : $HU = H - (HCo + HTr + HPe)$ où HPe est la Hauteur Passive supplémentaire créée par l'emmanchement. Comme nous le verrons dans le développement qui suivra les présentes pages, HPe existe seulement lorsque l'emmanchement est pratiqué sous le plan de la surface de l'oeillard (Plan A') c'est-à-dire en correspondance avec la hauteur de l'oeillard, ce que nous appelons la position B2.

On pourrait désigner cette classe de Hauteur Utile des *Catilli* en anglais par le terme *mortice reduced upper-stone*, pour l'italien on suggèrera *Catillus a incasso riducente*.

FIGURE C.11 : Catillus à trou d'emmanchement supérieur et latéral affleurant la surface de travail (HARTOCH 2015, N°36) - le segment rouge sur la figure de droite indique le solde de Hauteur Utile perdu si l'affleurement motive l'arrêt de l'utilisation, la ligne pointillée indique la limite d'usure en l'absence d'emmanchement

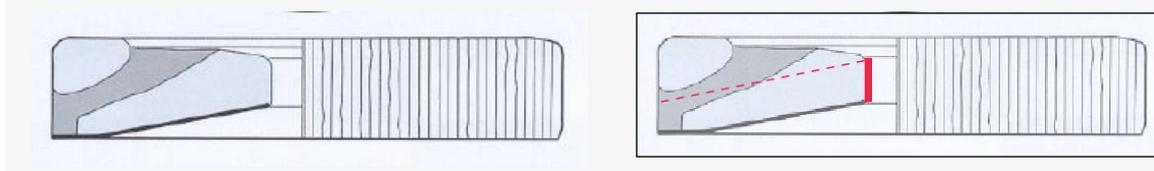


FIGURE C.12 : *Catillus* à trou d'emmanchement limitant la Hauteur Utile, Lattes (type rare), Age du Fer (Py 1992 n° 83)

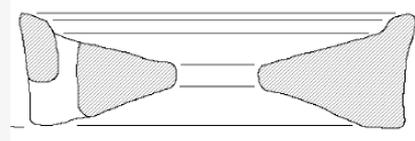
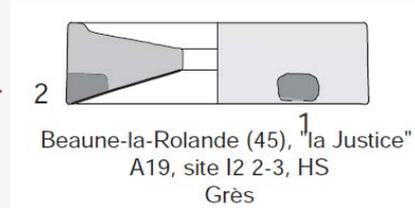


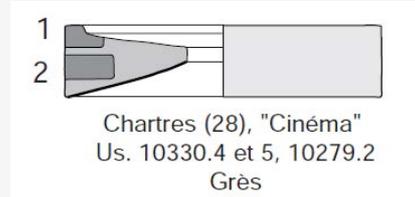
FIGURE C.13 : *Catillus* à trou d'emmanchement latéral limitant la Hauteur Utile, site de Beaune-la-Rolande (FR, 45),

- bien qu'il subsiste une certaine hauteur de pierre consommable se manifestant par la conservation de plusieurs cm de hauteur d'œil (voir Fig. C.11 *supra*), l'affleurement de l'emmanchement a provoqué la fin de l'utilisation et le rejet de la meule -



Beaune-la-Rolande (45), "la Justice"
A19, site I2 2-3, HS
Grès

FIGURE C.14 : *Catillus* à trou d'emmanchement latéral limitant la Hauteur Utile, période romaine, ville de Chartres (FR, 28), site du Cinéma



Chartres (28), "Cinéma"
Us. 10330.4 et 5, 10279.2
Grès

Tableau récapitulatif des 6 Classes de *Catilli* en fonction de HU :

CLASSES de <i>CATILLI</i> selon HAUTEUR UTILE et degrés de MINORATION					
Classe	Désignation		Réductions		Illustration
			Nombre	impactant HU	
HU C.0	CATILLUS Plein	Meule Plate (MPL)	0	0	
HU C.I-A	CATILLUS conique sans Trémie	<i>Catillus</i> sans trémie	1	1	
HU C.I-B	CATILLUS Plat à Trémie	Plat à trémie (MPL)	1	1	
HU C.I-C	CATILLUS Conique à faces parallèles	<i>Catillus</i> faces parallèles	1	1	
HU C.II	CATILLUS Conique à trémie	<i>Catillus</i> classique	2	2	
HU C.III	CATILLUS Conique à trémie et Emmanchement	<i>Catillus</i> classique à emmanchement	3	3 ou 2	

B. Types de *Metae*

Les classes de *Metae* sont désignées par la lettre M suivie d'un chiffre qui indique le nombre des dispositions venant réduire la Hauteur Utile.

30. Classe HU M.0 META PLATE (MPL) (0 réduction)

FIGURE 30 :

Il s'agit d'une *Meta* dépourvue de conicité et de tout dispositif ayant pour effet de minorer sa hauteur utile.

C'est une meule plate (MPL). Sa face active, supérieure, prend parfois la forme d'une légère cuvette (Fig.M1), probablement plus sous l'effet de l'usure que d'un façonnage intentionnel initial. Cette *Meta* est typique de l'aire du Moulin Plat, notamment de l'Eure à la Somme et l'Oise mais elle caractérise également une importante partie des meules britanniques et de l'aire normande où elle s'associe aux *Catilli* en dôme (*beehive type*). Cette classe de *Metae* est également présente dans le Midi, de l'Ebre à l'Orb, semble-t-il autour du III^e siècle aC⁸.

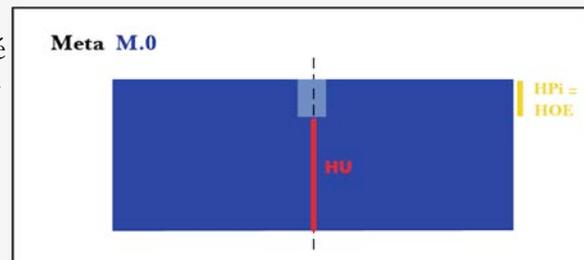
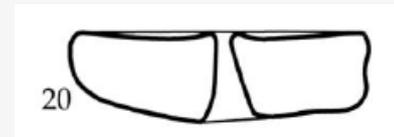


FIGURE M1 : *Meta* de type M.0 à face active en légère cuvette, période laténienne, Picardie (FR) (POMMEPUY 1999, fig.17)



Sa hauteur utile correspond en théorie à la totalité de son épaisseur et répondrait à la formule : $HU = H$. C'est notamment le cas lorsque l'œil est traversant (Fig. M1).

En réalité, l'existence d'un œil non-traversant dit aussi aveugle (Fig.30) crée une épaisseur mini-male incompressible (HPi) qui correspond à la Hauteur de l'œil (HOE), la meule répond en ce cas à la formule : $HU = H - HOE$.

On pourrait traduire ce type général en anglais par *lower full-stone* et en italien par *Meta piatta*.

FIGURE M2 : *Meta* de type M.0 Gallo-romaine, Arras (PICAVET 2011)

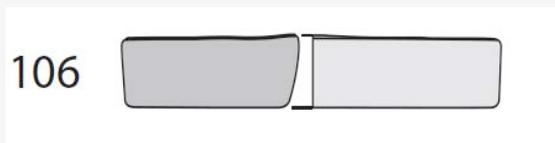
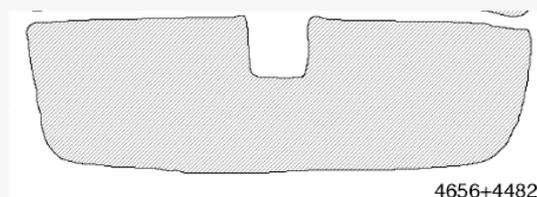


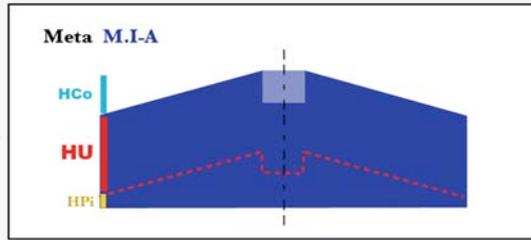
FIGURE M2b : *Meta* de type M.0 - Age du Fer méridional, Lattes (FR, 34), période 400/100 aC (PY 1992, n° 26)



⁸ Voir CHAP.19 sur le Moulin Plat.

31. **Classe HU M.I-A** META Conique simple (1 réduction)
FIGURE 31 (la ligne pointillée indique le niveau d'usure finale)

Il s'agit d'une *Meta* pourvue d'une surface de travail conique. A mesure que progresse l'usure, le cône descend vers la base de la meule. La *Meta* est usée lorsque le cône ne peut plus descendre, généralement lorsque son plan inférieur rejoint la base de la meule.



Ce type général de *Meta* répond à la formule :

$$HU = H - HCo$$
 (HCo étant la Hauteur de Cône).

En réalité, HCo n'est pas le seul segment à former la Hauteur Passive de la *Meta*, il existe souvent une petite épaisseur incompressible de pierre (HPi) qui laisse subsister un minimum de hauteur de flanc sans laquelle la meule se briserait. HPi est formée de quelques 2 à 4 cm de pierre qui donnent sa physionomie en galette aux *Metae* archi-usées (Fig. M3). Dans environ la moitié des cas, la base présente un certain évidement destiné à créer un anneau de pose. Profond généralement de 2 à 3 cm il se confond avec HPi ou lui donne naissance.

Si l'œil est plus profond que la Hauteur de Cône, on est dans le type M.I-B (HOE > HCo).

On pourrait traduire ce type général en anglais par *simple cone-shaped lower-stone* et en italien par *Meta conica semplice*.

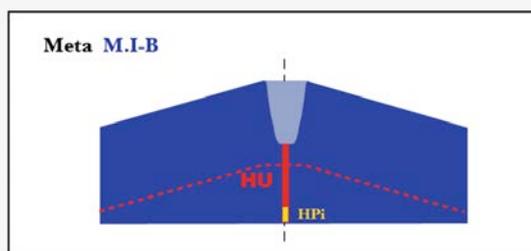
FIGURE M.3 : Meta de type M.I archi usée et réduite à l'état de galette - elle fait apparaître l'épaisseur résiduelle incompressible HPi (BAUG, OYSTEIN 2011, fig.11)



32. **Classe HU M.I-B** META Conique à œil profond (2 réductions dont 1 effective)

FIGURE 32 :

Il s'agit *Meta* conique dont l'œil, non traversant, montre une profondeur (HOE) plus importante que la Hauteur de Cône (HCo). En d'autres termes, le plan A' est plus bas que le plan B' (Fig. M4 et M5a). Par conséquent, au terme de l'usure le cône ne pourra pas descendre à son maximum vers la base car celle-ci sera antérieurement atteinte par la pointe de l'œil. Toutefois cette configuration est finalement assez rare (Fig. M5b).



Ce type de *Meta* répond à la formule non pas $HU = H - HCo$ mais $HU = H - HOE$ (la profondeur de l'œil HOE étant supérieure à la hauteur du cône HCo).

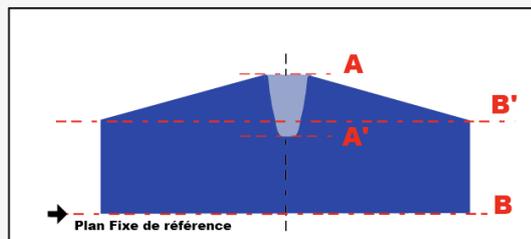


FIGURE M.4 : Meta à œil profond

Ce type général pourrait être intitulé en anglais *deep-eyed lower-stone* et en italien *Meta conica con occhio profondo*.

FIGURE M.5a : *Meta* à œil profond
La Tène Finale, Bibracte Le Rebout
(BUCHSENSCHUTZ, BOYER 1999)

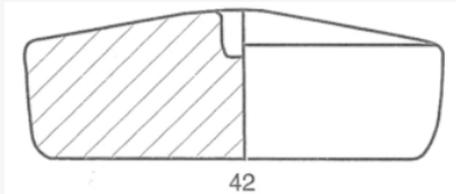
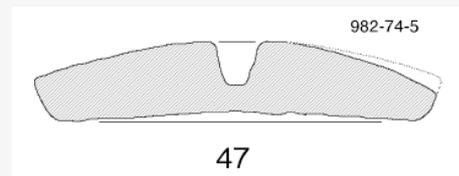


FIGURE M.5b : *Meta* de type M.I-B
en fin d'usure (base de l'œil proche
du plan de pose, Lattes (PY 1992)



33.

Classe HU M.II-A

META Conique cavée

(2 réductions, 1 majeure inférieure)

FIGURE 33 :

Il s'agit *Meta* pourvue à son sommet d'une surface de travail conique mais qui subit une réduction supplémentaire de sa Hauteur Utile en raison de la présence à sa base d'une excavation importante et supérieure à la Hauteur de Cône. Cet évidement est codé Hc.

Hormis le cas un peu particulier d'Orvieto (Fig. M6a) qui présente un Evidement interne de son assise atteignant la moitié de sa hauteur, cette classe II est principalement représentée (Fig. M6b) par des *Metae* à œil traversant et dont la face inférieure est à peu près parallèle à la face supérieure (cône de travail).

Naturellement, si la hauteur du creusement de l'assise est inférieure à celle du cône, la *Meta* relève alors de la Classe M.I puisque l'on se place du point de vue du rapport entre la hauteur Utile potentielle et la Hauteur Utile réelle obtenue par les dispositions réductrices.

FIGURE M.6a *Meta* cavée
R.13-21 d'Orvieto

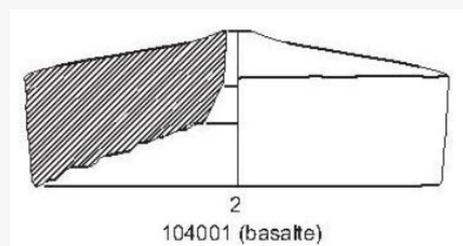


Le creusement inférieur Hc étant d'une hauteur supérieure au cône HCo, cette classe de *Meta* répond à la formule :

$$HU = H - (Hc + HOE).$$

On pourrait traduire en anglais par *hollowed (base) lower-stone* et en italien par *Meta conica ad incavatura*.

FIGURE M.6b *Meta* cavée du site
Le Patural, LT-C/D (FR, Auvergne)
(DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007)



34.

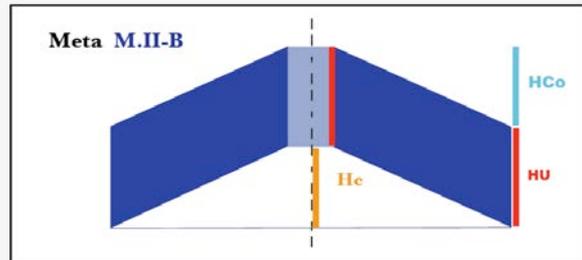
Classe HU M.II-B

**META Conique à faces parallèles
(2 réductions, 1 majeure inférieure)**

FIGURE 34 :

Il s'agit *Meta* dont l'assise est profondément excavée en cône ce qui a pour résultat de produire une face inférieure plutôt parallèle à celle du cône de travail. C'est là son caractère spécifique.

Cette *Meta* biconique concave-convexe, dont la présence aux deux derniers siècles aC serait à vérifier, n'est pas très fréquente mais semble principalement caractériser des *Metae* à motricité hydraulique voire animale.



Elle répond soit à la formule : $HU = H - HCo$ soit à la formule : $HU = H - Hc$

En réalité la réduction cumule **HCo** ou **Hc** avec **+HPi** car il existe toujours en effet une petite épaisseur non soumise à usure et dite incompressible (Hpi).

Des deux réductions (cône de travail et concavité inférieure) seule l'une, la plus haute, a un effet réducteur sur la Hauteur Utile. Si la *Meta* répond à la formule $HU = H - Hc$ elle n'est pas alors différente de la Classe précédente M.II-A (*Meta* excavée). Mais la singularité de ce modèle réside dans la tendance à l'égalité d'impact réducteur entre HCo et Hc, c'est à dire dans le parallélisme des deux faces.

FIGURE M.7 *Meta cavée à faces parallèles, Motion hydraulique, Amiens -FR (PICAVET 2011)*

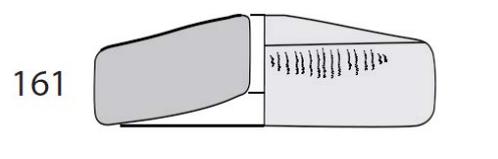


FIGURE M.8 *Meta cavée à faces parallèles, Bavay -FR) - (PICAVET 2011)*



FIGURE M.9 *Meta cavée à faces parallèles, Chartres (FR, 28) - grès du Berry (ROBIN 2011, p. 398)*

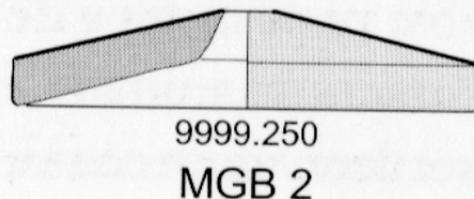


Tableau récapitulatif des 5 Classes de *Metae* en fonction de HU :

CLASSES de <i>METAE</i> selon HAUTEUR UTILE et degrés de MINORATION					
Classe	Désignation		Réductions		Illustration
			Nombre	impactant HU	
HU M.0	META Plate	Meule Plate (MPL)	0	0	
HU M.I-A	META conique simple	<i>Meta</i> sans trémie	1	1	
HU M.I-B	META simple à Œil profond	<i>Meta</i> à œil profond	2	1	
HU M.II-A	META excavée	<i>Meta</i> évidée	2	1	
HU M.II-B	META à faces parallèles	<i>Meta</i> évidée à faces parallèles	2	1	

5. Incidence des Emmanchements : proposition d'une Typologie de Position

A. Problématiques liées aux mortaises d'emmanchement

35. Si les trous d'emmanchement des Meules Rotatives Basses ont fait l'objet de nombreuses observations ou remarques, il existe cependant encore peu de littérature les concernant. Deux articles assez récents (JODRY *et al.* 2011, p. 299 et JACCOTTEY *et al.* 2011, p. 319) ont toutefois ouvert d'intéressantes voies. Le dernier est consacré à un aspect précis, la relation entre les mortaises d'emmanchement et l'axe de l'œil complexe, tandis que le premier propose une typologie basée sur une revue chronologique et spatiale.

Figure 35a: Catillus de modèle continental à emmanchement supérieur demi-radial : Type 6, D - base de la mortaise : -4 cm - (Ensérune ACH-26) -



De tels travaux sont prometteurs et on ne peut qu'augurer un essor des recherches dans ce secteur. En effet, ces aménagements, qui apparaissent avec le développement du modèle classique ou « continental » sur la période III^e-II^e s. aC, posent de nombreuses questions relatives à leur nombre, à leurs dimensions, leur orientation, leur niveau dans l'épaisseur des *Catilli* ou relatives encore à la fonction des emmanchements eux-mêmes, peut-être trop systématiquement perçus comme liés à l'entraînement des *Catilli*.

36. On peut en effet penser qu'une partie de ces mortaises recevaient des dispositifs (en bois, tendon, fibre ou métal) dépourvus de rôle quant à l'entraînement de la meule. Certains emmanchements nous paraissent par exemple plutôt susceptibles de revêtir des fonctions périphériques dépendantes de la rotation : ainsi peut-être de balais ou planchettes ramasseurs de farine, de tiges souples liées au secouage de trémies-sacs suspendues au-dessus de l'oëillard, de scellements d'anneau ou de poignée pour le levage de la meule ou encore, notamment sur les modèles anciens par exemple ibériques, des dispositifs d'enserrement ou de suspension du *Catillus*.⁹

37. Par ailleurs il conviendrait de réfléchir à la liaison, ou non, entre l'emmanchement et l'axe ; il nous semble par exemple (Peyriac de Mer n°1 - **Fig.35b**) que cette liaison ou ce contact, fréquent sur les *Catilli* sans trémie à emmanchement supérieur radial continu (« Type 7, D » - voir *infra*), pourrait surtout correspondre à un souci d'éviter d'une part l'oscillation ou la rotation elliptique et d'autre part une usure de l'axe par frottements et chocs répétés. Se trouve ainsi posée la question du rapport et de la liaison entre l'axe et les emmanchements ainsi que celle de son caractère fixe ou mobile, comme le montre la reconstitution d'un moulin de l'oppidum de Manching (**Fig.35c**).



Figure 35b : Moulin rotatif reconstitué avec les meules 1 et 2 - Peyriac-de-Mer (FR, 11) - le dispositif retenu est différent de celui de Manching : il s'agit aussi d'un emmanchement supérieur formant bielle-manivelle avec la main, mais le blocage du manche est obtenu par encastrement (mortaise d'emmanchement radial continu de type 7, D) et le manche n'est pas lié à l'axe : il se contente de le tangenter ce qui limite la rotation elliptique car l'axe est épais - un tel moulin fonctionne, nous l'avons fait tourner à 60 rpm - toutefois la terminaison du manche par un anneau entourant l'axe (plus fin) serait très probablement une meilleure solution, de même qu'un moindre éloignement de la poignée sauf si celle-ci donne sur une bielle et un entraînement à distance



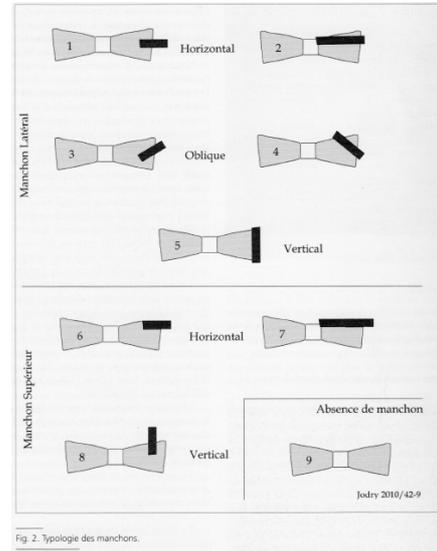
Figure 35c : Oppidum laténien de Manching - Moulin rotatif reconstitué (source : www.archaeopedi.de) - noter la disposition retenue pour la liaison entre le manche et l'axe : blocage de la meule contre les bords par un axe diamétral de transmission qui est perforé pour permettre une rotation libre autour de l'axe - ce dispositif nous paraît meilleur que celui adopté pour Peyriac car il évite toute rotation elliptique et permet un accès plus large des denrées dans l'oëillard - cependant la forme arrondi du bord ne semble pas idéale pour bloquer le manche et l'ensemble suppose également une bonne solidité de l'axe et la lubrification de son point de contact dont l'usure doit être rapide -

⁹ Il n'est pas rare que les *Catilli* de tradition ibérique à manchons proéminents résentent en sus de ces derniers et des petites incisions diamétrales situées à leur raccord avec la trémie, des mortaises latérales rectangulaires profondes ou au contraire superficielles et à forme douce (ainsi sur plusieurs exemplaires d'Ensérune qui montre d'ailleurs que ces aménagements ou stigmates gagneraient à être perçus de manière associée).

38. La typologie de JODRY *et al.* 2011 évoquée ci-dessus (Fig.36a) et illustrée au moyen de dessins concrets par PICAUVET 2019 dans sa thèse (Fig.36b) dans fait une large place à l'orientation ou inclinaison des trous d'emmanchement (horizontal, vertical, oblique) mais ne tient cependant pas compte de leur position sur la hauteur du *Catillus* et notamment par rapport à l'ouverture de l'œillard (Plan A'). Il en est de même de celle proposée pour les ateliers de La Salle/Les Fossottes dans les Vosges (LAGADEC 2008 –ici Fig.36c). Or celle-ci peut avoir une incidence non négligeable sur la durée de vie de la meule, de l'ordre de 16 à 33%¹⁰.

Cet impact ouvre d'ailleurs des interrogations sur le fait de savoir si ces logements creusant la meule étaient intégrés à leur conception, ce qui ne semble pas être le cas puisqu'ils sont absents des ateliers, et quelle était finalement la conception et la maîtrise de la Hauteur Utile de la part des fabricants antiques.

Figure 36a : Typologie des mortaises d'emmanchement (JODRY *et al.* 2011, p. 302)



39. Les *Catilli* d'Orvieto ne présentant pas de mortaises d'emmanchement, comme il est au reste sur les ateliers (infra (Fig.40) nous ne nous sommes intéressé à ces aménagements que dans notre approche de la notion de Hauteur Utile et compte-tenu de leur possible impact réducteur sur cette dernière. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes attaché à définir leur position sur l'épaisseur de la meule. La typologie des positions que nous allons ainsi développer dans les prochaines pages peut venir utilement compléter celle élaborée par le Groupe Meule (JODRY *et al.* 2011 – ici Fig.36a), par exemple sous la forme « Type 1, position B2 » ou « Type 1, B2 ».

Figure 36b : Typologie des mortaises d'emmanchement (version PICAUVET 2019, p. 165)

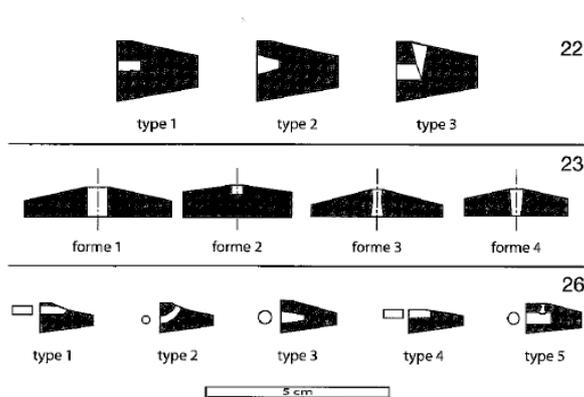


Fig. 2 : Typologie des meules en rhyolite de La Salle (Vosges). 22 : perforations latérales du type 7; 23 : perforations axiales des mata de type 7; 26 : perforations latérales des moulins gallo-romains. Dessin J.-P. Lagadee, DAO L. Forelle.

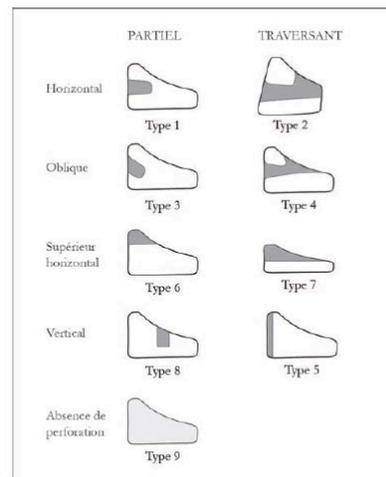


Figure 178 Typologie des trous d'emmanchement développée par le Groupe Meule. D'après Jodry *et al.* 2011

Figure 36c : Typologie des mortaises d'emmanchement des ateliers de La Salle (LAGADEC 2008, 132)

40. Bien que nous n'ayons pas mené une étude détaillée de la position médiane B.2 (celle qui a le plus d'impact sur la Hauteur Utile), on doit retenir qu'une

¹⁰ Une réduction de 1 ou 2 doigts (1,8 à 3,5 cm) sur une HU qui mesure 4 ou 6 DGT diminue en effet la longévité de 16, de 25 ou de 33%.

mortaise d'emmanchement latérale apparaissant en position basse (proche du plan inférieur B du *Catillus* – Fig.37), traduit un fort degré d'usure. Il est en effet probable que les mortaises latérales B2 n'aient pas été, sur les individus neufs,

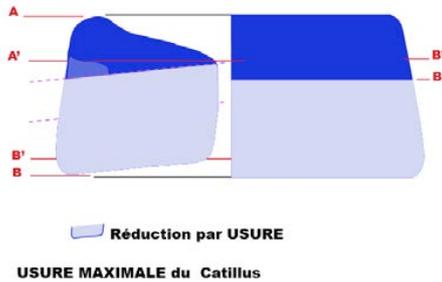
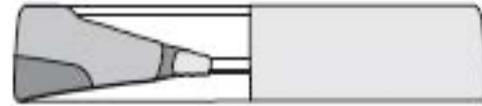


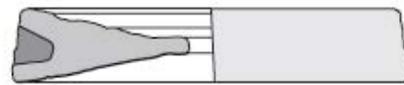
Figure 37a : Usure d'un *Catillus* (partie bleu pâle) se traduisant par la montée des plans inférieurs B et B' vers le plan A' (ouverture de l'œillard)

Figure 37b : Mortaise d'emmanchement située au bas du flanc d'un *Catillus* – en réalité elle est initialement en position assez haute, juste sous le niveau de l'ouverture de l'œillard - (JODRY *et al.* 2011)



Mathay (25), "REB"
sd. 44, us. 135

Figure 37c : Mortaise d'emmanchement située au bas du flanc d'un *Catillus* - mais originellement elle est en position plutôt haute, sa base étant proche du niveau où s'ouvre l'œillard - (JODRY *et al.* 2011)



Bassou (89) "Chemin du Faubourg Bas"

positionnées au-dessous du plan médian de la meule et même plus probablement au-dessous du tiers supérieur. Cette notation demande naturellement à être confirmée ou nuancée par une étude précise¹¹. En tous les cas la position de la base de la mortaise sous le plan supérieur (Plan A) devrait être systématiquement indiquée (ce qui aboutirait à une notation pleinement informative de type « mortaise Type 1, B2, -5,5 cm » où la distance entre le sommet du *Catillus* et la base de la mortaise est chiffrée sous forme négative).



Figure 38: *Catillus* à mortaise pour emmanchement latéral de Type 1, B1 - base de la mortaise : -7 cm (4 DGT) (Ensérune ACH-20)

- noter que la face de travail a percé le fond de la cavité recevant l'emmanchement : le *Catillus* était donc parvenu à son terme – par ailleurs, la mortaise se trouve en position basse du fait de la montée du plan inférieur due à l'usure : en réalité sa position initiale se situait vers le tiers de l'épaisseur de la meule, le sommet de la mortaise correspondant en effet à celui de l'œillard (position que nous appelons B1) –

¹¹ Dont le point de départ peut être constitué par la mesure d'un paramètre invariant (la distance entre la base de la mortaise et le plan supérieur A, fixe, du *Catillus*) et son rapport avec la hauteur à neuf de la meule (généralement entre 15 et 22 cm soit entre 8 et 12 DGT) : si la position de la mortaise par ex. de type 1, B2 est -7 cm (4 DGT) elle est alors située à 50% de la hauteur (1/2 HNf) si celle-ci est de 15 cm et au tiers si le *Catillus* neuf mesurait 22 cm.

Figure 39 : *Catillus* à mortaise pour emmanchement latéral de Type 6, D - base de la mortaise : -4 cm (2,25 DGT) - (Ensérune ACH-26)



- sur la gauche du cliché on perçoit un logement rectangulaire superficiel aux formes douces, il est disposé en long - la mortaise montre un plan rectangulaire avec des parois droites (l'aspect en pseudo-queue d'aronde est dû à un léger évaseement du sommet des deux angles proximaux peut-être causé par l'emploi d'une gouge) - les flancs tendent à être lissés et présentent une sorte de canal à leur raccord avec le fond qui est quant à lui irrégulier -

B. Les mortaises d'emmanchement sur les ateliers

41. Notre corpus de 15 ateliers a livré près de 200 *Catilli*, la moitié de ces meules étant parvenues au stade de la finalisation (perçement de l'œillard et finitions). Un quart d'entre elles présente des mortaises pour emmanchement mais une partie notable (notamment à Agde ou La Lande-La Vernhe voire à Bad Nauheim) semble relative à des meules utilisées mais publiées avec les ébauches et *Catilli* neufs. Parallèlement plusieurs ateliers présentent des effectifs suffisants pour que l'absence de mortaises d'emmanchement puisse être considérée comme significative, c'est le cas d'Orviété et des Fossottes. Si la documentation disponible demeure insuffisante pour que l'on puisse être suffisamment affirmatif ou nuancé, il semble néanmoins

Figure 40 : Fréquence des trous d'emmanchement sur les *Catilli* des ateliers

Réalisation des TROUS d'EMMANCHEMENT sur les ATELIERS					
ATELIER	nombre de <i>Catilli</i>	<i>Catilli</i> de stade IV-V	Trou d'EMMANCHEMENT		Notes
			Atelier	%	site UTILIS.*
ORVIETO	23	8	0	0%	
AVRILLY	14	8	1	12%	+1
HERTFORDSHIRE	9	9	0	0%	+1
Le CHAUDRY	20	16	4	25%	+2
Les FOSSOTTES	31	10	0	0%	
PORTUS	4	3	0	-	échantillon trop faible
AGDE	14	12	9	0 à 41%	(9?) tous Contextes Utilisation possible
La MARÈZE	3	0	0	-	Ebauches stades I à III
CHABLES	12	2	1	-	échantillon trop faible pour %
EIFEL 2008	10	3	0	-	échantillon trop faible
La LANDE, La V.	18	-	4	-	(4?) tous Contextes Utilisation probables
AUTUN Arroux	4	4	0	-	échantillon trop faible
OBERNAI	5	3	1	-	échantillon trop faible pour %
BAD NAUHEIM	21	14	5	36%	
15 BORKEN	4	0	0	-	échantillon trop faible
LOVOSICE*	38	38	26	-	26 ? tous provenant de sites d'Utilisation ?
	192	92	25	27%	
		55	21	38%	

* exemplaires provenant de sites d'Utilisation des meules
* WALDHAUSER 1981

- le site producteur de Losovice est indiqué à titre de comparaison mais n'a pas été pris en compte dans les totaux et pourcentages car les meules publiées semblent pour l'essentiel provenir de sites d'utilisation - les lignes figurées en rose correspondent aux ateliers ayant livré des *Catilli* munis de mortaises d'emmanchement - les pourcentages sont établis sur le total des *Catilli* parvenus aux stades finaux de façonnage - la colonne 6 « site d'Utilisation » indique la part de *Catilli* qui au sein du total (colonne 2) porte une mortaise mais correspond à une meule utilisée ou provenant d'un site d'utilisation - les cadres figurés en gris indiquent des assemblages dont les effectifs

semblent suffisants pour rendre probable l'absence de mortaises d'emmanchement -

que l'on puisse en l'état retenir probable que la réalisation des trous d'emmanchement ait généralement pris place en dehors des ateliers au moins dans certaines zones ou à certaines périodes. On opérera à ce sujet un parallèle avec l'absence à Orviété de tout creusement de

mortaise sur les *Catilli* de style pompéien (voir Partie III de ce mémoire), au contraire de leur présence sur les lieux d'utilisation qui montre leur réalisation à cette extrémité de la chaîne production / diffusion / installation / utilisation.

C. Typologie de la position des mortaises d'emmanchement

On définira ici les différentes positions des mortaises sur la hauteur d'un *Catillus*, en partant de son plan fixe, dit « Plan A » correspondant à son sommet et généralement matérialisé par la bordure de la trémie et, lorsque celle-ci est absente, par son rebord. On distinguera 2 positions hautes et 2 positions médianes, à incidence nulle à forte sur la Hauteur Utile.

Toute mortaise d'emmanchement génère une Hauteur Passive (H_{Pe}) égale à sa profondeur (ex. Fig.42) ou bien plus importante si le *Catillus* présente une conicité (ex. Fig.43).

42. POSITION Supérieure D rare incidence sur HU

La mortaise est située tout en haut du *Catillus*, elle entame le plan supérieur A. Si elle n'a pas d'incidence sur la Hauteur Utile des modèles classiques (à trémie), en revanche sur les *Catilli* qui en sont dépourvus elle crée une Hauteur Passive incompressible (H_{Pi}) égale à sa profondeur (généralement 3 ou 4 cm) éventuellement augmentée de la Hauteur de Cône.

Figure 41 : Emmanchement en position D

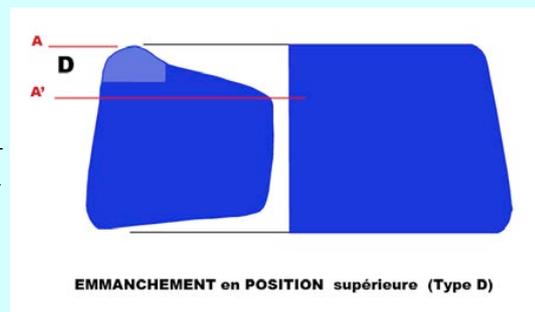


Figure 42 : Hauteur Passive totale (H_{Pi}) sur un *Catillus* plat mortaise en position D

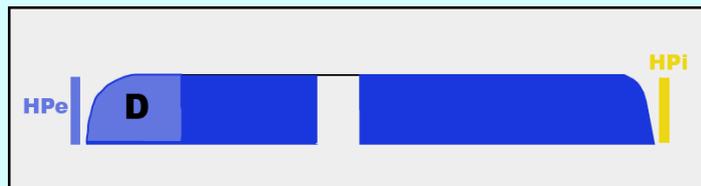


Figure 43 : Hauteur Passive totale (H_{Pi}) mortaise position D *Catillus* conique



43. **POSITION Supérieure A**
base juste au-dessus du Plan A'
rare incidence sur HU

Figure 44 : Position d' emmanchement A

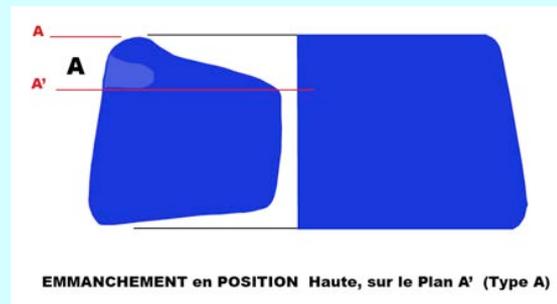
La mortaise est située dans le haut du *Catillus*, mais sa base tangente le Plan A', niveau où s'ouvre l'œillard.

Cette position peut se trouver complétée par une ouverture en surface de la meule.

La position A n'a pas d'incidence réductrice de la Hauteur Utile des *Catilli* coniques, sur les autres (comme pour la position D – voir Fig.42

et 43) sa base définit celle de la Hauteur Passive totale (HPi) qui serait de même dimension en l'absence de mortaise. La position A est donc rarement réductrice de la Hauteur Utile.

La différence entre la position de type D et la position A réside dans le fait que cette dernière se situe au niveau du Plan A' (œillard). Une mortaise en position A peut être latérale mais aussi tout à fait s'ouvrir comme la D en surface du *Catillus*.



44. **POSITION latérale B1**
tangente juste sous le Plan A'
incidence possible sur HU

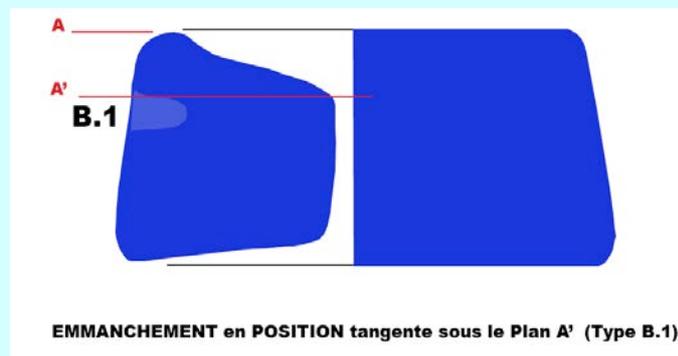
Figure 45 : Emmanchement latéral B1

La mortaise s'ouvre latéralement, dans le flanc du *Catillus*.

Par rapport aux positions D et A précédentes, le logement B1 descend et se place sous le niveau d'ouverture de l'œillard (Plan A') qu'elle tangente.

Les mortaises de type B1 se situent en correspondance avec la hauteur de l'œillard.

La position B1 est susceptible de réduire la Hauteur Utile. Cette minoration est fonction du niveau de la base de la mortaise mais aussi de sa profondeur. Par ailleurs, plus la Conicité du *Catillus* est forte, moins la mortaise en position B1 aura un effet réducteur sur la hauteur Utile et la longévité de la meule.



45. **POSITION latérale B2**
entre les Plans A' et B'
incidence sur HU

La mortaise s'ouvre latéralement, dans le flanc du *Catillus* en quelque sorte à mi-hauteur.

Elle se place entre le niveau d'ouverture et la base de l'œillard (entre le Plan A' et le Plan B' qui correspond au sommet de la surface de travail).

La mortaise de type B2 se situent ainsi également en correspondance avec la hauteur de l'œillard (HOE).

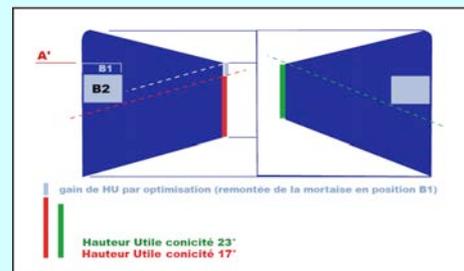
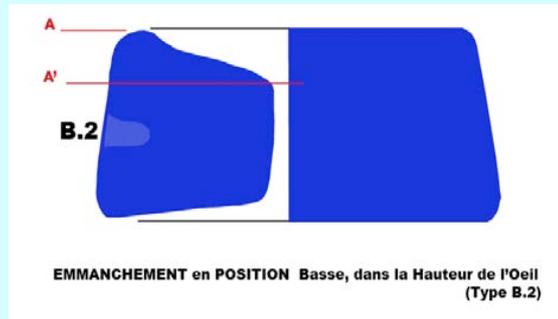
La base de ce logement d'emmanchement latéral se positionne généralement au tiers ou à la moitié du flanc du *Catillus*.

Cette position médiane lui confère quasi systématiquement une incidence réductrice de la Hauteur Utile, minoration qui peut être augmentée par une inclinaison de la mortaise ou par sa profondeur. En revanche l'impact réducteur sur la Hauteur Utile tend à être évité si la conicité ou le diamètre sont forts (Fig.47).

Figure 47 : Catillus ACH-1 du Chaudry avec mortaise latérale en position B2

- en rouge la Hauteur Utile de la conicité 17° - en vert l'effet réducteur de HU dû à la conicité 23°
 - en gris l'optimisation possible de HU par la montée de l'emmanchement en position B1 -

Figure 46 : Emmanchement latéral de position B2



46. **POSITION sommitale C**
incidence possible sur HU

Figure 48 : Emmanchement latéral type C

La mortaise, verticale ou oblique, s'ouvre au sommet du *Catillus*.

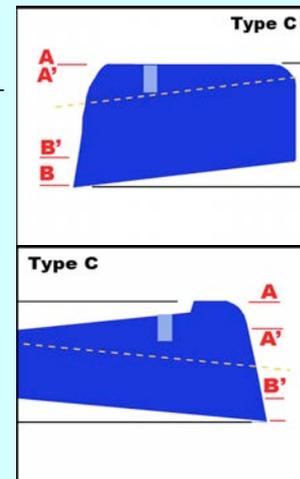
Elle peut (Fig.49) se raccorder à une mortaise latérale ou en constituer le débouché, notamment pour l'insertion d'un anneau en métal, cuir ou fibre.

La mortaise en position C peut parfois entraîner une minoration de la Hauteur Utile lorsque la conicité est nulle ou très faible.

La mortaise de type C se différencie du type D en raison de l'absence d'ouverture latérale et du fait que son placement sommital varie du centre à la limite de la trémie. L'anille par-dessus se cramponne en effet en position proximale (au bord de l'œillard) ou en limite de la trémie.

Les emmanchements verticaux raccordés à une mortaise latérale B1 ou B2 se placent également au pied de la bordure interne du *Catillus*.

Sur les modèles sans trémie, notamment ceux d'époque tardive, les mortaises évitent le plus souvent les franges distales et proximales mais les remplois ou les évolutions technologiques peuvent rendre la situation variée comme sur cet exemplaire d'Ensérune ci-dessous (Fig.50)¹².



¹² Ce *Catillus*, probablement tardif selon nous, possède également -pour complexifier les stigmates- un logement cruciforme d'anille dans la face inférieure de travail, par ailleurs les 3 trous distaux qu'il a reçus font penser à des encoches de lancement pour volant de tour à bâton (cf. CZYSZ 2019).

Figure 50 : *Catillus* à encoches sommitales multiples, position C - (Ensérune -ACH.30) encoches de tour à bâton possibles (Czysz 2019)

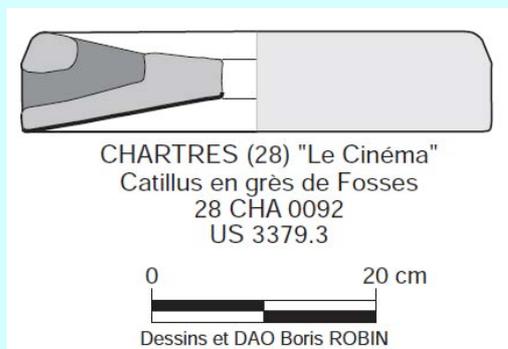


Figure 49 : *Catillus* à emmanchement sommital de type C raccordé à une mortaise latérale B1 (Chartres, Fr, 28) - (JODRY *et al.* 2011 fig.11)

47. En conclusion, la présence d'un emmanchement latéral est susceptible de réduire la Hauteur Utile d'un *Catillus* lorsque sa mortaise est de type B1 et surtout B2, c'est-à-dire située en position médiane, sous le plan d'ouverture de l'œillard. Il peut aussi y avoir minoration de la longévité de la meule quand l'emmanchement est supérieur et que sa profondeur dépasse le niveau de l'œillard (type C).

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO, PEREZ 2014 – ASENSIO *et al.* 2001 – AMOURIC 1997 – BAUG, OYSTEIN 2011 – BELLON *et al.* 2016 – BUCHSENSCHUTZ, BOYER 1999 – CASTELLA, ANDERSON 2004 – CZYSZ 2019 – DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007 – GAILLEDRAT *et al.* 2012 – GUILLIER, COFFINEAU 2012 – HARTOCH 2015 – JACCOTTEY 2011 – JACCOTTEY 2016 – JODRY 2011 - JODRY in BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2016 – LAGADEC 2008 – LEVEAU 2006 – LONGEPIERRE 2016 – PEYNE 2019 – PICAVET 2011 – PICAVET 2019 – POLINSKI 2009 – POMMEPUY 1999 – PY 1992 – PY 2016 – ROBIN 2011 – ROBIN 2012 (in JESSET 2012) – SHAFFREY 2003 – SCHUCANY, WINET 2016 – WALDHAUSER 1981 –

CHAPITRE .15

L'assise des *Metae*

On s'intéresse ici à la forme prise par la base des *Metae*. La meule dormante constitue en effet l'assise du moulin, son plan d'appui, que la machine repose directement au sol, sur une table ou une banquette de terre crue, ou bien encore que le moulin soit enchâssé dans un bâti de charpenterie. A ce titre elle est susceptible de recevoir un traitement en rapport avec ces modes d'appui ainsi qu'avec son mode d'entraînement, ce dernier étant susceptible de produire des perturbations en raison de vibrations, de tendances à la rotation intempestive etc. Par ailleurs, l'aménagement d'un œil traversant pour régler l'écartement du *Catillus* ou pour passer un axe moteur pourrait avoir des incidences sur la forme de la base des *Metae*.

On peut ainsi envisager que le traitement réservé à l'assise de la meule fixe reflète en partie les modalités d'utilisation et d'insertion spatiale et fonctionnelle du moulin rotatif bas. Mais une seconde question est également soulevée par les formes prises par l'assise des *Metae*, celle de savoir si elle était configurée en atelier ou si elle prenait sa forme définitive sur les lieux d'utilisation. La question est relative à l'existence et au périmètre de la phase de façonnage et/ou installation des meules qui peut prendre place en dehors des ateliers.

Aussi avons-nous élaboré une typologie des différentes formes de la base des *Metae*. Dans un premier temps nous avons cru remarquer que les types constatés dans les assemblages d'ateliers offraient un spectre différent de celui présenté par les assises des *Metae* issues des assemblages de sites d'utilisation. L'échantillon étant réduit, nous l'avons élargi à la quasi-totalité des ateliers de notre corpus et parallèlement nous avons établi le spectre typologique d'un large éventail d'assemblages provenant des sites d'utilisation et rejet des meules.

Nous présenterons d'abord la typologie des bases des *Metae* puis comparerons les spectres typologiques en atelier et sur les sites de consommation pour ensuite statuer sur la réalité ou l'absence d'une phase de configuration de l'assise des *Metae* qui prendrait place hors atelier.

1. Typologie des Assises des *Metae*

1. Nous proposons ici une première typologie de la base des *Metae*. Elle reste préliminaire car notre but n'était pas de dresser une typologie complète et durable des assises mais d'explorer la question de l'existence ou non d'un traitement post-atelier. Notre

proposition typologique appellerait des améliorations, notamment dans les variantes du type 2 (base plate) où la pratique sur un demi-milliers de meules montre que les frontières sont parfois un peu floues concernant les types de base plane échançrée ou perforée. Il nous semble néanmoins que cet outil préliminaire fait progresser l'approche et répond à notre objectif concernant la part du traitement réalisée dans les ateliers.

2. L'établissement de la typologie et le corpus de *Metae* auquel elle a été appliquée est constitué de 13 assemblages issus d'ateliers meuliers et de 32 assemblages provenant de sites d'utilisation des meules. Le corpus d'atelier regroupe 124 bases de *Metae* et le corpus de sites d'utilisation en totalise 329 soit un ensemble global de 453 bases répondant à la typologie. Le corpus offrant originellement 668 *Metae*, le type de l'assise a donc pu être renseigné pour 68% d'entre elles (70% sur les ateliers et 68% sur les sites de consommation). Les données détaillées sont fournies dans une table (Fig.5).

3. On décrira et illustrera ici un à un les différents types et précisant leurs principales caractéristiques ainsi que ce qui les différencie de variantes proches.

Quatre types principaux peuvent être distingués :

Type Ba.1 (ou Type 1) constitué par une base oblique, le plus souvent brute de détachement en carrière (Fig.1)

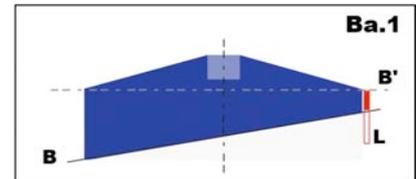


Figure 1 : Type 1

Type Ba.2 (ou Type 2) correspondant à une assise plane, ce type (Fig.2) se décline en plusieurs variantes selon la forme et la profondeur des échançrures ou évidements qui peuvent y être pratiqués. Si le Type 2A est le plus simple et le plus représenté, plusieurs autres sont également d'une fréquence soutenue. Ces assises ont été enregistrées dans la classe 2 car techniquement elles sont développées à partir d'une base plane qui est plus ou moins conservée dans la forme évidée finale.

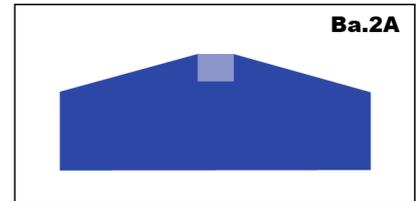


Figure 2 : Type 2

Type Ba.2E (ou 2E) il correspond à une assise évidée sur une largeur et une hauteur assez importantes, opération qui surtout (Fig.3) confère aux deux faces de la *Meta* un caractère parallèle. La face inférieure, évidée, devient parallèle au cône de travail.

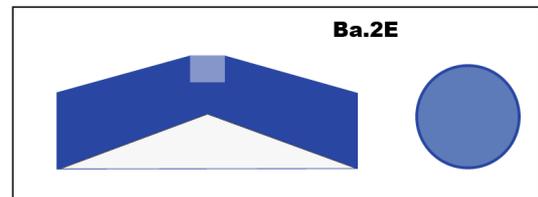


Figure 3 : Type 2E

Le **Type Ba.3** (ou Type 3) est constitué par les assises de forme convexe (Fig.4).

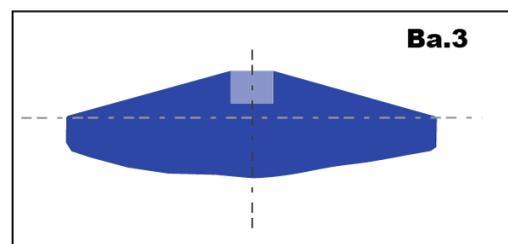


Figure 4 : Type convexe 3

Figure 5 : Table des données

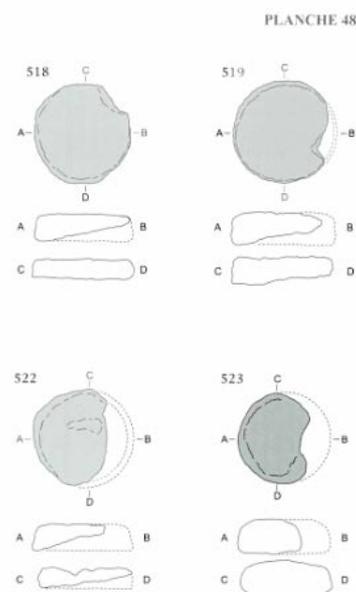
BASE des METAES - FREQUENCE des TYPES							A. CHARTRAIN IX-2017 /2020															
N° site	NOM	CHRONO	Metae Total	BASES		TYPO Bases		TYPOLOGIE														
				Total	%	Total	%	Ba.1	Ba.2A	Ba.2B	Ba.2C	Ba.2D	Ba.2E	Ba.2F	Ba.2G	Ba.2H	Ba.3	Ba.4				
5	Els VILARS	IV aC	9	6	67%	4	0,9%		1			1								1		
50	La SALLE	LT-D1A	5	4	80%	4	0,9%		4													
29	AVRILLY	AUGUSTEEN	8	7	88%	7	1,5%		1											6		
38	Les FOSSOTTES	II aC - IV pC	11	11	100%	10	2,2%		7		1							1			1	
40	PORTUS	LT - III pC	15	15	100%	11	2,4%		7			2	2									
33	HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	1	1	100%	1	0,2%														1	
58	AGDE	IV aC - II? pC	8	8	100%	8	1,8%		4			2	2									
34	Le CHAUDRY	LT - ROM	28	26	93%	26	6%		22				1			2	1					
67	CHABLES	II pC	6	6	100%	7	1,5%	1	4		1											
74	AUTUN - FBG Arroux	40-70 pC	31	7	23%	5	1,1%					2	3									
76	OBERNAI	LT-D	6	1	17%	1	0,2%		1													
86	BAD NAUHEIM	LT-D	18	18	100%	19	4,2%		6			6	2	1			3				1	
13	ORVIETO	IV-I aC ?	32	32	100%	21	4,6%									21						
26	LT - PICARDIE	LT C2-D2	26	26	100%	23	5%	7	8			2							1	5		
53	Le PATURAL	LT-C?D	24	24	100%	17	3,8%						3	3	9						1	
10	NANTAIS	G-ROM	22	21	95%	15	3,3%		2			5	4	1	2	1						
65	CARCASSONNE	II aC + ROM	6	6	100%	5	1,1%		3	1	1											
66	PEYRIAC-de-MER	LT-CD (+ROM?)	12	12	100%	12	2,6%		4	1	1	3								3		
72	OSTIA	REP + ROM	7	7	100%	6	1,3%		1			2	3									
69	TUNGRI	(LT) - G-ROM	27	21	78%	21	4,6%		3	2		3	6	7								
70	AVENCHES	G-ROM	82	82	100%	19	4,2%		5			7	5	1	1							
71	varia LANGUED-PROV.	LT - ROM	4	3	75%	2	0,4%		1			1				?						
68	EIFEL 2008	ROM	15	5	33%	9	2,0%		3			2	2	1	1							
7	ALORDA PARK	IV-III aC	6	5	83%	5	1,1%		2			1									1	
99	BLOIS la Croupe	LT - C2/D1b	5	4	80%	4	0,9%		3			1										
96	SARAN	LT-D + ROM	9	1	11%	1	0,2%					1										
94	YMONVILLE	LT C1-D2	11	8	73%	9	2,0%		3				1	1			4					
20	LATTARA proto	VI - II aC	10	9	90%	9	2,0%		6			2									1	
56	Le REBOUT	LT-D (+AVG?)	18	16	89%	16	4%		13								2				1	
59	PROVENCE Coquerel	LT - G-ROM	36	20	56%	20	4%		11			6		1	1						1	
81	BEZANNES	LT 7 - ROM	10	10	100%	9	2,0%		2			4		1	2							
54	MAZIERES-en-MAUGES	II - III pC	9	6	67%	6	1%		1			1	1	1	2							
55	VERTAULT	ROM (+LT?)	23	10	43%	10	2%		8							2						
27	MARTIGUES	II aC	6	5	83%	5	1%		1			2			1						1	
60	ENSERUNE	IV - II aC (+ROM)	28	27	96%	26	6%		15	1		4		2	1	1					2	
31	CHARTRES	LT-D - III pC	16	7	44%	7	2%					1		1	2	3						
21	ARRAS 2011	ROM	6	5	83%	5	1%		2			1			1	1						
21	BAVAY 2011	ROM	17	17	100%	17	4%		7			2				1	6				1	
21	BOULOGNE 2011	ROM	1	1	100%	1	0%		1													
21	REIMS 2011	ROM	11	11	100%	5	1%		3							2						
21	AMIENS 2011	ROM	12	12	100%	18	4%		6					4		2				6		
21	BEAUVAIS 2011	ROM	4	4	100%	4	1%		3						1							
21	SOISSONS 2011	ROM	2	2	100%	2	0%		1							1						
23	PECH MAHO	560 ac - 200 aC	19	18	95%	18	4%	4	9			1	1	1			1				1	
80	REIMS 2017	LT 7 - ROM	3	3	100%	3	1%					1					1				1	
33	ENTRAMMES	LT C2-D1 + ROM	3	3	100%	0	0%															
								12	184	6	58	42	25	55	34	2	33	2	453			
								3%	41%	1,3%	13%	9%	6%	12%	8%	0,4%	7%	0,4%				
13 ATELIERS								178	124	70%	3	37	5	26	18	14	17	18	2	16	2	Sites
33 UTILISATION								490	329	67%	4	5	1,2	2,2	2,3	1,8	3,2	1,9	1	2,1	1	occure
								Taux de renseignement des Bases aux moyen de renseignement 68%														
13 ATELIERS								NR	1	57	1	15	10	2	23	4	1	9	1	124		
								%	0,8%	46%	0,8%	12%	8%	1,6%	19%	3%	0,8%	7%	0,8%	100,0%		
33 UTILISATION								NR	11	127	5	43	32	23	32	30	1	24	1	329		
								%	3%	39%	2%	13%	10%	7%	10%	9%	0,3%	7%	0,3%	100,0%		

La base biaise Ba.1 :

4. Le plan du travail de la meule, c'est à dire la crête d'usure inférieure (B') de la face active (Fig.1), est perpendiculaire au tube de l'œil et donc horizontal. En revanche la base est divergente. Ce type Ba.1 n'est pas représenté à Orvieto. Il apparaît sur 16 des 45 sites traités, totalisant 33 exemplaires sur les 453 du corpus. Sa fréquence est de 7% à la fois sur les ateliers et sur les sites d'utilisation.

Cette base biaise peut être de nature accidentelle (fracturation au façonnage ou à l'utilisation) comme il a pu être observé (Fig.6) sur l'atelier de Châbles¹ ou dans les Vosges². Elle peut également être de nature structurelle, c'est-à-dire issue du process de fabrication lui-même : les meuliers fabriquent les *Metae* dans un bloc capable dont la base est tantôt plane tantôt biaise. Ce phénomène peut provenir de l'inclinaison du banc ou de certains lits du banc pierreux. Elle peut également provenir de la méthode d'extraction, lors du détachement du cylindre par dessous. Ce caractère incliné de l'assise de la meule n'impacte pas automatiquement sa longévité, sauf dans le cas où l'épaisseur se trouverait trop notablement réduite ce qui peut avoir pour conséquence sa mise au rebut (ou, selon les pratiques d'échange, sa catégorisation en 2^{ème} ou 3^{ème} choix ou encore une baisse de son prix de vente).

Figure 6 : Bases de type Ba.1 sur la carrière de Châbles



La mise à disposition de *Metae* à base inclinée pour les utilisateurs témoigne soit d'un souci de rentabilité (chaque bloc « metifiable » doit devenir une *Meta*), soit d'une relative indifférence à la géométrie de la base. La raison peut alors en être que les modalités de pose de la meule fixe acceptent sans problème un plan inférieur biais ou irrégulier, ou bien que les *Metae* à longévité diminuée trouvent preneur.

5. On pourrait tenter d'apprécier la nature accidentelle des *Metae* à base biaise en comparant le taux de bases Ba.1 entre plusieurs ateliers. Une faible variabilité tendrait à désigner un taux normal d'accidents, tandis qu'une fréquence deci-delà élevée peut renvoyer à un atelier « surproduisant » ou « survendant » des bases biaises. Toutefois le taux de bases inclinées est influençable par la roche et par les étapes ou techniques de fabrication, plus ou moins génératrices de pertes. Il mériterait par conséquent d'être étroitement compris dans le contexte technologique de chaque atelier et entre des ateliers comparables.

Le type 1 s'avère rare (3% du total), il est en effet (Fig.5 Table) attesté sur seulement 3 sites (l'atelier de Châbles et les sites d'utilisation de Pech Maho et de Picardie laténienne) pour un total de 12 *Metae*. Sur ces deux derniers sites le type 1 montre une fréquence élevée (7 sur 23 et 4 sur 18), ce qui tend à en montrer le caractère structurel sur les sites producteurs correspondants.

Au plan fonctionnel, ces bases biaises qui sont en déficit de poids peuvent ainsi devenir instables lors de la rotation du *Catillus* au-dessus d'elles. Elles nécessitent l'insertion de la *Meta* dans un cadre de bois ou de pierre où la meule se trouve (Fig.6) calée dans un support plastique (argile ou terre, sable, graviers, recoupe de pierre calcaire) qui en assure la fixité. De ce point de vue elles sont analogue aux *Metae* de base convexe (type B.3 - Fig.4).

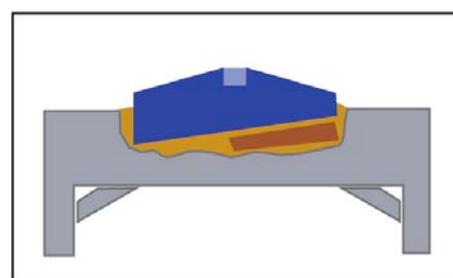


Figure 6 : restitution de l'insertion stabilisatrice d'une *Meta* à base biaise (type 1)

¹ Suisse, canton de Fribourg (ANDERSON *et al.* 2003, PL. 48).

² FARGET 2006, Fig.33

6. L'Assise plane et pleine 2A : (Fig.7)

Le plan de pose correspond à la totalité de la surface de la base qui est plane (Fig.7). En général le traitement est assez brut (taille éclatée) ou dégrossi, modalités qui confèrent à l'assise une rugosité certaine. Il n'est pas rare que l'on observe sur le pourtour extérieur une bande large de 2 à 3 cm plus finement régularisée au ciseau large et qui figure une sorte d'anneau de pose. Toutefois cette bordure distale martelée n'est le plus souvent pas en relief et pourrait plutôt relever des opérations de délimitation et de finition du périmètre inférieur que de la volonté de produire un anneau de pose.

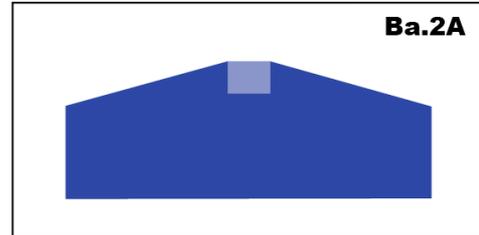


Figure 7 : Type 2A

On peut douter du caractère stable des assises de type 2A qui, posées sur un support plan et compact (table, banquette d'adobe) doivent avoir tendance à tourner ou glisser sous l'impulsion de la rotation du *Catillus* et des lancements par un manche ou une bielle. Il est donc probable que les *Metae* montrant une assise plane et pleine de type 2A aient elles aussi été encastrées dans un creux et maintenues soit par le frottement sur leur périphérie soit par des matériaux à haut frottement ou adhérence (argile, sable, graviers, glu).

Au plan de la chaîne opératoire globale, les bases de *Meta* de type 2A constituent une état brut ou peu s'en faut et traduisent ainsi le degré minimal de traitement réservé à l'assise. En ce sens elles se ne différencient guère des bases de type 1 (biaise, brutes d'extraction) et de type 3 (convexes).

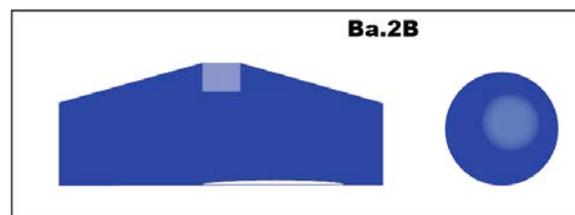
7. Au plan quantitatif, l'assise plane et pleine (type 2A) constitue « la » base par excellence des *Metae*. En effet elle est ubiquiste et caractérise 41% des *Metae* (184 exemplaires sur le corpus de 453). On l'observe sur 39 des 45 sites (11 des 13 ateliers et 28 des 32 sites d'utilisation), seul 6 assemblages en étant dépourvus. Quelques assemblages se singularisent par une fréquence très élevée : l'atelier du Chaudry (22 sur 26 *Metae* soit 84%), les sites Age du Fer de Bibracte Le Rebout (13 sur 16 soit 81%) et d'Ensérune dans le Midi (15 sur 26 soit 57%) ou encore l'assemblage gallo-romain de l'agglomération de Vertault en Bourgogne (8 sur 10). A l'opposé, quelques sites, plutôt rares, se caractérisent par l'absence des assises planes bien que leur effectif devrait le faire apparaître. Il s'agit des 17 *Metae* de l'assemblage laténien du site rural du Pâtural en Auvergne et de 7 *Metae* de la ville gallo-romaine de Chartres. L'assemblage auvergnat est dominé par les bases de type 2F et le chartrain par les types 2F et 2G, qui correspondent tous à l'association entre un œil traversant et une base plus ou moins largement évidée. Bien que les types 2F et 2G ne s'excluent pas avec le type 2A, ces deux exceptions sont notables. Il conviendrait de voir si cette exclusion porte sur des roches et des ateliers de provenance différents ou identiques. Enfin, Le type 2A n'est pas attesté à Orvieto³. Naturellement, il est présent dès les plus anciens sites (V-IV^e s. aC).

Figure 8 : Assise de Type 2B

Base Démaigrie 2B

(Fig.8)

8. L'assise est légèrement cavée sur une zone circulaire située au centre ou parfois vers le bord comme s'il s'agissait d'un évidement de type 2C ou 2D non porté à son



³ Bien entendu, 11 *Metae* d'Orvieto sur les 32 se présentent avec une assise plate et pleine mais cela est dû au caractère inachevé du façonnage, ces 11 *Metae* étant selon toute probabilité promise à un fort évidement de leur base, les portant au type 2F comme les 21 autres exemplaires.

terme. La présence d'un anneau de pose est de fait incertaine. Le type 2 B est rare (6 *Metae* sur 453 soit 1,3%) et attesté en 1 ou 2 exemplaires sur seulement 6 des 45 sites dont 1 atelier (Châbles). Il est probable qu'il corresponde à un état du façonnage interrompu de l'assise alors qu'il se dirigeait vers un type à anneau de pose ou à évidement (2C à 2G). Le type 2B n'est pas attesté à Orvieto.

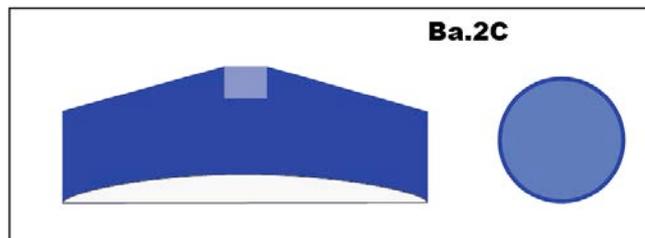
Le type 2C : une arête de pose (Fig.9)

9. L'assise de type 2C correspond à un évidement peu profonde mais très ample qui forme un anneau de pose circulaire réduit à une arête : la base de la *Meta* est évidée depuis le centre jusqu'à son pourtour. L'anneau de pose n'a pas de largeur, la meule repose sur un cercle.

Le type 2C se différencie du type 2D par l'absence de replat périphérique formant anneau de pose. Il se distingue du type 2E par l'absence de parallélisme entre la sous-face et le cône.

Figure 9 : Assise de Type 2C

Le type 2C est la forme d'assise la plus fréquente après le type 2A. Il totalise 58 *Metae* soit 13% du total. Le type 2C est présent sur 26 des 45 sites, autant sur les ateliers (7 sur 13) que sur les sites de consommation (19 sur 32) et sa fréquence y est identique (12% sur les ateliers et 13% dans les assemblages de consommation). Sa distribution est géographiquement très large et presque systématique sur l'arc Méditerranéen mais certaines zones pourraient se caractériser par sa faible fréquence : semble-t-il le Massif Central et l'Auvergne ainsi que l'aire Normandie/Oise.



10. Plusieurs sites se caractérisent par une fréquence élevée en assises 2C, de l'ordre de 30 à 40% : c'est le cas d'Avenches en Suisse et d'Autun Faubourg d'Arroux, ainsi que de Bad Nauheim à l'Est du Rhin, de la région de Nantes, ainsi que de la Provence et d'Ostie. Le type 2C n'est pas attesté à Orvieto.

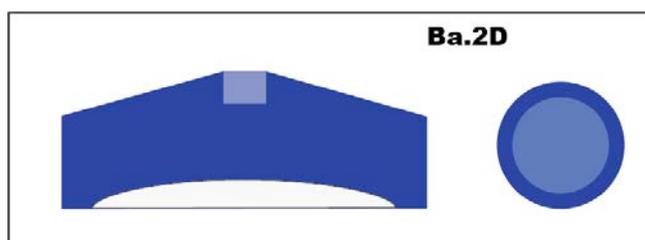
Les plus anciens sites où l'assise de type 2C est attestée sont d'une part (vers le IV^e s. aC) Els Vilars, P. Maho, Lattes, Agde et d'autre part (plutôt vers le II^e s. aC) Blois, la Provence, Martigues et la Picardie ainsi qu'Ensérune pour l'une ou l'autre période.

Les sites se rangent en 2 grandes catégories : ceux dont les *Metae* présentent une assise sur arête du type 2C et ceux, au nombre de 19, où la base 2C est absente. Ces deux catégories se divisent à leur tour en 2 : celles qui associent l'assise de type 2D et celles qui l'excluent.

Figure 10 : Anneau de pose (Type 2D)

L'Anneau de pose : type 2D (Fig.10)

11. L'assise de type 2D présente un anneau de pose prenant la forme d'un méplat ou bandeau périphérique, de 2 ou 3 cm de largeur, en général finement martelé au ciseau large. Un évidement central ample et de profondeur modérée donne naissance à cette surface annulaire de pose. L'avantage de cette opération supplémentaire dans



la chaîne opératoire meulière⁴ est de procurer à tout coup une assise stable à la *Meta*. Par ailleurs comme pour le type 2C, la création d'un plan de pose réduit a pour conséquence une forte augmentation de la pression qui accroît la stabilité de la meule.

Il est donc probable que les *Metae* de type 2D, tout comme celles dotées d'une assise 2C, 2E, 2F ou 2G, ont été façonnées dans la perspective d'être posées sur un support plan et non d'être enchâssées ou encastrées. Ces *Metae* constituent donc un équipement meuble, qui pouvait être déplacé ou mobile (ce qui toutefois ne signifie pas que cela était automatiquement le cas).

12. L'assise 2D totalise 42 *Metae* et sa fréquence moyenne est de 9% (contre 43 au type 2A, 13% à 2C et 12% à 2F). Elle est présente sur 40% des sites (18 sur 45) de manière équivalentes c'est-à-dire sur 5 ateliers sur 13 et sur 13 des 32 sites d'utilisation. Chaque site montre le plus souvent de 1 à 3 *Metae* avec assise de type 2D. Néanmoins un tiers des sites se caractérisent par une forte fréquence, 50% ou plus à Autun, Ostie et Bézannes (Marne) tandis que d'autres montrent une fréquence de 25% comme en région Nantaise, à Peyriac de Mer ou au musée d'Avenches.

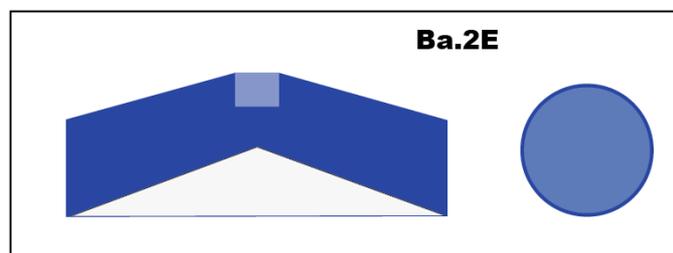
La répartition géographique traduit une structure analogue à celle du type 2C avec une représentation cependant moindre un peu partout, due à la moindre fréquence. L'arc méditerranéen, Provence comprise, semble assez peu doté en assises de type 2C qui se montrent également moins dans la zone Bourgogne/Suisse/Alsace. En revanche l'aire Auvergne/Centre/Loire pourrait constituer une zone de forte occurrence. Les assises à anneau de pose (2D) semblent peu présentes dans la zone Orne/Seine/Oise/Somme, à l'instar des bases sur arête (type 2C).

Les plus anciens sites où l'assise de type 2D est attestée sont d'une part (vers le IV^e s. aC) Alorda Park, P. Maho ainsi que Agde et d'autre part (plutôt vers le II^e s. aC) Le Pâtural en Auvergne, Peyriac-de-mer et Ymonville entre Chartres et Orléans.

Le type 2E : Arête de pose et faces parallèles (Fig.11)

13. L'assise de type 2E se caractérise, comme le type 2C, par un plan de pose sur arête. Mais son originalité réside dans un évidement important qui occupe une proportion notable de la hauteur totale de la *Meta* (en direction de 50%) et surtout qui crée un parallélisme entre la surface de travail et la sous-face intérieure. Le plus souvent, les *Metae* dotées d'une assise de type 2E présentent un œil traversant destiné à faire passer une fiche de réglage d'écartement ou, plus vraisemblablement, un axe moteur. De ce fait les *Metae* à base configurée par le type 2E sont plus sujettes à correspondre à des meules à entraînement hydraulique.

Figure 11 : Arête de pose et faces parallèles (Type 2E)



Le type 2E se différencie du type 2F par le caractère parallèle de ses faces. Ce parallélisme ainsi que l'ampleur de son évidement interne le distinguent des *Metae* à simple large entonnoir inférieur d'entrée de l'axe (type 2G).

⁴ Les *Metae* de type 1, 2A et 3 ne la connaissent pas.

14. L'assise à faces parallèles type 2E est de fréquence modérée (6%) ce qui correspond à 25 bases de *Metae* sur un corpus de 453. Le type 2E est présent, généralement en 1 seul exemplaire, sur 14 des 45 sites et son occurrence moyenne est inférieure à 2 exemplaires par site. Les assises de type 2E sont attestées sur seulement 2 des 13 ateliers (15%) et 12 des 32 sites d'utilisation (37%). Les 2 ateliers sont Els Vilars et Bad Nauheim (Ier s. aC) chacun avec 1 seule base de type 2E.

Trois assemblages se font remarquer pour leur forte fréquence, la cité des Tungri en Gaule Belgique (6 exemplaires sur 21 soit 28%), la ville romaine d'Amiens (4 sur 12 soit 33%) et l'établissement rural laténien du Pâtural en Auvergne (3 exemplaires sur 17 soit 18%).

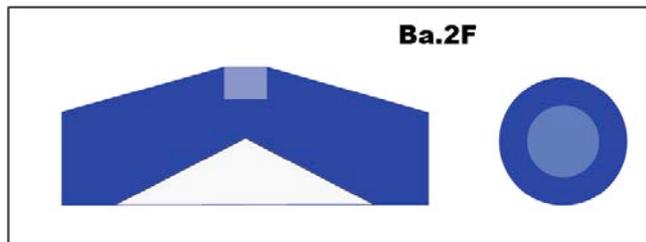
Les assises à faces parallèles de type 2E tendent à s'associer avec le type 2D (anneau de pose).

Les plus anciens sites où l'assise de type 2E est attestée sont d'une part (vers le IV^e s. aC) Els Vilars, P. Maho et d'autre part (plutôt vers le II^e s. aC) Le Pâtural, Ymonville (en Beauce), la Provence ainsi qu'Ensérune vraisemblablement pour cette seconde période.

Le type 2F : Anneau de pose et faces non-parallèles

15. L'assise de type 2F (Fig.12) se caractérise par la présence d'un anneau de pose, une large échancrure de la base et l'absence de parallélisme des 2 faces de la *Meta*, contrairement au type 2E. L'œil peut être ou non traversant. L'assise 2F se distingue de celle de type 2G par la largeur de l'évidement inférieur.

Figure 12 : Arête ou anneau de pose, fort évidement mais faces non parallèles (Type 2F)

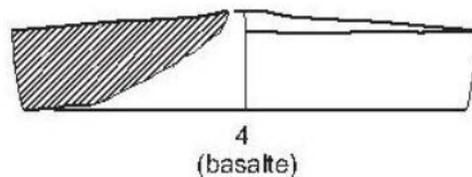


La fréquence moyenn des *Metae* dotées d'une assise de type 2F est de 12%, comparable à celle du type 2C (13%) et à un moindre degré des types 2D et 2E (9 et 8%). Les bases 2F totalisent en effet 55 des 543 *Metae* et sont présentes sur 17 des 45 sites (38%) généralement en 1 ou 2 exemplaires. Elles sont attestées sur 16 des 32 assemblages d'utilisation mais seulement sur 2 ateliers : Le Chaudry (1 *Meta* soit une fréquence de 8%) et Orvieto où la totalité des *Metae* achevées relèvent du type 2F. Avec 21 *Metae* Orvieto fournit d'ailleurs 38% du total du type 2F.

16. Cette rareté des assises 2F sur les ateliers soulève l'éventualité que ce type corresponde à un ajustement de la base (creusement intérieur important) réalisé après la sortie d'atelier et vraisemblablement au stade de l'installation⁵. Il resterait à trouver les motifs de l'importance donnée à l'évidement interne et à voir si ce trait correspond à quelques ateliers (situés hors corpus) ou s'il touche des meules de toutes provenances, ce qui accrédirait l'hypothèse d'un ajustement d'installation.

Figure 13 : exemple d'assise 2F au Pâtural

Mis à part Orvieto, 2 sites se singularisent par une forte proportion des assises 2F : le site rural auvergnat du Pâtural (9 *Metae* sur 17 soit 53% - voir



⁵ Orvieto constituerait une exception et l'on verra (CHAP.15) que ses *Metae*, autant dans le domaine des Meules Rotatives Basses que dans celui des Modèles de Style Pompéien, se caractérisaient par une forte excavation intérieure (He) ce qui constitue un fait unique à ce jour et un marqueur d'Orviétude.

Fig.13) et l'assemblage meulier de la cité romaine des Tongres (7 sur 21 soit 33%). Sur ces deux sites les assises de type 2F s'observent sur des *Metae* réalisées dans des laves⁶ dont la provenance semble homogène, ce qui pourrait favoriser la liaison avec l'atelier (notamment pour l'Eifel) dans le cas où les productions de ce dernier devaient montrer un taux anormalement élevé d'assises de type 2F.

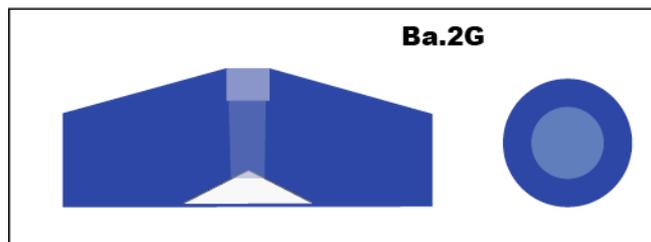
17. Les plus anciens sites où l'assise de type 2F est attestée sont d'une part (vers le IV^e s. aC) Alorda Park et d'autre part (plutôt vers le II^e s. aC) Le Pâtural, la Provence, Martigues ainsi qu'Ensérune vraisemblablement pour l'une ou l'autre période. Cette répartition tend à indiquer que le type 2F n'est pas très ancien et qu'il apparaîtrait plutôt dans un second temps, sur l'intervalle III-II^e s. aC. **On a vu que l'assise 2F est le type exclusif à Orvieto.**

La distribution géographique du type 2F tend à former un vide dans le Centre-Est (Loire/Saône/Rhin alsacien), à former un nuage irrégulier entre Oise et Rhin (ce qui pourrait correspondre à une diffusion à partir de l'Eifel) et à montrer une certaine constance en zone ligérienne (Auvergne/Berry/Nantes-Angers). La rareté sur l'arc méditerranéen pourrait avoir des causes chronologiques, les sites de cette aire inclus à notre corpus étant rarement postérieurs au II^e s. aC.

Le type 2G : Assise pleine à œil traversant et léger entonnoir

18. L'assise de type 2G (**Fig.14**) n'est autre qu'une base plate et pleine dans laquelle l'œil traversant s'ouvre par une légère échancrure en forme d'entonnoir. Si cette ouverture est d'un diamètre restreint correspondant à celui de l'œil alors l'assise est de type 2A. Si l'ouverture est large mais basse le type sera 2D (à anneau de pose), si l'ouverture est large et remonte profondément alors le type sera 2F (2E si les faces sont parallèles).

Figure 14 : Assise plate à faible ouverture au débouché inférieur de l'œil



L'assise à faible échancrure 2G regroupe 34 *Metae* sur les 453 du corpus, sa fréquence moyenne est donc de 8%. Elle est attestée généralement en 1 ou 2 exemplaires sur 18 des 45 sites dont 2 des 13 ateliers (15%) et 16 des 32 sites d'utilisation (50%). On note donc comme pour le type 2F un contraste entre une occurrence faible sur atelier et nettement plus visible sur les sites de consommation. La fréquence moyenne en atelier est de 9% mais elle est variable (1 sur 26 au Chaudry soit 4% et 3 sur 19 à Bad Nauheim soit 16%). Elle est la même sur les sites d'utilisation où elle varie également fortement.

Trois sites se caractérisent par une très forte présence des assises de type 2G, avec une fréquence située autour de 40% à Ymonville (Beauce, LT-C/D, 4 *Metae* sur 9) et dans la même zone, sur la ville gallo-romaine de Chartres (3 *Meta* sur 7)⁷, enfin sur le site urbain également de Bavay dans le Nord (6 *Metae* sur 17). Ces deux cas urbains de période romaine pourraient indiquer un lien entre les assises de type 2G et le caractère industriel des installations voire avec une motion hydraulique des moulins correspondants. Si cela était vérifié, cela soulèverait

⁶ Sur les 7 exemplaires tongres, 5 sont fabriquées dans une lave de l'Eifel et 2 dans une lave non provenancée.

⁷ Toutefois ce fort pourcentage est sans doute lié au fait que l'assemblage prenne en compte les meules d'un seul site (Chartres-Cinéma), il serait probablement considérablement abaissé dans l'assemblage urbain antique global.

l'hypothèse du caractère hydraulique des meules à base 2G du site rural laténien d'Ymonville en Beauce.

19. Parallèlement, de nombreux autres sites montrent une fréquence du type 2G située sur 15 ou 20%. L'explication pourrait être d'ordre chronologique. La répartition géographique montre une quasi-absence sur l'arc méditerranéen ainsi que dans la zone Sud-Bourgogne/Suisse/Rhin alsacien et Eifel). En revanche le type 2G apparaît surtout dans l'aire Eure/Sud Seine/Oise/Somme et au Sud de l'arc ligérien. Les plus anciennes attestations des assises de type 2G se rencontrent au Pâtural (Auvergne), à Ymonville (Beauce) et à Bibracte-Le Rebout ainsi qu'en de rares exemplaires à Ensérune et Pech Maho dans le Midi et, pour ces deux sites, sans doute pour les phases situées autour de 200 aC.

Il est ainsi probable que les assises de *Meta* de type 2G soient apparues assez tardivement, au cours de la période LT-C/D soit l'intervalle II^e-I^{er} aC, ce qui correspond à la chronologie d'apparition de l'œil traversant (voir **CHAP.21**). Cette chronologie expliquerait la quasi-absence du type dans les assemblages de la zone méditerranéenne de notre corpus.

La rareté des assises 2G sur les ateliers indiquerait que ces dernières étaient souvent créées lors de l'installation et à partir de bases massives planes de type 2A. Le petit entonnoir formé au débouché inférieur du conduit de l'œil correspondrait à une action limitée de taille de pierre préparatoire à la réalisation de l'œil (sans doute par forage lorsque son diamètre est étroit ou par taille à la pointe lorsqu'il atteint ou dépasse une envergure de 6 cm).

Le type 3 : Assise convexe (Fig.15)

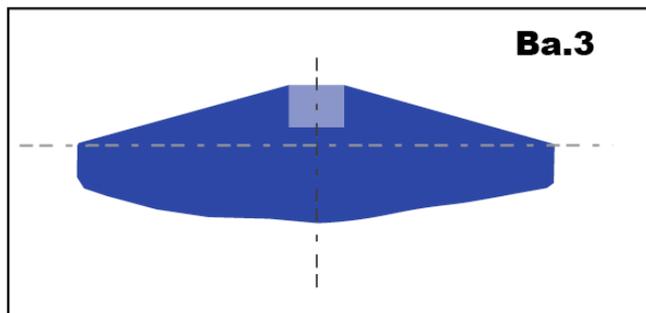
20. L'assise de type 3 (ou Ba.3) se caractérise par son caractère convexe. La *Meta* ne peut être posée et doit obligatoirement être calée dans un cadre rempli d'argile, de sable ou de gravier ou bien être enchâssée dans un bâti charpenté, une table, une banquette de terre crue ou un massif maçonné au sol.

Figure 15 : Assise convexe (type 3)

Le type convexe 3 (Fig.15) est présent, généralement en 1 ou 2 exemplaires, sur 33 des 453 bases de *Metae* du corpus et sur 16 des 45 sites. Sa fréquence moyenne est de 7%, analogue en cela à celle des types 2D, 2E et 2F.

Cette assise est observable sur 4 des 13 ateliers pour un total de 9 exemplaires sur 124 soit 7%, cette fréquence moyenne étant la même pour les 16 sites de consommation sur 32 où elle est également attestée. Les ateliers sont Els Vilars (1 *Meta* sur les 4), le Hertfordshire (1 *Meta*), Avrilly (6 *Metae* sur 7) ainsi que Bad Nauheim à l'Est du Rhin (3 sur 19 *Metae*). Quatre sites se signalent par une fréquence élevée en type 3 : l'atelier d'Avrilly en Normandie (fréquence 86%), l'assemblage romain d'Amiens (6 *Metae* sur 18 soit 66%), l'assemblage laténien de la Picardie (POMMEPUY 1999) avec 5 sur 23 (fréquence 22%), ainsi que, bien plus au Sud, le site languedocien de Peyriac-de-Mer (3 *Metae* sur les 12 soit 25%).

On peut en conclure que l'assise convexe est apparue sur l'arc méditerranéen dès la période molinologique ancienne (V-IV^e s. aC) comme en témoignent d'abord le site d'Els Vilars, où ces *Metae* étaient probablement insérées dans un massif maçonné au sol, puis celui de Peyriac (sans doute plutôt vers le II^e s. aC). A une période ultérieure -globalement aux I^{er} s. aC et I^{er} s. pC- l'assise convexe caractérise surtout les meules en dôme de l'aire anglo-



normanno-picarde (atelier augustéen d'Avrilly, assemblage laténien de Picardie, assemblage antique d'Amiens, enfin Hertforshire anglais au Ier s. pC). Ailleurs, le caractère sporadique des assises de *Meta* de type 3 pourrait correspondre à des accidents extractifs, sans doute non corrigés car la meule était écastrée et non pas posée.

2. Les Assises des *Metae* façonnées sur les Ateliers ou lors d'une phase hors atelier ?

Après avoir défini le profil typologique des assises des *Metae* des 45 assemblages du corpus (13 ateliers et 32 sites d'utilisation soit un total de 453 base de *Metae*) nous sommes en mesure de procéder à une première comparaison pour déterminer des séries d'assemblages similaires. On peut également opérer un examen chronologique.

21. Une fois ordonné selon les similarités (*infra* Fig.17)⁸, le tableau présente une tendance à la diagonalisation plutôt typique des partitions (DJINDJIAN 1991, chapitre 9) ou sériations complexes. On pressent en effet à travers le tableau une composition complexe faite de groupes spatialement et chronologiquement différents mais pouvant partager des traits ou une structure commune. La matrice laisse par exemple entrevoir une combinatoire d'association et exclusion, notamment entre les types majeurs 2C et 2D, qui sont techniquement analogues⁹ le premier étant la *Meta* à plan de pose sur arête et le second à plan de pose annulaire.

Ainsi, une fois écarté le Type 2A, qui est quasi systématiquement présent, la matrice montre 4 grandes classes : les assemblages composés exclusivement d'assises 2C, ceux associant les types 2C et 2D, ceux composés uniquement du type 2D, enfin les assemblages qui ne présentent aucune base de type 2C ou 2D. Ces classes sont à peu près de même importance quantitative (Fig.16) à l'exception de la catégorie « ni 2C ni 2D ».

	assemblages concernés	% des Assemb	Nombre d'ateliers	% des Ateliers	effectif	Total <i>Metae</i>	% des <i>Metae</i>	Total du type	% du Type
TYPE 2C seul	15	33%	3	23%	27	147	32%	58	47%
TYPE 2D seul	7	16%	1	8%	14	87	19%	42	33%
TYPE 2C-2D associés	11	24%	4	31%	59	128	28%	100	59%
ni 2C ni 2D	11	24%	5	38%	-	78	17%	0	-

Figure 16 : Effectifs et pourcentages des 4 classes formées sur la base de la présence ou absence des types 2C et 2D

22. Il est clair que cette table des assemblages meuliers définis par un profil typologique des assises de leurs *Metae* pourrait faire l'objet d'une analyse en composantes principales suivie d'une classification hiérarchique ascendante. Mais il faudrait sans doute auparavant définir les types un peu moins empiriquement en les transformant en présence/absence d'une série précise de traits (base formant ou non assise, largeur et hauteur du creusement intérieur, œil traversant ou non, géométrie de la sous-face), la pratique

⁸ Cette matrice a été ordonnée manuellement sur Excel et peut sans doute être améliorée ou présentée selon des options variées.

⁹ Un évidement peu profond portant dans un cas (2C) sur la totalité de l'assise, dégageant alors une simple arête de pose, et dans l'autre cas (2D) ménageant un anneau de pose périmétral. 2D réclame une opération supplémentaire qui est le martelage de régularisation de l'anneau au ciseau large.

marquant parfois des hésitations entre les types 2A/2G ou 2E/2F¹⁰. Il faudrait surtout peut-être ne pas limiter la classification aux seules assises et plutôt entrer dans celle des *Metae* elles-mêmes. Nous pensons qu'avant d'entreprendre de telles démarches il était préférable de les préparer par une réflexion décomposant les Meules Rotatives Basses et tentant d'en dégager les paramètres significatifs.

23. Se manifestent aussi parmi ces 45 assemblages des profils similaires, presque des répliques. Par exemple, dans le haut du tableau, les assemblages « Blois La Croupe » et « varia Languedoc » montent un profil identique (2A + 2C) alors que chronologiquement et culturellement ces deux ensembles n'ont rien à voir. C'est également le cas des assemblages similaires (2A + 2C + 2D) des ateliers de Portus (Bourgogne) et Agde (Languedoc côtier). Il s'agit en réalité de communauté morphologique et technique dont les traits peuvent être partagés à travers le temps et l'espace, ce qui est déjà une donnée, laquelle signale en premier lieu le caractère a- ou peu chronologique du profil des assises d'un assemblage. Le traitement des types un par un (fréquence et spatialité) s'avère d'ailleurs, comme on l'a vu dans les premières pages de ce chapitre, potentiellement plus informatif que celui du profil par assemblage.

24. Nous nous arrêtons là dans cette exploration des assises des meules dormantes antiques, l'approche chronologique apporte quelque éclairage même si la chronologie est peu précise et les assemblages plus d'une fois composites ou correspondant à des durées qui en diminuent l'intérêt. Nous disposons en effet d'un ordre chronologique tendanciel des assemblages. La matrice peut donc être ordonnée selon cet ordre (Fig.18) et non plus par groupes de similarité. La caractéristique saillante qui se dégage lorsque l'on examine la matrice ordonnée chronologiquement (Fig.18), est que les différents types d'assise ne varient pas selon la chronologie, ils n'ont pas de signification chronologique. Une exception se dégage cependant à propos de l'assise convexe (type 3). Elle tend en effet à être systématiquement présente à la période molinologique ancienne (Période 1) puis ses occurrences tendent à diminuer pour devenir rares en période romaine. Ses plus fortes fréquences (Picardie, Avrilly, Peyriac et Reims) se situent entre 200 aC et le début de l'époque impériale, période à laquelle se placent sans doute les *Metae* de type 3 de l'assemblage Reims 2011. En effet, à l'exception de Peyriac, ce type d'assise correspond pour ces 3 sites à des meules en dôme de type anglo-normand.

25. La seconde remarque qui peut être formulée au-delà du caractère a-chronologique de la forme des assises de *Metae*, concerne le comportement dans le temps des types 2E, 2F et 2G. En effet, ces 3 types de traitement semblent avoir connu une première vogue en période ancienne (Périodes 1 et 2 soit *grosso modo* de 500 à 200 aC) puis un renouveau à l'époque romaine (Période 4). Cela pourrait correspondre à une signification ou à un rôle différents revêtus par ces types d'assises à ces deux moments.

¹⁰ Il nous semble notamment qu'on aurait intérêt à distinguer lorsque les Types 2E, 2F et 2G sont associés ou non à un œil traversant (par exemple en créant une variante 2ET pour chacun).

Figure 17 : Matrice ordonnée des spectres typologiques des assises de *Metae*

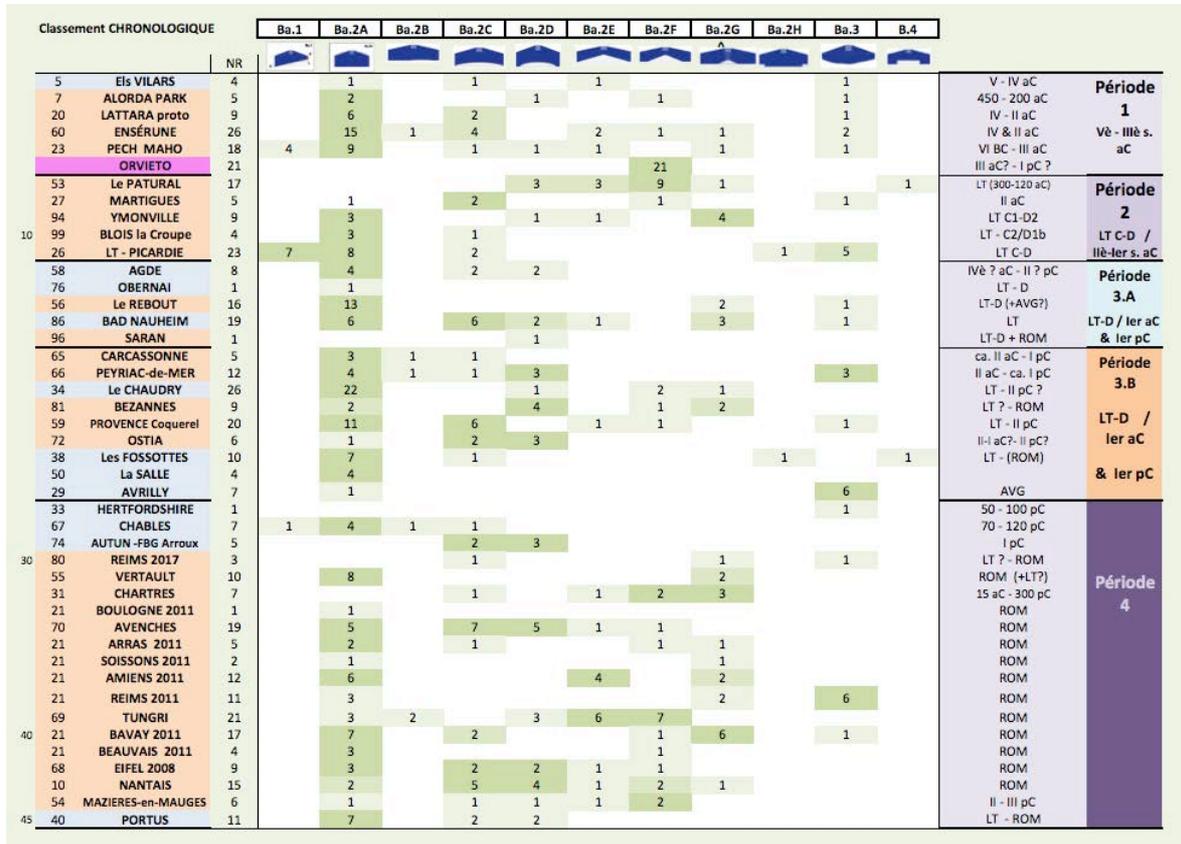
Profil TYPOLOGIQUE des ASSISES			2A	2C	Ba.2D	Ba.2F	Ba.2E	Ba.2G	Ba.3	Ba.2H	METAE
67	CHABLES	7	1	4	1	1					
99	BLOIS la Croupe	4		3		1					
20	LATTARA proto	9		6		2			1		
71	varia LANGUED-PROV.	2		1		1					
65	CARCASSONNE	5		3	1	1					
38	Les FOSSOTTES	10		7		1				1	1
40	PORTUS	11		7		2	2				
58	AGDE	8		4		2	2				
74	AUTUN -FBG Arroux	5				2	3				
10	72 OSTIA	6		1		2	3				
	66 PEYRIAC-de-MER	12		4	1	1	3			3	
	68 EIFEL 2008	9		3		2	2	1	1		
	70 AVENCHES	19		5		7	5	1	1		
	54 MAZIERES-en-MAUGES	6		1		1	1	2	1		
	10 NANTAIS	15		2		5	4	2	1	1	
	86 BAD NAUHEIM	19		6		6	2		1	3	1
	23 PECH MAHO	18	4	9		1	1		1	1	1
	94 YMONVILLE	9		3		1		1	1	4	
	81 BEZANNES	9		2		4	1			2	
20	34 Le CHAUDRY	26		22		1	2			1	
	7 ALORDA PARK	5		2		1	1			1	
	69 TUNGRI	21		3	2	3	7	6			
	53 Le PATURAL	17				3	9	3	1		1
	21 AMIENS 2011	12		6				4	2		
	60 ENSÉRUNE	26		15	1	4		1	2	1	2
	31 CHARTRES	7				1		2	1	3	
	21 ARRAS 2011	5		2		1		1		1	
	21 BAVAY 2011	17		7		2		1		6	1
	5 Els VILARS	4		1		1		1		1	
30	59 PROVENCE Coquerel	20		11		6		1	1		1
	27 MARTIGUES	5		1		2		1			1
	26 LT - PICARDIE	23	7	8		2				5	1
	80 REIMS 2017	3				1				1	1
	29 AVRILLY	7		1						6	
	56 Le REBOUT	16		13					2	1	
	21 REIMS 2011	11		3					2	6	
	55 VERTAULT	10		8					2		
	21 SOISSONS 2011	2		1					1		
	50 La SALLE	4		4							
40	21 BOULOGNE 2011	1		1							
	76 OBERNAI	1		1							
	96 SARAN	1				1					
	33 HERTFORDSHIRE	1								1	
	21 BEAUVAIS 2011	4		3							
45	ORVIETO	21					1				21

La base 2G est constituée d'une assise plate et pleine qui, en raison d'un œil traversant montre une légère échancrure au débouché inférieur de celui-ci. Sa présence est quasi systématique en période romaine où elle accompagne l'expansion de l'œil traversant, très probablement en relation avec le développement de la motricité hydraulique. Aussi sa présence sur 4 des 11 sites des Périodes anciennes 1 et 2 pose la question de la précocité de certains œils traversants, notamment celle de savoir s'ils étaient alors liés à un entraînement hydraulique ou par exemple à un simple système de réglage d'écartement.

Les bases 2E et 2F correspondent à des *Metae* munies d'un large et profond évidement de l'assise, le type 2E s'accompagnant d'un œil traversant et relevant souvent de la motion hydraulique. Même si la forte fréquence des assises 2F à Orvieto correspond à un cas particulier, là encore la forte occurrence de ce type aux périodes 1 et 2 interroge quant à la

possibilité d'un entraînement hydraulique précoce (petit moulin à rodet) notamment sur le site du Pâtural où les 2F présentent un œil traversant.

Figure 18 : Matrice ordonnée chronologiquement des profils typologiques des assises de *Metae*



26. La comparaison entre le profil typologique global des ateliers et celui des sites d'utilisation des meules montre (Fig.19) l'absence de différence des deux profils. Autrement dit, l'assise des *Metae* est configurée définitivement sur les lieux de production et globalement aucun traitement ne vient modifier cette base au cours des phases de diffusion, installation et utilisation des meules.

Cependant une nuance doit être apportée :

- . il semble que le type 2E (Fig.20), à large évidemment et faces parallèles, connaisse une croissance entre la phase atelier et la phase utilisation puisque sa fréquence passe alors de 2% à 7% (soit de 2 à 23 individus) ;
- . le même phénomène se produit avec le type similaire 2F qui, si l'on retire le cas particulier d'Orvieto, passe de 2% en atelier à 10% en utilisation (de 2 à 32 exemplaires) ;
- . enfin une même augmentation s'observe pour les assises de type 2G qui passe d'une fréquence atelier de 3% à une fréquence utilisation de 9% (soit de 4 à 30 individus).

Figure 19 : Histogrammes comparés de la fréquence des types d'assise sur les ateliers (en bleu) et sur les sites d'utilisation (en orange)

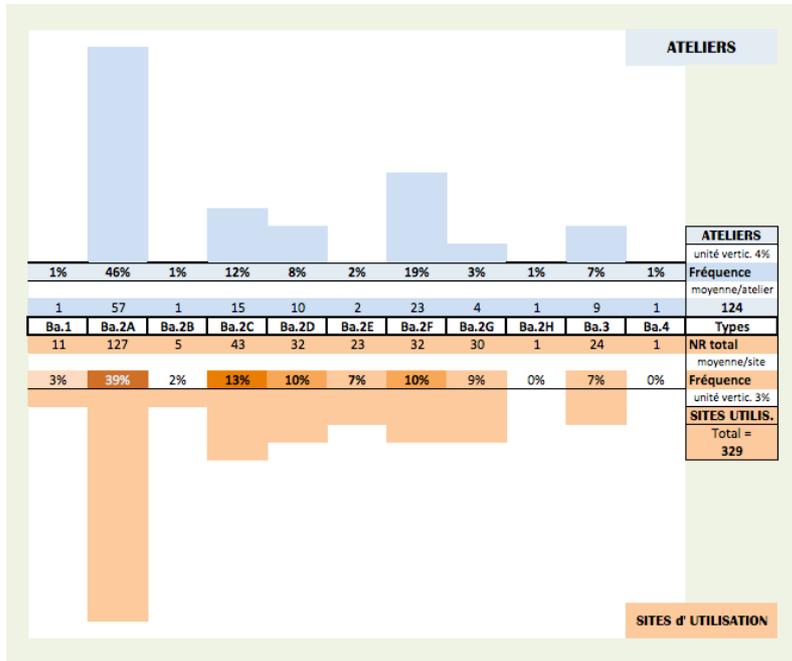
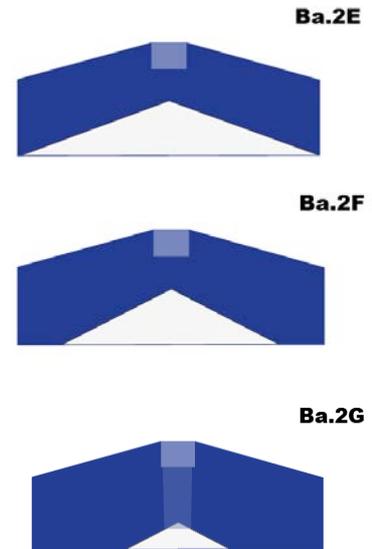


Figure 20 : rappel des types 2E, 2F et 2G



En conclusion, il apparaît ainsi que les 3 types d'assise des *Metae*, 2E, 2F et 2G, le plus souvent liés à un œil perforant voire à la motion hydraulique, sont créés postérieurement au façonnage en atelier et hors des lieux de production, très vraisemblablement au moment de l'installation du moulin ou peu avant, en ce cas dans des ateliers permanents ou provisoires chargés d'apporter aux meules des ajustements en lien avec leur utilisation et sans doute leur mode d'entraînement.

A l'exception de cette série, qui représente un total de 26%, l'essentiel des assises des *Metae* (63%) correspondent à 3 types (2A, 2C et 2D) de chronologie et de fréquence constantes qui sont essentiellement une base plate et pleine à traitement relativement brut (2A) et deux bases à plan de pose périphérique, l'un annulaire (type 2D fréquence moyenne 9%) et l'autre à plan de pose en arête périmétrale (type 2C fréquence moyenne 13%). Ces trois assises sont confiturées en atelier et ne connaissent pas de variation liée à la mise en service des meules, sauf le type 2A dont la fréquence décroît légèrement (de 46% en atelier à 38% sur les sites d'utilisation) vraisemblablement parce qu'il sert à créer les types finalisés 2E, 2F et 2G.

CHAPITRE .16

L'Evidement (Hc) de l'assise des *Metae* à Orvieto

_____ **L'**une des particularités des fabrications meulières d'Orvieto, tant pour les *Metae* Rotatives Basses que pour celles du Style Pompéien, réside dans l'existence d'un important évidement de leur base. Cet enlèvement de matière, généralement obtenu à la broche ou semble-t-il par percussion lancée pour certains modèles Pompéiens, a pour effet de dégager un plan de pose annulaire de l'ordre de 6 cm de largeur. Il en résulte que la *Meta* exerce sur le support une pression nettement augmentée par rapport à celle d'une meule à base pleine. Accessoirement cet Evidement interne de l'assise fait remonter le centre de gravité de la *Meta* vers sa moitié supérieure. Ces paramètres mériteraient d'être pris en compte dans une approche de la mécanique et de la statique des meules et des moulins en rotation.

_____ **C**et Evidement de la base des *Metae* Rotatives Basses apparaît en l'état des données comme une spécificité des fabrications orviétanes, même si une assise annulaire obtenue par un Evidement, toujours limité, de l'assise est fréquemment noté sur les MRB d'ailleurs surtout en dehors des Ateliers (nos Types 2E à 2F inclus -cf. CHAP. 15).

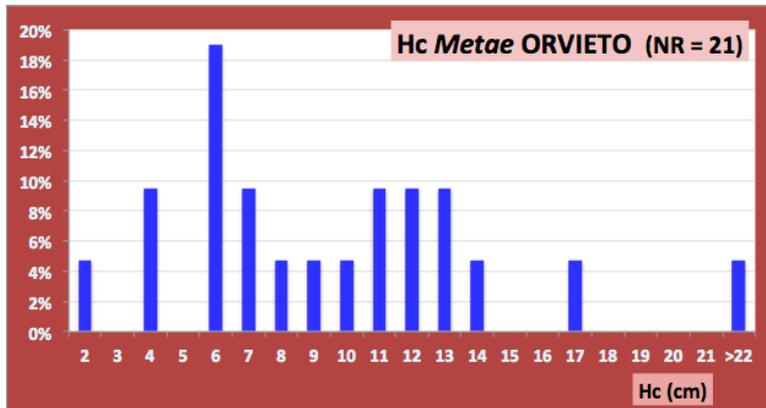
_____ **O**n examine dans ce Chapitre la Hauteur (en cm) de cet Evidement ainsi que sa valeur métrologique (en Palme ou demi-Palme) et surtout sa relation à la Hauteur totale des *Metae*. Il s'agit notamment de savoir si la Hauteur de l'Evidement (Hc) est une grandeur fixe ou proportionnelle. On cherche aussi à savoir si Hc répond à une ou plusieurs Normes, ou encore si sa réalisation procédait de manière aléatoire ou par paliers réguliers et jaugés.

1. Dimensions & Distribution de la Hauteur d'Evidement interne (Hc)

1. La documentation que nous avons réunie pour Orvieto met à notre disposition 32 *Metae* Rotatives Basses. Elle permet de disposer de 32 mesures de Hauteur et de 20 mesures de l'Evidement intérieur de la base de la meule (Hc) soit 2/3 du total. En effet, pour 6 *Metae* (19%) le rebut est intervenu avant que cet évidement n'ait été entrepris et pour 4 autres *Metae* (12%) la base n'a pu être observée.

2. La Hauteur d'Evidement H_c s'étend de 2 à 17 cm mis à part une valeur éloignée (22 cm ou plus). La moyenne des évidements s'établit à 8,88 cm, valeur qui correspond à un creux de la distribution entre 2 pics (FIG.1). On observe en effet un premier pic de fréquence sur 6 cm (en réalité 6-7 cm pour une moyenne de 6,25 cm) et un second pic sur 12 cm (en réalité 11-13 cm pour une moyenne de 12,15 cm).

FIG. 1 Distribution des Hauteurs de l'Evidement de la base des *Metae* (H_c) à Orvieto



Chacun de ces pics regroupe 6 mesures soit 28,5% des effectifs et ces deux fréquences majoritaires totalisent 57% de l'ensemble. Le reste se répartit pour moitié entre ces 2 pics et, pour $\frac{1}{4}$, avant (2 et 4 cm) ou au-delà (14 et 17 cm).

2. Ces deux Hauteurs d'Evidement récurrentes que sont 6 et 12 cm pourraient correspondre 2 Normes constituant soit 2 états de l'Evidement, soit 1 état d'avancement intermédiaire et un état final. Nous les désignons par N.1 (6 cm) et N.2 (12 cm).

Il convient ainsi d'examiner en premier lieu si la Norme 1 (6 cm) correspond à des *Metae* de faible Hauteur tandis que N.2 serait attachée aux *Metae* plus épaisses.

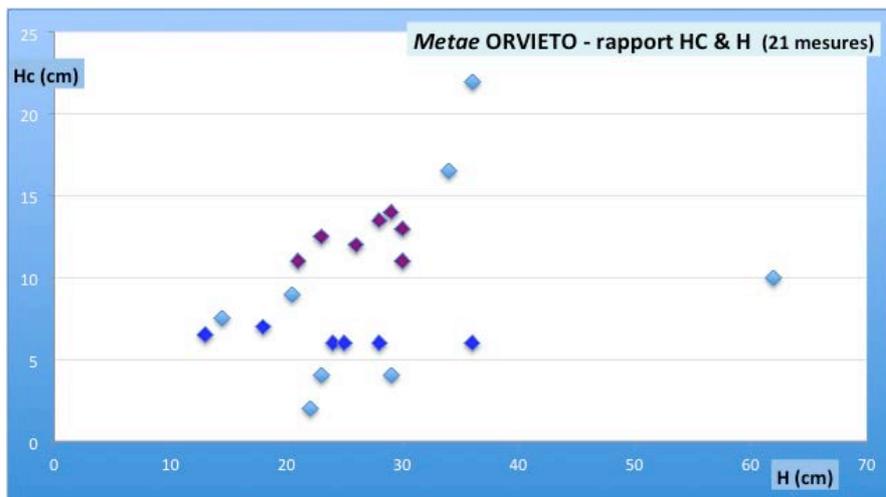


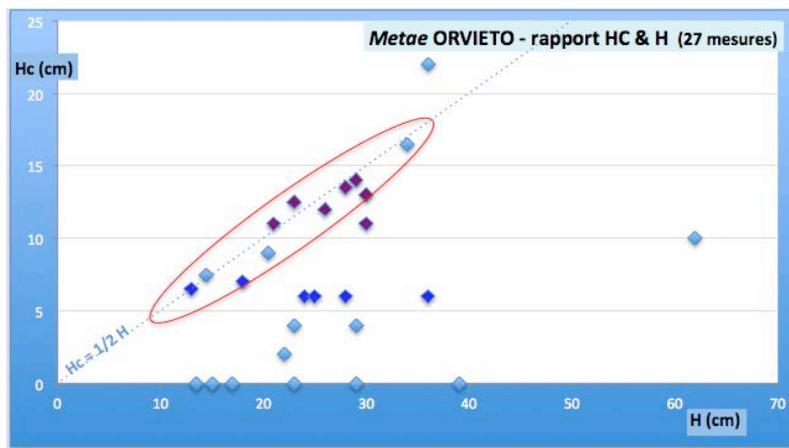
FIG. 2 Diagramme croisant Hauteur (H) et Hauteur d'Evidement (H_c) des *Metae* d'Orvieto

3. Le diagramme croisé de H_c avec H (FIG.2) montre que les Evidements N.1 (figurés en bleu vif) occupent tout l'éventail des Hauteurs des *Metae* (13 à 36 cm), la "Norme 1" n'est donc pas liée aux petites Hauteurs. Parallèlement, N.2 occupe un large spectre des Hauteurs (de 21 à 30 cm) à l'exception des petites (13-20 cm) et des plus grandes. Les 2 valeurs récurrentes détectées N.1 et N.2 ne constituent donc pas des Normes : N.1 correspond en effet à la plus petite valeur des H_c achevées et N.2 à l'Evidement achevé des *Metae* hautes de 10 à 30 cm qui sont les plus fréquentes.

2. Etat final & Etat intermédiaire de l'Evidement (Hc) de la base des Metae

4. L'examen attentif du diagramme croisé H/Hc fait apparaître, à travers les maxima atteints par Hc pour chaque Hauteur (FIG.3), que l'état final de Hc correspond en fait à la moitié de la Hauteur de la Meta ($H_c = 1/2H$) ceci pour une large partie (au moins 50%) sinon pour toutes les Metae. En effet, aucun Evidement (Hc) n'est supérieur à $1/2H$. Ce groupe des maxima associé à des Evidements N.1 tous les Evidements N.2, confirmant que ces deux valeurs récurrentes ne sont pas des Normes, toutes les N.2 correspondant en revanche à des Hc achevées.

FIG. 3 Maxima de Hc pour les différentes Hauteurs des Metae d'Orvieto (dont les 6 Hc = 0)



4. A mesure de leur avancement, les faibles Evidements (situés au bas de la FIG.3 autour de Hc 5 cm) sont ainsi susceptibles de migrer dans le groupe des valeurs situées sur la ligne $H_c = 1/2H$. C'est notamment le cas de plusieurs exemplaires faiblement excavés et qui portent des traces grossières (cf. photos en FIG.4 et 5). Cependant l'état

d'ébauche ne permet pas d'affirmer avec certitude que tous les Evidements parvenus à leur point d'achèvement aient répondu à la Norme $H_c = 1/2 H$.

FIG. 4 Clichés d'assises de Metae d'Orvieto dont la faible Hc traduit l'inachèvement de l'Evidement entrepris

FIG-4.A Meta R.41 -D.37 cm, base en cours d'Evidement, avec traces de broche filante L'anneau de pose reste épais, occupant près de la moitié du Diamètre inférieur de la Meta



FIG-4.B Meta R.16-31 -D.33 cm, début d'Evidement, l'anneau de pose est à ce stade très épais et le creusement central étroit

FIG-4.C *Meta* R.16-32
D. 34,5 cm
Evidement très similaire à celui de la *Meta* R.16-31



FIG-4.D *Meta* R.30-14
D.35 cm Finition avancée,
Evidement sans doute inachevé, cassure du flanc

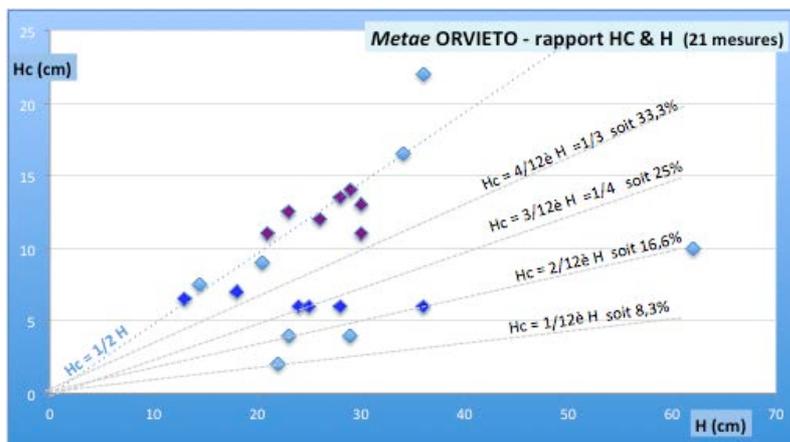
FIG. 5 Base de la Grande *Meta* R.39-1
Diam. 48 cm H. 36 Conicité 14°

Evidement en cours (Hc. 6 cm) avec traces radiales de broche filée, creusement à profil hémisphérique
La Largeur de l'Anneau de pose est probablement définitive (5 à 6 cm)



5. Le diagramme croisé de Hc et H montre par ailleurs (FIG.6) que l'Evidement de la Base des *Metae* d'Orvieto a peut-être été réalisé par tranches de 1/12è de la Hauteur de la meule (ou par 6è de Hc finale).

FIG. 6 Répartition des valeurs observées de Hc par rapport aux 12è de la hauteur de la *Meta*



6. Le caractère de *continuum* montré par les valeurs en cm des Evidements de la Norme $H_c = 1/2 H$ rend probable que Hc soit une valeur proportionnelle et non une valeur fixe, mesurée en DGT ou en Pouces. Cela paraît confirmer le lien de proportionnalité assez étroit régulièrement observé entre Diamètres et Hauteurs des Meules.

7. Enfin, concernant la spatialité ou la chronologie des aires de fabrication à Orvieto, on notera deux particularités :

. le site R.10 (secteur de Pietramata au Sud-Est) qui compte de nombreuses *Metae* (8 sur les 32) montre un fort taux d'Evidements non débutés (4 exemplaires), au point que l'on peut se demander si certaines *Metae* ne présentaient pas une base plane (notre Type 2A –cf. CHAP. 15). Trois de ces quatre *Metae* sans Evidement présentent un Diamètre assez fort (42 et 40 ou >37 cm) puisque la grande majorité des envergures de *Meta* d'Orvieto se situe entre 29 et 35/36 cm. En revanche leurs Hauteurs correspondent à toutes les catégories (17/23/25/39 cm) ;

. le second point notable a trait au site R.16 (secteur Nord, entre Sugano et Trinità) dont 4 des 7 Evidements sont supérieurs à 10 cm (11/12/13/13,5 cm). Il s'agit de 4 *Metae* de forte Hauteur (4 Palmes et respectivement 30/26/30/28 cm).

3. Conclusions

8. Les meuliers d'Orvieto pratiquaient un Evidement semble-t-il systématique de l'assise des *Metae* Rotatives Basses. La Hauteur de cet Evidement constitue très probablement une grandeur proportionnelle à la Hauteur de la meule elle-même. Cette pratique s'observe également sur les *Metae* de Modèle Pompéien du site, dont la production pourrait avoir démarré postérieurement à celles des MRB.

9. A Orvieto cet Evidement est observé à des stades variés d'avancement. Sur la moitié des exemplaires la Hauteur d'Evidement (H_c) atteint la moitié de la Hauteur de la *Meta*, sans jamais la dépasser. Il apparaît ainsi probable que dans la moitié des cas sinon dans tous, l'Evidement ait obéi à une Norme dont la valeur était $H_c = \frac{1}{2} H$.

Le fort Evidement de l'assise des *Metae* Rotatives Basses est à ce jour inconnu en dehors des productions orviétanes, il constitue donc une signature des fabrications d'Orvieto. Il est en revanche courant sur toutes les *Metae* de Style Pompéien qu'elles proviennent ou non d'Orvieto.

On ne peut dire que ce creusement intérieur ait constitué un trait technique ou culturel attaché à une phase initiale ou de tâtonnement puisque d'une part il affecte toutes les *Metae* Rotatives Basses -dont la production correspond selon toute vraisemblance à une certaine durée sinon à plusieurs officines ou aires de fabrication non automatiquement synchrones- et que d'autre part il caractérise également les *Metae* de modèle Pompéien, ceci jusqu'en période impériale (modèle géant).

10. Cet Evidement de l'assise a été appliqué de manière similaire à la fois sur les *Metae* Epaissees (20 à 30 cm et parfois 36) ou minces (13 à 18 cm). Il affecte donc tant les *Metae*-support que celles de faible Epaisseur où la Hauteur Passive est réduite à son minimum. Il n'est donc pas lié à l'importance du développement d'une *Meta* en hauteur.

11. Un Evidement d'une telle ampleur, qui dépasse les quelques cm usuels, semble absent des sites Ibériques du foyer originel même si les *Metae*-support y sont connues (sites de Margalef, Medicina, Turò de Ca'n Olivé, Els Vilars d'Arbeca, Puig Castellar -ALONSO, PEREZ 2014, p.244). Il est probablement aussi absent des rares MRB particulièrement épaisses tel l'exemplaire 149 de Borken en Allemagne (WEFERS 2012, n°149 PL.24 et dossier photos : H.29 cm).

12. Le creusement de la base a pour conséquence la formation d'un Plan de Pose annulaire qui augmente la pression exercée par le moulin sur son support. Cet aménagement apparaît défavorable à une pratique d'enchâssement de la *Meta* dans le sol ou dans un support

maçonné comme il a été observé sur les sites ibériques (ALONSO, PEREZ 2014, p. 245). Toutefois il convient de noter que la création d'un Anneau de pose peut tout autant être obtenue, comme il est fréquent sur les MRB, par un Evidement beaucoup plus modéré de la base. La raison de l'importance de l'enlèvement de matière à la racine des *Metae* d'Orvieto est probablement à rechercher dans un autre champ de causalité.

L'Evidement de l'assise entraîne également une remontée du centre de gravité de la *Meta*, le rapprochant de celui du *Catillus*. Cet effet favorise à priori une certaine instabilité de la *Meta* et notamment sans doute les tendances à l'oscillation durant la rotation. Cette montée du centre de gravité ainsi que celle de la pression sur le support mériteraient d'être ultérieurement enquêtées par des études portant sur la mécanique et la statique du Moulin Rotatif Bas.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO, PEREZ 2014 – WEFERS 2012 –

TABLE des DONNÉES - Hc des *Metae* d'Orvieto

ORVIETO - MRB METAE							Hauteur de l'Evidement Hc					
METAE	DIAMETRE (cm)		HAUTEUR		IREC D/H (D.Max)	ANGLE	HC.	Norme de Hc	HC / H	avancement de HC (sur 50%)	inachevé ou sub-achevé	
	REF.	D.Base	D. Sup	cm								Palme
R.16-37	29	31,5 - 32	13	2	246%	12°	6,5	N.1	50%	100%	achevé	
R.16-20	-	30 - 31	13,5	2	230%	9°	0					
R.40-1	ca.29	29	14,5	2	200%	14°	7,5		52%	100%	achevé probable	
R.16-21	32,5	32,5	15	2	217%	-	0					
R.10-3	30,5	-	17	2,5	179%	-	non obs.					
R.10-17	40	34 - 36	17	2,5	235%	10°	0					
R.43-10	31	36	17	2,5	212%	12,5°	ca. 2		ca.12%	ca.1/4	inachevé	
R.43-11	28	30	18	2,5	167%	11°	7	N.1	39%	3/4	à achever ?	
R.31-1	36	36	20	2,75	180%	18°	non obs.					
10 R.43-8	28 ?	28	20	2,75	140%	23°	non obs.					
R.13-21	32	33	20,5	3	161%	21°	9		44%	100%	achevé probable	
R.10-36	28-29	29	21	3	138%	17°	11	N.2	52%	100%	à achever ?	
R.40-19	29	30	22	3	136%	11,5°	2		9%	1/6è	inachevé	
R.10-34	32,5	34	23	3,25	148%	13 - 14°	0					
R.13-7	37	37	23	3,25	161%	19°	12,5	N.2	54%	100%	achevé probable	
R.10-9	ca. 30	37	23	3,25	161%	10°	4		17%	1/3	inachevé	
R.16-32	28	32	24	3,5	133%	10°	6	N.1	25%	1/2	inachevé	
R.16-31	30	32 - 34	25	3,5	136%	10°	6	N.1	24%	1/2	inachevé	
R.16-23	30	34,5	26	3,75	133%	10°	12	N.2	46%	100%	achevé possible	
20 R.10-7	38	38	26 - 27	4	143%	11,5° - 15°	non obs.					
R.41	37	37	28	4	132%	10,5°	6	N.1	21%	1/2	inachevé	
R.16-28	37	35 - 36	28	4	129%	9°	13,5	N.2	48%	100%	à achever ?	
R.30-14	35	35	29	4	121%	18 - 20°	4		14%	1/3	inachevé	
R.43-7	34	39	29	4	134%	12°	14		48%	100%	achevé	
R.10-14	42	38-39	28 - 31	4	142%	7°	0					
R.16-29	32	35,5	30	4	118%	8°	13	N.2	43%	100%	à achever ?	
R.16-1	36-37	41,5	30	4	138%	13°	11	N.2	37%	3/4	achevé possible	
R.27	34,5	31	34	5	101%	18°	16,5		49%	100%	achevé	
29 R.10-25	35 - 37	> 37	39	5,5	95%	14,5°	0					
R.30-22	ca. 68	ca. 70	62	9	113%	25°	10		16%	1/3	inachevé	
R.39-1	48	46 et 48	36	5	133%	14°	6	N.1	17%	1/3	à achever ?	
R.40-2	56,5	60,5	36	5	168%	4 à 11°	> 22		> 61%	120%	non observé	
	col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 7	col. 9		col. 10	col. 11	col. 12	
Total =			776,5				177,5					
NR =			32				20					
moyenne =			24,27	3,47			8,88		33%			
			H	Palme			Hc	moyenne	Hc/H			

NB : la moyenne Hc de 33% est calculée sur le total des 20 Hc divisé par le total des 20 H correspondantes

CHAPITRE .17

La HAUTEUR UTILE des MRB d'ORVIETO

_____ La HAUTEUR UTILE d'une meule correspond à l'épaisseur de pierre soumise à consommation par l'usure (cf. CHAP.9). Elle représente donc la longévité de la meule. Cette Hauteur Utile peut être plus ou moins développée selon l'importance de l'impact minorant dû en premier lieu au Cône et en second lieu à des attributs tels que l'existence d'une Trémie ou d'un trou d'Emmanchement pour un *Catillus*, ou tel que la réalisation d'un Evidement plus ou moins prononcé à la base d'une *Meta*. Sur ces aspects on se reportera au CHAP.15 et 16 (juste précédents).

_____ Concernant Orvieto on cherchera ici à établir d'une part la puissance de la Hauteur Utile et les facteurs qui ont pu la minorer et l'on définira le Rendement en Hauteur Utile des fabrications meulières orviétanes. On établira d'autre part la valeur, en cm et en doigts (dgt), de cette Hauteur Utile, s'interrogeant sur l'existence possible de normes et d'une standardisation. Par ailleurs, la comparaison entre *Metae* et *Catilli* permettra de dépister d'éventuelles différences de longévité entre les deux genres de meule, contribuant à discuter le degré de maîtrise de ce paramètre dans les fabrications antiques. Enfin, la comparaison avec les Hauteurs Utiles d'autres Ateliers nous conduira à statuer sur le caractère commun ou particulier des H.U. d'Orvieto et à en situer les fabrications dans l'espace molinologique méditerranéen et continental ancien.

1. La Hauteur Utile des *Metae* d'Orvieto

1. La Hauteur Utile d'une *Meta* correspond à la Hauteur totale de la meule (H) moins la Hauteur du Cône (HCo) soit la formule de calcul $HU = H - HCo$. Cependant, dans certain cas un autre paramètre montre un impact plus important que HCo, il peut s'agir

de la profondeur de l'Œil (HOE) mais à Orvieto il s'agit d'un attribut particulier : la Hauteur, importante, de l'Evidement de la base (Hc). De ce fait la formule s'appliquant à Orvieto pour le calcul de la Hauteur Utile des *Metae* est $HU = H - Hc^1$.

Metae ORVIETO - RENDEMENT en HAUTEUR UTILE

classement selon le RENDEMENT en H.U

METAE	H.	Hco calculée	HC.	HP retenue HCo ou Hc	HP minimale	HU (H-HP) soit (H - HCo ou H - HC)	rendement en HU HU / H		
R.13-7	23	6,6	12,5	12,5	-	10,5	46%		
R.40-1	14,5	3,7	7,5	7,5	-	7	48%		
R.10-36	21	4,6	11	11	-	10	48%		
R.16-37	13	3,1	6,5	6,5	-	6,5	50%		
R.27	34	5,8	16,5	16,5	-	17,5	51%	total HU	Hc achevée
R.16-28	28	3	13,5	13,5	-	14,5	52%	190,5	Metae à Evidement achevé
R.43-7	29	3,7	14	14	-	15	52%		
R.16-23	26	2,7	12	12	-	14	54%	total H	
R.13-21	20,5	6,5	9	9	-	11,5	56%	336	moyenne RENDEMENT en HU = 53%
R.16-29	30	2,3	13	13	-	17	57%		
R.43-11	18	2,8	7	7	-	11	61%	moyenne HU / H	
R.16-1	30	4,3	11	11	-	19	63%	57%	
R.16-32	24	2,5	6	6	-	18	75%		Hc inachevée
R.16-31	25	2,7	6	6	-	19	76%		a-typique
R.40-2	36	-	> 22	-	22	14	39%		Metae à Evidement inachevé
R.43-8	20	6,3	non obs.	-	6,3	13,7	69%		
R.31-1	20	6,1	non obs.	-	6,1	13,9	70%		
R.30-22	62	17,1	10	-	17,1	44,9	72%	total HU	
R.30-14	29	6,3	4	-	6,3	22,7	78%	325,2	
R.10-17	17	3,6	0	-	3,6	13,4	79%		
R.43-10	17	3,5	ca.2	-	3,5	13,5	79%		
R.41	28	3,5	6	-	6	22	79%	total H	
R.16-20	13,5	2,4	0	-	2,4	11,1	82%	405,5	
R.10-9	23	3,3	4	-	4	19	83%		
R.10-34	23	4	0	-	4	19	83%		
R.10-7	26,5	3,9-5,2	non obs.	-	4,5	22	83%	moyenne HU / H	
R.39-1	36	6,1	6	-	6,1	29,9	83%	80%	
R.40-19	22	3	2	-	3	19	86%		
R.10-25	39	4,8	0	-	4,8	34,2	88%		
R.10-14	29,5	2,6	0	-	2,6	26,9	91%		
R.16-21	15	-	0	-	-	-	-		
R.10-3	17	-	non obs.	-	-	-	-		

en rouge : les Hauteurs d'Evidement (HC) susceptibles d'être inachevées

FIG. 1 Hauteur Utile des *Metae* d'Orvieto et Rendement en H.Utile

La Hauteur Utile (HU) est égale à la Hauteur totale (H) moins la Hauteur Passive (HP). La Hauteur Passive correspond à la Hauteur de Cône (HCo) ou à la Hauteur d'Evidement (Hc) si cette dernière est supérieure à HCo. Ainsi : $HU = H - HCo$ ou $H - HC$

Dans les cas où l'Evidement de la Base de la *Meta* apparaît selon toute probabilité inachevé, on a retenu (colonne 6) une valeur minimale de la Hauteur Passive (HP) : il s'agit entre HCo et HC de la plus forte de ces deux valeurs

Le Rendement en Hauteur Utile correspond à la proportion de HU sur la Hauteur totale, soit la formule $R.HU = HU / H$

2. Concrètement toutefois, l'Evidement n'étant pas achevé sur toutes les ébauches étudiées, les mesures de Hauteur Utile orviétanes se répartissent en 2 groupes (FIG. 1) :

- . d'une part (colonne avec fond bleu foncé) les 14 *Metae* dont la Hc est plus grande que HCo,

- . d'autre part (fond bleu ciel) 16 *Metae* dont tantôt Hc n'est pas connue ou son creusement non engagé ou demeurant, en raison de son degré d'inachèvement, inférieur à la Hauteur du Cône (HCo).

Seul le premier groupe livre des informations fiables sur la Hauteur Utile².

La Hauteur Utile renseignée par les *Metae* achevées

3. Il apparaît ainsi que les *Metae* achevées montrent une Hauteur Utile située entre 46 et 63% de la Hauteur totale et centrée sur 53% comme l'indique la moyenne (à droite sur la

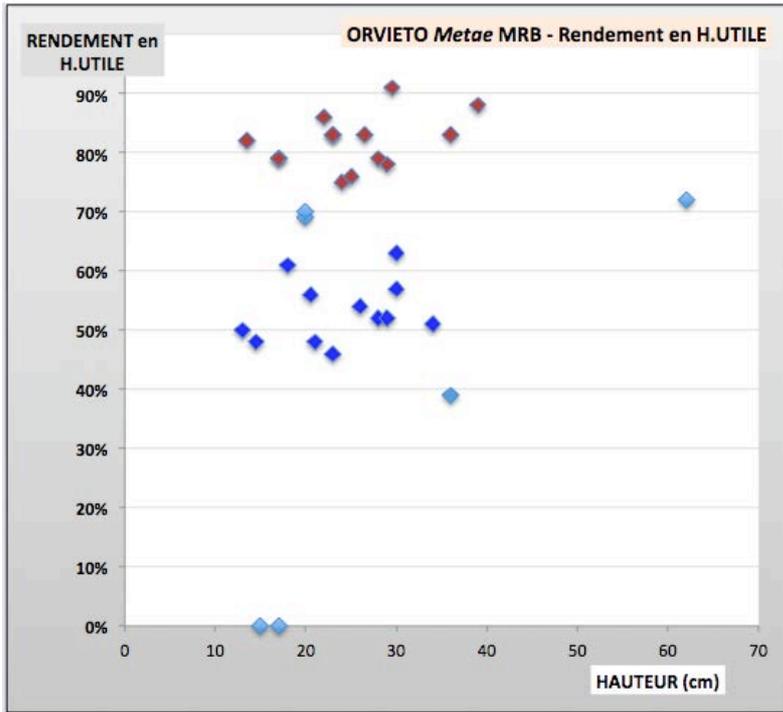
¹ En réalité HP est souvent légèrement supérieure à Hc car l'usure jusqu'au sommet de l'Evidement de l'assise entraînerait une finesse excessive du cône et un fort risque de bris ; ce petit supplément de HP que l'on pourrait dénommer HPi (Hauteur Passive incompressible) existe aussi sur les *Metae* à base pleine ou peu évidée dont l'épaisseur ne peut jamais atteindre zéro cm, elle nous semble généralement être de 2 à 3 cm ; la valeur réelle de cette HPi (sur *Metae* évidées ou non) pourrait être appréhendée statistiquement à partir des *Metae* qui, dans les séries, présentent l'épaisseur la plus faible, et à travers la formule $Hr - HCo = HPi$ (une Hr de 7 cm soit 4 dgt est fréquemment observable sur les MRB de La Tène et de 4 cm soit 2 dgt sur celle d'époque romaine –cf. CHAP.18 sur l'Usure)

² Bien que la FIG.1 permette de reclasser quelques cas tels que la *Meta* R.16-37.

FIG. 1). On peut donc retenir, pour Orvieto, la règle selon laquelle la HU correspond à la moitié de la Hauteur de la *Meta* ($HU = \frac{1}{2} H$), norme qui dérive directement du fait que l'Evidement de l'assise occupe lui-même la moitié de la Hauteur.

4. Le second groupe (en rouge sur la **FIG.2**), où HU occupe autour de 80% de la Hauteur correspond en fait aux *Metae* inachevées pour lesquelles la valeur de HU, forte et représentant 70 à 91% de H, est en réalité transitoire et amenée à migrer vers la classe de rendement 50% (en bleu sur la **FIG.2**).

FIG. 2 Rendement en Hauteur Utile et Hauteur des *Metae* d'Orvieto



5. Bien que sa Hauteur Utile soit normale (14 cm soit 8 dgt), la *Meta* de Grand Format R.40-2 (D. 60,5 cm H. 36, Conicité faible inférieure à 11°) se singularise par un Rendement en HU très faible (39%) causé par l'importance de l'Evidement de sa base (au moins 22 cm) qui représente les 2/3 de la Hauteur. Un Evidement excessif pourrait être à l'origine du rebutage de cet exemplaire mais la prudence s'impose dans la mesure où d'une part l'Evidement final des deux autres Grandes *Metae*

(R.30-22 et R.39-1) n'est pas connu et où d'autre part la valeur de la Hauteur Utile de R.40-2 (14 cm) est tout à fait dans l'arc des valeurs d'Orvieto. Une typologie particulière à cet exemplaire, voire aux 3 Grands Formats, pourrait expliquer un Rendement en HU faible pour une HU de valeur cependant normale. Dans de tels cas, les meuliers antiques recherchaient une valeur précise de la Hauteur Utile, s'échappant alors de la proportionnalité systématique qu'ils semblent appliquer. On serait alors en présence d'une fabrication spécifique, « à façon », concernant quelques individus.

Une Hauteur Utile minorée par l'Evidement de l'assise

6. Il est intéressant de constater que si les *Metae* d'Orvieto n'avaient pas comporté un Evidement si important de leur base mais plutôt une assise plane ou légèrement creusée pour former un Anneau de pose, leur Rendement en HU serait de l'ordre de 82% (**FIG. 3**). Cela permet d'une part d'apprécier l'impact minorant dû à l'Evidement (cf. **CHAP.16**) et autorise d'autre part la comparaison avec la puissance de la Hauteur Utile qui caractérise les fabrications d'autres Ateliers, ce que nous ferons au point 4 du présent Chapitre.

FIG. 3 Rendement en Hauteur Utile théorique des *Metae* d'Orvieto en l'absence de l'Evidement pratiqué à leur base

7. Dans l'attente de cette comparaison, on considèrera ici la valeur en elle-même des Hauteurs Utiles des *Metae* (distribution selon les sites en FIG.4). Il apparaît que 81% des Hauteurs utiles observées à Orvieto sont comprises entre 10 à 23 cm soit entre 6 et 13 dgt.

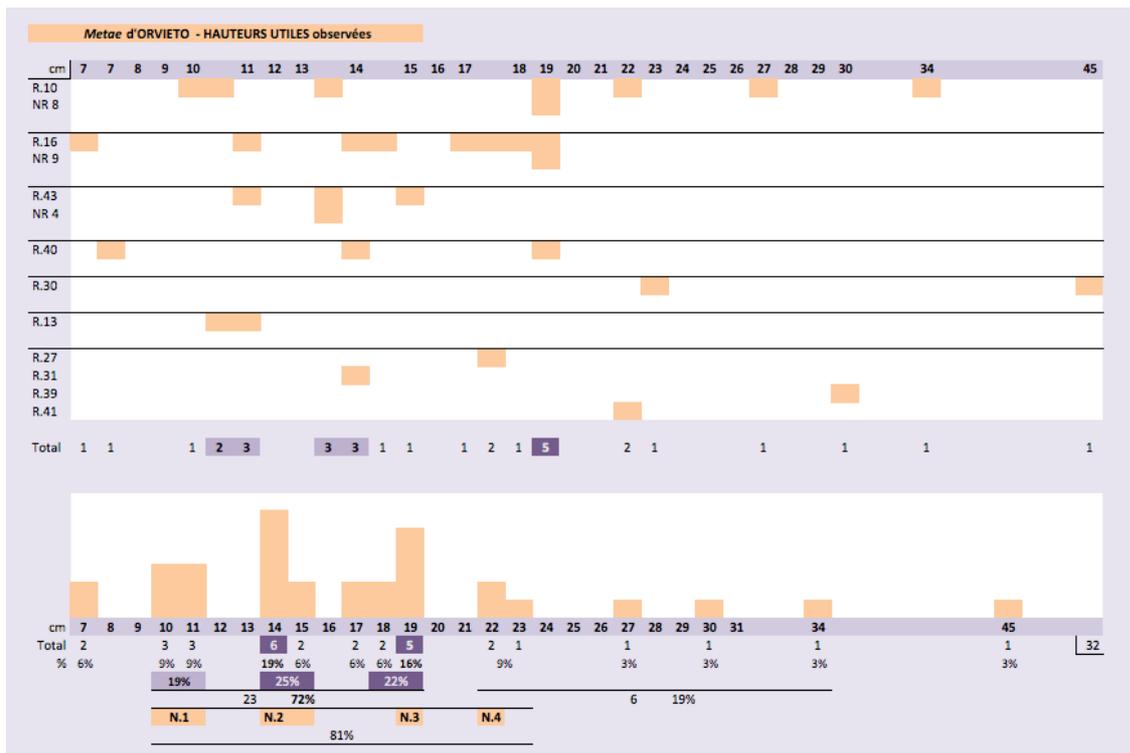
Les Hauteurs Utiles les plus fréquentes, qui pourraient correspondre à des normes, sont 14 et 19 cm (8 et 10,5 DGT), valeurs qui rassemblent près de 50% du total. Viennent ensuite (19%) les H.U de 10-11 cm (6 dgt) et, à un moindre degré, de 22-23 cm (9%). On notera que 14 cm correspond à 1/2 pied tandis que 19 et 22-23 cm sont centrées sur 3/4 de pied.

Ces 4 pics de fréquence des Hauteurs Utiles sont présents sur tous les sites ce qui traduit soit leur permanence à travers le temps soit une durée de fabrication des MRB (*Metae*) relativement ramassée.

8. Sur un total de 32 on observe 4 valeurs hors-norme (27, 30, 34 et 45 cm – en rouge sur la FIG.5) présentes sur 3 sites : un exemplaire localisé en R.30 (n°22) et R.39 (n°1) où elles correspondent à de très Grandes *Metae* dont l'évidement (13,5 et 6 cm) est très probablement inachevé. Les 2 autres exemplaires proviennent de 2 des 8 *Metae* tout à fait communes

Metae ORVIETO - RENDEMENT en HU si absence d'Evidement (HP = HCo)				
METAe	REF.	H.	Hco calculée	rendement en HU
				HU (H - HCo) HU / H
R.10-3	17	-	-	-
R.10-7	26,5	3,9-5,2	22	83%
R.10-9	23	3,3	19,7	86%
R.10-14	29,5	2,6	26,9	91%
R.10-17	17	3,6	13,4	79%
R.10-25	39	4,8	34,2	88%
R.10-34	23	4	19	83%
R.10-36	21	4,6	16,4	78%
R.13-7	23	6,6	16,4	71%
R.13-21	20,5	6,5	14	68%
R.16-1	30	4,3	25,7	86%
R.16-20	13,5	2,4	11,1	82%
R.16-21	15	-	-	-
R.16-23	26	2,7	23,3	90%
R.16-28	28	3	25	89%
R.16-29	30	2,3	27,7	92%
R.16-31	25	2,7	22,3	89%
R.16-32	24	2,5	21,5	90%
R.16-37	13	3,1	9,9	76%
R.27	34	5,8	28,2	83%
R.30-14	29	6,3	22,7	78%
R.31-1	20	6,1	13,9	70%
R.40-1	14,5	3,7	10,8	74%
R.40-19	22	3	19	86%
R.41	28	3,5	24,5	88%
R.43-7	29	3,7	25,3	87%
R.43-8	20	6,3	13,7	69%
R.43-10	17	3,5	13,5	79%
R.43-11	18	2,8	15,2	84%
R.30-22	62	17,1	44,9	72%
R.39-1	36	6,1	29,9	83%
R.40-2	36	-	-	-
32				
		741,5	131,4	610,1
mesures	29	29	29	
moyennes	25,57	4,53	21,04	82%

FIG. 4 Hauteurs Utiles observées (cm) des *Metae* pour chacun des sites d'Orvieto



du site R.10 (R.10-14 et R.10-25 – Diam. respectifs 42 et >37, H. 26,5 et 39 pour une HU de 27 et 34 cm) : elles correspondent également à un inachèvement de l'Evidement de l'assise puisque ce dernier est à peine entrepris. Les HU attendues selon la règle $HU = \frac{1}{2} H$ seraient de 15 et 19,5 cm, rentrant tout à fait dans les 2 normes majoritaires. L'achèvement du creusement de leur assise aurait entraîné une diminution de la valeur de HU et donc la migration de ces 4 cas extrêmes vers l'intervalle régulier des Hauteurs Utiles.

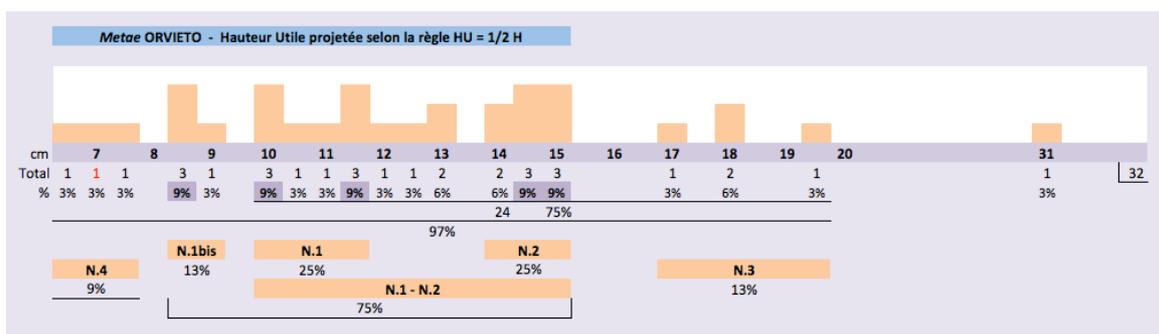
FIG. 5 Hauteurs Utiles hors norme à Orvieto

ORVIETO <i>Metae</i> - Hauteurs & Hauteurs Utiles hors norme											
	Référence <i>Meta</i>	D	H	HU observée	HU attendue 50% H	statut de H. UTILE	HCo	Hc	Hc attendue 50% H	degré d'achèvement	
1,5 pied	R.10-14	42	29,5	26,9	14,75	plus forte	2,6	ca. 2	14,75	amorcé	
	R.10-25	> 37	39	34,2	19,5	plus forte	4,8	-	19,5	20%	
1,25 pied	R.27	34,5	34	17,5	17	conforme	5,8	16,5	17	100%	
Grands Formats	R.30-22	70	62	44,9	31	plus forte	17,1	13,5	31	44%	
	R.39-1	48	36	29,9	18	plus forte	6,1	6	18	33%	
	R.40-2	60,5	36	14	18	réduite	> 22	> 22	18	128%	

9. A cet égard il est instructif de comparer les Hauteurs Utiles observées et celles qui sont attendues (FIG.6) selon la règle $HU = \frac{1}{2} H$ qui semble en vigueur à Orvieto pour la majorité sinon la totalité des *Metae*.

Si cette règle se réalisait en totalité, ce qui est probable, on assisterait à la disparition des valeurs rares et fortes (FIG.4 HU 27 à 45 cm) ainsi qu'à celle du pic de fréquence sur 22-23 cm. Ainsi se confirmerait le caractère transitoire des valeurs élevées de HU mais aussi celui du pic 22-23 cm.

FIG. 6 Hauteurs Utiles théoriques (en cm) des *Metae* d'Orvieto si tous les Evidements (Hc) étaient achevés (soit $HU = 53\%$ de H)



L'achèvement de l'Evidement ferait glisser vers le bas l'étendue des valeurs (observées de 10 à 23 cm) et ramènerait l'essentiel des Hauteurs Utiles sur l'intervalle 8-20 cm. Si les pics de fréquence observés de 10/11 cm à 18/19 cm sont alors conservés, s'y ajoutent un pic sur 8,5 cm et un autre sur 7 cm). Dans cette configuration, 75% des Hauteurs Utiles se situeraient ainsi entre 8,5 et 15 cm, complétées de quelques HU basses et d'un groupe, détaché, de fortes HU (17-20 cm).

Quelques *Metae* avec une HU hors normes

10. Les 4 individus de ce groupe présentant une forte Hauteur Utile, et que vient compléter en cinquième élément un *unicum* (R.30-22) avec une HU de 31cm, correspondent (FIG.5) aux 3 *Metae* d'Orvieto qui montrent un format exceptionnel (D. 48/60/70 cm et H. 36/36/62 cm pour les meules R.39-1, R.40-2 et R.30-22) ainsi qu'à 2 *Metae* ordinaires d'un même site (R.10).

La Hauteur totale de ces 2 dernières *Metae* est, à l'instar de celle des 3 Grands Formats, anormalement forte : en effet, à l'exception des 3 Grands Formats, la Hauteur des *Metae* orviétanes ne dépasse pas les 29/30 cm (soit 1 pied).

Or la *Meta* R.10-25 présente une Hauteur largement supérieure (39 cm pour une HU de 34) alors même qu'on peut se demander à la voir (FIG.7) si elle n'était pas proche d'une division en 2 meules d'épaisseur 17/15 cm). Avec une Hauteur de 34 cm et une HU théorique de 14,75, la *Meta* R.27 quant à elle apparaît évidée sur 16,5 cm et suffisamment élaborée pour ne pas être susceptible d'une division en deux. A ce jour elle constitue un cas typologique particulier.



FIG. 7 R.10-25 : possible amorce de division en 2 *Metae* (de type H. 15/17 cm)

Des normes ou un *continuum* de 4 à 13 dgt pour la HU des *Metae* ?

11. Parvenus à ce point on s'interrogera sur l'existence de normes pour la Hauteur Utile des *Metae* d'Orvieto. En effet le calcul de la HU probable, selon la règle $HU = 1/2 H$, tend à indiquer que les Hauteurs Utiles s'étendent en un *continuum* situé entre 7 et 15 cm, intervalle qui rassemble comme on l'a vu 75% des valeurs. On distingue néanmoins dans ce continuum des pics, qui demeurent à confirmer sur un échantillon plus fourni, mais qui semblent rythmés par un écart de l'ordre de 1,5 cm (7/8,5/10/11,5/13/ 14,5-15 ainsi que 18/19,5), rythme assez proche de 1 dgt (ca. 1,8 cm).

Plus que d'une norme, il s'agirait alors d'une scansion régulière bornée par 7 et 19,5 cm soit entre ca.4 et 10 dgt et dont le plus gros contingent se situerait sur 8 dgt soit 1/2 pied (ici N.2 sur 14-15 cm totalisant 25% de l'effectif). La moyenne des HU observées est de 17,66 cm soit ca. 9,5 dgt mais la moyenne probable, selon la règle $HU = 1/2H$, est attendue sur 12,65 cm soit près de 7 dgt.

12. En définitive, la Hauteur Utile des *Metae* d'Orvieto semble située essentiellement entre 5/6 et 8 dgt et obéir à une scansion en dgt plus qu'à des normes nettement séparées. Cette configuration traduit une standardisation où HU est comprise entre 1/4 et 1/2 pied. Cette standardisation apparaît cependant pratiquée avec une souplesse qui pourrait correspondre à une adaptation à la variété des Hauteurs issues du débitage de la pierre, Hauteurs plutôt continues (13 à 30 cm - FIG.8) qu'obéissant à des normes tranchées même si on y remarque des pics de fréquence rythmés sur les valeurs 17/23/29 et 36 cm soit chaque 6 cm (ca. 3 dgt ou 2,5 pce) ainsi que sur 13/20,5/28 soit chaque ca.7,5 cm (soit 3 pce ou 4 dgt c'est à dire 1 Palme).

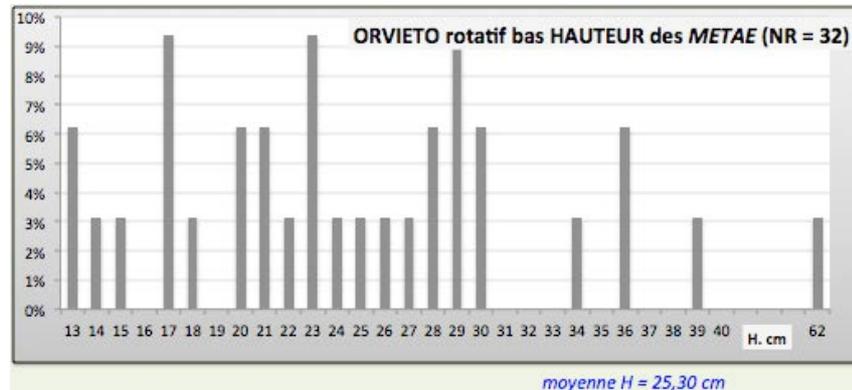


Figure 8
Hauteurs des
***Metae* d'Orvieto**

La Hauteur Utile des *Metae* orviétanes apparaît ainsi plus encadrée que véritablement normée. Cela dit, l'étude d'un échantillon plus important et peut-être surtout un traitement métrologique approfondi permettraient sans doute de dégager la structure réelle des Hauteurs et celle des HU qui s'en trouve être un décalque à travers la règle $H_c = \frac{1}{2} H$.

13. En effet, il semble possible que sur l'histogramme actuel des Hauteurs (FIG.8) les pics de fréquence, au statut de norme indécis, puissent correspondre à l'existence de séries correspondant aux pics (13/20,5/28 et 17/23/29/36 cm). Ces séries semblent renvoyer à des pieds différents :

- la séquence 8/10/12/16/36 dgt au Pied de 27,5 (13,75/17,18/20,62/27,5/61,87 cm),
- celle plus incertaine 10/12/13/16 dgt au Pied de 28,2 (17,62/21,15/22,91/28,2),
- celle enfin, au rythme très impair, mais assez exacte, 7/9/11/15/16/18 dgt renvoie au Pied de 30,1 (13,16/16,93/20,69/28,21/ 30,1/33,86 cm).

Métrologie des Hauteurs Utiles des *Metae*

14. L'un de nos objectifs consiste à apprécier le rapport entretenu par la Hauteur Utile et la Hauteur des productions d'Orvieto : la Hauteur Utile est-elle proportionnelle à l'épaisseur de la meule ou bien observe-t-elle une série de valeurs sélectionnées ? Sommes-nous en présence d'une variété de HU ou bien d'une norme unique (par exemple de 4 ou 6 dgt) ?

Pour appréhender ces rapports, nous développons dans ce chapitre deux approches empiriques : l'une, qui schématise, à partir des moyennes (par ex. *Catillus* H. 12 dgt HU. 6 dgt) et l'autre, plus fine, qui à partir de toutes les mesures (dont la distribution est généralement plurimodale) cherche à identifier le ou les pieds générateurs de la série ainsi que les gabarits de hauteurs employés (en dgt). On s'en tiendra ici à cette approche plus individualisée de la métrologie, l'approche par les moyennes sera le fait de la conclusion.

15. Sauf si la série est très homogène (un seul pied et des hauteurs non échelonnées de 1 à n dgt mais observant plutôt des valeurs récurrentes³), la conversion métrologique de chaque mesure est impossible en raison de la proximité des valeurs du Doigt⁴ et du mesurage archéologique au demi-centimètre⁵. En revanche développer la métrologie à partir des pics de fréquence d'un diamètre ou d'une hauteur s'avère plus performant parce que cette méthode sélectionne les pieds qui justifient les mesures répondant à des rythmes⁶ (structure périodique)⁷. Néanmoins la proximité entre les pieds et probablement une scansion des hauteurs en modules similaires (tels que 4, 6, 8 et 12 dgt) font que plusieurs pieds (généralement 2 ou 3) apparaissent susceptibles de rendre compte d'une série de mesures et qu'il est le plus souvent difficile de définir le pied générateur le plus probable.

16. Concernant les *Metae* d'Orvieto on a ainsi testé les pics de fréquence des Hauteurs sur les 6 pieds les plus fréquemment détectés sur les meules (Fig. Z-1). Il ressort de cet examen que le pied de 28,2 est celui qui rend le plus compte de la série des hauteurs. En effet, il justifie au total 4 des pics de fréquence dont 2 par des valeurs canoniques (12 et 16 dgt). Ce pied, très régulièrement attesté sur les meules, ne rend cependant pas compte des pics sur 13 et 17 cm qui relèvent ainsi probablement d'un autre pied.

Ces deux pics se trouvent en effet justifiés par un second pied qui rend également assez bien compte de la série : celui de 30,1 (Pied de Salamis 1), peu fréquent en domaine meulier.

FIG. Z-1 Hauteur des *Metae* d'Orvieto : Métrologie des pics de fréquence

(l'intersection des lignes et colonnes indique, pour chacun des 6 pieds, le nombre de doigts correspondant à chaque pic de fréquence - dans un cadre vert figurent les gabarits correspondant à un nombre entier de dgt : par ex. le pic de hauteur sur 23 cm correspond à 13 dgt du pied de 28,2, ce dernier rend donc compte du pic sur 23 cm (mais non de ceux sur 17 ou 20 cm) – les valeurs canoniques, 4, 8, 12 et 16 dgt (palmes) sont indiquées en caractère rouge – les valeurs en demi-doigt sont en caractère bleu mais ne sont pas prise en compte dans le score de chaque pied car il est peu probable que les hauteurs correspondent à une mesure en demi-doigt (0,8 cm)

ORVIETO - Comparaison Métrologique des HAUTEURS des <i>Metae</i> (neuves)														
Hauteurs neuves		Pieds							retenu		GABARITS des Hauteurs Utiles			
Pics de FREQ. H	valeur testée	27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9	9 DGT	Pied 30,1					
pics majeurs	17 cm	17	9,89	9,65	9,30	9,20	9,04	8,80			7 DGT			
	23 cm	23	13,38	13,05	12,58	12,45	12,23	11,91	13 DGT	pied 28,2	12 DGT	Pied 30,9		
	28 - 30 cm	28	16,29	15,89	15,32	15,16	14,88	14,50				9 DGT		
		28,5	16,58	16,17	15,59	15,43	15,15	14,76				11 DGT		
		29	16,87	16,45	15,86	15,70	15,42	15,02	15 DGT	Pied 30,9		12 DGT		
	29,5	17,16	16,74	16,14	15,97	15,68	15,28	16 DGT	Pes monet.					
	30	17,45	17,02	16,41	16,24	15,95	15,53	17 DGT	pied 28,2	16 DGT	Pied 30,1			
pics secondaires	13 cm	13	7,56	7,38	7,11	7,04	6,91	6,73	7 DGT	Pes monet.	7 DGT	Pied 30,1		
	20 - 21 cm	20	11,64	11,35	10,94	10,83	10,63	10,36	11 DGT	pied 29,25				
		20,5	11,93	11,63	11,21	11,10	10,90	10,61	12 DGT	pied 27,5	11 DGT	Pes monet.	11 DGT	Pied 30,1
		21	12,22	11,91	11,49	11,37	11,16	10,87	12 DGT	pied 28,2				
	36 cm	36	20,95	20,43	19,69	19,49	19,14	18,64	21 DGT	pied 27,5			21 DGT	
score DGT majeurs entiers sur 6 mineurs			3	1	1	2	2							
pics Total		2	4	1	3	4	2							
dont canoniques		1	2		1	1	1							

³ Qui répondent en fait à des gabarits mesurant un nombre distinct de dgt : par ex. 4, 6 ou 8 dgt.

⁴ 1,72 cm pour le Pied de 27,5 cm, 1,76 cm pour celui de 28,2 ou encore 1,85 cm pour celui de 29,56 et 1,88 ou 1,93 cm pour les pieds de 30,1 et 30,9 pour s'en tenir à quelques exemples de pieds parmi les plus fréquents.

⁵ S'ajoute le fait que les hauteurs donnant des mesures courtes, la métrologie est rendue plus difficile : en effet, la valeur en cm de 4 ou 8 dgt (ca. 7,5 et 14 cm) est quasiment la même pour tous les pieds, à fortiori pour des mesures effectuées au demi-centimètre et non pas en mm (ce qui est impossible ou illusoire sur des meules) ; pour illustrer ce phénomène on prendra l'exemple d'une hauteur de 2 cm (telle qu'une hauteur de cône) qui, de fait, correspond à 1 dgt dans tous les pieds ; plus la mesure est grande moins elle correspond à plusieurs pieds (la discrimination s'améliore vers les 24 et surtout 30 cm soit au-delà de 1 pied), en revanche si une série de mesures comprend plusieurs pics de fréquence répondant à un même pied cela permet d'éliminer de nombreux pieds « parasites ».

⁶ Dans cette méthode la prise en considération des valeurs fortes et rares (partie droite des histogrammes, notamment vers 56-80 cm pour les diamètres ou au-delà de 21 cm soit $\frac{3}{4}$ de pied pour les hauteurs) est importante car elle donne accès à la valeur du pied et indique les pics à retenir qui associent ces valeurs fortes à certains pics de fréquence.

⁷ Il existe des méthodes mathématiques applicables à de grandes séries de mesures et adaptées à l'archéologie (par ex. LANOS, JUMEL 1992).

On doit enfin considérer le *Pes monetalis* (29,56) qui, en rendant compte de 3 pics, obtient le 3^e score. Un tableau dressant le bilan de ces 3 pieds (Fig.Z-2) montre que le Pied de 28,2 cm est complémentaire des deux autres (il justifie des valeurs qui ne le sont pas par les autres). Par ailleurs, les Pieds de 30,1 et de 29,56 sont en concurrence car ils ajustent les mêmes pics et de surcroît par un même nombre de doigts : seul l'un des deux peut être à l'origine de la série des hauteurs orviétanes.

FIG. Z-2 Hauteurs des *Metae* d'Orvieto - bilan des pieds les plus probables

HAUTEURS des <i>Metae</i> d'Orvieto Bilan des PIEDS les plus probables			
pics	Pieds		
	28,2	30,1	29,56
13 cm		7 DGT	7 DGT
17 cm		9 DGT	
20-21 cm		11 DGT	11 DGT
23 cm	12 DGT		
28-29-30 cm	13 DGT		
36 cm	16 DGT		16 DGT
	17 DGT	16 DGT	

17. Enfin, ces deux pieds associent un bloc de hauteurs situées dans la zone 8-12 dgt (en fait 7, 9 et 11) à un gabarit nettement distant, 16 dgt, ainsi éloigné de 5 dgt. Ces deux pieds semblent donc répondre à un schéma distribuant les hauteurs de *Metae* selon un dipôle 8-12 / 16 dgt dont le 2^e terme est distant d'un palme (4 dgt)⁸. Cette structure ne s'observe en revanche pas avec le pied principal 28,2 dont les hauteurs vont du gabarit 12 dgt à celui de 17 dgt, occupant ainsi schématiquement la zone 12-16 dgt.

18. A la différence du cas des Hauteurs que nous venons de voir, l'examen métrologique des Hauteurs Utiles prend en compte non seulement les valeurs des pics de fréquence qui se traduisent par un nombre entier de dgt, mais elle retient aussi les conversions en demi-doigts (figurées en caractère fin bleu sur le tableau Fig.Z-3). En effet, pour respecter un angle appartenant au registre des Conicités pratiqué par l'atelier, la Hauteur du Cône (HCo) apparaît fortement susceptible d'avoir été exprimée en demi-doigts (voir *infra*, atelier de Bad Nauheim §.81 p. 500 et FIG.41). Sur les *Metae* la valeur de HU étant égale à H – HCo, si la Hauteur correspond à un nombre entier de dgt et la Hauteur du Cône à des demi-dgt, la Hauteur Utile qui en résulte sera automatiquement exprimée en demi-doigts. Toutefois il s'agit d'une précaution dans l'analyse car à Orvieto HU est donnée par H – Hc (Hauteur de l'Evidement de l'assise) et non par HCo, or Hc valant la moitié de H, la Hauteur Utile qui en résulte s'exprime à priori en dgt entiers.

19. L'examen métrologique des pics de fréquence caractérisant les Hauteurs Utiles fait également apparaître le Pied meulier de 28,2 cm comme rendant le mieux compte de la série des mesures. Il justifie 4 des 5 pics de fréquence par un nombre entier de dgt, 2 de ces 4 pics s'exprimant à travers une valeur canonique (4 et 8 dgt soit 1 et 2 palmes –ces valeurs sont indiquées en caractère rouge sur la FIG. Z3). La susceptibilité de la série au Pied Romain (29,56 cm) se trouve confirmée, celui-ci, comme presque tous les autres pieds testés, rendant compte de 3 des 5 pics de fréquence sur lesquels 2 sont des valeurs canoniques (8 et 12 dgt soit 2 et 3 palmes). Viennent en suite les deux pied de 27,5 cm (Osco-italique, fréquent sur les meules) et de 29,25 cm (pied de Vindonissa et Bolsena, proche du *Pes monetalis* de 29,56 et semble-t-il régulier en Etrurie selon nos tets sur des mesures de pierre de taille de remparts). Ils ne peuvent toutefois être retenus pour la série des Hauteurs Utiles des *Metae* d'Orvieto en raison de leur très mauvais score sur les pics de fréquence des hauteurs (Fig.Z-1 *supra*).

⁸ Même si ce schéma apparaît moins net pour le *Pes monetalis* de 29,56 puisqu'il manque un gabarit de 8 ou 9 dgt ; mais en réalité 9 dgt dans le Pied de 29,56 font 16,63 cm ce qui peut, en mesurage concret d'une meule, être traduit par 17 cm ; il y a peut-être là un des effets de la distorsion (augmentation de l'erreur) qui se produit avec les longueurs courtes : il convient de ne pas abruptement écarter un pied sur la base des petites dimensions où des écarts tels celui de 0,20 DGT (soit 3,6 mm) entre la valeur attendue pour le pic de 17 cm (9 dgt) et la valeur observée (9,20) n'ont pas la même signification que pour de grandes longueurs telles que 20 ou 30 cm

FIG. Z-3 Métrologie des Hauteurs Utiles des *Metae* d'Orvieto (pics de fréquence)

ORVIETO - Comparaison Métrologique des HAUTEURS UTILES & HAUTEURS des <i>Metae</i> (neuves)							
Hauteurs Utiles		source HU : FIG.4			source H : FIG.8		
Pics de FREQ. HU	valeur testée	Pieds					
7 cm	7	27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9
		4,07	3,97	3,83	3,79	3,72	3,62
10-11 cm	10	5,82	5,67	5,47	5,41	5,32	5,18
	10,5	6,11	5,96	5,74	5,68	5,58	5,44
	11	6,40	6,24	6,02	5,95	5,85	5,70
14-15 cm	14	8,15	7,94	7,66	7,58	7,44	7,25
	14,5	8,44	8,23	7,93	7,85	7,71	7,51
	15	8,73	8,51	8,21	8,12	7,97	7,77
18-19 cm	18	10,47	10,21	9,85	9,74	9,57	9,32
	18,5	10,76	10,50	10,12	10,01	9,83	9,58
	19	11,05	10,78	10,39	10,28	10,10	9,84
22 - 23 cm	22	12,80	12,48	12,03	11,91	11,69	11,39
	22,5	13,09	12,77	12,31	12,18	11,96	11,65
	23	13,38	13,05	12,58	12,45	12,23	11,91
score DGT entiers sur 5 pics		3	3	3	3	2	2
Gabarits canoniques		1	2	2	2	2	1
score demi-DGT		2	3	1	1	1	2
score total		5	6	4	5	3*	4

retenu	
4 DGT	pied 27,5
6 DGT	pied 28,2
6 DGT	pied 29
8 DGT	pied 28,2
8 DGT	pied 29,25
8 DGT	Pied 30,1
10 DGT	Pes monet.
11 DGT	pied 27,5
12 DGT	pied 29,25
12 DGT	pied 27,5
12 DGT	Pied 30,1
13 DGT	pied 28,2
12 DGT	Pied 30,9

FIG. Z-4 Métrologie probable des Hauteurs Utiles d'Orvieto

20. La métrologie des Hauteurs utiles ramène ainsi les pieds générateurs probables à seulement deux et outre le Pied meulier de 28,2 indique qu'une partie des HU seraient régies par le *Pes monetalis* (29,56)⁹. En l'état actuel et faute de fouilles, on ignore évidemment si cette bi-métrologie correspond à la manipulation de 2 pieds par une seule officine ou bien à la succession de 2 périodes de production caractérisée chacune par un pied différent.

21. Les deux pieds pourraient répondre à une structuration semblable des gabarits de hauteur, caractérisée par l'existence d'un gabarit supérieur, distant du commun des fabrications. En effet, le Pied de 28,2 semble opposer un bloc constitué de Hauteurs Utiles allant de 4 à 8 dgt et regroupant 39% du total à un plus grand gabarit de 13, distant de 5 dgt et totalisant 10% de l'effectif des HU soit 3 fois moins que le premier. Opposant également 2 groupes de gabarit, l'un composé de HU de 6 dgt et l'autre de 10 et 12 dgt, le Pied de 29,56 concentre en revanche ses effectifs sur ce second groupe distant du premier de 4 et 6 dgt.

Les deux fabrications apparaissent donc de même structure mais accordent un poids différents à leur second groupe constitué des Hauteurs Utiles dont le gabarit (12 ou 13 dgt) est double du premier (centré sur 6 dgt). Si les Hauteurs Utiles s'expriment en demi-doigt, la structure di-polaire des *Metae* régies par le Pied de 28,2 s'affaiblit et tend vers un continuum

HAUTEURS UTILES des <i>Metae</i> d'Orvieto				
Bilan des PIEDS les plus probables				
pics	Q.	%	Pieds	
			28,2	29,56
7 cm	2	6%	4 DGT	
10 - 11 cm	4	13%	6 DGT	5,5
14 - 15 cm	6	20%	8 DGT	6 DGT
18 - 19 cm	7	23%	10,5	10 DGT
22 - 23 cm	3	10%	12,5	12 DGT
			13 DGT	12,5

22 / 30

⁹ Le *Pes monetalis* est attesté sur les Meules de Style Pompéien (MSP) d'Orvieto ce qui, à moins qu'il n'ait été introduit en période impériale (on peut cependant douter que cet étalon soit aussi tardif en particulier à 100 km seulement de Rome même), le rend susceptible d'une certaine ancienneté dans les productions orviétanes.

de gabarits scandés chaque 2 dgt et dont les grands modules (10,5 à 13 dgt) en totalisant 33% de l'effectif, s'équilibrent avec les petits qui en rassemblent 39% .

22. Si les fabrications régies par le *Pes monetalis* correspondaient à une chronologie plus récente, elles traduiraient alors le passage à Orvieto d'une production de *Metae* dont la Hauteur Utile serait variée et graduelle, à une gamme restreinte à 2 gabarits : d'une part des *Metae* de Hauteur Utile modérée (6 dgt), plutôt commune à l'Age du Fer (voir Conclusions *infra*) et d'autre part des *Metae* d'une Hauteur Utile importante et quasi double (10 ou 12 dgt).

Si les 2 pieds témoignaient plutôt de fabrications synchrones, l'une des deux lignes de production aurait proposé un large éventail de longévité de ses *Metae* tandis que l'autre mettrait à disposition un choix restreint de *Metae* soit de durée modérée soit de forte durabilité.

23. Il resterait à savoir si cette forte longévité qui se manifeste dans une Hauteur Utile de 10-12 dgt renvoie simplement à des meules plus durables ou bien à un moulin spécifique. L'équilibre entre les deux types de longévité (39% pour les Hauteurs Utiles de 6 dgt et 33% pour celles de 10-12 dgt) n'est pas favorable à une spécificité, pas plus que ne l'est le possible continuum de 4 à 13 dgt qui pourrait caractériser les productions, peut-être plus anciennes, réalisées dans le pied de 28,2. A moins de prouver, sur d'autres attributs que la puissance de la Hauteur Utile (tels que la Conicité, le Diamètre et la profondeur de l'œil) que les *Metae* à forte longévité correspondaient à une machine particulière. Un autre élément à prendre en considération quant à cette question est la possibilité qu'à travers le temps les Hauteurs Utiles des *Metae* aient diminué et que les fortes longévités de type 12 dgt aient disparu (voir la comparaison des Hauteurs et Hauteurs Utiles de 5 ateliers *infra* dans les Conclusions).

Rapport entre la Hauteur et la Hauteur Utile des *Metae*

24. L'identification des pieds générateurs de la série des hauteurs ainsi que celle des gabarits nous met en mesure d'examiner le rapport entre Hauteurs Utiles et Hauteurs afin de savoir si ce rapport est proportionnel ou constant, ce qu'il ne semble pas à simple consultation de la table des données (*supra* Fig.1) ou s'il se décline en plusieurs ratios.

FIG. Z-5 Rapports entre Hauteurs Utiles et Hauteurs

Nous prendrons comme exemple le pied le plus probable, celui de 28,2, en retenant seulement les *Metae*

N° <i>Meta</i>	couple H HU					Perte (H-HU) DGT	rapport HU/H		Evidement (Hc)
	H cm	HU cm	H DGT	HU DGT*	HU réel		DGT	cm	
	R.10-17	17	13,5	9,5	7,5		7,66	2	
R.43-10	17	13,5	9,5	7,5	7,66	2	79%	79%	absent
R.16-20	13,5	11	7,5	6,25	6,24	1,25	83%	81%	absent
R.10-36	21	10	12	5,5	5,67	6,5	46%	48%	11 cm
R.13-7	23	10,5	13	6	5,96	7	46%	46%	12,5 cm
R.10-9	23	19	13	11	10,78	2	85%	83%	4 cm
R.16-28	28	14,5	16	8	8,23	8	50%	52%	3,5 cm
R.41	28	22	16	12,5	12,48	3,5	78%	79%	6 cm
R.43-7	29	15	16,5	8,5	8,51	8	52%	52%	14 cm
R.16-29	30	17	17	9,5	9,65	7,5	56%	57%	13 cm
11 R.40-2*	36	14	20,5	8	7,94	12,5	39%	39%	> 22 cm

* grand format * valeur schématisée

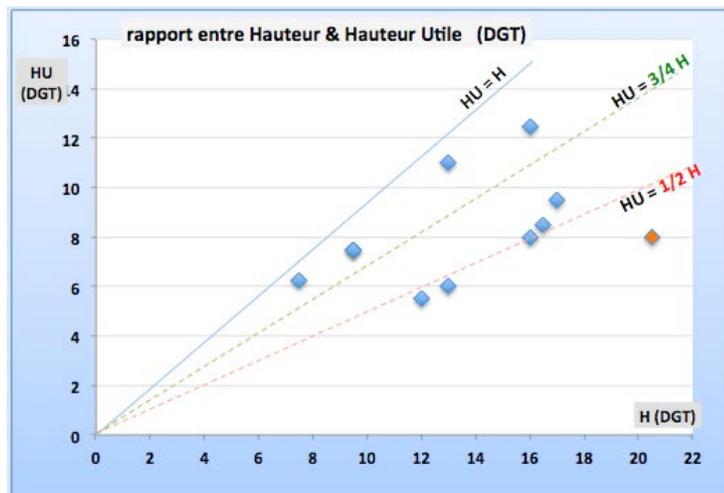
correspondant aux pics de fréquence justifiés par ce pied (Fig.Z-5). On observe en premier lieu que l'essentiel (63%) des *Metae* relevant du Pied de 28,2 ont une Hauteur de 12-13 dgt ou de 16-17 dgt soit $\frac{3}{4}$ de pied et 1 pied. En second lieu, les Hauteurs Utiles se concentrent autour de 8 dgt soit $\frac{1}{2}$ pied, la moitié d'entre elles s'expriment en demi-doigts.

La perte entre H et HU due à la Hauteur Passive (Hauteur du Cône ou le plus souvent à Orvieto, Hc Hauteur d'Evidement) tend à se répartir en un groupe à faible perte (2 dgt) et un groupe très nombreux à forte perte (6 à 8 dgt), le premier étant généralement dû à l'absence de l'Evidement interne ne raison de l'inachèvement de la meule.

25. Mais l'information principale concerne le rapport entre la Hauteur Utile et Hauteur totale (soit le Rendement en HU) qui observe en fait 3 classes respectivement de 46-52%, 78-79% et 83-85%, la grande *Meta* hors-normes R.40-2 montrant quant à elle un rendement très faible dû à l'importance inhabituelle de son évidement intérieur¹⁰.

On aurait tendance à interpréter ces rapports sous l'angle des canons métrologiques de type 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4, 4/3, 3/2 etc. En réalité, l'approximation entre 83-85% d'une part, et le rapport canonique le plus proche (75%) d'autre part qui apparaît trop important interrogent. De fait la mise en graphique du rapport HU/HU (Fig.Z-6) montre qu'aucune HU ne se situe sur la ligne représentant le rapport 75% soit 3/4. On est donc incité à mieux chercher la signification de ce rapport supérieur situé vers 80%.

FIG. Z-6 Metae d'Orvieto : Graphe des relations entre Hauteurs et Hauteurs utiles



26. Un test transcrivant ces pourcentages en 16è (Fig.Z-7), système de partition fréquent dans l'Antiquité et notamment sur les meules, montre que les rapports HU/H ne répondent pas à cette partition. En revanche les rapports

FIG. Z-7 Rapports HU/H transcrits en 16è

81%	13/16è
75%	12/16è
56%	9/16è
50%	8/16è
44%	7/16è
38%	6/16è

entre Hauteur Utile et Hauteur totale paraissent relever d'une partition en 12è (Fig.Z-8) et peut-être même plus exactement en 24è. Cependant, compte-tenu du fait qu'une unité fine ajuste toujours mieux une série de nombre qu'une plus grande, on aura ici tendance à retenir la partition en 12è, une certaine fluctuation des pourcentages étant probablement attribuable au caractère approximatif de la conversion initiale en dgt.

FIG. Z-8 Rapports HU/H transcrits en 12è et en 24è de H

83%	10/12è	2
75%	9/12è	3
50%	6/12è	5
42%	5/12è	1

83-85%	83%	10/12è	20/24è	2	5 soit 45%
78-79-79%	79%		19/24è	3	
	75%	9/12è	18/24è		
52-56%	54%		13/24è	1	5 soit 45%
50-52%	50%	6/12è	12/24è	2	
46-46%	46%		11/24è	2	
39%	38%		9/24è	1	

27. Par ailleurs la Fig.Z-6 montre bien que la distribution du rapport HU/H s'effectue en 2 classes bien distinctes : l'une centrée sur une HU égale à la moitié de H et l'autre située au-delà de 3/4 de H, en direction donc d'une Hauteur Utile maximale. Mais à y regarder de plus près on s'aperçoit que chacune de ces 2 classes se divise en 2 groupes, l'un de petites Hauteurs totales et l'autres, distant, de grandes Hauteurs situées sur 16 dgt soit des *Metae* de 1 pied de haut.

¹⁰ Inconnu dans sa totalité, son évidement est supérieur à 22 cm ce qui situe la hauteur utile réelle de cette *Meta* sur 1/3 ou 1/4 de la hauteur totale.

Le groupe des petites Hauteurs n'est pas centré sur le même segment s'agissant des *Metae* dont la Hu vaut $\frac{1}{2}$ Hauteur et celles dont la HU dépasse 75% : pour les premières, la Hauteur mesure 12 ou 13 dgt tandis que pour les secondes elle se situe entre 8 et 10 dgt.

Les Hauteurs Utiles excessives en raison d'une Hc non encore entreprise ou inachevée sont au nombre de 5 et leur rapport avec H se situe de ce fait sur 78/85%. La prise en compte de leur Hauteur Utile finale projetée (Fig.Z-9), i.e. d'un rapport de 50% ($\frac{1}{2}$ H), permet de percevoir la distribution normale et la structure du rapport HU/H (Fig.Z-10). De fait les Hauteurs Utiles se concentrent (6 sur les 10) sur le segment 5-6 dgt que vient compléter un groupe distant positionné sur le segment 8-10 dgt soit à 4 dgt (1 palme) de distance. Si les Hauteurs apparaissent relativement continues (de 7,5 à 13 dgt) pour le groupe des HU 5-6 dgt, en revanche elles se polarisent sur H 16 dgt pour le groupe des grandes Hauteurs Utiles (8-10 dgt) à une distance qui reste toutefois inférieure à 4 dgt (16 contre 13,5 dgt à la plus haute des petites HU finales).

FIG. Z-9 Hauteurs Utiles observées et Hauteurs Utiles projetées (en violet)

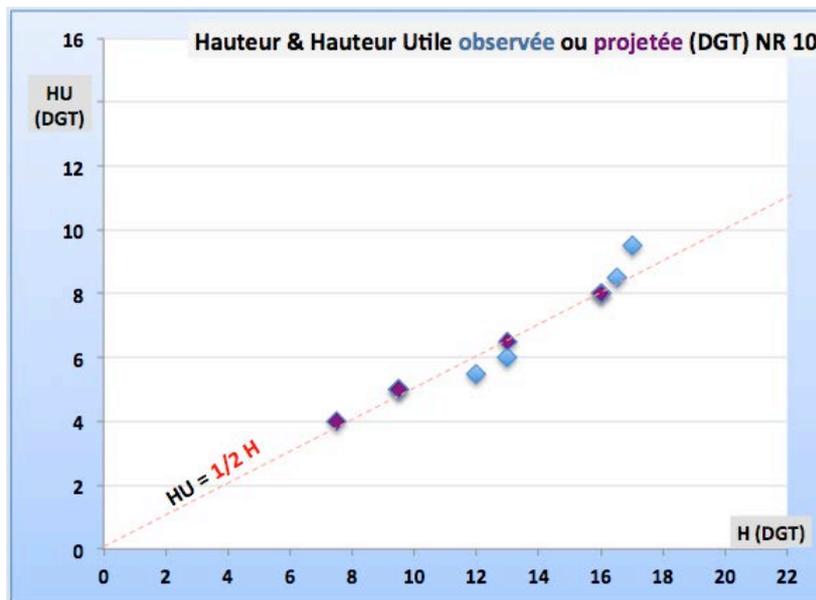
N° Meta	H et HU finales (projetées en violet)	
	H	HU
R.10-17	9,5	5
R.43-10	9,5	5
R.16-20	7,5	4
R.10-36	12	5,5
R.13-7	13	6
R.10-9	13	6,5
R.16-28	16	8
R.41	16	8
R.43-7	16,5	8,5
R.16-29	17	9,5

DGT

28. En définitive, la Hauteur Utile des *Metae* d'Orvieto répond à la règle $HU = \frac{1}{2} H$ et se distribue en 2 groupes, les HU de 5 à 6 dgt soit 1 à 1 palme et demi, puis les fortes HU centrées sur le demi-pied (8 dgt).

Nous ne sommes pas en mesure de dire si cette dualité dans la longévité de la meule dormante correspond à 2 types de moulin, à 2 lignes de production ou officines qui auraient été contemporaines ou bien successives.

FIG. Z-10 Graphe des relations entre Hauteurs et Hauteurs Utiles observées (en bleu) ou projetées à leur état final (en violet)



29. Pour synthétiser, la table de la Fig.Z-9 nous montre que les *Metae* d'Orvieto observent un schéma répondant aux 2 couples suivants :

H. 13 HU.6
H.16 HU.8 dgt

Le présent développement sera suivi d'un examen consacré à la Hauteur Utile des *Catilli*. Nous procéderons ensuite à une étude comparative entre

Orvieto et 3 ateliers afin de dresser un panorama des rapports entre Hauteur et Hauteur Utile des meules, d'appréhender de possibles différences de longévité entre *Catilli* et *Metae*, ou de percevoir enfin d'éventuels contrastes régionaux ou chronologiques malgré le caractère limité de notre échantillon.

2. La Hauteur Utile des *Catilli* d'Orvieto

30. La Hauteur Utile d'un *Catillus* correspond à la Hauteur totale (H) diminuée de la Hauteur Passive formée par le cumul de la Hauteur du Cône (HCo) et de celle de la Trémie (HTr) lorsque la meule n'est pas à plan supérieur plat. Soit la formule de calcul :

$$HU = H - (HCo + HTr).$$

FIG. 9 Stades de Façonnage représentés à travers les *Catilli* d'Orvieto

Cette hauteur de pierre consommable par l'usure peut être ultérieurement diminuée (cf. **CHAP.14**) par la présence d'un trou d'Emmanchement situé sous le plan d'ouverture de l'Œillard, c'est-à-dire en position B1 ou B2 (cf. **CHAP.14**).¹¹

Cependant, en l'état actuel des données aucun Emmanchement n'a été observé à Orvieto, ce qui signifie que ces mortaises latérales seraient réalisées au dernier stade (V) du façonnage (cf. **CHAP.7**) puisque le stade IV (perçement de l'Œillard) est largement représenté (30% des *Catilli* – **FIG.9**).

31. Nos observations à Orvieto ont permis d'enregistrer des données suffisantes pour 23 *Catilli* dont 2 sont seulement probables (R.16-2 et 26-6) et un troisième (R.40-29) pourrait être non pas un modèle Rotatif Bas mais un *Catillus* en bobine, plus proche des fabrications de Style Pompéien (voir BUONOPANE, CHARTRAIN, GULATIERI *à par.*).

32. La Hauteur Utile de ces 23 ébauches de meule tournante s'étend sur l'intervalle 1,5 à 13 cm (**FIG.10**) et principalement (88%) entre 5 et 13 cm soit entre 3 et 8 dgt (1/2 pied). Les 2/3 des *Catilli* s'inscrivent entre 5 et 8,5 cm (soit entre 3 et 5 dgt). La Hauteur Utile moyenne des *Catilli* est de 7,2 cm (soit 4 dgt ou 1/4 de pied) tandis que pour les *Metae* elle s'observe sur 17,66 cm (vraisemblablement surestimée en raison des inachèvements) et qu'elle est attendue à 12,65 cm soit 7 dgt. On constate donc que la Hauteur Utile des *Catilli* s'avère en moyenne presque 2 fois inférieure à celle des *Metae*.

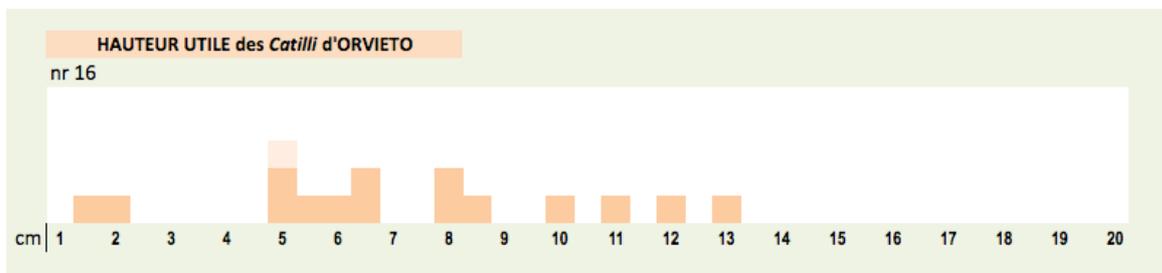
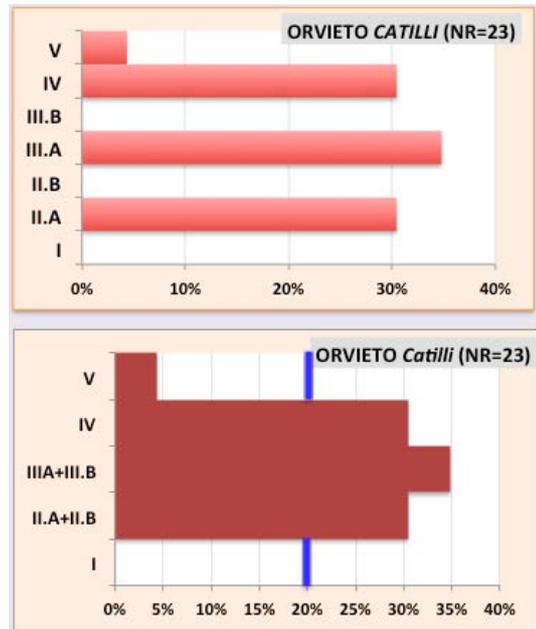
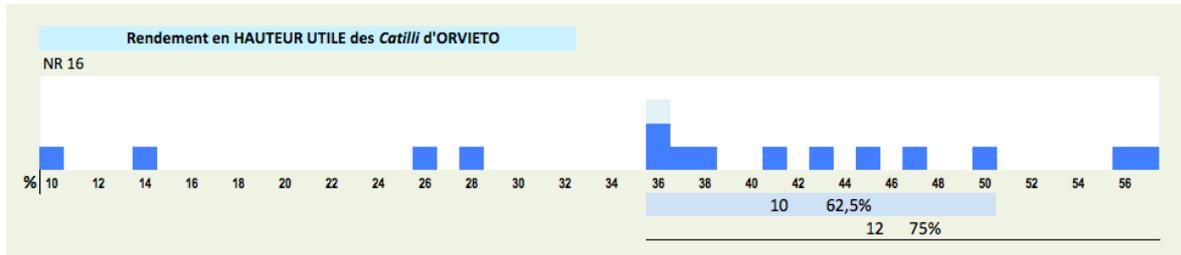


FIG. 10 Hauteurs Utiles des 23 *Catilli* d'Orvieto

¹¹ On aurait d'ailleurs avantage à dénommer ce surcroît de Hauteur Passive par le sigle HPe (pour HP due à Emmanchement) en complément et par analogie avec la HPi des *Metae* (cf. note 3 *supra*).

33. Le caractère faible de la Hauteur Utile constatée sur les exemplaires de *Catilli* mis au rebut s'explique par la conjonction qu'ils opèrent entre deux facteurs minorants très développés. En effet on observe d'une part une forte Profondeur de la Trémie puisqu'en moyenne HTr mesure 7,02 cm et occupe 38% de la Hauteur totale d'un *Catillus* et d'autre part une importante Hauteur de Cône puisqu'elle mesure en moyenne 4,5 cm et occupe 24% de la Hauteur totale. En définitive la Hauteur Passive correspondant à ces deux minorations cumule 62% de la Hauteur du *Catillus* et le Rendement en Hauteur Utile (HU/H) se trouve ainsi limité à 37%.

FIG. 11 Distribution du Rendement en Hauteur Utile des *Catilli* d'Orvieto



34. Les 4 exemplaires dont le Rendement est quasi nul (10/14% -**FIG.11**) ou très faible (ca.25%) sont à considérer comme des erreurs très importantes dues à la conjonction d'une Trémie trop développée (HTr > 40% de H) et d'une forte Conicité (HCo > à 30% de la Hauteur totale H)¹². L'existence d'une Hauteur importante pour 2 d'entre eux n'a pas suffi à compenser la faiblesse de la Hauteur Utile qui pour ces 4 *Catilli* constitue probablement le motif principal de la mise au rebut.

On peut penser que l'opérant a appliqué une valeur erronée pour chacun des deux Cônes qu'il avait à creuser même si l'on observe que les Hauteurs de Trémie et de Cône sont relativement proportionnées au module (couple HTr-HCo 8-6 et 6,5-5,5 pour les 2 *Catilli* de Rendement 10 et 14%, HTr-HCo de 9-7 et 12-9 cm pour ceux de 26 et 28%). Cela suggère que les meuliers manipulaient des couples de Hauteurs applicables à la Trémie et au Cône actif, ou bien qu'ils possédaient des automatismes parfois trop solides¹³.

On peut également remarquer que, dans l'hypothèse (voir *infra*) où le Rendement en Hauteur Utile visé par la fabrication aurait été de l'ordre des 2/3 de la Hauteur totale du *Catillus*, l'erreur totale commise a été celle d'un cumul de HTr et HCo 2 à 2,5 fois trop fort (par ex. 21 cm contre 10,2 maximum attendu soit facteur 2 ou 12 contre 4,9 soit un facteur 2,5 - **FIG.12**).

HTr et HCo attendues pour les 4 <i>Catilli</i> les plus erronés								
Rendement en HU	<i>Catillus</i> n°	D.	H.	HTr observées	HCo observées	HP cumul	HP attendue pour HU 65% de H	DGT
10%	R.10-38	31	15,5	8	6	14	5,4	3
14%	R.10-39	30	14	6,5	5,5	12	4,9	2,5
26%	R.13-24	36	21,5	9	7	16	7,5	4
28%	R.40-24	38	29	12	9	21	10,2	5,5

FIG. 12 Hauteur Passive (HTr + HCo) excessive pour 4 *Catilli* d'Orvieto montrant le plus faible Rendement en Hauteur Utile

¹² Il s'agit d'une part des petits modules (D. 1 pied) que sont les *Catilli* R.10-38 et -39 (Rendement HU 10 et 14%, Diamètre D. 31 et 30 pour une H. de 15,5 et 14 cm) et d'autre part des plus grands modules (D. 1 pied ¼) R.13-24 et R.40-24 (avec respectivement un Rendement en HU de 26 et 28% et des dimensions D.36 et H.21,5 ainsi que D.38 et H.29).

¹³ L'importante erreur commise sur ces 4 *Catilli* a pu se produire à la faveur d'un changement, l'opérant étant par exemple habitué à façonner du plus gros, mais pour les 2 exemplaires épais (H.29 et 21,5) une autre explication serait à rechercher : une erreur dans la mesure de H n'est pas recevable car on aurait alors mesuré 58 au lieu de 29 ou 43 au lieu de 21,5 ; une erreur dans le choix du couple de hauteurs à appliquer à la Trémie et au Cône est plus probable.

35. L'examen des Rendements en H.U individuels (Table FIG.11) montre que pour deux tiers ils se situent entre 36 et 50% de la Hauteur totale du *Catillus* (FIG.13). Cela signifie que l'essentiel des *Catilli* non rebutés devaient très probablement présenter une Hauteur Utile supérieure ou égale à 50% de H.

FIG. 13 Diagramme croisant les Hauteurs & le Rendement en Hauteur Utile des *Catilli* d'Orvieto

Dans le développement qui vient on s'interrogera sur la proportion de la Hauteur qui a pu être consacrée à la Hauteur Utile. On considèrera tout d'abord (FIG.14) les pics de fréquence qui signalent les Hauteurs qui ont été à priori les plus pratiquées si du moins

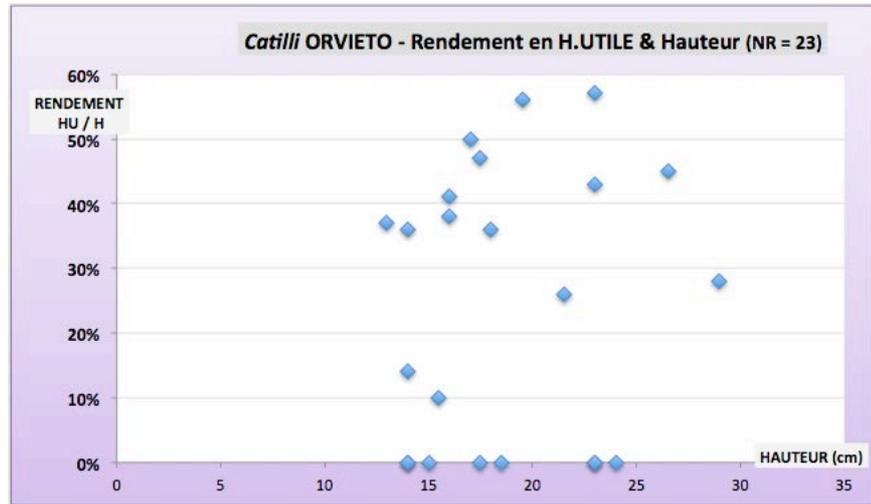
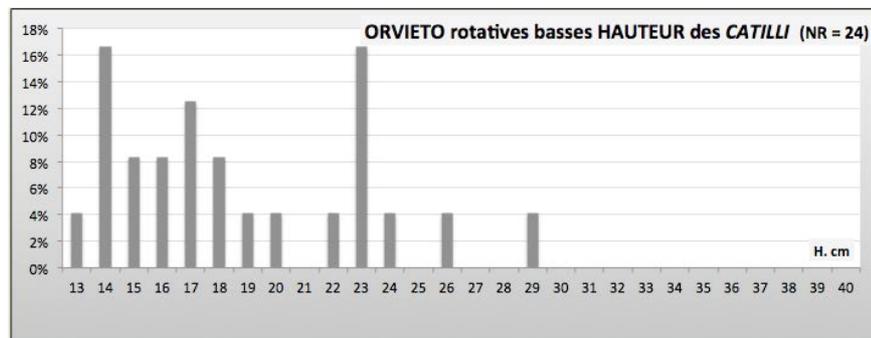


FIG. 14 Hauteurs des *Catilli* d'Orvieto & Pics de fréquence

les rebuts reflètent avec une certaine fidélité la population fabriquée, c'est-à-dire s'il n'existait pas de distorsion importante entre l'éventail des Hauteurs réalisées et celui des Hauteurs présentées par les *Catilli* rebutés.



36. Les Hauteurs des *Catilli* sont caractérisées par 3 pics de fréquence, d'une intensité voisine (autour de 20%), il s'agit de H. 14/17/23 cm. Ces 3 Hauteurs prépondérantes se situent métrologiquement sur 8/10/13 Doigts (FIG.15), les 3 pics ne relevant peut-être d'ailleurs pas du même pied. La valeur 13 dgt est un peu surprenante car on attendrait logiquement plutôt 12 dgt, dimension qui est canonique (3 Palmes ou $\frac{3}{4}$ de pied) et qui est très divisible (par 2, 3, 4 et 6) bien au contraire de 13.

FIG. 15 Dépistage Métrologique de H

Guidés par ce triptyque, on peut réaliser des simulations en privilégiant l'éventualité que les fabricants des *Catilli* aient maîtrisé le paramètre Hauteur Utile en lui attribuant une valeur entière de Doigts (abrégé en dgt), comme l'était le Diamètre et très

HAUTEURS des <i>Catilli</i> d'ORVIETO Pics de fréquence	
Pics H.	DGT
14 cm	7,94 <i>pied 28,2</i>
17 cm	9,89 <i>pied 27,5</i>
23 cm	13,05 <i>pied 28,2</i>

probablement la Hauteur.

37. En d'autres termes, quels sont à partir du triplet 8/10/12-13 dgt, les Rendements en HU donnant un nombre entier de dgt ?

On a donc cherché à savoir, parmi les plus fréquemment attestés sur les meules, quels pieds donnaient pour 8/10/12-13 dgt une valeur de 14/17/23 cm. Les résultats, illustrés par la FIG.16 sont détaillés ci-après.

Ils tendent en premier lieu à indiquer que le Pied de 27,5, celui de 28,2 et le Pied de Glanum de 28,5 rendraient le mieux compte des pics de fréquence. Le Pied de 29,25 cm (Vindonissa-Bolsena) ainsi que le *Pes Monetalis* (29,56 cm) seraient en revanche à écarter.

La seconde indication réside dans fait que la valeur de 12 dgt est à priori difficilement envisageable pour le Pic de 23 cm sauf si elle procède du Pied de Manching (30,9 cm).

FIG. 16 Métrologie des 3 Pics de Fréquence de la Hauteur des *Catilli* d'Orvieto - en jaune les valeurs en cm données par les différents pieds et qui concordent avec 14 / 17 / 23 cm -

ORVIETO HAUTEUR des <i>Catilli</i> - Métrologie des Pics de Fréquence								
8 DGT	Pics H. 14 cm	Pieds						
		27,5	28,2	28,5	29,25	29,56	30,1	30,9
		8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	valeur attendue du Pic	13,75	14,10	14,25	14,62	14,78	15,05	15,45
10 DGT	17 cm	10,01	10,0	9,99	10,0	10,0	10,0	10,0
		17,20	17,62	17,80	18,28	18,48	18,82	19,32
13 DGT	23 cm	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
		22,34	22,92	23,15	23,76	24,01	24,45	25,10
12 DGT	23 cm	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
		20,62	21,15	21,38	21,94	22,17	22,58	23,18

Cela ne cadre pas avec les deux autres pics et signifierait donc que les *Catilli* hauts de 23 cm constitueraient une fabrication distincte régie par un pied différent. Ce cas de figure est tout à fait envisageable et supposerait que

d'autres Hauteurs relèvent de ce second pied : ce serait en fait le cas des valeurs 15,5 cm (8 dgt) et 17,4 cm (9 dgt) qui sont compatibles avec les mesures observées (voir FIG.14) ainsi que, plus marginalement, de la hauteur 19,3 cm (10 dgt).

L'autre moyen de retenir une valeur de 12 dgt pour le pic sur 23 cm est de considérer que cette mesure est un peu approximative et qu'elle correspondrait en réalité plutôt à ca. 21,25 cm (Pieds de 28,2 ou 28,5) ou à ca. 22 cm. Cependant ces valeurs sont trop éloignées de 23 cm pour être probables d'autant que le pic de fréquence sur 23 cm est très resserré.

3. Simulations de Rendements en Hauteur Utile pour les *Catilli* fabriqués à Orvieto

38. On cherche à répondre à la question suivante : quel pouvait être le Rendement en Hauteur Utile des *Catilli* fabriqués à Orvieto, autrement dit l'épaisseur de pierre usable au sein de leur Hauteur totale? Les exemplaires mis au rebut montrent un rapport HU/H compris entre 36 et 50%, orientant ainsi à priori vers un Rendement égal ou supérieur à 50% de la Hauteur.

Un Rendement fort (de type 80 à 100% de H) est à écarter dans la mesure d'abord où les fabricats orviétans montrent une Conicité élevée (11 à 23°) qui implique une Hauteur de Cône (HCo) supérieure à 1 ou 2 cm, et dans la mesure ensuite où l'absence de Trémie apparaît peu probable (les *Catilli* relevant globalement du modèle Continental). Ainsi les meules tournantes fabriquées à Orvieto incorporaient très probablement une Hauteur

Passive (HP) au minimum de 2 ou 3 cm (HTR + HCo), leur Rendement en HU se trouvant de ce fait obligatoirement inférieur à 100% voire à 85-80%¹⁴.

39. Les simulations de Rendements en HU que nous avons effectuées reposent sur l'hypothèse que la Hauteur Utile correspondait, tout comme le Diamètre et la Hauteur totale H, à un nombre entier de Doigts.

La Hauteur totale des *Catilli* montrant 3 pics de fréquence (sur 14, 17 et 23 cm) qui correspondent respectivement à 8, 10 et 13 ou 12 dgt, on a recherché -parmi les Pieds les plus fréquemment attestés sur les meules- ceux dont le triplet 8/10/13-12 dgt pouvait correspondre aux 3 pics 14/17/23 cm.

Les simulations sont dénommées **A/B/C** pour chacun des pics 14/17/23 cm. Le pic 23 cm fait l'objet de 2 simulations (C.1 et C.2) l'une pour 13 dgt et l'autre pour 12 dgt. Les 4 simulations sont présentées et commentées ci-dessous. La synthèse est rédigée hors Encart, en fin de commentaire du texte de la partie 2 de ce Chapitre, sous les numéros de paragraphe 21. et suivants.

1- Simulation A. pour le pic de fréquence H. 14 cm

40. Le Pic des HAUTEURS sur 14 cm pourrait relever des Pieds de 27,5 à 28,5 voire de ceux de 29,25 et 29,56 si l'on considère l'extension vers 15 cm. Il correspond à une Hauteur calibrée sur 1/2 Pied (8 dgt).

FIG.A Pic H. 14 cm

A.		Pic H.	27,5	28,2	28,5	29,25	29,56	30,1	30,9
8 DGT		14 cm	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
valeur attendue du Pic =			13,75	14,10	14,25	14,62	14,78	15,05	15,45
HU / H		DGT	valeur de HU en cm pour chacun des pieds					HTR + HCo	
1/2	50%	= 4	6,88	7,05	7,13	7,31	7,39	cm	ca. 7 cm
2/3	62,5%	= 5	8,59	8,81	8,91	9,14	9,24	cm	ca. 5 cm
3/4	75%	= 6	10,31	10,58	10,69	10,97	11,09	cm	ca. 3,5 cm
7/8è	87,5%	= 7	12,03	12,34	12,47	12,80	12,93	cm	ca. 1,5 cm

Si les meuliers déterminaient la HAUTEUR UTILE à travers un nombre entier de dgt proportionnel à la Hauteur, 4 valeurs de HU sont alors possibles : 4/5/6 et 7 dgt. Elles correspondraient à un Rendement en HU de 50%/62,5%/75 et 87,5% de H., c'est-à-dire aux proportions canoniques de 1/2, de 2/3, de 3/4 et de 2/16è.

Les proportions de 75 et 87,5% laissant une épaisseur (HP) de seulement 1,5 à 3,5 cm pour à la fois HTR et HCo, soit 1 à 2 dgt, elles ne devaient pas ou guère être pratiquées. En effet les très faibles Conicités qu'elles entraînent (4-6°) sont absentes d'Orvieto et les *Catilli* sans trémie y sont peu probables.

• En conséquence seuls les Rendements en HU de 50 et 62,5% de la Hauteur apparaissent probables,

¹⁴ En effet si l'on considère la plus grande Hauteur (23 cm) diminuée de HTr+HCo 2 ou 3 cm cela donne une HU de 20 ou 21 cm soit 87 ou 91% ; si l'on considère la plus petite Hauteur fabriquées (14 cm),une fois diminuée de 2 ou 3 cm son Rendement en HU se situe sur 85 ou 78%.

2- Simulation B. pour le pic de fréquence H. 17 cm

41. Le Pic des HAUTEURS de 17 cm semble relever du Pied de 27,5 voire de ceux de 28,2 et 28,5 si l'on considère l'extension vers 18 cm. Il correspond à une Hauteur calibrée sur 10 dgt soit 2,5 Palmes et 2 dgt de plus que le Pic des Hauteurs les plus faibles centré sur 14 cm.

Si les meuliers déterminaient la HAUTEUR UTILE par le biais d'un nombre entier de dgt proportionnel à la Hauteur, 3 valeurs de HU sont alors possibles : 5 dgt, 6 et 8 dgt. Elles correspondent à un Rendement en HU de 50%, 60% et 80% de H. c'est-à-dire aux proportions de 1/2, de 3 et 4/5è.

Si les meuliers ont travaillé au demi- dgt (soit 0,9 cm), on peut en sus envisager la réalisation de *Catilli* d'un Rendement en HU de 75% de leur Hauteur, soit une HU de 7,5 dgt sur les 10 représentés par le pic H. 23 cm.

FIG.B Pic H. 17 cm

B.	Pic H.	27,5	28,2	28,5	29,25	29,56	30,1	30,9
10 DGT	17 cm	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
valeur attendue du Pic =		17,19	17,62	17,81	18,28	18,48	18,82	19,32
HU / H	DGT	valeur de HU en cm selon pied			HTR + HCo			
1/2	50% = 5	8,60	8,81	8,91 cm	ca. 9 cm			
3/5è	60% = 6	10,31	10,58	10,69 cm	ca. 7 cm			
3/4	75% = 7,5	12,89	13,22	13,36 cm	ca. 4,5 cm			
8/10è	80% = 8	13,75	14,10	14,25 cm	ca. 3,5 cm			
					HTR + HCo			

42. Toutefois, comme pour les Hauteurs de 14 cm, les proportions de 75 et 80% -au reste très voisines- n'ont peut-être pas été fabriquées car elles laissent peu d'épaisseur pour à la fois la Trémie et la Hauteur de Cône, soit une HP totale de 4 cm. Une hauteur de 1,5 ou 2 cm donne en effet une angulation maximale de 6/7° pour les plus petits diamètres (29-30 cm) et cette Conicité baisse avec des diamètres supérieurs. Cette configuration à faible HP est très peu probable à Orvieto, les *Catilli* y possédant un Angle supérieur à 10-11° ce qui leur confère une HCo d'au moins 3 cm dès les plus petits diamètres et impliquerait donc une trémie quasi plate.

- En conséquence seuls les Rendements en HU de 50 et 60% de la Hauteur apparaissent probables, le Rendement de 75% supposant les cas, rares, qui conjuguent une Conicité et une trémie faibles avec à la fois une manipulation des longueurs en demi-doigt.

3- Simulation C. pour le pic de fréquence H. 23 cm

43. On a effectué deux simulations, l'une (C.1) pour 23 cm correspondant à 13 dgt, l'autre (C.2) pour 12 dgt.

En effet, la valeur 13 dgt pose problème dans la mesure où elle ne correspond pas aux mêmes pieds que les pics valant 8 et 10 dgt, dans la mesure également où elle ne correspond pas à une scansion canonique en Palme (4 dgt) ou en un nombre pair de dgt faisant suite à ceux, 8 et 10 dgt, des autres pics. On attendrait en effet que ce troisième fréquence de H. vaille 12.

Enfin, 13 dgt est une grandeur non divisible et donc délicate à manipuler à travers des proportions « naturelles » ou métrologiquement canoniques telles que $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{3}{4}$ ou encore $\frac{4}{5}$, $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{12}$.

FIG.C1

Pic H. 23 cm = 13 dgt

44.

Dans le même temps, comme le montre la troisième ligne de la **Figure C.1**, la valeur de 12 dgt est à priori difficile à envisager pour ce pic de 23 cm car seul le

C.1	Pic H.	27,5	28,2	28,5	29,25	29,56	30,1	30,9
12 DGT	23 cm	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
valeur attendue du Pic =		20,62	21,15	21,38	21,94	22,17	22,58	23,18
13 DGT	23 cm	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
valeur attendue du Pic =		22,34	22,92	23,15	23,76	24,01	24,45	25,10
13 DGT	HU / H	DGT						
$\frac{1}{2} + \frac{1}{20}$	54%	= 7,02	7 DGT					
$\frac{1}{2}$	50%	= 6,5	ca.7 DGT	11,45	11,58 cm	11,5 cm		
$\frac{2}{3}$	62,5%	= 8,12	ca.8 DGT	14,32	14,47 cm	ca. 7,5 cm		
$\frac{7}{10}$	70%	= 9,10	ca.9 DGT	16,04	16,21 cm	7 cm		
$\frac{3}{4}$	75%	= 9,75	ca.10 DGT	17,18	17,36 cm	5,5 cm		
	77%	= 10,01				HTR + HCo		

Pied de Manching (30,9) est susceptible de générer la dimension 23 cm, les pieds plus couramment attestés sur les meules donnant une valeur trop éloignée (20,5 à 22,5 cm). Il est par ailleurs difficile de retenir que les mesures archéologiques formant le pic 23 cm sont approximatives et qu'elle seraient en réalité de l'ordre de 21/22 cm : la distorsion avec 23 cm est trop grande et le pic bien resserré sur la valeur 23.

On est donc conduit soit à retenir la valeur de 13 dgt pour ce pic des Hauteurs sur 23 cm, soit à considérer qu'il correspond à 12 dgt mais a été généré par le Pied de 30,9 ou bien, moins probablement, que les 23 cm intégreraient une surépaisseur systématique de l'ordre de 1 à 1,5 cm (qui resterait à expliquer).

Si le pic de fréquence des Hauteurs situé sur 23 cm correspond à 13 dgt, il apparaît en cohérence avec les deux autres pics (14 et 17 cm soit 8 et 10 dgt) car il procède également des pieds de 28,2 ou 28,5 (le Pied Osco-italique de 27,5 serait écarté car il génère une valeur 22,34 cm trop éloignée de 23 cm ; le Pied Impérial de 29,56 aboutissant quant à lui à une valeur excessive : 24,01 cm).

45. Si les meuliers déterminaient la HAUTEUR UTILE par le biais d'un nombre entier de DGT proportionnel à la Hauteur, seules des valeurs approchées de HU sont alors possibles :

HU mesurée par 50% de H donnerait en réalité 6,5 dgt au lieu de 7 ou 6 désirés

HU mesurée par $\frac{2}{3}$ de H donnerait en réalité 8,1 dgt au lieu de 8 désirés

HU mesurée par $\frac{7}{10}$ de H donnerait en réalité 9,1 dgt au lieu de 9 désirés

HU mesurée par 75% de H donnerait en réalité 9,75 dgt au lieu de 10 désirés.

Dans cet éventail de valeurs de HU, les Rendements de $\frac{2}{3}$ (63%) et de $\frac{7}{10}$ apparaissent comme les meilleures approximations.

Il reste que l'on peut envisager que les meuliers, s'ils désiraient savoir exactement le nombre de dgt de la Hauteur Utile qu'ils voulaient obtenir, aient pu ramener les Hauteurs de 13 dgt à une Hauteur de 12 en retranchant systématiquement 1 dgt et en portant ce surplus systématiquement au bénéfice soit de la HU soit de la Hauteur de Trémie.

46. La situation et les calculs pour obtenir une Hauteur Utile en nombre rond de dgt sont plus aisés si la Hauteur totale qui sert de base à cette détermination correspond à 12

dgt (FIG.C2 ci-dessous). En effet, les proportions les plus courantes ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{3}{4}$) appliquées à la Hauteur H vont donner une HU en dgt entiers (6, 8 ou 9 dgt). Une Hauteur Utile de 10 dgt (calculable par les $\frac{10}{12}$ de H) est moins probable car elle ne laisse que 2 dgt (soit 3,6 cm) pour le cumul de la Hauteur du Cône et celle de la Trémie.

FIG.C2

C.2		Pic H.	27,5	28,2	28,5	29,25	29,56	30,1	30,9
12 DGT	22 cm		12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
valeur attendue du Pic =			20,62	21,15	21,38	21,94	22,17	22,58	23,18
1/2	50% =	6	6,88	10,57	10,68	10,97	11,08	11 cm	
2/3	66,6% =	8	8,59	14,10	14,25	14,62	14,78	ca. 7,5 cm	
3/4	75% =	9	15,47	15,86	16,03	16,45	16,62	5,5 cm	
10/12	83,3% =	10	17,18	17,62	17,81	18,28	18,47	3,5 cm	
valeur de HU en cm pour chacun des pieds									HTR + HCo

- Ainsi une Hauteur de *Catilli* calibrée à 12 dgt autorise le façonnage d'une Hauteur Utile de 6, 8 et 9 dgt à travers la manipulation des proportions les plus courantes ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ et $\frac{3}{4}$) soit un Rendement en HU de 50, 66 et 75%.

4- Synthèse des simulations

47. Les 4 simulations réalisées permettent de dresser le tableau des Hauteurs Utiles, calibrées en nombre entier de dgt (Fig.D), ceci pour chacun des 3 pics de fréquence constatés parmi les Hauteurs.

FIG.D Tableau de synthèse de Hauteurs Utiles calibrées en DGT entiers & correspondant à chacun des 3 pics de fréquence de H.

Synthèse des SIMULATIONS de la HAUTEUR UTILE en DGT						
A.	Pic H.	14 cm	HU 4 DGT	50%	HTR+HCo = 4 DGT	
			HU 5 DGT	62%	HTR+HCo = 3 DGT	
B.	Pic H.	17 cm	HU 5 DGT	50%	HTR+HCo = 5 DGT	
			HU 6 DGT	66%	HTR+HCo = 4 DGT	
			HU 7,5 DGT	75%	HTR+HCo = 2,5 DGT	
			HU 7 DGT	70%	HTR+HCo = 3 DGT	
C.	Pic H.	23 cm	HU 6 DGT	50%	HTR+HCo = 7 DGT	
			HU 7 DGT	54%	HTR+HCo = 6 DGT	
			HU 8 DGT	62%	HTR+HCo = 5 DGT	
			HU 9 DGT	70%	HTR+HCo = 4 DGT	
			HU 10 DGT	78%	HTR+HCo = 3 DGT	

Il apparaît ainsi (Fig.E) que 2 Hauteurs Utiles (4 et 5 dgt) sont réalisables à travers la Hauteur de *Catillus* 14 cm, 3 autres le sont pour la Hauteur 17 cm tandis que 5 peuvent être obtenues à travers le pic situé sur 23 cm de hauteur.

FIG.E Hauteurs Utiles en dgt entiers pouvant être obtenues

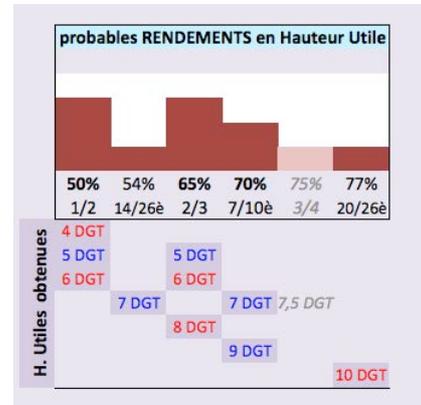
Ainsi un total de 10 Hauteurs Utiles calibrées en en dgt entiers peuvent être obtenues à travers ces 3 Hauteurs de *Catillus* récurrentes. S'il était réalisé, un tel calibrage permettrait de maîtriser avec précision le capital horaire attaché à chaque meule et donc sa durée totale de travail.

Pics	HAUTEUR UTILE en DGT		
	IMPAIRE	PAIRE	
14	5	4	2 HU
17	5 - 7	6	3 HU
23	7 - 9	6 - 8 - 10	5 HU
	5 - 7	6	
	5 - 7 - 9	4 - 6 - 8 - 10	
total	5	5	10 HU

48. Ces 10 HU observées sur les 3 Hauteurs de *Catillus* correspondent à 6 calibres : 5, 6, 7, 8, 9 et 10 dgt. Il n'est pas inintéressant d'examiner la répartition des Hauteurs Utiles calibrées ainsi possibles.

On note d'abord que, logiquement, plus un *Catillus* est épais plus il autorise la fabrication de HU en nombre entier de dgt. Mais surtout, l'obtention est favorisée pour 3 de ces 6 Hauteurs Utiles : celles mesurant 5, 6 et 7 dgt totalisent en effet 6 des 10 HU réalisables. Pour les rendre concrètes, on indiquera que 5/6/7 dgt correspondent à environ 9/10,5/12,5 cm. Par ailleurs, la Hauteur de *Catillus* de dimension modérée, celle de 17 cm, permet à elle seule l'obtention de ces 3 Hauteurs Utiles ainsi à priori statistiquement favorisées.

FIG.F Rendements en Hauteur Utile permettant l'obtention des H.U calibrées en nombre entier de dgt



49. Les 6 Hauteurs Utiles calibrées en dgt sont obtenues à travers un Rendement (rapport HU/H) situé entre 50% et 77%, et plutôt majoritairement situé entre 50 et 70% (Fig.F), un gros contingent étant centré sur les valeurs 62,5-66% et 70%.

Par conséquent, le plus souvent la Hauteur Utile vaut autour de la moitié ou des 2/3 de la Hauteur d'un *Catillus*.

Les proportions récurrentes à utiliser sont alors celles, canoniques, de 1/2, de 2/3 et celle, peut-être plus insolite, de 7/10.

Cette dernière semble se substituer à la proportion canonique de 3/4, sans doute parce qu'un Rendement de 75% laisserait une épaisseur trop réduite pour HTr et HCo, c'est-à-dire à la fois pour réaliser une Hauteur du Cône adéquate, déterminée par l'Angle de la Surface Active, et pour aménager une trémie de profondeur suffisante. En effet, avec une HU représentant 75% de la Hauteur ou plus, la Hauteur Passive restant pour aménager HTr et HCo est, pour une Hauteur de 8, 10 ou 12-13 dgt correspondant aux pics de 14, 17 et 23 cm, toujours égale ou inférieure à 3 dgt soit 5,3/5,5 cm.

50. On peut à ce propos imaginer que le calibrage en dgt entiers ait été également appliqué à HCo et HTr permettant ainsi une totale maîtrise de la Hauteur Utile, cette dernière se trouvant alors automatiquement calibrée dès lors que l'est la Hauteur totale H. Toutefois, il n'est pas sûr que cette calibration intégrale soit nécessaire ni d'ailleurs qu'elle soit possible.

En effet, une HTr non calibrée peut s'avérer intéressante car elle peut ainsi servir de variable d'ajustement, étant alors un paramètre libre dont la valeur est une résultante, celle du solde d'épaisseur restant disponible après qu'ait été déterminée d'abord la Hauteur Utile, calibrée en dgt comme l'est la Hauteur totale, et après qu'ait été ensuite réalisée la Hauteur du Cône, toutes deux constituant des paramètres prioritaires. Dans ce cas HCo n'est également pas calibrée en dgt entiers.

51. La Hauteur de Cône dépendant d'un Angle, son calibrage en dgt voire en demi-dgt est à priori un art difficile puisque la valeur de HCo varie avec chaque Diamètre. Ainsi une Hauteur de Cône qui mesurerait 1 dgt avec un diamètre par exemple de 30 cm va croître de quelques décimales si le *Catillus* est d'un diamètre plus grand. Néanmoins, la nécessité de coupler *Catilli* et *Metae* conduit une production contrôlée des Angles de meules. De fait on observe que chaque Atelier fabrique dans un éventail restreint de conicités (cf. CHAP.12). Il est ainsi possible que les Angles des meules aient été choisis afin que, pour chacun des

différents Diamètres produits, ils aient permis l'obtention d'une Hauteur de Cône calibrée en un nombre entier de dgt.

Conclusions

En définitive, on peut souligner les aspects suivants :

52. La Hauteur Utile observable sur les 23 ébauches de *Catillus* d'Orvieto mises au rebut s'étend de 5 à 13 cm soit de 3 à 8 dgt, la moyenne s'établissant à 7,2 cm soit 4 dgt et deux fois moins que la HU des 32 *Metae* correspondantes (17,6 cm).

Cette Hauteur Utile apparaît affaiblie par deux facteurs minorant, une Hauteur de Trémie (HTr) et une Hauteur de Cône (HCo) tantôt l'une tantôt les deux excessives, et dont la conjonction a imparablement constitué un motif de rebut dans 1 cas sur 2. Le Rendement de la Hauteur totale en Hauteur Utile (HU/H) est alors faible (26 et 28%) voire nul (10 et 14%).

Sur les autres exemplaires rejetés, le rendement en HU se concentre sur l'intervalle 36 à 50% ce qui suggère que les *Catilli* retenus présentaient une HU égale ou supérieure à 50% de leur Hauteur totale.

53. La réalisation de simulations permet d'envisager la Hauteur Utile des *Catilli* fiables qui par définition ne figurent pas dans l'assemblage des rejets d'Atelier.

Ainsi, dans l'hypothèse où la Hauteur Utile serait calibrée en un nombre entier de Doigts, et sur la base des 3 gabarits de Hauteur observés (H.14/17/23 cm soit 8/10/12-13 dgt) on peut restituer une Hauteur Utile à neuf, en sortie de fabrication. Cette HU se situerait sur l'intervalle de 4 à 10 dgt, les Hauteurs Utiles de 5, 6 et 7 dgt apparaissant favorisées car fabricables dans chacune des 3 Hauteurs. On notera que cette HU est inférieure à 8 dgt c'est-à-dire à 1/2 pied.

54. Ces Hauteurs Utiles calibrées correspondent à un Rendement situé entre 50 et 70%, elles sont obtenues par l'utilisation des proportions de 1/2, 2/3 et 7/10^e. Si les deux premières sont canoniques, la troisième est plus insolite. Elle se substitue probablement à celle de 3/4 (HU valant 75% de H), naturelle elle aussi, mais qui dans le cas des 3 Hauteurs en vigueur sur les *Catilli* d'Orvieto laisse (H-HU) une épaisseur de 3 dgt probablement insuffisante pour y ménager à la fois une Hauteur de Cône (HCo) et une profondeur de Trémie (HTr) : en effet à Orvieto, la Conicité assez élevée (supérieure à 10°) et la présence probablement systématique de la Trémie réclament une Hauteur Passive (HP = HCo+HTr) d'au moins 3 dgt.

55. A cet égard la Hauteur moyenne des *Catilli* d'Orvieto est de 10,5 alors que l'on attendrait plutôt 12 dgt (valeur canonique de 3 palmes) ou 10 dgt ce qui avec une Hauteur passive moyenne de 6 dgt donnerait une Hauteur Utile en moyenne de 6 ou de 4 dgt. Dans le même temps une HU de 4 dgt apparaît faible, en limite de la faisabilité.

Aussi peut-on se demander si le schéma pilotant les *Catilli* orviétans ne serait pas, plutôt que H.10,5 HP.6,5 HU.4 celui-ci : H.12 HP.6 HU.6

Ce schéma supposerait qu'en moyenne la Hauteur des *Catilli* soit portée à 12 dgt, c'est à dire 21 ou 22 cm (en pieds de 28,2 ou 29,56). Cela signifierait une hausse moyenne de 1,5 dgt et le renforcement notable de la fraction des *Catilli* hauts de 21-23 cm. Or ces hauteurs sont tout à fait compatibles avec celles observées. Il est donc possible que l'essentiel des *Catilli* viables (et donc soustraits à notre observation directe à travers les rebuts) aient été d'une Hauteur égale ou supérieure à 21-23 cm et qu'ils aient généré une Hauteur Utile de 6 dgt.

Seule l'observation, en contexte d'utilisation, de *Catilli* qui auraient cette épaisseur permettra de statuer.

FIG. 17 : *Catilli* d'Orvieto : Table des Hauteurs, Hauteurs Passives et Hauteurs Utiles

ORVIETO MRB - HAUTEUR UTILE & HAUTEUR des <i>Catilli</i>													
col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5	col. 6	col. 7	col. 8	col. 9	col. 10	col. 11	col. 12	col. 13	
CATILLI	STADE de FAÇONNAGE	DIAM	H.	H. TR	HTR/H	HCo	HCo/H	HP (HTR+HCo)	HU (H - HP)	RENDEMENT en HU (HU/H)	Bilan sur Hauteur Utile		
REF.											HU cause de rebut ?		
R.10-6	III.A	39	26,5	12	45%	2,6	10%	14,6	11,9	45%	HU. affaiblie cause HTR forte (45%) possible		
R.10-8	IV	32	17,5	7	40%	2,3	13%	9,3	8,2	47%	HU. affaiblie cause HTR forte (45%) possible		
R.10-37	III.A	30,5	17,5	-	-	2,1	12%	-	< 15	-			
R.10-38	IV	31	15,5	8	52%	6	39%	14	1,5	10%	HU. Inexistante : HTR et HCo très fortes oui + H. faible		
R.10-39	IV	30	14	6,5	46%	5,5	39%	12	2	14%	HU. Inexistante : HTR et HCo très fortes oui + H. faible		
R.13-6	II.A	33	23	6	26%	4	17%	10	13	57%	HU. correcte car HTR réduite non		
R.13-8	II.A	32	18	6,5	36%	5,0	28%	11,5	6,5	36%	HU. Insuffisante car cumul HTR + HCo = 2/3H oui		
R.13-14	IV	27	15	-	-	-	-	-	-	-			
R.13-20	II.A	33	23	-	-	-	-	-	-	-			
10 R.13-22	II.A	30	19,5	5,5	28%	3	15%	8,5	11	56%	HU. Correcte car HTR & HCo réduites (45%) non		
R.13-23	III.A	35	18,5	-	-	-	-	-	-	-			
R.13-24	IV	36	21,5	9	42%	7	33%	16	5,5	26%	HU. Insuffisante : HTR + HCo fortes (75%) oui		
R.16-2	II.A	34	17	5,5	32%	3	18%	8,5	8,5	50%	HU. affaiblie cause HTR 32% non		
R.16-8	V	35	13	5,75	44%	2,5	19%	8,25	4,75	37%	HU. Insuffisante car HTR 44% et H trop faible oui + H. faible		
R.16-24	IV	37	14	4	29%	5	36%	9	5	36%	HU. Insuffisante car HCo forte et H trop faible oui + H. faible		
R.16-33	II.A	38	23	-	-	-	-	-	-	-			
R.16-34	III.A	32	16	4	25%	5,5	34%	9,5	6,5	41%	HU. affaiblie car HCo forte possible		
R.26-6	II.A	-	14	-	-	-	-	-	-	-			
R.40-13	IV	30	16	6	38%	4	25%	10	6	38%	HU. Insuffisante par cumul HTR + HCo oui + H. assez faible		
20 R.40-18	III.A	34	23	8,5	37%	4,5	20%	13	10	43%	HU. affaiblie par HTR 37% possible		
R.40-24	III.A	38	29	12	41%	9	31%	21	8	28%	HU. Insuffisante : HTR+HCo fortes (74%) oui malgré forte H		
R.43-2	III.A	31	14	6	43%	3?	21% ?	9?	5?	36% ?			
23 R.43-9	III.A	37	24	-	-	-	-	-	-	-			
Total =		432,5		112,25		71		108,35		36%			
Moyenne =		18,80		7,02		4,44		7,22		38%			
		NR 23		NR 16		NR 16		NR 15		NR 15			
Moyenne HTR / H = 38%		Moyenne HCo / H = 24%		Moyenne HP / H 62%		Moyenne HU / H 37%							
mêmes total HTR 112,25		mêmes total HTr 69											
Catilli total H 297,5		Catilli total H 284											

4. Différence de Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli* à Orvieto

56. On s'attend à priori, du fait de leur appariement, à ce que *Metae* et *Catilli* produits dans une même roche et issus d'un même atelier présentent une même Hauteur Utile¹⁵. Dans le cas contraire l'une des deux meules serait usée avant l'autre ce qui entraînerait un décalage et une rotation différentielle dans le renouvellement. On acquerrait alors non plus un moulin (couple de meules) mais une meule à la fois, cette différentialité est tout à fait envisageable. Le constat d'une même Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli* au sein d'un Atelier trancherait la question en faveur de l'absence de différentiel de Hauteur Utile.

Malheureusement l'étude des meules d'Orvieto n'apporte pas une réponse suffisamment claire sur ce point, ceci en raison d'une part de la faiblesse des effectifs à l'échelle des ateliers connus (malgré le fait qu'il s'agisse à ce jour d'un échantillon relativement fourni : 55 *Metae* et *Catilli* précisément documentés). La seconde raison réside dans la particularité typologique des *Metae* d'Orvieto, souvent hautes car intégrant vraisemblablement une fonction support et par ailleurs dotées d'un attribut spécifique : un important Evidement de leur assise, creusement intérieur qui occupe la moitié de la Hauteur totale.

La question ne peut en définitive être abordée qu'à travers la comparaison entre plusieurs ateliers, mais avec prudence car leur localisation dans des chronologies ou des

¹⁵ Dès lors que la rotation de l'une et le caractère statique de l'autre ne produiraient pas une usure différenciée, ce qui relève d'une démonstration de physique échappant à notre connaissance et semble-t-il inconnue de l'archéologie.

zones différentes peut rendre la comparaison impossible (il existe par exemple sur le Rhin une tradition de *Catilli* très minces).

57. On livrera dans ce bref développement la contribution des données actuelles portées par les MRB d'Orvieto à cette comparaison entre la Hauteur Utile des *Metae* et celle des *Catilli*. Nous avons à cet effet réuni dans un tableau à 2 colonnes (FIG.18) les informations essentielles. L'exploitation n'en est pas toujours simple et les moyennes se révèlent peu indicatives en raison du caractère multicompositionnel des assemblages, cependant quelques éléments peuvent en être tirés.

FIG. 18 Comparaison des Hauteurs Utiles entre les *Metae* et les *Catilli* d'Orvieto

HAUTEURS UTILES - MRB ORVIETO comparaison <i>METAE</i> / <i>CATILLI</i>		
	<i>Metae</i>	<i>Catilli</i>
1 Etendue HU	7 à 45 cm	1,5 à 13 cm
2 observées	4 à 25 DGT	1 à 8 DGT
3 principal	10 à 19 cm	5 à 8,5 cm
4	5,5 à 10,5 DGT	3 à 5 DGT
5 Pics HU	14 / 19 / 22-23 cm	5 / 6,5 / 8 cm
6	1/2 pied / 3/4 pied	ca. 1/4 pied
7 \bar{x}	17,66 cm	7,2 cm
8	10 DGT	4 DGT
9	5 élts hors norme dont 3 Gds Formats	
10 Hauteurs	13 à 62 cm	13 à 29 cm
11 principal	13 à 30 cm	14 à 23 cm
12 Pics Hauteur	17 / 23 / 29 / 36	14 / 17 / 23
13 Rendement HU 1/	46 à 63 %	10 à 56 %
14 observés	\bar{x} 53 %	surtout 36 à 50%
15	2/ 80 % si Hc inachevée	\bar{x} 37 %
16 Rendements	si absence de Hc : 82%	50% / 62-66% / 70%
17 attendus		1/2 / 2/3 / 7/10è
18 HU attendue	7 à 15 cm	4 à 10 DGT
19 principal	8,5 à 15 cm	soit 7 à 17,5 cm
20	5/6 à 8 DGT	surtout 5 / 6 / 7 DGT
21	soit 1/4 à 1/2 pied	soit inférieur à 1/2 pied

HU *Metae* = 1/2 H déterminée par Hc = 1/2 H

58. L'étendue des valeurs de HU est très variable entre *Metae* et *Catilli*. La donnée essentielle réside dans le fait que l'intervalle principal de Hauteur Utile des *Catilli* est 2 fois plus petit (lignes 3 et 4 sur la FIG.18) que celui des *Metae*.

L'autre donnée importante à considérer (FIG.18 lignes 10 à 12) est le fait que les Hauteurs des *Metae* et des *Catilli* occupent les mêmes plages de valeurs et partagent 2 pics principaux (H.17 et H.23 cm) qui correspondent respectivement à environ 10 et 13 dgt.

Un pic de fréquence moindre (14 cm) chez les *Catilli* (8 dgt) et un autre plus grand (29 cm) chez les *Metae* (1 pied) achève de définir une structure commune. Cette calibration de la Hauteur des meules en Doigts introduit la possibilité d'une calibration des Hauteurs Utiles elle aussi en nombre entier de dgt.

En définitive, la comparaison entre les Hauteurs et Hauteurs Utiles de *Metae* et *Catilli* fait apparaître plusieurs éléments significatifs :

59 • à travers la manipulation de proportions semblables (principalement 1/2 et 2/3) appliquée à une Hauteur calibrée en dgt entiers, les meuliers pratiquaient une gamme de Rendements en Hauteur Utile (rapport HU/H) semblable pour *Metae* et *Catilli* (lignes 13 et 14 sur la FIG.18) : 50 et 65% de la Hauteur servaient ainsi à assurer la longévité des meules,

60 • Hauteur Utile des *Metae* et des *Catilli* sont finalement de valeur similaire, située entre 5 et 8 dgt c'est à dire dans le second Palme, entre 1/4 (4 dgt) et 1/2 pied (8 dgt),

61 • on peut considérer que ces Hauteurs Utiles de 5 à 8 dgt sont assez faibles, mais est-ce bien le cas puisque l'essentiel des meules mesure moins de 1 pied de Hauteur totale et plus souvent 10 ou 12 dgt? Par ailleurs, si un usage courant du moulin se traduisait par une usure annuelle de 1/2 dgt (soit 0,9 cm par an) une meule dont la Hauteur Utile à neuf était de 6 dgt comme il apparaît de norme, durerait en moyenne 12 ans et 6 ans si l'usure était de 1 dgt l'an :

il faudrait que l'usure ait été double (2 dgt par an, i.e. 3,5 cm) pour qu'une HU standard de 6 dgt n'ait duré que 3 ans, ce qui pour une meule rotative basse est sans doute plus probable qu'une longévité de 12 ans ; on voit à ces estimations qu'une Hauteur Utile de 6 dgt a peu de chances d'être faible,

62 • le tableau de comparaison (FIG. 18) laisse percevoir une certaine différence entre les Hauteurs Utiles probables des *Metae* et celles que l'on peut restituer pour les *Catilli* puisque le spectre des HU va de 5 à 8 dgt pour les *Metae* et principalement de 5 à 7 dgt pour les *Catilli* ; il est ainsi possible que les *Metae* aient comporté une fraction dotée d'une Hauteur Utile plus forte et atteignant le demi-pied (8 dgt), fraction sous-représentée chez les *Catilli* ; cette différence de composition peut correspondre à une différence de chronologie ou de modèles ; ces fortes HU, non quantifiables pour les *Catilli*¹⁶, représentent 25% des *Metae* (8 sur un total de 32)¹⁷, le taux de fortes HU est de 75% pour le site R.43 (3 sur 4 *Metae*) et de 12% pour le site voisin R.10 (1 sur 8) tous deux localisés sur la zone Est de Pietramata, tandis qu'il s'élève à 22% pour le site R.16 localisé en zone Nord (secteur de la Chiusetta), en l'état des données ces constats ne permettent de tirer aucune indication quant à la chronotopographie des productions à Orvieto.

5. Comparaison entre la Hauteur Utile à Orvieto et sur d'autres Ateliers

63. Afin d'évaluer si les Hauteurs Utiles d'Orvieto correspondent à des grandeurs communes ou si au contraire elles seraient plutôt spécifiques, nous allons opérer quelques comparaisons qui permettront également de situer ce paramètre dans un contexte meulier plus général. Nous avons pour cela, parmi les 13 ateliers que nous avons traités dans notre corpus (Fig. 19ter) et parmi eux les quelques cas dont les quantités et la présence d'exemplaires neufs autorisent une approche de la Hauteur Utile, choisi 4 ensembles régulièrement échelonnés de l'Ebre au Rhin (Fig. 19bis).



Figure 19ter :
Carte localisant les 13 ateliers et Orvieto

(en gris tous les assemblages de notre corpus de MRB)

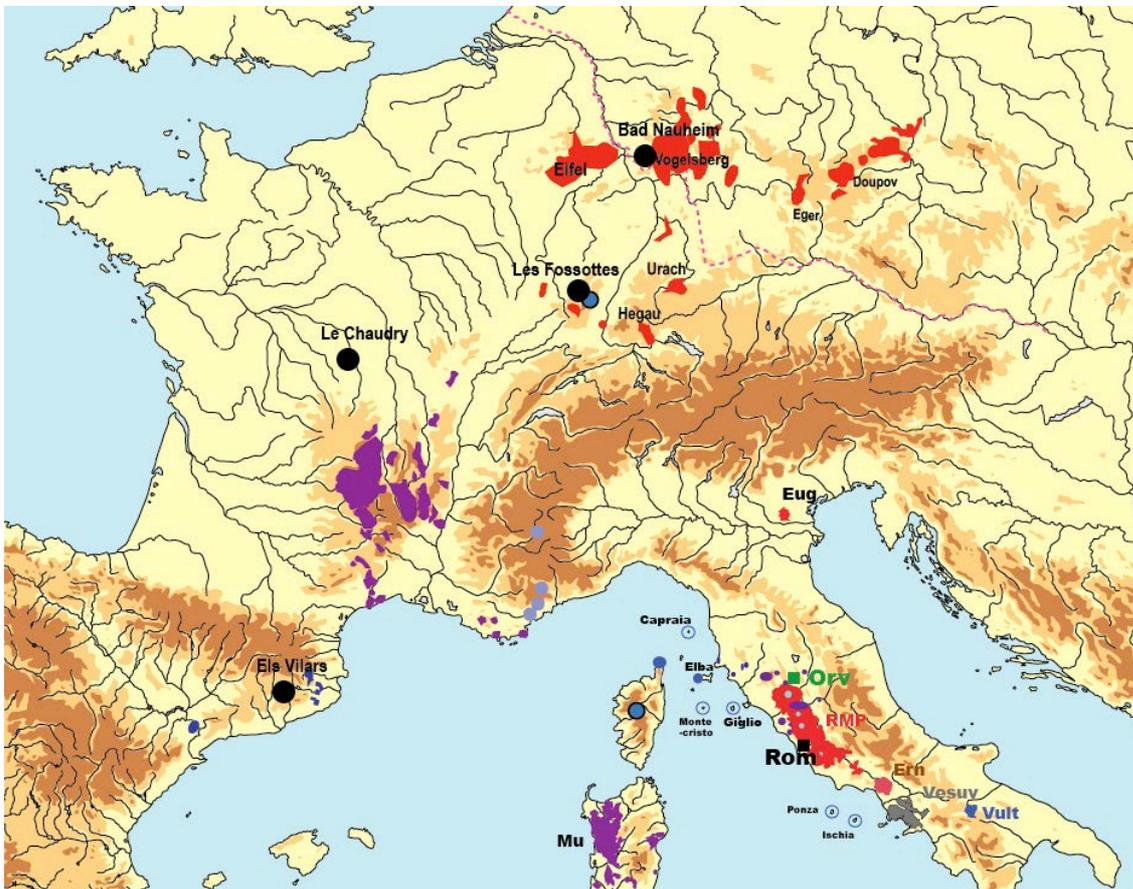
¹⁶ Il s'agit en effet d'une restitution à partir des 3 pics de fréquence de la Hauteur totale (14/17/23 cm) de même intensité (ca. 20%) et permettant chacun plusieurs valeurs de HU comprises entre 4 et 10 dgt avec une probabilité plus forte à l'intervalle 5/6/7 dgt (voir *supra*).

¹⁷ 3 *Metae* présentent une HU de 13,5 cm (R.10-17 ; R.43-8 et R.43-10), 3 également ont une HU de 14 cm (R.16-23 ; R.31-1 et R.40-2), enfin la HU mesure 14,5 et 15 cm pour 2 autres *Metae* (respectivement R.16-28 et R.43-7) ; 6 des 8 individus sont centrés sur 13,5/14 cm, configuration qui se trouve en faveur des pieds de 27,5 et de 28,2 (½ pied mesurant 13,75 et 14,1 cm).

Il s'agit des sites suivants :

- l'atelier secondaire (achèvement des meules) d'Els Vilars en Catalogne (ALONSO *et al.* 1996 et 2011), dont les meules sont datables de la période molinologique ancienne (VI^e-IV^e s. a.C.), il est localisé à proximité du massif volcanique d'Olot dont la roche n'a cependant pas été utilisée
- l'atelier du Chaudry, en France centrale (Cher) qui a produit aux périodes LT-D et gallo-romaine (GAULTIER 2009)
- le centre principalement laténien de Bad Nauheim (WEFERS 2012) situé à l'Est du Rhin près du massif volcanique oriental (Vogelsberg)
- le centre producteur laténien et antique de La Salle dont l'atelier des Fossottes (FARGET 2006) situé en zone volcanique au Nord des Vosges, nous en examinerons seulement les *Catilli*.

Figure 19bis : Situation d'Orvieto et des 4 ateliers de comparaison



la carte représente les zones volcaniques

—

les 4 ateliers sont figurés par un cercle noir, Orvieto en vert

—

en tireté rouge sur le Rhin puis vers le Danube, figure le *Limes*, frontière militaire de l'Empire Romain

64. Les deux premiers sites ont fabriqué des meules en roche sédimentaire, les deux derniers en roche volcanique. Els Vilars fournit 6 Hauteurs Utiles dont 4 pour des *Catilli*, Le Chaudry en livre 51 dont 20 *Catilli* et Bad Nauheim réunit 29 Hauteurs Utiles dont 4 *Catilli*. Nous examinerons en effet plus particulièrement les *Catilli* qui du fait de l'importance de leur Hauteur Passive, due au cumul d'un cône et d'une trémie, nécessitent de vérifier si leur HU est conforme à celle des *Metae*. Il semble aussi que les *Catilli* permettent d'accéder aux principes ou règles de formation des MRB et de définition de la hauteur Utile. C'est pourquoi nous avons aussi pris en considération les 29 *Catilli* de l'atelier vosgien des Fossottes.

Orvieto pourra surtout être comparé au Chaudry qui fera ici l'objet d'une présentation plus détaillée. Au total (Fig. 19q), chaque Hauteur Utile d'Orvieto dispose ainsi de presque 2 HU comparatives dont 1 sur meule neuve. Ces dernières ont l'avantage, propre aux ateliers, de fournir des Hauteurs Utiles à neuf (HUNf) puisqu'on y observe la valeur à neuf de la Hauteur totale alors que sur les sites d'utilisation la hauteur est soumise à usure et ne permet donc pas de calculer la Hauteur Utile initiale.

Figure 19-quart :
Hauteurs Utiles disponibles à Orvieto et sur 3 ateliers (hors Les Fossottes)

HAUTEURS UTILES de COMPARAISON disponibles sur 3 ATELIERS						
Sites	Total HU	HU des <i>METAE</i>		HU des <i>CATILLI</i>		Total NEUFS
		Total	NEUVES	Total	NEUVES	
Els VILARS	6	2	2	4	4	6
Le CHAUDRY	51	31	17	20	8	25
BAD NAUHEIM	29	20	12	9	4	16
Total	86	53	31	33	16	47
ORVIETO	49	29	29	20	20	49

A. HAUTEUR UTILE en zone Ibérique : Els VILARS

FIG.20 Métrologie des Hauteurs à Els Vilars

65. Bien que l'on dispose de peu de données, on peut néanmoins dans une perspective de comparaison tirer quelques enseignements des Meules Rotatives Basses achevées sur le site d'Els Vilars d'Arbeca (données cm et métrologie : FIG. 19 & 20). Les hauteurs passives, qui viennent en déduction de la hauteur totale pour former la hauteur utile, s'y étendent de 7 à 13,5 cm et apparaissent ain-

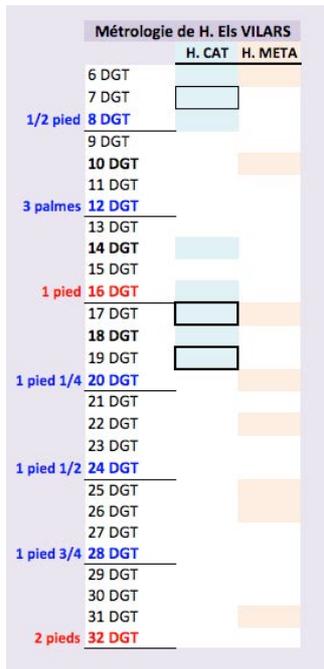
FIG. 19 Hauteur, Hauteur Utile et Hauteur Passive des Meules Rotatives Basses de Els Vilars

HU & HP à Els VILARS				
	4 DGT	5 DGT	6 DGT	8 DGT
HP	7	8,5	10	11
		> 8		11
			12 DGT	16/18 DGT
HU	0	4	20	ca. 30
	0		20	
Rend.HU	58%	60%	70%	79%
		(59%)	(74%)	(70%)
	<i>Catilli</i>	indet.		<i>Metae</i>

HP	HU	HAUTEUR
7	4	11
8,5	20	28,5
11	0	11,5 ?
11	0	11
13,5	20	33,5
> 8	ca.30	38

Els VILARS - HAUTEURS	
H. CAT	DGT
11	6 DGT
12	7 DGT
15	8 DGT
25	14 DGT
28,5	16 DGT
30	17 DGT
30	17 DGT
32	18 DGT
33,5	19 DGT

H. META	DGT
11	6 DGT
17	10 DGT
30	17 DGT
35	20 DGT
38	22 DGT
44	25 DGT
45	25/26 DGT
54	31 DGT



si susceptibles de valoir de 4 à 8 dgt, la valeur 7 dgt étant incertaine. Les hauteurs utiles sont observées sur 20 et ca. 30 cm soit 12 et 16/18 dgt. Les très faibles HU (0 et 4 cm soit moins de 3 dgt) sont trop faibles et correspondent vraisemblablement à des ratés.

FIG. 21 Métrologie des Metae & des Catilli de Els Vilars

(cadre noir gras : Catilli de Hauteur Utile supérieure à 4 DGT considérée comme viable, cadre fin : Hauteur Utile sans doute insuffisante)

La comparaison entre l'étendue des hauteurs totales (H) des Catilli et celle des Metae (Fig. 21) montre le caractère élevé de ces dernières (de 17 à 26 dgt), la valeur 7 dgt est probablement trop basse pour être viable). La hauteur des Catilli est pour sa part plus ramassée et présente un pôle assez dense entre 14 et 19 dgt soit principalement entre 1 pied et 1 pied 1/4 (16 et 20 dgt).

66. Si les données sont insuffisantes pour les Metae, en revanche la mise en rapport des hauteurs totales et des hauteurs passives correspondantes permet d'entrevoir la gamme des hauteurs utiles des Catilli de Els Vilars (FIG. 22).

Une première norme de hauteur utile se situe sur 12 dgt et semble correspondre à des Catilli d'une hauteur de 16 à 20 dgt (17 et 19 observés) : une hauteur de 18 dgt pour une HU de 12 dgt et une HP de 6 serait canonique et pourrait constituer l'idéal visé (proportions : HP de 1/3 de H et HU de 2/3).

Une seconde valeur de hauteur utile observée sur 3 dgt est probablement insuffisante et peut constituer le motif du rebut. On attendrait une HU de 6 ou 8 dgt pour une hauteur H de 10, 12 ou 14 et 16 dgt, seules ces deux dernières sont attestées.

67. Les Catilli en achèvement de fabrication à Els Vilars semblent ainsi avoir répondu à 2 ou 3 gabarits de Hauteur Utile : au-delà de celle, assurée, de 12 dgt il faut sans doute envisager une autre norme de HU située sur 8 ou 6 dgt et correspondant aux hauteurs totales observées entre 14 et 20 dgt (ce dernier intervalle traduisant peut-être une certaine concentration sur une norme de hauteur de 18 dgt).

FIG. 22 Gabarits de Hauteur Utile attestés à Els Vilars

H, HU, HP des Catilli - Els VILARS (MRB)										
CATILLI	Hauteurs									
	HP	6 DGT	7 DGT	8 DGT	14 DGT	16 DGT	17	18 DGT	19 DGT	20 DGT
4 DGT	HU 2	HU 3	HU 4	HU 10	HU 12	HU 13	HU 14	HU 15	HU 16	
5 DGT	HU 1	HU 2	HU 3	HU 9	HU 11	HU 12	HU 13	HU 14	HU 15	
6 DGT	HU 0	HU 1	HU 2	HU 8	HU 10	HU 11	HU 12	HU 13	HU 14	
7 DGT										
8 DGT	HU 0	HU 0	HU 0	HU 6	HU 8	HU 9	HU 10	HU 11	HU 12*	

* H.19 DGT observée (33,5 cm) : probable 20 DGT visés (34,4/35,2 cm)

Catillus avec HU viable
 Catillus avec HU insuffisante

68. Le Rendement en Hauteur Utile des MRB de Els Vilars semble observer 3 rapports, respectivement de 60%, de 70% et de 80% pour les HU observées et ceux de 59%, 70% et 74% pour les HU restituées. Ces rapports pourraient correspondre à la manipulation des proportions de 2/3, de 7/10^e et/ou de 3/4 voire de 8/10^e (ou 10/12^e), ce qu'il sera intéressant de comparer avec Orvieto et quelques autres ateliers.

B. HAUTEUR UTILE en France centrale : l'atelier de St. Christophe le CHAUDRY

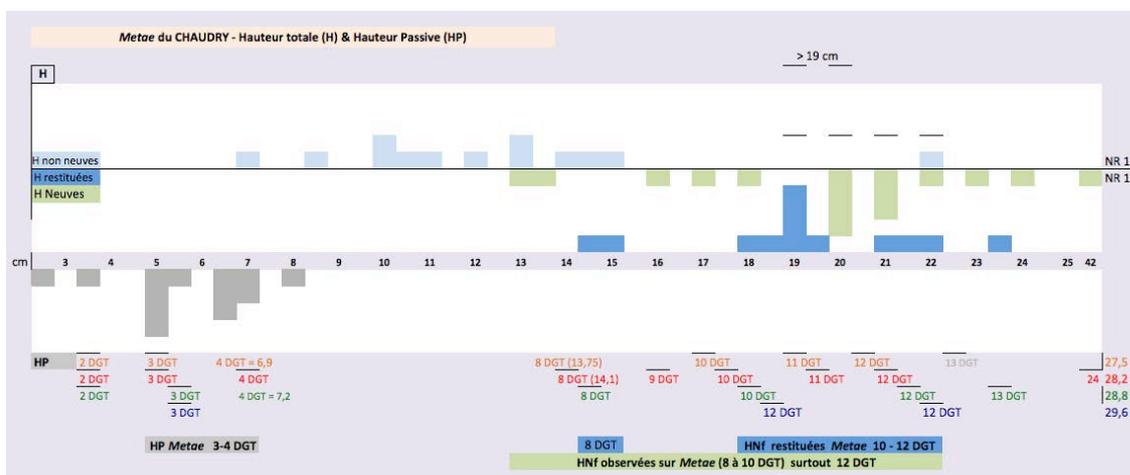
69. L'assemblage du Chaudry (Cher, FR) fournit une contribution précieuse à l'approche de la hauteur utile en raison du nombre de ses meules (51) et de la quantité de hauteurs utiles disponibles (39 dont 13 sur exemplaires neufs et 26 restituées). D'autre part les données relatives aux *Metae* (25 HU) et aux *Catilli* (14 HU) sont suffisantes pour permettre une comparaison entre ces deux genres. Les tables des données pour *Metae* et *Catilli* sont livrées en fin de cette partie B (FIG. 32 et FIG. 33).

B.1 Hauteur Utile des *Metae*

70. Si l'on excepte un individu marginal (H. 42 cm) la hauteur totale des *Metae* neuves du Chaudry (en vert sur la FIG. 23) mesure de 13 à 24 cm, soit 8 à 13 dgt. La hauteur passive (celle du cône) mesurant 3 à 4 dgt (en gris sur la FIG. 23), la hauteur utile des *Metae* neuves (HUNf) vaut donc globalement entre 4 et 8 ou 10 dgt, soit la moitié à deux tiers de leur hauteur. On fait ainsi le constat d'une diversité de longévité (HU) des *Metae*, que celle-ci prenne la forme d'un *continuum* ou celle de plusieurs normes distinctes au sein de l'intervalle de 4 à 8/10 doigts.

Cependant, la Hauteur moyenne des *Metae* neuves est de 19,63 cm soit 11,4 dgt ce qui correspond aux deux pics de fréquence (FIG. 23). Il est donc probable que la Hauteur à neuf (HNf) des *Metae* était de 11 et/ou 12 dgt. Les plus faibles hauteurs observées ayant toutes chances de nous indiquer le seuil d'usure, ce dernier serait de 7 cm au Chaudry soit 4 dgt. Il correspond à une épaisseur incompressible et fournit la HP. On remarquera que celle-ci est en moyenne de 3,4 dgt (5,86 cm) et de 3,22 dgt sur les *Metae* utilisées ou encore 3,18 dgt sur les neuves.

FIG. 23 *Metae* du CHAUDRY : Hauteur totale observée ou restituée, Hauteur Passive (en bleu ciel les hauteurs observées sur les *Metae* utilisées, en vert les hauteurs des *Metae* neuves, en bleu sombre les hauteurs restituées à partir d'un IREC à 220%, en gris les hauteur passives des *Metae* achevées ; 27,5 / 28,2 / 28,8 / 29,56 : pieds pour le calcul de la valeur métrologique)

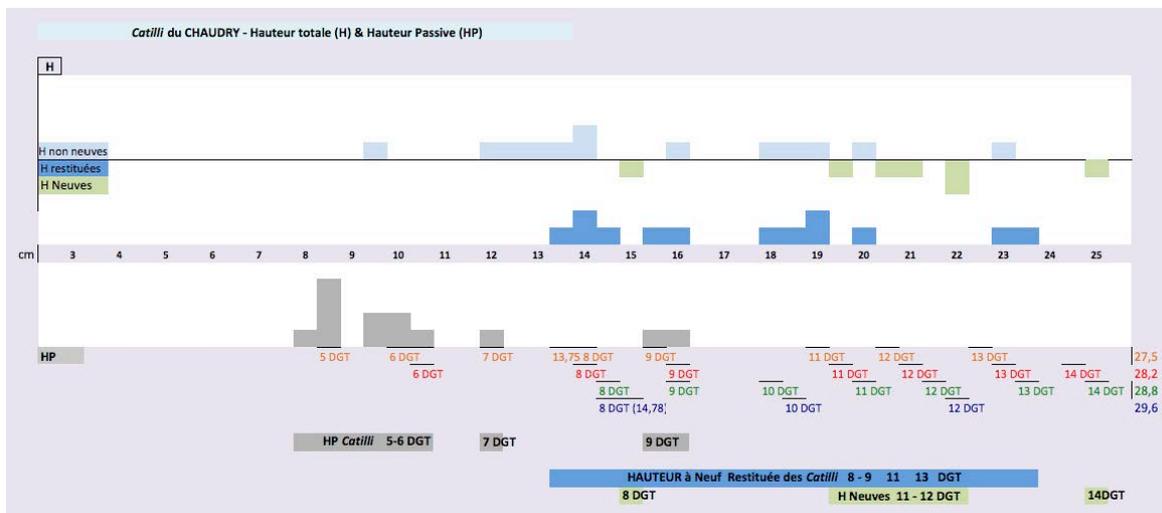


71. Par conséquent on peut retenir que le modèle général des *Metae* du Chaudry répond à une Hauteur Utile (HU) de 7 ou 8 dgt (HU = HNF – HP soit 11 ou 12 dgt – 3 ou 4 dgt). La moyenne de HU s'établissant à 8,24 dgt sur les *Metae* neuves (14,17 cm) cette valeur apparaît plus probable d'autant qu'elle est métrologiquement canonique (1/2 pied). La moitié cependant des neuves montre une Hauteur Utile supérieure à 8 dgt, le plus souvent 9 dgt, qui apparaît généralement liée à un état d'inachèvement du cône.

B.2 Hauteur Utile des *Catilli*

72. La Hauteur totale des *Catilli* neufs du Chaudry (FIG. 24) mesure de 15 à 25 cm, soit 8 à 14 dgt. Son étendue est donc un peu supérieure à celle des *Metae*. La Hauteur Passive (cône plus trémie) mesure 5 à 6 dgt ainsi que 9 et plus rarement 7 dgt. Il s'en suit que la Hauteur Utile des *Catilli* neufs (HUNf) s'établit entre 2 ou 3 et 8 dgt.

FIG. 24 *Catilli* du CHAUDRY : Hauteur totale observée ou restituée, Hauteur Passive



On aurait cependant tort de déduire de ce caractère très similaire de l'étendue des hauteurs utiles entre *Catilli* et *Metae* que la longévité de ces meules est identique. En effet leur moyenne montre (FIG. 25) qu'il existe un différentiel très important, la HU des *Metae* étant en moyenne de 8 doigts (14,17 cm) contre seulement 4,5 doigts pour les *Catilli* (8,07 cm) soit une durée moyenne deux fois moindre pour ces derniers.

FIG. 25 Moyenne des Hauteurs, Hauteurs Passives et Hauteurs Utiles des exemplaires neufs des *Metae* et des *Catilli* du Chaudry

On développera *infra* ce point sur la différence entre la hauteur utile des *Metae* et celles des *Catilli*, mais nous formulerons auparavant deux remarques.

73. En premier lieu on pourrait penser que l'impact minorant de la Trémie sur la hauteur utile s'avère exagéré chez certains des exemplaires mis au rebut pour lesquels une hauteur passive excessive a pu causer le rejet. De fait cela semble être le cas pour 3 des 13 *Catilli* (cadre jaune sur la FIG. 26) dont la

Le CHAUDRY - Hauteur Utile des meules neuves				
	<i>Metae</i> neuves		<i>Catilli</i> neufs	
	cm	DGT	cm	DGT
\bar{x} HNF =	19,63	11	18,92	11
\bar{x} HP =	5,46	3	10,85	6
\bar{x} HUNf =	14,17	8	8,07	4,5
Rendement HU	72%	72,7%	43%	40,9%

profondeur de trémie est 50% plus élevée que la norme : leur hauteur passive atteint 7 et 9 dgt, ces deux dernières valeurs étant aggravées par un trou d'emmanchement latéral réduisant plus encore la hauteur Utile de 2 et 2,5 dgt. En règle générale cependant au Chaudry la hauteur passive des *Catilli* utilisés est la même (5 et 6 dgt) que celle des *Catilli* neufs¹⁸.

FIG. 26 *Catilli* du Chaudry dont la Hauteur Passive (HP) est excessive
(figurés en jaune, HCo : hauteur du cône ; HTr : profondeur de la trémie ; DGT : doigts)

Le CHAUDRY - Catilli avec déficit en HAUTEUR UTILE																
Ref. n°	DIAM cm	HAUTEUR (H)			D / H (IREC)	Notes & Usure	détermination de HU				HP observée (en DGT)				HU restante (HU _r = H-HP)	
		cm	DGT (pied 27,5)	D / H (IREC)			HCo	HTr	réduction EMM.	Total HP	27,5	arrondi	28,2	29,56	cm	DGT
2011 FIG.4 C	31	13,5	7,9	230%	neuve selon IREC	3	5	0	8	4,7	4,5	4,5	4,3	5,5	3,2	
M. 005	35	12	7,0	292%	utilisée selon IREC	3,5	5	0	8,5	4,9	5	4,8	4,6	3,5	2	
M. 020	30	23	13,4	130%	neuve selon IREC	7	1,5	-	8,5	4,9	5	4,8	4,6	14,5	8,4	
M. 023	42	18,5	10,8	227%	neuve selon IREC	3,5	5	0	8,5	4,9	5	4,8	4,6	10,0	5,8	
M. 025	40	12,5	7,3	320%	utilisée selon IREC	4,5	4	0	8,5	4,9	5	4,8	4,6	4,0	2,3	
M. 004	31	14	8,1	221%	neuve selon IREC	3,5	6	-	9,5	5,5	5,5	5,4	5,1	4,5	2,6	
M. 024	52	13	7,6	400%	utilisée selon IREC	5	4,5	-	9,5	5,5	5,5	5,4	5,1	3,5	2	
M. 021	31,5	16	9,3	197%	neuve selon IREC	5	5	-	10	5,8	6	5,7	5,4	6,0	3,5	
M. 022	30	9,5	5,5	316%	utilisée selon IREC	6	4	-	10	5,8	6	5,7	5,4	-0,5	-0,3	
M. 006	32	14	8,1	229%	neuve selon IREC	6	4,5	-	10,5	6,1	6	6,0	5,7	3,5	2	
M. 003	38	20	11,6	190%	neuve selon IREC	5	7	-	12	7,0	7	6,8	6,5	8,0	4,7	
2011 FIG.4 D	38	19	11,1	200%	neuve selon IREC	4	7,5	-4 HU (2,5DGT)	15,5	9,0	9	8,8	8,4	3,5	2	
13 M. 008	38	18	10,5	211%	neuve selon IREC	4	8,5	-3,5 HU (2DGT)	16	9,3	9	9,1	8,7	2,0	1,2	
		203,00	118,11						135	6,04		5,89	5,62	68,0	39,6	
		15,62	9,09						10,38	x HP				5,23	3,04	
		HTR excessive (> 5 cm 3 DGT)		DGT												

74. Par ailleurs il est intéressant de noter qu'au Chaudry la Hauteur Passive moyenne de 6 dgt pour les *Catilli* est due pour 45% à la Hauteur du Cône et pour 55% à celle de la Trémie, ce qui montre le très important impact de cet aménagement puisqu'il double la hauteur passive. Le fait qu'il n'ait pas été évité alors-même qu'il entraîne une sérieuse réduction de la hauteur utile, montre que l'évidement supérieur de la meule qu'est la trémie constituait un élément essentiel du *Catillus*, que les raisons de cette importance aient été d'ordre fonctionnel (alimentation de l'œillard) ou, comme nous inclinons à la penser, d'ordre plutôt mécanique (répartition des masses et lutte contre l'oscillation).

75. Le différentiel de longévité entre *Metae* et *Catilli* mérite un examen détaillé car il surprend et peut correspondre à plusieurs configurations :

-1- la moyenne de la hauteur utile (4,5 dgt) est représentative de la population des *Catilli* : ceux-ci et les *Metae* ont alors une durabilité différente ; cela entraîne un renouvellement de la meule tournante deux fois plus rapide et donc une fréquence des *Catilli* deux fois supérieure ; cette sur-représentation n'étant toutefois jamais observée cette hypothèse ne peut être retenue

-2- les Hauteurs Utiles sont organisées en différents groupes de valeur différente et présents à la fois chez les *Metae* et les *Catilli* mais ces groupes ne seraient pas représentés dans l'échantillon en même quantité

-3- enfin, dans le cas d'une hauteur utile identique entre *Metae* et *Catilli* (8 dgt), l'échantillon de *Catilli* disponible, composés d'individus rebutés, serait déficitaire en exemplaires à forte hauteur utile (8 dgt) ou affecté d'un biais l'enrichissant en exemplaires à

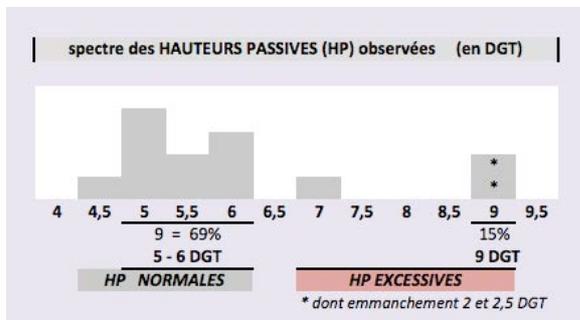
¹⁸ La comparaison entre la moyenne de la hauteur passive des *Catilli* neufs du Chaudry et des *Catilli* utilisés ne montre pas de différence : HP *Catilli* neufs 10,85 cm et HP *Catilli* utilisés 10,38 cm soit 6 dgt dans les deux cas ; elle est donc identique à celle des *Catilli* neufs, la moyenne de la hauteur passive des seuls 4 *Catilli* utilisés avec certitude est même plus basse (9,13 cm soit 5 dgt).

faible hauteur utile (hauteur totale insuffisante ou hauteur passive excessive, ces deux types d'erreur de fabrication pouvant se cumuler).

76. On a donc procédé à des simulations restituant la Hauteur totale initiale des *Catilli* sur la base, documentée, d'une Hauteur Passive de 5 ou 6 dgt et sur celle, hypothétique plausible, d'une Hauteur Utile de 8 dgt. Ces simulations visent d'une part à établir si des *Catilli* de HU 8 dgt sont possibles et compatibles avec les hauteurs observées, d'autre part si une partie des hauteurs observées, qui le sont rappelons-le sur des exemplaires mis au rebut, ne seraient pas déficitaires ce qui abaisserait la moyenne des Hauteurs Utiles (en effet $HU = H - HP$).

B.3 Simulations restituant la Hauteur initiale des *Catilli* utilisés

FIG. 27 Hauteurs Passives des *Catilli* du Chaudry



77. On dispose pour le Chaudry de 13 Hauteurs Passives documentées sur des *Catilli* utilisés et d'une seule (10 cm soit 6 dgt) sur un *Catillus* neuf (valeurs en cm FIG. 26 colonne 10 et en dgt col.12). La profondeur de la trémie (HTr) apparaît excessive dans les 3 derniers cas entraînant également une Hauteur Passive elle excessive, à fortiori lorsque pour 2 de ces *Catilli* s'ajoute une réduction supplémentaire de 2 et 2,5 dgt

causée par une mortaise d'emmanchement latéral.

Sur la base de ces HP observées on a procédé (FIG.29) à une restitution de la Hauteur initiale¹⁹ en fonction de deux valeurs supposables pour HU : d'une part 6 dgt qui est la seule observée sur un *Catillus* neuf (FIG. 28) et d'autre part 8 dgt, qui est observée sur les *Metae*.

FIG. 28 *Catilli* neufs du Chaudry : une seule Hauteur Utile documentée (6 dgt)

CATILLI Neufs	D	H	IREC	HCo	HTr	EMM.	HP en DGT					HU restante (H-HP)		
							HP cm	27,5	arrondi	28,2	29,56	cm	DGT	
M. 041	48	22	12,80	218%	neuve selon IREC	tambour brut								
M. 032	36	15	8,73	240%	neuve selon IREC	tambour brut								
M. 033	36	22	12,80	164%	neuve selon IREC	tambour brut								
M. 034	47	25	14,55	188%	neuve selon IREC	-	≥ 4,5	-						
M. 044 Bernon	36	21	12,22	171%	neuve selon IREC	5,5	4,5	0	10	5,7	6	5,8	5,4	11,0 6,4
ACH-1	43	19,5	11,35	221%	neuve selon IREC	5,5	-	-	> 7	> 4,0	> 4	> 4,1	> 3,8	
20 ACH-2	48	20,5	11,93	234%	neuve selon IREC	-	≥ 4,5	-	> 7	> 4,0	> 4	> 4,1	> 3,8	
Ebauches	762,5	566,62	329,67	IREC										
	38,13	28,33	16,48	135%										
			DGT											

78. Sur la base des Hauteurs Passives observées, la simulation avec une HU de 6 dgt restitue des Hauteurs initiales de 11 à 12 dgt, la simulation avec une HU de 8 dgt donnant logiquement des Hauteurs initiales de 13 et 14 dgt. Naturellement (fond orangé sur la FIG. 29), se singularisent par une Hauteur à neuf supérieure (13 et 13 dgt ou 15 et 17 dgt pour une HU à 8 dgt) les 3 *Catilli* dont la HP est excessive. Si l'on ramène leur HP à la norme de 6 dgt, on s'aperçoit toutefois que leur Hauteur initiale serait analogue (12 ou 14 dgt) à celle de tous

¹⁹ Codé par simplification H sur les FIG.28 et 29 mais en réalité il s'agit de HNF.

FIG. 29 Hauteur initiale des *Catilli* restituée par simulation (HU 6 ou 8 dgt)

Catilli du CHAUDRY - Restitution de la HAUTEUR initiale								Notes	Bilan
les hauteurs sont exprimées en doigts (DGT)									
N° Catillus	HAUTEUR observée	HP observée	H restituée (HP + HU)		H restituée si HP 6 DGT				
			si HU 6 DGT	si HU 8	si HU 6	si HU 8			
Catilli UTILISÉS	FIG.4 C	8	4,5	10,5	12,5	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 13 DGT (12,5)
	M.005	7	5	11	13	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 13 DGT
	M.023	11	5	11	13	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 13 DGT
	M.025	7	5	11	13	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 13 DGT
	M.004	8	5,5	11,5	13,5	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	M.024	7,5	5,5	11,5	13,5	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	M.021	9	6	12	14	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	M.022	5,5	6	12	14	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	M.006	8	6	12	14	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	M.020	13,5	5	11	13	12	14		HU de 8 DGT possible à partir de H 13 DGT
NEUFS ?	M.003	11,5	7	13	15	12	14	HP excessive	HU de 8 DGT possible à partir de H 14 DGT
	FIG.4 D	11	9	15	17	14,5	16,5	dont 2,5 DGT emmanchement	HU de 8 DGT possible à partir de H 17 DGT
	M.008	10,5	9	15	17	14,5	16,5	dont 2 DGT emmanchement	HU de 8 DGT possible à partir de H 17 DGT

les autres exemplaires (colonnes rougeâtres à droite sur la FIG. 29). Reste l'impact de l'emmanchement : si cet impact a été pris en compte lors de la fabrication, les meuliers auront alors majoré la Hauteur initiale de 2 et 2,5 dgt, la portant ainsi à 14 ou 16,5 dgt pour une HU de 8 dgt. Mais les trous d'emmanchement étant semble-t-il réalisés souvent en dehors des ateliers voire sur les lieux d'acquisition²⁰, il est plausible que ces 3 *Catilli* aient été du même modèle que tout les autres, à savoir un gabarit de hauteur de 12 dgt si la Hauteur utile était de 6 dgt (HP 6 + HU 6 dgt), et une hauteur de 14 dgt (HP 6 + HU 8 dgt) pour une Hauteur Utile de 8 dgt.

79. Comme le montre la colonne «Bilan » sur la FIG. 29, si la Hauteur Utile se situait sur la même norme que les *Metae* (8 dgt), la Hauteur initiale serait de 13 dgt pour 5 *Catilli* (ceux dont HP mesure 5 dgt) et de 14 dgt pour 6 autres (ceux avec une HP de 6 dgt). Sans majoration de leur hauteur prévoyant l'emmanchement, les exemplaires FIG.4 D et M.008 seraient également initialement hauts de 14 dgt (16,5 dgt moins 2,5). Comme on va le voir, ces Hauteurs restituées sont parfaitement compatibles avec les Hauteurs observées sur les *Catilli* neufs.

FIG. 30 Hauteur totale et Hauteur Utile des *Catilli* neufs du Chaudry

Catilli du CHAUDRY - Restitution de la HAUTEUR initiale								Notes	Bilan : H possible
les hauteurs sont exprimées en doigts (DGT)									
N° Catillus	HAUTEUR observée	HP observée	HU restituée (H - HP)		HAUTEUR restituée				
			si HP 5 DGT	si HP 6					
Catilli NEUFS	M.041	13	-	8	7	13 DGT (HU 8 + HP 5)		H observée suffisante pour une HU de 8 DGT	H 13 DGT pour HU 8
	M.032	9	-	4	3	11 DGT (HU 6) 13 si HU 8		H observée insuffisante pour une HU de 6 ou 8	H 13 DGT pour HU 8
	M.033	13	-	8	7	13 DGT (HU 8 + HP 5)		H observée suffisante pour une HU de 8 DGT	H 13 DGT pour HU 8
	M.034	14,5	-	9,5	8,5	14 DGT (HU 8 + HP 6)		H observée suffisante pour une HU de 8 DGT	H 14 DGT pour HU 8
	M.044	12	6	7	6	12 DGT (HU 6) 14 si HU 8		H observée suffisante pour une HU de 6 DGT	H 14 DGT pour HU 8
	ACH-1	11	-	6	5	11 DGT (HU 5) 13-14 si HU 8		H observée suffisante pour une HU de 6 DGT	H 13/14 DGT pour HU 8
	ACH-2	12	-	7	6	12 DGT (HU 5) 13-14 si HU 8		H observée suffisante pour une HU de 6 DGT	H 13/14 DGT pour HU 8

B.4 Simulations restituant la Hauteur initiale des *Catilli* neufs

80. Commençons pas observer (FIG. 30) que seul 1 *Catillus* sur les 7 (M.032) présente une Hauteur insuffisante pour garantir une Hauteur Utile de 6 ou de 8 dgt. Leur

²⁰ En effet les mortaises d'emmanchement ne sont pas fréquentes sur les ateliers et leur présence semble en partie due à l'incorporation de meules utilisées dans la publication des assemblages d'ateliers.

Hauteur atteignant ou dépassant 11 dgt, les 6 autres *Catilli* apparaissent viables à condition que la HU requise soit seulement de 6 dgt (HU 6 + HP 5 ou 6 dgt donnant H 11 ou H 12 dgt). Pour 3 des 6 *Catilli* la Hauteur observée permet une Hauteur Utile de 8 dgt conforme à celle des *Metae* (M.041, M.033, M.034)²¹. Dans les 3 autres cas seule apparaît possible une HU réduite à 6 dgt, une Hauteur utile de 8 dgt réclamant en effet une Hauteur totale portée à 13 ou 14 dgt alors qu'elle n'est que de 11 ou 12 dgt sur ces exemplaires.

81. La question se pose alors de savoir si cette HU calibrée à 6 dgt, qui est absente des *Metae*, a été fabriquée et si la production offrait ainsi une gamme de *Catilli* à 2 durabilités, ou bien si les *Catilli* la Hauteur Utile de 6 dgt correspond à des exemplaires dont la hauteur totale serait insuffisante et motif de leur mise au rebut.

La Hauteur Utile de 6 dgt est attestée 1 fois, sur le *Catillus* quasi-achevé M.044, mais rien n'empêche que celui-ci ait été rebuté en raison d'une Hauteur à neuf insuffisante (12 dgt) pour permettre une HU à la norme (8 dgt).

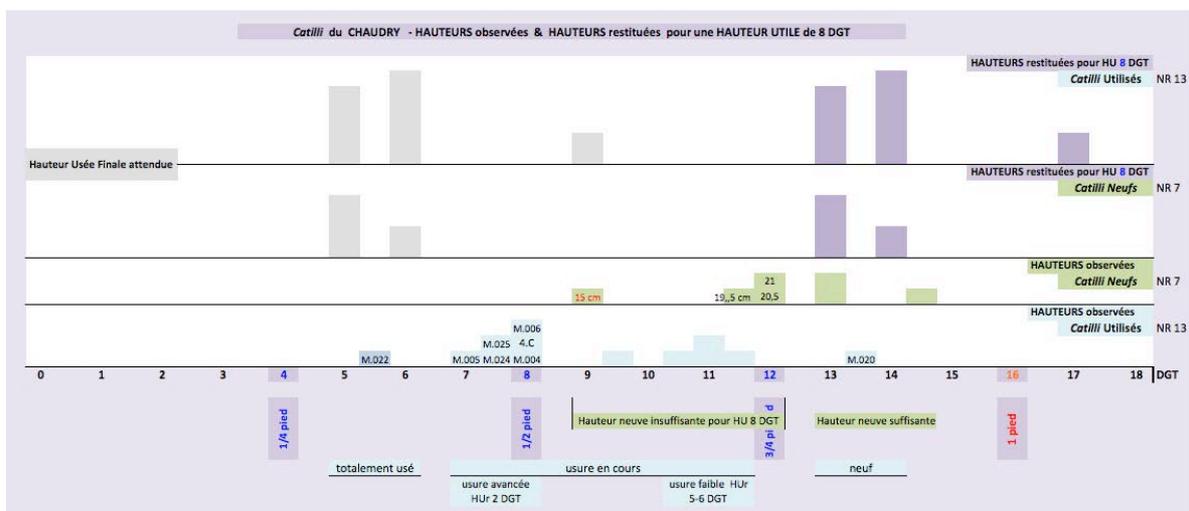
Si, comme il est logique, on retient cette Hauteur Utile des *Metae* (8 dgt) alors la Hauteur des *Catilli* neufs devrait être de 13 ou 14 dgt puisque HP mesure 5 ou 6 dgt. En ce cas seuls 2 *Catilli* montrent une Hauteur fabriquée suffisante et 5 sont trop minces (11, 12 et 9 dgt au lieu des 13 ou 14 requis).

82. La prise en compte des *Catilli* utilisés est alors intéressante dans la mesure où ils livrent une Hauteur Passive connue et permettent ainsi de restituer la Hauteur initiale, selon que HP ait été de 5 ou de 6 dgt, ce qui pour une Hauteur Utile de 6 ou de 8 dgt donne 4 valeurs possibles de H.

Ainsi, comme nous l'avons vu *supra* (FIG.29 colonne « Bilan » et § 79.) 5 *Catilli* sur les 13 (38%) pouvaient présenter une Hauteur Utile de 8 dgt si leur Hauteur initiale était de 13 dgt (22,5 cm) et 6 autres (46%) si leur hauteur était de 14 dgt (24 cm). Ces deux Hauteurs sont parfaitement représentées sur les *Catilli* neufs, tout particulièrement celle de 13 dgt.

FIG. 31 *Catilli* du Chaudry : comparaison entre les Hauteurs initiales restituées (pour HU 6 ou 8 dgt) et les Hauteurs observées des exemplaires neufs ou utilisés -

***Catilli* neufs figurés en vert ; *Catilli* utilisés en bleu ciel ; Hauteurs restituées en violet et Hauteurs usées attendues (H-HU 8 dgt) en gris clair - les Hauteurs sont exprimées en dgt**



²¹ H 13 ou 14,5 dgt moins HU 8 donnant en effet la HP requise : 5 ou 6 dgt.

Les HP de 5 dgt et celles de 6 dgt étant représentées à parité (NR 5) parmi les *Catilli* utilisés, on en déduira que les Hauteurs à neuf de 13 dgt et celles de 14 dgt étaient fabriquées en quantité équilibrée. La restitution de la Hauteur initiale pour une HU de 8 dgt donne de même une répartition équivalente entre H 13 dgt et H 14 dgt.

83. On en conclura que les *Catilli* du Chaudry ont probablement été, dans une proportion égale, fabriqués en 2 Hauteurs de 13 ou 14 dgt liées à 2 Hauteur Passives (5 et 6 dgt), combinaison qui permettait de produire une longévité de 8 dgt égale à celle des *Metae*. Possible dans des Hauteurs de 11 à 13 dgt, la fabrication d'une Hauteur Utile de 6 dgt n'est parallèlement pas assurée.

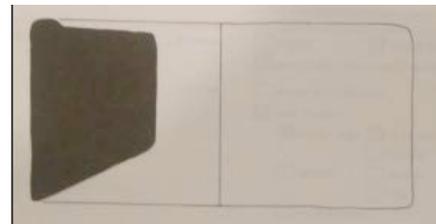


B.5 Des exemplaires neufs par les *Catilli* utilisés du Chaudry ?

84. On examine ici dans quelle mesure ne seraient pas en fait neufs certains *Catilli* trouvés en contexte d'utilisation tandis que leur hauteur observée se situe dans les maxima de leur assemblage ou correspond à la hauteur observée sur l'atelier correspondant.

1- *Catillus* M.020 (Dessins extraits de GAULTIER 2009)

Avec une Hauteur de 13,5 dgt (23 cm), une Hauteur Passive (cône + trémie) de 5 dgt ce *Catillus* est manifestement un exemplaire neuf. En effet, sa Hauteur Utile est de 8,5 dgt, répondant donc à la norme de 8 dgt qui caractérise les *Metae* du Chaudry.



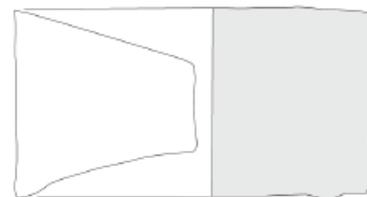
M.020

2- *Catillus* M.003 et *Catillus* FIG.4D

85. Avec une Hauteur de 11,5 et 11 dgt (20 et 19 cm) ces deux *Catilli* se rangent en limite des exemplaires neufs puisqu'en effet une Hauteur Passive de 5 ou 6 dgt ajoutée à une Hauteur Utile minimale de 6 dgt donne une hauteur totale de 11 ou 12 dgt.

Ces deux exemplaires sont toutefois caractérisés par une HP excessive (7 et 9 dgt) due à une profondeur de trémie outrepassée aggravée en un cas (FIG.4D) par un emmanchement qui affaiblit la HU de 2,5 dgt supplémentaires.

Ces deux *Catilli* n'ont donc pu être viables que si la fabrication a anticipé cette perte de HU liée à la trémie ou à l'emmanchement, portant alors leur Hauteur initiale pour M.003 de 13 ou 15 dgt (HP 7 + HU 6 ou 8 dgt) et pour FIG.4D à 15 ou 17 dgt (HP 9 + HU 6 ou 8). La hauteur initiale de ces deux *Catilli* aurait alors été de 22 ou 26 M.003 et de 26 ou 29 cm pour le *Catillus* FIG.4D.



M.003

86. Ces hauteurs sont attestées au Chaudry parmi les *Catilli* neufs, à l'exception de celle de 29 cm (17 dgt) qui est cependant régulièrement représentée dans les assemblages, mais en seulement 1 ou 2 exemplaires. Une Hauteur totale de 22, 26 ou 29 cm conférerait à ces *Catilli* un Indice de Rectangularité du profil (IREC) très faible (172, 146 et 131%) peu commun hors du foyer d'origine du Moulin Rotatif Bas (Nord-Est de l'Espagne) : cet aspect tend à disqualifier des Hauteurs initiales aussi élevées.

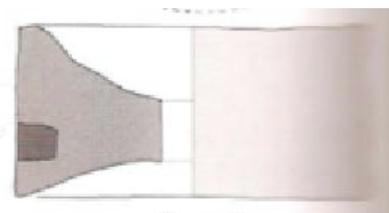


FIG.4D

Mais le dessin montre que le *Catillus* M.003 est neuf,

comme l'atteste son œillard réduit, ce qui rend probable qu'il ait été rebuté en raison d'une HP excessive entraînant une longévité trop courte. En revanche le *Catillus* FIG.4D a bien été utilisé et l'on doit en déduire que sa hauteur initiale était de 15 ou 17 dgt, donc de 26 ou 29 cm cette dernière valeur étant moins probable.

3- *Catillus* M.032

87. Cette ébauche inachevée, se caractérise par une Hauteur manifestement faible (15 cm soit un peu moins de 9 dgt). Ce *Catillus* est donc déficitaire d'au moins 2 dgt de hauteur par rapport au plus petits *Catilli* neufs du Chaudry (11 dgt). Comme les Hauteurs Passives attestées sur cet atelier sont de 5 et 6 dgt et les Hauteurs Utiles de 8 ou 6 dgt, on peut déduire que la Hauteur initiale du *Catillus* M.032 aurait dû se situer entre 11 et 14 dgt (soit entre 19 et 24 cm) et plus probablement 13-14 dgt (la HU des *Metae* étant de 8 dgt). Il est ainsi fort probable que M.032 ait été rebuté avant même la réalisation de ses cônes, en raison du constat de sa hauteur insuffisante.

M.032

88. La mise au rebut de M.032 pour hauteur insuffisante suppose d'une part qu'avait lieu au Chaudry un contrôle de la conformité des fabrications avant le stade III du façonnage (genrage des meules par la réalisation des cônes).



Le rebutage montre également qu'il n'a pas été possible de rendre l'ébauche M.032 viable en convertissant ce *Catillus* potentiel en une *Meta* : en effet, une Hauteur Utile de 8 dgt à prendre sur une Hauteur de 9 dgt aurait laissé seulement 1 dgt (soit 1,8 cm) pour réaliser le cône alors que la conicité minimale du Chaudry (10-11°) exige 2 D dgt (soit 3,5 cm) pour un diamètre de 36 cm qui est celui de M.032.

Par ailleurs il n'était pas non plus possible de rendre viable ce *Catillus* en abaissant le total de sa Hauteur Passive en-dessous de 5 dgt car cela aurait voulu dire supprimer la trémie, or sur l'atelier du Chaudry toutes les fabrications relèvent du « modèle continental » (*Catillus* conique muni d'une trémie).

89. Enfin, l'ultime moyen de « rattraper » ce *Catillus* en perdition aurait pu consister à limiter sa longévité à 4 dgt (H 9 dgt - HP 5 dgt) : cela n'a visiblement pas été accepté, ce qui tend à indiquer tout à la fois l'absence d'une offre de produits de « second choix », une sévère application des normes ainsi peut-être que l'absence d'une culture du rattrapage ou de la reconversion des *fabricats malvenus*. Ce dernier point pourrait découler d'une séparation entre la chaîne de fabrication des *Metae*, objets simples, et celle des *Catilli*, objets plus complexes qui réclamaient la mise en œuvre d'un ensemble plus nombreux de gestes, de normes et de contrôles de conformité (il est de ce fait envisageable que *Metae* et *Catilli* n'aient pas été confiés à des opérants de même niveau de technicité).

34- Meules de St. CHRISTOPHE le CHAUDRY (18) - A. Gaultier 2009 & 2011

Ref. n°	CATTILLI	CHAUDRY	Argento & axes	STADE		D/ H (IREC)	H	Angle °	D/ H (IREC)	Notes & Usure	sur REC 200%	HNF restituée		H.DEBI
				Façon-nage	Tipo							M / CAT	M / CAT	
2011 FIG.4 C				IV	31	20°	13,5	230%	REC	14,25	-0,75		4,5	
M.003				V	38	20°	19	200%	REC	17,25	+1,75	surépaisseur	7	
M.004				V	38	16	20	100%	REC	17,25	+2,75	surépaisseur	9,5	
M.005				V	31	20	14	221%	REC	14	0		4,5	
M.006				V	35	25	12	292%	REC	15,75	-3,75	usure	2,5	
M.008				V	32	20	14	229%	REC	14,5	-0,5		2,5	
M.020				V	38	20	18	211%	REC	17,25	+0,75	usée ca 50%	4	
M.021			Argento	V	30	25	23	130%	REC	13,75	+9,25	forte surépaisseur	12	
M.022			Argento	V	31,5	19	16	197%	REC	14,25	+2,25	surépaisseur	5	
M.023			Argento	V	42	14	18,5	227%	REC	19	-0,5	usure	9	
M.024			Argento	V	52	19	13	400%	REC	23,5	-10,5	usure avancée	2,5	
M.025			Argento	V	40	15	12,5	320%	REC	18,25	-6,25	usure	6,5	
M.041				IIA	48	tambour	22	218%	REC	21,75	0		-	
M.042				CAT	ébauche				REC	16,25	-1,25	H un peu faible	-	
M.033				CAT	ébauche	I	36	tambour	REC	16,25	+5,75	surépaisseur	-	
M.034				CAT	ébauche	IIIA	47	-	REC	21,5	+3,5	surépaisseur	-	
M.044 Bernon				CAT	quasi fini	IV	36	22	REC	16,25	+4,75	surépaisseur	-	
ACH-1				CAT	ébauche	IV	43	16	REC	19,5	0	quasi-achevé	> 8,5	
ACH-2				CAT	ébauche	IV (ou V)	48	16	REC	21,75	-1,25	quasi-achevé	> 6	
Ebauches illustration					762,5		348	IREC		346				
					36,13		17,40	219%		17,30				

determination de HU			Meules neuves		Meules utilisées			Taux USURE
HCO	HTR	réaction Embr.	HUNF (HNF - HP)	Rendement HU (HUNF/H)	H à Neuf revenue (HNF - HP)	HUNF restituée (HNF - HP)	Rendement HU (HNF restituée)	(HUNF/HP) / HUNF
3	5	0	-	-	14,25	6,25	44%	1
4	7,5	-4 HU	15,5	-	3,5	3,5	18%	0%
5	7	-	12	-	8	8	40%	0%
3,5	6	-	9,5	-	4,5	4,5	32%	0%
3,5	5	0	8,5	-	3,5	15,75	48%	52%
6	4,5	-	10,5	-	3,5	14,5	4	28%
4	8,5	-3,5 HU	16	-	2	18	2	11%
7	1,5	-	8,5	-	14,5	23	14,5	63%
5	5	-	10	-	6	1,6	6	38%
5	4	-	10	-	-0,5	13,75	3,75	27%
3,5	5	0	8,5	-	10	19	10,5	55%
5	4,5	-	9,5	-	3,5	23,5	14	60%
4,5	4	0	8,5	-	4	18,25	9,75	53%
					moyenne	17,62	7,23	41,0%

Meules neuves		Meules utilisées	
HUNF (HNF - HP)	Rendement HU (HUNF/H)	H à Neuf revenue (HNF - HP)	Rendement HU (HNF restituée)
< 20,5	< 82%	X HP = 10,38	soit 45% de HP
11	52%	X HCO = 4,62	soit 55% de HP
< 12,5	< 66%	X HTR = 5,19	soit 55% de HP
< 13,5	< 66%		

Carroll NEUFS		B supplément	
NR = 16	X HNF = 26,92	NR 12	X HP = 10,85
7 MF + 9	X HP = 8,07	NR 10	X HUNF = 4,3%
			Rendement HU = 43%

C. HAUTEUR UTILE en zone Rhénane : Fabrications de BAD NAUHEIM

90. Le centre producteur de Bad Nauheim est situé en Allemagne, à l'Est du Rhin²², à quelques dizaines de km au Nord de Francfort et au pied du massif volcanique du Vogelsberg. Dans une zone de production de sel, il a fabriqué des meules en matériau volcanique principalement à La Tène finale à partir de 250 a.C. jusqu'au changement d'ère et peut-être également au I^{er} s. p.C. (WEFERS 2012, 213-214 ; WENZEL 2020, 9).

La publication de Stéphanie Wefers met à disposition les données pour 36 meules, souvent des ébauches, et permet de calculer la Hauteur Utile pour 29 d'entre elles dont 16 éléments neufs (12 *Metae* et 4 *Catilli* -voir Fig.19qrt).

C.1 Hauteur Utile des *Catilli*

91. On livre d'abord ici la Table des données pour les *Catilli* utilisés (Fig.34) puis celle (Fig.35) des *Catilli* neufs, c'est-à-dire ceux qui sont clairement identifiables comme des ébauches plus ou moins avancées (ils apparaissent sur nos tableaux dans un cadre vert).

Figure 34 : Hauteur Utile des *Catilli* utilisés de Bad Nauheim

CATILLI Ref.	EBAUCHE Q/2 Type	STADE de FAÇONNAGE	D.Base	D. Sup	H	H.Oeil	Angle *	approche des HAUTEURS PASSIVE & UTILE						approche de HU à Neuf (HUNF) et du RENDEMENT en HU																						
								HCo	H. TR	HP (HTR-HCo)	EMMANCHEMENT D/1	Type	HP totale (HTR+HCo +EMM)	HUr (H-HP)	D/H (IREC)	Taux USURE sur 220 / 397%	statut Usure sur IREC 220%	H restituée sur IREC 220%	HUNF sur (HUNF-HP)	RENDEMENT en HU HUNF 220%	H restituée sur IREC 250%	HUNF sur 250%	RENDEMENT T en HU (HU/H) HUNF 250%													
Catilli UTILISÉS																																				
4	V	ca. 40	-	-	8,5	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7	V	ca. 45	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
8	V	39,5	39,5	9-9,5	6	5°	2	3,5	5,5	1	B2	0	5,5	3,75	427%	117%	usure totale	18	12,5	69%	15,75	10,25	65%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10	V	39	38	15,5	7	18,5°	6	3,5	9,5	1	B2	-1,5	11	4,5	252%	18%	peu usée	17,75	6,75	38%	17,75	6,75	38%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	fragmentaire	ca. 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
22	fragmentaire	ca. 36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
23	fragmentaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25	V	ca. 40	ca. 38	10,5	5	9°	2,5	2,5	5	-	-	-	-	5,5	381%	91%	usure très avancée	18,25	13,25	73%	22,25	16	72%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	fragmentaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B2	-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
36	fragmentaire	ca. 35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
47	usure totale	V	35	35	12	1,5	27°	5,5	4	9,5	0	-	0	9,5	2,5	292%	41%	usure modérée	16	6,5	41%	19,5	14	72%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
50	V	ca. 33	ca. 35	12	5,5	10°	2	3,5	5,5	1	B2	-1,5	7	5	283%	36%	usure modérée	15	8	53%	18,25	13,5	74%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	V	ca. 38,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14 62	V	ca. 41,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Summary for used Catilli																																				
457 59,25 33,5 69,5 18 17 35 -5 33 21,25																																				
NR 12 38,1 11,85 5,58 13,90 3,60 3,40 7,0 NR 4 = -1,67 8,25 4,25																																				
DGT (27,5) = 22,16 6,89 3,25 NR 5 NR 6 NR 5 NR 5 NR 4 NR 5																																				
IREC = 321% NR 5 NR 6 DGT = 2,09 1,98 4,07 NR 6 = -0,83 4,80 2,47																																				
85 47 93,5 60,5																																				
17,0 9,4 55% 18,7 12,1 65%																																				
NR 5 NR 5 NR 5 NR 5																																				
9,89 5,47 10,88 7,04 DGT (pied 27,5)																																				

Figure 35 : Hauteur Utile des *Catilli* Neufs de Bad Nauheim

CATILLI Ref.	EBAUCHE Q/2 Type	STADE de FAÇONNAGE	D.Base	D. Sup	H	H.Oeil	Angle *	approche des HAUTEURS PASSIVE & UTILE						approche de HU à Neuf (HUNF) et du RENDEMENT en HU																					
								HCo	H. TR	HP (HTR-HCo)	EMMANCHEMENT D/1	Type	HP totale (HTR+HCo +EMM)	HUr (H-HP)	D/H (IREC)	Taux USURE sur 220 / 397%	statut Usure sur IREC 220%	H restituée sur IREC 220%	HUNF sur (HUNF-HP)	RENDEMENT en HU HUNF 220%	H restituée sur IREC 250%	HUNF sur 250%	RENDEMENT T en HU (HU/H) HUNF 250%												
16	V	34,5	34	14	7,5	12°	3,5	2,5	6	-	-	-	-	8	246%	12%	peu usée	15,75	9,75	62%	13,75	7,75	56%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	V	ca. 33	ca. 33	12	6	10,5°	2,5	3	5,5	-	-	-	-	6,5	275%	31%	usure modérée	15	9,5	63%	18,25	13,25	73%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	V	37,5	37,5	16	10,5	9°	2,5	4	6,5	1	B2	-2,5	9	7	234%	8%	sub-neuf	17	8	47%	20,75	15	72%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	1	Forage en c.	IV	39	34	16	6,5	13°	5	6	13	0	-	5	244%	14%	peu usée	17,75	6,75	38%	22,5	15,5	72%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Catilli NEUFS																																			
NR 4 58 30,5 44,5 13,5 15,5 29 -2,5 9 26,5																																			
NR 4 36,0 14,50 7,63 11,13 3,38 3,88 7,25 5,24 6,63																																			
DGT (27,5) = 20,95 8,44 4,44 NR 4 1,96 2,25 4,22 NR 1 NR 1 3,85																																			
NR 4 NR 4 NR 4 NR 4 NR 4 NR 4																																			
1,1 -1,5 DGT																																			
Total Catilli																																			
601 218 117,3 64 114 31,5 32,5 64 5 -7,5 42 47,75																																			
37,56 36,33 13,03 6,40 12,7° 3,50 3,25 7,11 32% NR 5 = -1,50 8,40 5,31																																			
DGT (27,5) = 21,85 21,14 7,58 3,72 NR 9 2,04 1,89 4,14 NR 7 = -0,87 4,89 3,09																																			
NR 16 NR 6 NR 9 NR 10 NR 9 NR 10 NR 9 NR 7 = -0,36 NR 5 NR 9																																			
8,48 4,40 9,61 6,67 DGT (30,1)																																			
7,87 4,09 8,93 6,19 DGT (33,27)																																			

S'agissant des *Catilli* utilisés, on peut calculer la Hauteur Passive puisque profondeur de trémie et hauteur du cône sont des paramètres stables, non modifiés par l'utilisation de la meule. On est ainsi en mesure de déterminer la Hauteur Utile restante ($HUr = Hr - HP$)

²² Et donc de la frontière manifestée par la ligne de fortins dite *Limnes* rhénane installée à partir d'Auguste et de l'organisation des provinces de Germanie (ce limes est représenté en tireté rouge sur la carte Fig. 19bis p. 487).

mais non la Hauteur Utile originelle (HUNf) puisque la hauteur a été diminuée, dans une proportion qu'on ignore, par l'usure.

92. On dispose cependant de deux moyens de restituer cette Hauteur Utile initiale :

. la première (approchée), s'appuie sur une restitution de la Hauteur à Neuf conduite à partir de l'IREC moyen des meules neuves des ateliers qui est de 220%²³ et traduit en cela la tendance générale des meules antiques neuves à présenter un diamètre mesurant 2 à 2 fois ¼ la hauteur (voir IREC dans le **CHAP.18**);

. la seconde restitution (exacte) de la Hauteur originelle s'effectue à partir des Hauteurs à neuf constatées dans l'atelier, elle suppose cependant, en cas de pluralité de normes de hauteur, que l'on choisisse pour la restitution, au sein de cette pluralité, la Hauteur initiale appropriée, l'exercice n'est pas toujours univoque²⁴.

93. Le faible nombre des Hauteurs Utiles disponibles à Bad Nauheim nous prive d'une approche des hauteurs passives, utiles et initiales qui soit basée sur des valeurs se dégageant à travers des pics de fréquence. Cependant une approche exploitant la métrologie des moyennes donne des résultats éloquentes (**Fig.36** et **37**).

Figure 36 : Hauteurs des *Catilli* neufs de Bad Nauheim : Métrologie des moyennes

(les moyennes en cm figurent en bleu en tête des colonnes - elles sont testées pour 9 pieds différents (de l'Osco-italique 27,5 au Drusus 33,27) - la valeur en doigts (dgt) donnée par chaque pied est affichée horizontalement et figurée en rouge lorsqu'elle correspond à une quantité entière de doigts ou demi-doigts, par ex. pour le Pied de 27,5 : D. 20,95 (21) dgt, H. 8,44 (8,5) dgt, Hauteur du cône 1,97 (2) dgt - la lecture horizontale permet de dégager les pieds qui justifient le mieux la série : le Pied pompéien de 28,8 rend ainsi compte du Diamètre (20 dgt), de la Hauteur totale (8 dgt), de la Hauteur Passive (4 dgt) et de la Hauteur Utile (4 dgt), il est suivi du pied de 27,5 - la synthèse est extraite en bas de tableau)

Métrologie des moyennes - <i>CATILLI</i> NEUFS de BAD NAUHEIM								
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	* avec réduction due à Emmanchement		col.9
NR 4	DIAM	HNF	HCo	HTr	HP	HP totale*	HUNf	
cm	36,0	14,50	3,38	3,88	7,25	(9)	(H - HP)	
27,5	20,95	8,44	1,97	2,26	4,22		4,22	
28,2	20,43	8,23	1,92	2,20	4,11		4,11	
28,5	20,21	8,14	1,90	2,18	4,07		4,07	
28,8	20,0	8,06	1,88	2,16	4,03		4,03	
29,25	19,69	7,93	1,85	2,12	3,97		3,97	
29,56	19,49	7,85	1,83	2,10	3,92		3,92	
30,1	19,14	7,71	1,80	2,06	3,85		3,85	
30,9	18,64	7,51	1,75	2,01	3,75		3,75	
33,27	17,31	6,97	1,63	1,87	3,49		3,49	
27,5	21 DGT IREC =	8,5 DGT 247%	2 DGT	2,25	4,25 HP = 1/2 H		4,25 DGT HU = 1/2 H	
28,8	20 DGT IREC =	8 DGT 250%	2 DGT	2 DGT	4 DGT HP = 1/2 H		4 DGT HP = 1/2 H	

En effet, le Pied Osco-italique de 27,5 et celui de 28,8 (*regula* de Pompéi) rendent tous deux assez bien compte des moyennes montrées par les hauteurs des *Catilli* neufs de Bad Nauheim.

La synthèse donnée par ces deux Pieds et notamment

celui de 28,8 fait ainsi apparaître que le Diamètre serait de 20 ou 21 doigts, les Hauteurs (donc neuves : HNF) de 8 ou 8,5 dgt en moyenne et la Hauteur Passive de 4,25 ou 4 dgt. Elle montre surtout que Hauteur Passive (HP) et Hauteur Utile (HU) correspondent à la moitié

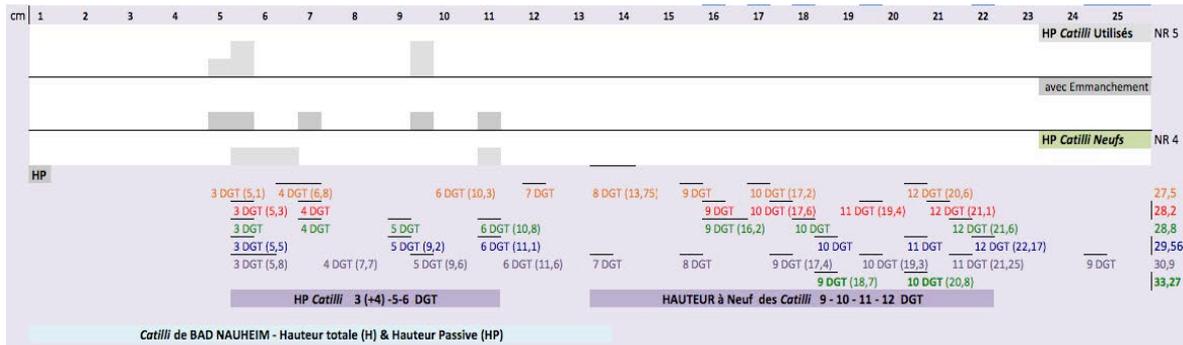
²³ Cette méthode de restitution correspond aux 2 colonnes bleu pâle de la **Fig.34** ; il arrive cependant que l'on doive considérer, pour certains individus, un Indice de Rectangularité du profil (IREC) de la meule neuve qui soit notamment de 250% (modèles aplatis où le Diamètre mesure 2,5 fois la Hauteur à Neuf) ou au contraire, de 150-180% pour des modèles de meules trapues (comme à Orvieto ou Els Vilars) dont Diamètre et Hauteur sont proches (D valant 1,5 H) ; les données de Bad Nauheim conduisent vers un IREC de 250% (restitution correspondant aux 2 colonnes orangées de la **Fig.34**).

²⁴ En effet, dans un grand nombre de cas cela est permis sur la base de la hauteur observée qui permet d'éliminer les normes de hauteur trop faibles, dans les autres cas et pour les valeurs de H attestées dans l'atelier et plus élevées que la hauteur observée sur la meule, il est nécessaire de faire des simulations et de prendre en compte une probabilité basée sur l'IREC : le résultat ne désigne pas toujours une seule Hauteur initiale possible

de la Hauteur totale (HNf), soit 4,25 dgt pour 8,5 en pied de 27,5 et 4 dgt pour une Hauteur initiale de 8 dgt si le pied est celui de 28,8.

94. Par ailleurs la profondeur de la trémie (HTr) est similaire à la hauteur du cône (HCo) et même légèrement supérieure, chacune contribuant ainsi en moyenne à une moitié de la Hauteur Passive et consommant 1/4 de la hauteur totale. Cet équilibre témoigne d'une part d'un souci de calibrage de ces composantes de la Hauteur Passive et d'autre part du fait que la profondeur de la trémie ne jouerait pas un rôle d'ajustement de ce paramètre, sauf si la moyenne est une valeur en réalité absente qui exprime des groupes de HP contrastée.

Figure 37 : Distribution des Hauteurs Passives des *Catilli* de Bad Nauheim

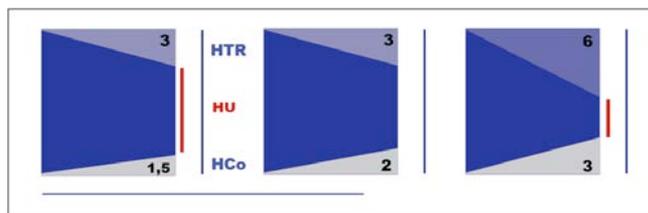


Or il se trouve que l'on observe (Fig.37) tant sur les *Catilli* neufs que sur ceux utilisés l'existence de 2 groupes, l'un (HTr-1) de faible Hauteur Passive (5,5-6 cm soit 3 dgt) et l'autre (HTr-2), un peu moins nombreux, de plus forte HP (9,5-11 cm soit 6 dgt). On pourrait s'attendre à ce que, pour ménager une Hauteur Utile maximale, la profondeur de la trémie soit diminuée dans les cas où le rapport entre le diamètre et la conicité entraîne une forte Hauteur de Cône (HCo).

95. Il n'en est rien. Au contraire, on observe qu'à Bad Nauheim **plus la conicité est élevée, plus la trémie prend de la profondeur**. Ainsi, la Hauteur de Cône se répartit en 3 groupes : le Groupe HCo-1 mesure 1,5 dgt (2 à 2,5 cm), le Groupe HCo-2 fait 2 dgt (3,5 à 4 cm) et la hauteur du groupe HCo-3 mesure 3 dgt (5 à 6 cm).

Figure 38 : Vignettes-schémas montrant les 3 combinaisons entre HTr et HCo chez les *Catilli* de Bad Nauheim

représentation d'un demi-*Catillus* de modèle classique dont l'axe et l'envergure sont matérialisés par un trait bleu vertical et horizontal - le modèle est classique, le diamètre mesurant 2,20 fois la hauteur (IREC 220%) – on visualise bien la forte réduction de la Hauteur Utile entraînée par la profondeur de trémie de 6 DGT du troisième modèle (HCo-3/HTr-2)



La combinaison de 3 groupes de Hauteur de Cône avec 2 groupes de profondeur de Trémie donne 6 possibilités. En réalité seules 3 sont observables (Fig.38) et proposent un schéma combinatoire (Fig.39) que les

effectifs²⁵ montrent limité à 2 rapports : à Bad Nauheim la profondeur de la trémie (HTr), toujours plus importante que la Hauteur de Cône, mesure en effet 1,5 fois et surtout 2 fois cette dernière.

²⁵ Effectifs donnés par la ligne 1 de la Fig. 39 : 5 *Catilli* pour la combinaison HCo-1/HTr-1 et 3 pour la combinaison HCo-3/HTr-2 tandis que HCo-2/HTr-1 ne présente qu'un seul individu (sa réalité reste donc à confirmer sur la base d'un échantillon futur élargi).

Figure 39 : Les 3 valeurs de HCo et les 2 valeurs de HTr à Bad Nauheim

rapports entre Hauteurs de Cône et de Trémie associées - Catilli de BAD NAUHEIM -					
		NR 5	NR 1	NR 3	
		HCo-1 1,5 DGT	HCo-2 2 DGT	HCo-3 3 DGT	HCo-4 ? 4 DGT
HTr-1	3 DGT	x 2	x 1,5	x 1	x 0,75
HTr-2	6 DGT	x 4	x 3	x 2	x 1,5

96. Une quatrième possibilité peut être envisagée (HCo 4 DGT et HTR 6 dgt - Fig.39 colonne de droite) donnant un second rapport de 1,5. Toutefois pour les diamètres attestés sur les *Catilli*

de Bad Nauheim (33 à 45 cm), cette HCo de 4 dgt produit des angles de 24 à 18° qui sont élevés et généralement peu fabriqués. Il se trouve qu'à Bad Nauheim, ils s'avèrent également réalisés par la norme HCo-3 de 3 dgt (Fig.40). Ce 4^e couple associant une HCo de 4 dgt à une Hauteur de trémie de 6 dgt apparaît donc peu probable.

Figure 40 : Correspondance entre Angles et Diamètres pour les 3 HCo attestées à Bad Nauheim

97. En définitive, on retiendra que seulement 2 valeurs de HTr sont associées aux différentes Hauteurs de Cône et que la plus grande, qui se traduit par une forte profondeur de la trémie (6 dgt) est employée à Bad Nauheim à partir du moment où la Hauteur du Cône atteint 3 dgt. L'importance de la trémie est alors telle (voir Fig.38 modèle 3/6 dgt) qu'il est probable que pour maintenir une Hauteur Utile du Catillus qui soit équivalente à celle des autres, cette classe de *Catilli* devait intégrer une surépaisseur de sa hauteur totale de manière à compenser le fort impact réducteur de HU qu'est une trémie de 6 doigts.

Catilli de BAD NAUHEIM - Angles et Diamètres correspondant aux 3 HAUTEURS de CONE			
	ANGLES réalisés	DIAMETRES correspondant	
HCo-1 (2 à 2,5 cm) 1,5 DGT	5° - 9° - 9° - 10° - 10°	33 - 34 - 37,5 39 - 39 (cm)	NR 5
HCo-2 (3,5 cm) 2 DGT	12°	34,cm	NR 1
HCo-3 (5 à 6 cm) 3 DGT	13° - 18,5° - 27°	35 - 39 - 39	NR 3

98. Par ailleurs, la valeur 1,5 dgt de la première norme de HCo nous conduit à envisager que la Hauteur de Cône ait pu être travaillée par les meuliers selon des valeurs échelonnées en demi- dgt et non seulement en dgt entiers. Cette possibilité, étudiée au CHAP.12, est soulevée lorsque l'on croise les valeurs en dgt et demi- dgt de HCo avec celles, en doigts également, des Diamètres (Fig.41). Il apparaît ainsi que la Conicité de 7° (classe 6-7-8° figurée en bleu-ciel sur la gauche de la Fig.41), peut être fabriquée au moyen d'une Hauteur de Cône en nombre de dgt entier (en l'occurrence 1 dgt) pour les diamètres de 16 à 21 dgt mais qu'au-delà HCo doit passer à 1,5 dgt pour que soit réalisée une même conicité de la meule.

Figure 41 : Panorama des Conicités réalisables à partir des différents diamètres fabriqués selon des dimensions en nombre entier de doigts et selon des Hauteurs de Cône réalisée en demi-dgt

Le tableau peut se lire horizontalement : par exemple, pour une meule de diamètre 18 dgt (ligne 4) dont la conicité doit être 7°, la hauteur de cône à réaliser sera (col.4) de 1 dgt ou bien pour une meule de diamètre 18 et de HCo 2, la conicité sera de 13° -

col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	col.16	col.17	col.18	col.19	col.20	
TAB.4		Conicité approchée à 1°																		
		HAUTEUR du CÔNE HCo (en DGT)																		
1	DIAM.	rayon	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	
2	1 pied	16 DGT	8	7°	10-11°	14°	17°	20-21°	22-23°	26-27°	29°	32°	34-35°	37°	41°	45°	48-49°	51°	54°	56°
3		17 DGT	8,5	7°	10°	13°	16-17°	19-20°	22°	25°	28°	30-31°	33°	35°	39-40°	43°				
4		18 DGT	9	6°	9-10°	12-13°	15-16°	18-19°	21°	24°	26-27°	29°	31-32°	33-34°	38°	41-42°	45°	48°	51°	53°
5		19 DGT	9,5	6°	9°	12°	15°	17-18°	20°	23°	25°	28°	30°	32°	36-37°	40°	43-44°			
6	1,25	20 DGT	10	6°	8-9°	11°	14°	17°	19°	22°	24°	26-27°	29°	31°	35°	39°	42°	45°	48°	50°
7		21 DGT	10,5	5-6°	8°	11°	13-14°	16°	18-19°	21°	23°	25-26°	27-28°	30°	33-34°	37°	40-41°	43-44°		
8		22 DGT	11	5°	8°	10°	13°	15°	17-18°	20°	22°	24-25°	26-27°	28-29°	32-33°	36°	39°	42°	45°	47-48°
9		23 DGT	11,5	5°	7-8°	10°	12°	14-15°	17°	19°	21-22°	23-24°	25-26°	27-28°	31°	35°	38°	41°	44°	
10	1,5	24 DGT	12	5°	7°	10°	12°	14°	16°	18-19°	20-21°	22-23°	24-25°	26-27°	30°	33-34°	37°	40°	42-43°	45°
11		25 DGT	12,5	4-5°	7°	9°	11°	13-14°	15-16°	18°	20°	22°	24°	25-26°	29°	32-33°	36°	38-39°	41°	44°
12		26 DGT	13	4-5°	6-7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°	25°	28°	31-32°	35°	37-38°	40°	43°
13		27 DGT	13,5	4°	6°	8-9°	10-11°	12-13°	14-15°	16-17°	18-19°	20°	22°	24°	27-28°	30-31°	34°	36-37°	39°	41-42°
14	1,75	28 DGT	14	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	19-20°	21-22°	23°	26-27°	30°	33°	35-36°	38°	40-41°
15							Rang.1	Rang.2	Rang.3	Rang.4	Rang.5	Rang.6	Rang.7			Rang.9	Rang.10			

6-7-8° Rang.1 Travail avec HCO 1 DGT si DIAM. 16 à D.21 DGT
puis travail avec HCO 1,5 DGT pour DIAM. 21 à 24 DGT

Fortes Conicités

Le tableau peut aussi être lu par conicité (intersection des lignes et colonnes) ainsi : la conicité 10° peut être réalisée par une HCo de 1,5 dgt pour les meules d'un diamètre de 16 à 19 dgt (col.5 et lignes 2 à 5), pour les meules plus grandes cette conicité 10° nécessite une hauteur de cône de 2 dgt (col.6, lignes 6 à 11), enfin à partir du diamètre de 25 dgt une pente de 10° appelle une HCo de 2,5 dgt (lignes 11 à 14, col. 7).

Cette table est construite par trigonométrie (formule de la Tangente) à partir des valeurs en dgt de HCo et du Diamètre (attention il faut utiliser le rayon, col.2), elle a été réalisée avec notre module simulateur de calcul de HCo ou de l'Angle (en ligne sur <https://www.orviamm.com>)

Ce système de relations porte à considérer qu'a pu exister à Bad Nauheim une 4^e combinaison qui paraît plus probable que celle de HCo 4 dgt/HTr 6 et qui serait basée sur une 3^e valeur de HTR, intermédiaire : 5 dgt (soit ca.9 cm). Utilisant le rapport x2 et une HCo en demi-doigt (2,5 dgt soit ca. 4,5 cm, il s'agirait du couple HCo 2,5 dgt / HTr 5 dgt. Cette combinaison n'est pas attestée, soit qu'elle n'ait pas été utilisée soit qu'elle soit absente de l'échantillon actuel (9 Catilli) en raison d'une fréquence qui serait limitée.

Figure 42 : Hauteurs des Catilli utilisés de Bad Nauheim : Métrologie des moyennes

Métrologie des moyennes - CATILLI Utilisés de BAD NAUHEIM								
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9
NR 11/NR 5	DIAM	H	HCo	HTr	HP	HP totale*	HUNf	HUr
cm							(H - HP)	
27,5	22,11	6,89	2,09	1,98	4,07	4,80		2,47
28,2	21,56	6,72	2,04	1,93	3,97	4,68		2,41
28,5	21,33	6,65	2,02	1,91	3,93	4,63		2,39
28,8	21,11	6,58	2,00	1,89	3,89	4,58		2,36
29,25	20,79	6,48	1,97	1,86	3,83	4,51		2,32
29,56	20,57	6,41	1,95	1,84	3,79	4,47		2,30
30,1	20,20	6,30	1,91	1,81	3,72	4,39		2,26
30,9	19,68	6,14	1,86	1,76	3,62	4,27		2,20
33,27	18,27	5,70	1,73	1,64	3,37	3,97		2,04
		variable				variable		variable
27,5	22 DGT	7 DGT	2 DGT	2 DGT	4 DGT	5 DGT		2,5 DGT
	IREC =	314%	HCo = HTr					Usure 38% si HU 4 DGT
28,2	21,5 DGT	6,75 DGT	2 DGT	2 DGT	4 DGT			2,4 DGT
	IREC =	319%						
28,8	21 DGT	6,5 DGT	2 DGT	2 DGT	4 DGT	4,5 DGT		2,3 DGT
	IREC =	323%						
29,56	20,5 DGT	6,5 DGT	2 DGT	1,75 DGT	3,75 DGT	4,5 DGT		2,3 DGT
	IREC =	315%						

99. Enfin, concernant les Catilli neufs, on soulignera un fait important : l'IREC moyen (rapport D/H) est de 250%. Autrement dit, les Catilli neufs de Bad Nauheim montrent un Diamètre valant 2,5 fois la Hauteur. Ils étaient donc produits selon une norme un peu plus aplatie que la moyenne générale entre Ebre et Rhin (IREC 220%). On est donc

. Diamètre & Conicité

102. Les diamètres sont souvent différents entre la base, large, et le sommet, plus restreint. Cette inclinaison du flanc entraîne une réduction progressive du diamètre et l'impossibilité d'établir la métrologie à partir des exemplaires utilisés tandis que le diamètre supérieur semble plus aléatoire ce qui le disqualifie pour l'approche métrologique. Le diamètre de base varie de 31 à 40 cm, ce qui correspond selon les deux pieds cités à une étendue comprise entre 17/18 et 21/22 dgt. Cet intervalle d'assez petite dimension traduit pour ces *Metae* Est-rhénanes un gabarit centré sur 1 pied à 1 pied ¼. Il est complété par 1 seul exemplaire d'envergure de 1 pied ½ (24 dgt et 43,5 cm).

103. La conicité est centrée sur 11° pour les exemplaires neufs et sur 14-15° pour les *Metae* utilisées, ce qui peut traduire une augmentation de l'angle d'un peu plus de 3° due à l'utilisation. Ces valeurs, modérées à assez fortes, correspondent à la conicité la plus courante sur les MRB²⁶.

. Hauteur

104. Les hauteurs varient de 7 à 13 cm chez les *Metae* utilisées et de 11 à 16 chez les *Metae* neuves. Les moyennes, respectivement de 9,38 et 13,25 cm traduisent une réduction de 1/3 due à l'utilisation. Elles correspondent à une hauteur de 5 ou 5,5 dgt pour les exemplaires utilisés et de 7 ou 7,5 dgt pour les *Metae* neuves. Comparées aux hauteurs moyennes des *Metae* neuves d'Orvieto, Els Vilars et Le Chaudry qui sont élevées (Fig.45), cette valeur située sur le demi-pied (8 dgt) reflète le caractère plus mince de la tradition meulière rhénane. Les *Metae*

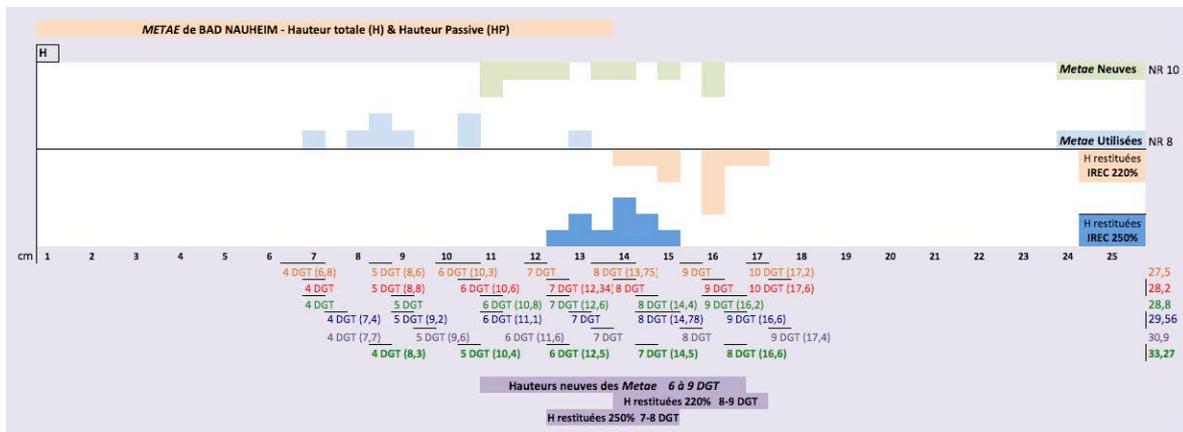
Figure 45 : Hauteur moyenne des *Metae* neuves de Bad Nauheim, d'Orvieto et de deux autres ateliers

HAUTEUR moyenne des <i>Metae</i> neuves de 4 ATELIERS			
	<i>Metae</i> neuves	Moyenne des Hauteurs \bar{x} H cm	\bar{x} H DGT
Els VILARS	7	37,57	20-21 DGT
ORVIETO	32	25,30	15 DGT
Le CHAUDRY	12	19,47	11 DGT
BAD NAUHEIM	10	13,25	7-7,5 DGT

de Bad Nauheim sont en effet 2 et 3 fois moins hautes que les *Metae* support d'Orvieto et de Els Vilars mais aussi 32% plus minces que celles, classiques et de modèle continental, du Chaudry.

Ce constat soulève la double question de savoir si à Bad Nauheim la Hauteur Utile se trouve amincie en proportion de sa la hauteur totale qui est faible, ou bien si les fabrications réussissent à hausser la HU en compensant par un affaiblissement de la conicité. Par ailleurs il est intéressant de chercher à savoir de quel niveau est la Hauteur Utile (plutôt 4 ou 6 dgt) et s'il se distingue ainsi ou non de celui des autres ateliers.

Figure 46 : Distribution des Hauteurs des *Metae* de Bad Nauheim

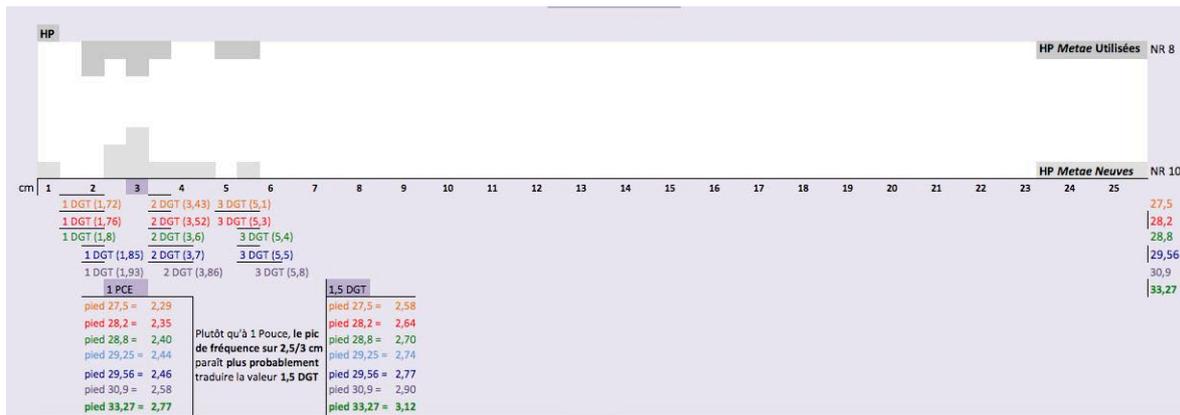


²⁶ Sur notre corpus comprenant 1655 angles les conicités les plus fréquentes correspondent au bloc 10-13-16° (cf. CHAP.12)

(sont figurées en vert les hauteurs de *Metae* neuves, en bleu ciel celles des *Metae* utilisées – sont représentées en orangé les hauteurs restituées d'après le rapport D/H 220% et en bleu foncé les hauteurs restituées d'après le rapport D/H 250% qui semble plus caractéristiques des *Metae* de Bad Nauheim – la partie basse de la figure indique la transcription des hauteurs en dgt pour un choix de 6 pieds allant de celui 27,5 cm au Pied de Drusus 33,27 – cette table montre que les hauteurs à neuf correspondent à la plage 6–9 dgt et plus particulièrement sans doute à l'intervalle 8-9 dgt)

Figure 47 : Distribution des Hauteurs Passives des *Metae* de Bad Nauheim

(les 18 hauteurs passives mesurables sont très faibles et se situent entre 1 et 3 dgt –la valeur la plus fréquente, principalement observable sur les *Metae* neuves, est 3 cm et semble plus probablement correspondre à 1,5 dgt (entre 2,58 et 3,12 cm) qu'à 1 pouce (12è du pied) qui donnerait entre 2,29 et 2,77 cm)



. Hauteur Passive

105. La hauteur passive est calculable pour 10 *Metae* neuves et 8 utilisées (Fig.47), les moyennes respectives s'établissant à 3,25 cm et 3,31 cm (tables des données en figure 49 et 50). La hauteur passive moyenne apparaît ainsi légèrement inférieure à 2 dgt. Elle croît régulièrement avec la hauteur totale de la meule (Fig.48) dont elle occupe 25 à 30% à l'except

Figure 48 : Bad Nauheim : Rapport entre la Hauteur Passive (HP) et la Hauteur totale des *Metae* neuves (Hnf)

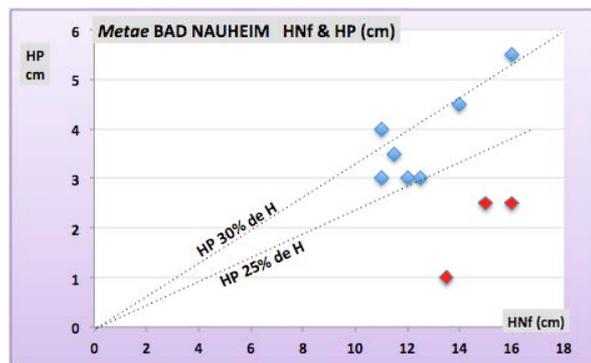


Figure 49 : Bad Nauheim – Hauteur Passive et Hauteur Utile des *Metae* neuves

relation entre H et HP <i>Metae</i> neuves BAD N.				
Meta N°	HNf cm	HP cm	HP / H	HU / H
9	11,5	3,5	30%	70%
12	12	3	25%	75%
13	11	4	36%	64%
15	12,5	3	24%	76%
28	16	5,5	34%	66%
32	15	2,5	17%	83%
33	16	2,5	16%	84%
34	13,5	1	7%	93%
48	11	3	27%	73%
10 51	14	4,5	32%	68%
		132,5	32,5	25%
\bar{x}		13,25	3,25	10
		7,5 DGT < 2 DGT		5,5 DGT
		27,5 = 5,818		
10,5		Hc > HCo		30,9 = 5,178

relation entre H et HP <i>Metae</i> Utilisées BAD N.				
Meta N°	HNf 250%	HP cm	HP / H	HU / H
5	14,5	5,5	38%	62%
11	13	3	23%	77%
17	12,5	3	24%	76%
19	13,25	3,5	26%	74%
27	14,25	2	14%	86%
35	14	2,5	18%	82%
42	15	2,0	13%	87%
8 49	14	5,0	36%	64%
		110,5	26,5	24%
\bar{x}		13,81	3,31	10,5
		8 DGT < 2 DGT		6 DGT

Figure 50 : Bad Nauheim Hauteur Passive et Hauteur Utile des *Metae* utilisées

tion de 3 exemplaires qui se rangent dans les plus fortes hauteurs (14 à 16 cm – ils sont figurés en rouge sur la Figure 48).

La même croissance régulière de la hauteur passive selon la hauteur totale s’observe sur les *Metae* utilisées où HP

occupe en moyenne 24% de H contre 25% sur les neuves.

Cet étroit parallélisme du rapport HP/H entre *Metae* neuves et utilisées tend à valider la restitution de la Hauteur basée sur l’Indice de Rectangularité (IREC) de 250% (i.e. diamètre valant 2,5 fois la hauteur).

106. En définitive, la Hauteur Passive très réduite qui s’observe à Bad Nauheim (moins de 2 dgt) est essentiellement déterminée par une faible Hauteur de Cône : celle-ci est en moyenne de 2 dgt (Fig.43 et 44). Si 7 des 18 *Metae* montrent un évidement de leur assise (Hc), en 3 cas seulement celui-ci, étant supérieur à HCo, détermine la Hauteur Passive, alors assez forte²⁷.

Figure 51 : Bad Nauheim Hauteur Utile des *Metae* neuves

. Hauteur Utile

107. La hauteur utile est appréhendable sur les 10 *Metae* neuves de Bad Nauheim (Fig.51). Elle varie de 7 à 13,5 cm avec d’une part une concentration sur 7 à 9 cm (soit 4 à 5 dgt) et une autre sur 12,5-13,5 cm soit 7 dgt. La moyenne s’établit à 10,0 cm soit une hauteur utile moyenne de 5 à 6 dgt selon les pieds. La hauteur totale s’élevant en moyenne à 13,25 cm (soit 7 à 8 dgt), le rendement en hauteur utile est de 75% (RHU = HUNf/HNf soit ici 10,0 / 13,25 cm).

BAD NAUHEIM				HAUTEUR PASSIVE & UTILE				
Metae	NEUVES	STADE de FAÇONNAGE	H (Hr)	Angle °	HCo	Hc	HP (HCo>Hc)	HUNf (H-HP)
9	1	avant perc. C.ii	11,5	12°	3,5	0	3,5	8
12	1	avant perc. C.ii	12	8,5°	3	2,5	3	9
13	1	avant perc. C.ii	11	14°	4	0	4	7
15	1	Forage. C.ii	12,5	12°	3	0	3	9,5
28		V	16	16°	4	5,5	5,5	10,5
32		V	15	11°	2,5	0	2,5	12,5
33		V	16	10°	2,5	0	2,5	13,5
34		V	13,5	3,5°	1	0	1	12,5
48		V	11	10°	3	2,0	3	8
10 51		V	14	10,5°	3,5	4,5	4,5	9,5
18			132,5	107,5	33,32	14,5	32,5	100
			13,25	10,75	3,33	3,63	3,25	10,00
			NR 10	NR 10	NR 10	NR 4	NR 10	NR 10
			7,71	1,94	2,11	1,89	5,82	
				ca.2 DGT	ca.2 DGT	ca.2 DGT		
			DGT (27,5) =					
			7,52	1,89	2,06	1,84	5,67	
			7,5 DGT	ca.2 DGT	2 DGT		5,5 DGT	
			DGT (28,2) =					
			6,86	1,73	1,88	1,68	5,18	
			7 DGT	1,5 DGT	ca.2 DGT		5 DGT	
			DGT (30,9) =					

La situation est la même lorsque HU est calculée pour les 8 *Metae* utilisées (Fig.52) et à partir de leur hauteur à neuf restituée (sur l’IREC 250%) : on retrouve un di-polarité avec

²⁷ 4,5 – 5 – 5,5 cm : ces *Metae* comportant une Hc plus importante que la hauteur du cône sont encadrées sur les tables des Fig. 43 et 44

d'une part 9-10 cm et d'autre part 12-13 cm tandis que la moyenne est de 10,5 cm et correspond à 6 dgt. Comme la hauteur totale restituée atteint en moyenne 8 dgt, le rendement en hauteur utile est de 76% (RHU = HUNf/HNf soit ici 10,5 /13,81 cm).

Figure 52 : Bad Nauheim - Hauteur Utile des *Metae* utilisées

108. En définitive, avec en moyenne une hauteur correspondant à 7-8 dgt, une hauteur passive un peu inférieure à 2 dgt et une hauteur utile de 5-6 dgt, les *Metae* de Bad Nauheim semblent répondre au schéma suivant :

H.8 HP.2 HU.6 dgt

On a vu plus haut que pour les *Catilli* le schéma était : 8 / 4 / 4. Les deux genres de meules ont ainsi une même hauteur mais, logiquement dira-t-on en raison de la présence d'une trémie, la hauteur passive des *Catilli* est double et abaisse la hauteur utile de 2 dgt. Il semble donc exister un différentiel de longévité important entre *Metae* et *Catilli*, tout comme pour Orvieto (HU *Metae* 8 dgt et HU *Catilli* 4 dgt).

<i>Metae</i>		UTILISÉES	
H restituée sur IREC 250%	HUNf sur 250%	RENDEMENT en HU (HU/H) HUNf 250%	
5	14,5	9	62%
11	13	10	77%
17	12,5	9,5	76%
19	13,25	9,75	74%
27	14,25	12,25	86%
35	14	11,5	82%
42	15	13	87%
49	14	9	64%
110,5		84	
13,81		10,50	76%
NR 8		NR 8	
8,04		6,11	DGT (27,5)
8 DGT		6 DGT	
7,84		5,96	DGT (28,2)
7,15		5,44	DGT (30,9)

D. HAUTEUR UTILE en zone Rhénane : Fabrications des FOSSOTTES dans les Vosges

109. Ce centre localisé sur le versant Ouest du Nord du Massif des Vosges et du département français de même nom, près de St. Dié, a produit des meules en rhyolite. Il s'agit d'une roche dure généralement violacée et de texture porphyrique jusqu'à grenue issue d'un volcanisme à lave visqueuse, riche en silice et qui tend à former des dômes²⁸. On trouve des rhyolites notamment dans le volcanisme ancien de Toscane ou par exemple en Corse et en Provence (Esterel, cf. BUISSON, OLIVE 2009) où certaines ont servi à fabriquer des meules (attestées en contexte antique sur la villa des Mesclans – BRUN, BORREANI 1998, 297). Dans les Vosges les rhyolites proviennent d'un volcanisme du Permien (ère Primaire)²⁹.

On dispose d'une étude détaillée réalisée dans un cadre universitaire par Virginie Farget (FARGET 2006) ainsi que d'une typologie et d'un panorama de diffusion (LAGADEC 2008). Un programme de prospections au sol a été entrepris en 2006 (FARGET 2007)³⁰.

²⁸ Cf. www.alexstrekeisen.it/vulc/riolite.php (menu Vulcaniche / Rocce).

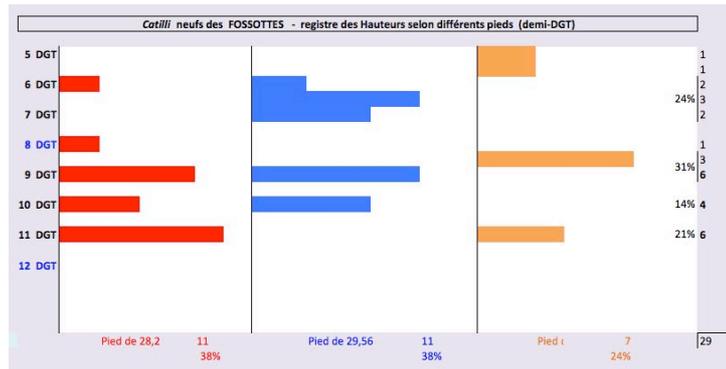
²⁹ JODRY 2006, 25-26 en présentation des meules de l'Alsace.

³⁰ FARGET 2007 – rapport de prospections remis à la Drac de Lorraine, Grand Est, inédit : tous mes remerciements à l'auteur pour me l'avoir communiqué.

Figure 54 : **Catilli des Fossottes – gabarits des hauteurs (en dgt)**

. Hauteurs

122. Les 29 hauteurs mesurées s'étendent, en quantité régulière à partir de 12 cm, de 8,5 à 19,5 cm soit de 6 à 11 dgt pour des pieds de 27,5 et 28,2 ou 29,56. La moyenne s'établit à 15,33 cm soit 8,5 dgt. L'analyse métrologique individuelle (transcription de chaque hauteur en dgt) tend à indiquer que le pied de 28 privilégierait le segment 9-11 dgt tandis que le Pied Romain (29,56) présente une double concentration sur 6,5 dgt d'une part et sur 9-10 dgt d'autre part (Fig.54 – la table qui permet cette représentation est donnée à la Fig.55).



Pieds		28,2		29,56		27,5	
H	arrondi	restant	arrondi	restant	arrondi	restant	arrondi
12	6,81		6,50		6,98		7 DGT
13	7,38		7,04		7,56		
12	6,81		6,50		6,98		7 DGT
8,5	4,82		4,60		4,95		5 DGT
14,5	8,23		7,85		8,44		8,5
9,5	5,39		5,14		5,53		5,5
16	9,08	9 DGT	8,66		9,31		
16	9,08	9 DGT	8,66		9,31		
14	7,94	8 DGT	7,58		8,15		
10,5	5,96	6 DGT	5,68		6,11		
17,5	9,93	10 DGT	9,47		10,18		
14,5	8,23		7,85		8,44		8,5
11	6,24		5,95		6,40		
18,5	10,50		10,01		10,76		
16,5	9,36		8,93		9,60		
19	10,78		10,28		11,05		11 DGT
19,5	11,06	11 DGT	10,55		11,35		
17,5	9,93	10 DGT	9,47		10,18		
19,5	11,06	11 DGT	10,55		11,35		
16,5	9,36		8,93		9,60		
19,5	11,06	11 DGT	10,55		11,35		
18,5	10,50		10,01		10,76		
16,5	9,36		8,93		9,60		
14,5	8,23		7,85		8,44		8,5
19	10,78		10,28		11,05		11 DGT
13	7,38		7,04		7,56		
19,5	11,06	11 DGT	10,55		11,35		
16	9,08	9 DGT	8,66		9,31		
12	6,81		6,50		6,98		7 DGT
DGT entiers		11	8	6			
demi-DGT		2	8	4			
Total		13	16	10			
doublons		2	5	3			
Total retenu		11	11	7			
%		38%	38%	24%			

Figure 55 : **Catilli des Fossottes – métrologie individuelle des hauteurs (la formule utilisée, déclinée pour chaque pied, est de type : 12 cm/ (28,2/16) = 6,81 dgt)**

123. Si l'on imagine que ces deux pieds ont pu, ce qui est possible mais n'a rien d'obligatoire, correspondre à deux périodes (par exemple La Tène et les I^{er}-I^e s. p.C.), cet atelier aurait alors produit en période 1 des *Catilli* régis par le pied de 28,2 et dont la hauteur était assez homogène et située sur 9-10 dgt. A la période 2 il aurait fabriqué désormais dans le Pied *Monetalis* et en 2 hauteurs : toujours le gabarit de 9-10 dgt mais auquel vient s'ajouter une série de *Catilli* plus minces dont la hauteur est de 6-7 dgt seulement. Cette chronologie potentielle peut évidemment être inversée.

Cette configuration est intéressante parce qu'elle renvoie à l'une des spécificités du domaine rhénan qui est la minceur des meules et en particulier celle des *Catilli* comme nous l'avons vu précédemment avec Bad Nauheim.

Cette dualité à la fois de métrologie et de gabarit pourrait également être interprétée comme 1 seule période de production comportant 2 lignes de fabrication, l'une en pied de 28,2 et à un seul gabarit, une autre en pied de 29,56 réalisant 2 gabarits de hauteur.

. Hauteur Utile des Catilli des Fossottes

124. La hauteur utile peut être documentée pour 10 des 29 *Catilli* (colonne orangée sur la Fig.53). Elle varie entre 4 et 11 cm avec une moyenne de 8,15 correspondant à 4,5 dgt. Cette valeur apparaît parmi les plus faibles observées.

Les hauteurs utiles inférieures à 4 dgt observées aux Fossottes ont toutes chances d'être insuffisantes. En effet, il existe 2 grandes classes de hauteur des *Catilli* : celle de plus de 10

dgt (tendanciellement 12 voire 16 dgt c'est-à-dire $\frac{3}{4}$ de pied voire plus rarement 1 pied) et celle qui est centrée sur 8 dgt (voir *infra* Conclusion) ce qui correspond à $\frac{1}{2}$ pied. Une hauteur utile de 4 dgt correspond donc à une valeur canonique du fait qu'elle correspond à $\frac{1}{4}$ de pied (ou palme) et du fait aussi qu'elle représente la moitié la hauteur courante de nombreuses meules neuves.

A la hauteur totale généralement située sur 8 dgt il faut en effet retrancher la hauteur passive composée de la hauteur du cône et de la hauteur de trémie, soit une perte d'au moins 2 dgt qui laisse un potentiel en hauteur utile de 6 dgt maximum. Mais les cas de hauteur passive mesurant 3 voire 4 dgt n'étant pas rares, les cas de hauteur utile de l'ordre de 5 ou 4 dgt s'observent régulièrement tandis que les *Catilli* dont la hauteur passive dépasse 4 dgt (5,5 à Els Vilars et 6 au Chaudry ainsi que 6,5 à Orvieto) sont caractérisés par une hauteur totale H supérieure à 10 dgt (11 pour Orvieto, 12 pour le Chaudry et 14,5 à Els Vilars).

125. Avec une hauteur totale à neuf moyenne de 8 dgt, une hauteur passive de 3,75 dgt et une hauteur utile de 4,5, les *Catilli* des Fossottes relèvent tendanciellement du schéma suivant :

H.8 HP. 4 HU.4 dgt

Il reste à voir si la hauteur utile moyenne des *Catilli* élaborés aux Fossottes est la même que celle des *Metae* correspondantes ou bien si l'on observe un différentiel comme à Orvieto (*Metae* 8 vs 4 dgt), au Chaudry (8 vs 6 dgt) et à Bad Nauheim (6 vs 4 dgt), différentiel moyen qui s'exprime en demi-palme (2 dgt).

D.2 Hauteur Utile des *Metae* des Fossottes

La table des données est fournie en Fig.56 dont la partie basse transcrit en doigts la valeur des moyennes (figurées en italique bleu). Les hauteurs utiles sont calculées en partie droite dans la colonne orangée, et le rendement en hauteur utile dans la colonne de couleur turquoise.

. Diamètres & Conicité

126. Les diamètres mesurables sur les 10 *Metae* varient de 29,5 à 38 cm, montrant exactement la même étendue que celle des *Catilli*. Ces deux bornes correspondent à 1 pied de type 29,56 d'une part et à un peu plus de 20 dgt soit 1 pied $\frac{1}{4}$ (qui ferait 37 cm dans le pied de 29,56).

Le diamètre le plus fréquent est 36, contre 37 cm chez les *Catilli* et comme chez ces derniers, il correspond à la moyenne (35,55) ce qui indique une série homogène. Ce pic de fréquence désigne un gabarit majoritaire de 20 dgt pour un pied de 28,2/28,5 et d'un peu plus de 19 dgt en Pied *Monetalis* (29,56), ce qui indique une envergure moy-enne légèrement plus faible (ca. $\frac{1}{2}$ dgt) que celle des *Catilli* mais cette différence de ca. 0,5 dgt peut être due à la petite taille de l'échantillon des *Metae*.

Les gabarits reflétés par l'étendue et par le mode correspondent aux standards courants des MRB qui vont de 18 à 22 dgt. Contrairement aux *Catilli*, ils ne sont pas ici complétés par quel-ques exemplaires mesurant de 41 à 46/48 cm soit 1 pied $\frac{1}{2}$ (24 dgt) : la fraction de « grosses meules » est donc ici absente (présente à 17% chez les *Catilli* elle serait attendue en 1 ou 2 exemplaires)³¹, sans doute en raison du caractère limité de l'échantillon.

³¹ 17% d'un effectif de 10 *Metae* donnant une occurrence de 1,7.

. Hauteur Utile des *Metae*

129. La hauteur utile des 10 *Metae* des Fossottes (colonne orangée sur la Fig.56) varie de 9 à 14 cm soit de 5 à 8 dgt. Les mesures tendent à se concentrer d'une part sur 9-10 cm (soit 5 dgt) et sur 11 cm (soit 6 ou 6,25 dgt). Un exemplaire de 12,5 cm correspond au gabarit de 7 dgt et un autre de 14 cm répond à une hauteur de 8 dgt soit 1/2 pied. La moyenne s'établit à 10,95 cm soit 6 dgt du *Pes Monetalis* ou 6,15 dgt d'un pied de 27,5 ou 28. Les *Metae* des Fossottes se classent, tout comme les *Catilli*, parmi les plus faibles hauteurs utiles observables mais elles sont de 2 dgt plus épaisses que ces derniers.

Les relations entre la hauteur utile et la hauteur passive (donnée ici par la hauteur de cône HCo puisqu'il s'agit de *Metae*) sont très variées : tout juste peut-on distinguer deux groupes, l'un où HU vaut 2 ou 3 fois HP et l'autre où HU mesure 4 à 6 fois la hauteur passive HP. En moyenne la hauteur utile correspond à 3 fois la hauteur passive. Cela exprime surtout le caractère modéré de HP et donc de HCo : en effet la hauteur du cône des Fossottes est en moyenne de 2,67 cm soit 1,5 dgt³³. Cette modestie de HCo a permis à l'atelier des Fossottes un haut rendement en hauteur utile (colonne de couleur turquoise sur la Fig.56) : en effet, 78% de la hauteur de ses *Metae* étaient traduits en épaisseur usable.

130. En définitive, sur cet atelier des Vosges les *Metae* répondent donc au schéma tendanciel suivant :

H.8 HP.2 HU.6 dgt

Les *Catilli* répondant comme on l'a vu *supra* à un schéma différent :

H.8 HP. 4 HU.4

on observe par conséquent aux Fossottes l'existence d'un différentiel de hauteur utile de 2 dgt entre *Metae* et *Catilli*, ce comme à Orvieto et sur les autres ateliers étudiés.

6. Synthèse : Hauteur & Hauteur Utile

Méthode par les couples HU-H

131. L'étude du rapport entre la Hauteur totale et la Hauteur Utile des meules vise à établir d'une part l'éventail des Hauteurs Utiles fabriquées dans l'Antiquité ainsi que le profil de fabrication des divers ateliers afin d'en permettre la comparaison et de déceler d'éventuelles pratiques d'optimisation de la longévité. L'autre objectif poursuivi est une meilleure compréhension de la géométrie des meules, notamment la détermination du système des paramètres qui aboutissent aux différents modèles et l'identification de ceux de ces paramètres qui étaient maîtrisés par les meuliers, enfin on cherche à mettre au jour les systèmes de mesure et de partition ainsi que les proportions utilisées dans ces productions manufacturières antiques.

Une approche vertueuse du rapport entre Hauteur totale et Hauteur Utile consisterait, pour chaque atelier, à identifier les couples HU-H fabriqués et à caractériser la production par un profil quantifiant ces couples. Nous prendrons ci-dessous comme exemple les 11 *Metae* d'Orvieto relevant du Pied de 28,2 cm.

132. Cependant, le nombre actuellement restreint tout à la fois des ateliers dont les données sont disponibles et celui de leurs meules empêchent d'une part de disposer d'une quantité suffisante de couples HU-H et d'autre part de les exprimer métrologiquement (en

³³ Hp est portée à une moyenne de 1,75 dgt (3,0 cm) par la valeur exceptionnellement forte de HCo de la *Meta* n° DV02, sans cette dernière elle serait en effet de 2,67 cm soit 1,5 dgt

doigts) les effectifs étant insuffisants pour disposer de pics de fréquence assez caractérisés et pour identifier le ou les pieds générateurs d'une série. L'approche scientifique idéale étant ainsi compromise nous avons cependant pensé utile de l'amorcer à travers la prise en compte des moyennes ou d'un schéma caractérisant le profil moyen d'une production (par ex. le schéma : H.8 HP.4 HU.4 dgt pour Bad Nauheim).

La moyenne a le désavantage d'écraser la diversité des couples au profil d'un seul, qui peut de surcroît dans les séries contrastées, plurimodales, ne pas exister. Ainsi un atelier qui produirait, de manière synchrone ou non, à part égales en 2 modèles, l'un caractérisé par

H. 12 HP.6 HU.6 dgt et un autre de proportions H.8 HP.4 HU.4

donnerait le spectre moyen H.10 HP.5 HU.5 qui n'aurait pourtant aucune réalité et serait un pur artefact.

Il nous a néanmoins paru nécessaire de tenter cette approche afin d'en poser les bases pour des futures études qui reposeront sur un nombre accru d'ateliers et de leurs meules, mais aussi parce qu'elle semble faire apparaître un certain nombre de questions susceptibles d'entraîner de nouvelles dynamiques de recherche.

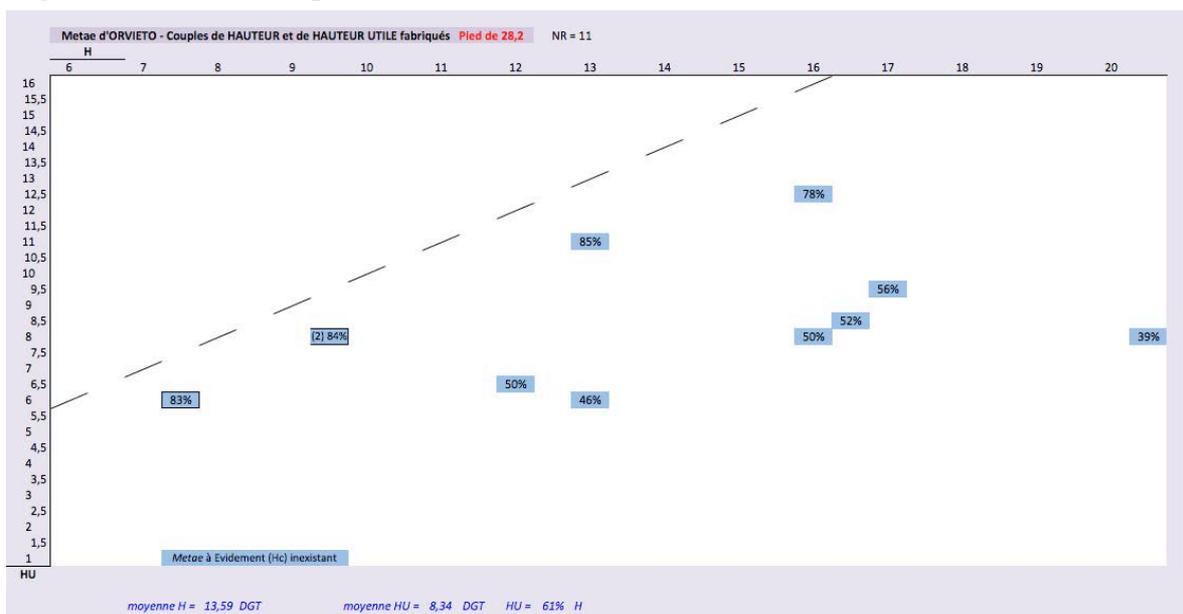
133. Pour illustrer d'un côté cette méthode et de l'autre les limites ou les possibilités de l'approche par la moyenne on donne ci-dessous d'une part (Fig.57) le tableau des couples HU-H et d'autre part l'interprétation de ce tableau (Fig.58).

La distribution des couples montre tout d'abord une croissance de la Hauteur Utile en fonction de la Hauteur (le facteur moyen est $HU = 0,6 H$). En réalité cette moyenne est inexistante car les *Metae* se répartissent selon deux lignes : les premières obéissent à un ratio $HU = 0,5 H$ et les secondes à une proportion $HU = 0,8 H$. Le schéma de proportion correspondant à la moyenne des gabarits de hauteur de ces 11 *Metae* est le suivant :

H. 13,5 HU.8,5 et donc HP. 5 dgt (contre 6,75 attendus puisque $HP = H-HU$).

Au vrai, ce schéma moyen n'a aucune réalité, les vrais schémas proportionnant HU et H étant au nombre de 2 et s'inscrivant parfaitement dans les valeurs canoniques de la métrologie.

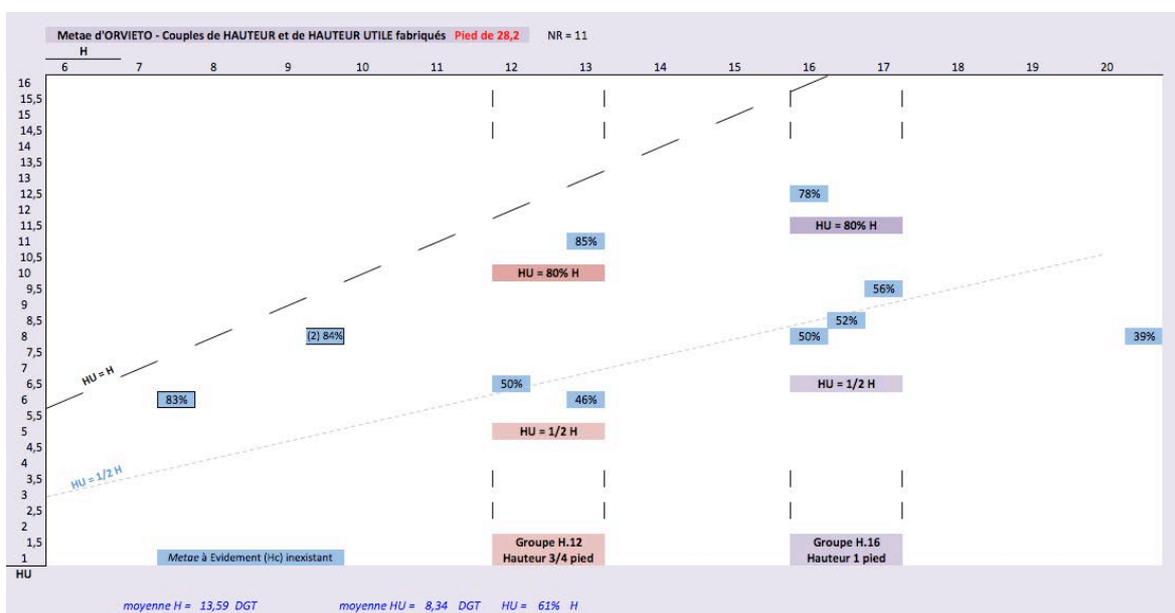
Figure 57 : Couples HU-H de 11 Metae d'Orvieto relevant du Pied de 28,2



134. En effet, d'après leur hauteur totale les *Metae* se répartissent en 3 classes. La première, sur laquelle nous reviendrons, est constituée de meules basses centrées sur une Hauteur de 8 dgt ($\frac{1}{2}$ pied). Les autres *Metae* sont de plus forte Hauteur, soit épaisses de 12 dgt c'est-à-dire $\frac{3}{4}$ de pied (représentées en rougeâtre sur la Fig.58), soit plus hautes encore, 16 dgt c'est-à-dire 1 pied (en violet sur la Fig.58). Chacun de ces 2 groupes de hauteur se divise en 2 entre d'une part une HU représentant 50% de la Hauteur et d'autre part une HU valant environs 80% de H. On a donc 4 groupes de couples HU-H dont la répartition est la suivante :

Bas (HU 80%H) :	H.12 dgt	HU. 6	H.16 dgt	HU.8
Haut (HU 50%H) :	H.12	HU 11	H.16	HU.12

Figure 58 : Interprétation du tableau des couples HU-H de 11 *Metae* d'Orvieto



En réalité les *Metae* du groupe supérieur, celui où la Hauteur Utile occupe 80% de la Hauteur totale, correspondent à des exemplaires dont l'Evidement interne n'est pas achevé³⁴, ils ont vocation une fois terminé à intégrer le groupe inférieur (HU 50% de H). Une HU valant une demi-Hauteur est en effet le standard principal d'Orvieto.

135. Notons que cette répartition indique que, sur 7 *Metae*, 2 ont été rebutées à un stade d'avancement moyen (cône formé voire achevé mais Evidement interne inachevé) et 5 à un état avancé (cône formé ou achevé, évidement intérieur achevé). Ajoutant 3 exemplaires dont l'évidement n'est pas même entrepris, le groupe des faibles Hauteurs (7/9 dgt) vient équilibrer la répartition entre les *Metae* de stade avancé (5) et celles moins avancées (5 également).

136. On serait tenté d'écarter les 3 *Metae* hautes de seulement 8 dgt comme autant d'erreurs fatales ayant conduit à une mise au rebut du fait d'une hauteur insuffisante. Elles suivent en effet la ligne donnant une HU valant 80% de H et leur l'évidement interne n'a pas été entrepris, peut-être parce que son importance (la moitié de H, soit 3,5 et 4,5 dgt) aurait

³⁴ Il s'agit des *Metae* R.10-9 et R.41 dont les données respectives sont : proportion H et HU 13/11 et 16/12,5, Hauteur d'Evidement Hc 2,25 et 3,5 dgt réalisée à 50% seulement.

difficilement permis de ménager une Hauteur Utile suffisante, ce qui a pu motiver la mise au rebut. Toutefois cela n'est pas certain, en effet HU aurait été de l'ordre de 4 voire 5 dgt.

Il est alors possible qu'ait existé à Orvieto parmi les meules régies par le Pied de 28,2 un groupe de *Metae* basses dont la Hauteur était centrée sur 8 dgt (1/2 pied) et obéissant au schéma de proportions : H.8 HP.4 HU.4 dgt.

Ce groupe aurait alors rassemblé 3 *Metae* sur les 11 (27%). Toutefois l'absence de tout individu correspondant et donc situé la ligne HU = 50% de H (soit le groupe bas correspondant à la gauche de la Fig.58) rend prudent sur cette éventualité. En effet, selon le ratio de 2 pour 5 observables entre les groupes supérieurs (HU 80% de H) et inférieurs (HU 50% de H) des *Metae* de 12 et 18 dgt, à ces 4 *Metae* hautes de seulement 8 dgt devraient être associées en partie basse du tableau au moins 7 *Metae* dont la HU serait 50% de H. Le fait qu'il n'y en ait aucune est par conséquent favorable à un rebutage précoce de ces *Metae* basses, qui seraient en fait trop peu épaisses. Cependant la faiblesse de l'échantillon (11 *Metae*) laisse la question ouverte d'autant que la valeur canonique de leur Hauteur (centrée sur 8 dgt) et leur HU possible (4 ou 5 dgt) bien que faible, rendent possible l'achèvement de **de** ce modèle représentant le schéma de proportions H.8 HP.4 HU.4.

La réponse viendra lorsqu'un nombre suffisant de *Metae* de faible épaisseur, de type 8 dgt, aura été collecté : on verra alors si l'absence d'un groupe HU 50% de H en leur sein est infirmée et si donc ce modèle a été produit ou s'il se confirme que les *Metae* de 8 dgt de haut étaient trop peu épaisses pour être retenues comme produit viable.

137. Une autre éventualité serait toutefois que cette classe de *Metae* basses n'aient pas observé la règle d'une Hauteur Utile mesurant, en raison de l'Evidement interne, la moitié de l'épaisseur totale et qu'elles correspondent notamment à des fabrications dépourvues de cet Evidement, en tout cas d'un creusement important et supérieur à la Hauteur de Cône. On serait alors en présence à Orvieto d'un genre distinct de *Metae*, tout à fait analogues par leur hauteur (10 dgt) et par leur Hauteur Utile (6-8 dgt) au commun des *Metae* continentales de l'Age du Fer Ouest Européen telles que celles du Chaudry, des Fossottes et de Bad Nauheim. L'absence d'un groupe leur correspondant dans les Hauteurs Utiles basses (ligne HU 50% de H) s'expliquerait par le fait que ces 3 *Metae* caractérisées par une HU 80% de H constituent elles-mêmes le groupe bas puisque, l'Evidement n'existant pas, il n'y a pas d'affaiblissement ultérieur de HU en fin de façonnage.

Cette éventualité a l'avantage de résoudre la contradiction entre d'une part une Hauteur totale (8 dgt) qui, avec celle des 2 autres classes (H.12 et 16 dgt), s'intègre parfaitement dans les canons métrologiques et constitue un facteur favorable à la production de cette classe de *Metae* minces, et d'autre part l'anomalie résidant dans l'absence de leur groupe bas sur la ligne des produits finis où HU mesure 50% de H. Cette possibilité qu'ait existé à Orvieto (pour environ 27% du total) une production de *Metae* à caractère classique crée également une intéressante perspective d'évolution et de chronologie des productions orviétanes.

138. Elle tendrait en effet à placer les *Metae* hautes, à fonction support et à évidement interne, dans la période molinologique ancienne liée à la tradition ibérique du foyer originel catalan, et à ramener la fraction des *Metae* d'Orvieto de modèle classique (minces avec une Hauteur Utile de 6 à 8 dgt) dans les standards de la période de diffusion et de généralisation des MRB continentales. Si elle était confirmée, peut-être sur la base des *Catilli*, cette hypothèse inciterait à bi-phaser la production orviétane de MRB :

- . une Phase I à *Metae* épaisses (H.12 et 16 dgt) traduisant une fonction support et se situant de ce fait dans la tradition catalane originelle tout en pratiquant déjà une Hauteur Utile qui observe les standards continentaux (HU.8 ou 6 dgt)
- . une Phase II à *Metae* minces (H.8 à 10 dgt) et Hauteur Utile réduite (6 à 8 dgt) qu'on peut qualifier de « continentale » car elle correspond aux à *Metae* classiques qu'on trouve en Gaule et jusque vers le Rhin.

Pour ces raisons, la Phase I serait à placer au IV^e s. aC et la Phase II prendrait place à la période des III^e-II^e s aC. si elle intervenait en continuité, ou bien plus tard si elle correspondait à une reprise ultérieure de la production de MRB³⁵.

139. Dans l'attente que, sur la base d'une collection plus nombreuse pour cette classe de H.8 dgt, soit tranchée l'alternative entre modèle à Evidement ou modèle classique sans Evidement, on considèrera que l'essentiel sinon la totalité des *Metae* produites à Orvieto dans le Pied de 28,2 relevaient de deux modèles :

Epaisseur $\frac{3}{4}$ de pied :	H. 12	HP.6	HU.6 dgt
Epaisseur 1 pied :	H. 16	HP.6 8	HU.8 dgt

qui pourraient, peut-être dans une phase ultérieure, avoir été complétés par un modèle plus mince et plus classique :

Epaisseur $\frac{1}{2}$ pied :	H. 8	HP.2	HU.6 dgt
voire aussi :	H.10	HP.2	HU.8 dgt

Les deux premiers modèles semblent avoir été fabriqués dans des proportions semblables puisque dans les rebuts nous en observons 3 du premier et 4 du second, ils concernent environ 2/3 des *Metae* d'Orvieto. Le modèle mince plus classique, qui serait plus tardif, représente environ $\frac{1}{4}$ des fabrications.

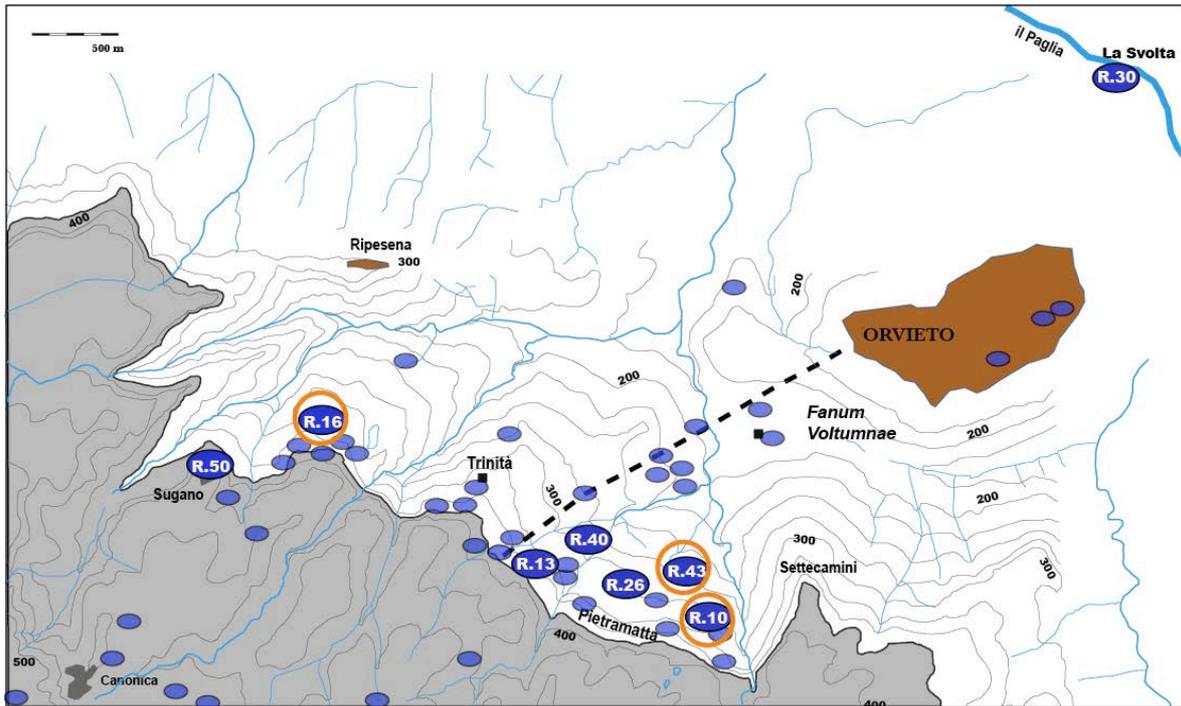
140. Cet exemple des *Metae* d'Orvieto régies par le Pied de 28,2 montre tout l'intérêt d'une approche précise par les couples HU-H observées, même si l'on doit plus souvent se contenter d'une approche par les seules moyennes.

Il est par ailleurs intéressant de noter que cette fraction plus mince de type « classique » ou « continentale » des *Metae* avait, sur le terrain et pendant une large partie du traitement des données, échappé à notre perception, notamment visuelle, des meules d'Orvieto. C'est le travail précis avec transcription métrologique qui les met en relief, ouvrant pour les produits d'Orvieto des perspectives de chronologie et d'appréhension du trajet des modèles.

Enfin, toujours dans le souci de pister une éventuelle topo-chronologie des fabrications à Orvieto dans la zone de production comprise entre Sugano et Pietramatta, on donnera ici la répartition spatiale des 3 sites montrant ces *Metae* minces (Fig.58b). Il s'agit du site R.16 (La Chiusetta, au Nord, *Meta* R.16-30 H.7,5 HU.6 dgt) et à l'Est (Pietramatta) des sites R.10 (*Meta* R.10-17) et R.43 (*Meta* R.43-10) dont les meules concernées mesurent chacune 9,5 DGT de Hauteur et 8 de Hauteur Utile. Il s'agit sans surprise de 3 des 8 sites ayant livré une grande quantité de MRB. Cette distribution ne désigne aucune concentration particulière et paraît au contraire indiquer que ces *Metae* minces sont présentes dans les principales zones de fabrication au pied des coulées de leucite.

³⁵ Pour aller plus loin, outre des fouilles à Orvieto même, il conviendrait d'étudier des Meules Rotatives Basses d'origine orviétane et trouvées dans des contextes d'utilisation, à priori régionaux ; les MRB sont absentes des niveaux du V-VI^e aC récemment fouillés (dir. D.B. George, USA ; dir. technique P. Binaco) à la Ripa Medici à Orvieto même bien que des meules en leucite du style « saddle » y soient présentes, en très petites quantités dans les différents niveaux de dépotoir et de comblement (BIZZARRI, BINACO 2015, 522).

Figure 58b : Les 3 sites à *Metae* minces de la zone de fabrication à Orvieto



Méthode par les moyennes

141. A défaut de pouvoir identifier systématiquement les pieds correspondant à chaque série de hauteurs et donc de pouvoir établir les couples formés entre HU et H, on peut tenter malgré les limites énoncées *supra*, une approche par les moyennes ou par le schéma moyen des proportions entre Hauteur Utile et Hauteur de chaque atelier. Nous commencerons par les *Metae* dont la Hauteur Utile est de formation moins complexe, plus directe que celle des *Catilli* puisqu'à part le cas d'Orvieto elle correspond généralement à la Hauteur totale diminuée de la Hauteur du Cône ($HU = H - HCo$).

Figure 59 : Moyennes H, HP et HU des *Metae* sur les 5 ateliers

143. Un assez large éventail d'épaisseurs des *Metae* a été pratiqué dans l'Antiquité. En effet (Fig.59) les Hauteurs moyennes varient entre 5 et 22 dgt soit entre $\frac{1}{4}$ et plus de $\frac{5}{4}$ de pied (20 dgt). La moyenne générale de la Hauteur des *Metae* établie sur 11 ateliers de

Metae des Meules Rotatives Basses - ATELIERS								
Hauteur du Cône - Hauteur Passive - Hauteur Utile								
Metae	Metae neuves	Hauteur Passive						H. Utile
		\bar{x} H	\bar{x} HCo	ratio HCo/H	\bar{x} HP	ratio HCo/HP	ratio HP/H	\bar{x} HU HP = HCo
Els VILARS	7	21	< 2 ?	-	-	-	-	> 12
ORVIETO	32	15	2,5	17%	6	42%	40%	8
Le CHAUDRY	12	11	3	27%	3	100%	27%	8
Les FOSSOTTES	10	8	1,5	19%	1,75	86%	22%	6
BAD NAUHEIM	10	8	2	25%	2	100%	25%	6
		DGT	DGT		DGT			DGT
ORVIETO Metae sans Hc	16	16	3	19%	3	100%	19%	12
		DGT	DGT		DGT			DGT

notre corpus³⁶ est de 21,03 cm soit 11 ou 12 dgt (12,24 et 11,93 en pied de 27,5 et 28,2 ou bien 11,38 et 10,82 dgt en *Pes monetalis* ou en Pied ibérique de 31,1).

Comme déjà mentionné, il est rarement possible qu'une mesure donnée corresponde à une valeur relevant d'un seul pied, d'autant que les Hauteurs totales que nous supposons plutôt avoir été dans l'Antiquité mesurées en doigts entiers ont parfois pu l'être en demi-doigt. C'est pourquoi dans la transcription des moyennes centimétriques de la Fig.59 on a considéré les différentes valeurs lorsqu'elles étaient justifiées par différents pieds (par ex. 15,44 dgt en pied de 28,2 et 14 dgt en pied ibérique pour la moyenne 27,22 de l'atelier de Portus en Charolais). On a alors procédé pour chaque moyenne à 3 sélections de ces nombres de dgt, la première privilégiant les pieds courts, inférieurs à 30 cm, la seconde privilégiant le pied ibérique de 31,1 et la troisième ne considérant que l'expression des moyennes dans une quantité entière de dgt.

Figure 59 : Hauteurs moyennes des Ateliers et valeur métrologique (dgt)

HAUTEUR moyenne des <i>Metæ</i> sur les Ateliers											
Atelier	Q. H.	\bar{x} H	valeur en Doigts selon divers pieds								
			\bar{x} DGT retenue								
			n°1	n°2	DGT entiers						
			Oscó-ital.	Meulier	Monetalis	Salamis	Ibérique	Drusus			
			27,5	28,2	29,56	30,1	31,1	33,27			
Els VILARS	6	38,0	21	19,5	22	22,11	21,56	20,57	20,20	19,55	18,27
PORTUS	9	27,22	15,5	14	14	15,84	15,44	14,73	14,47	14,0	13,09
ORVIETO	33	26,02	14	14	14/15	15,14	14,76	14,08	13,83	13,39	12,51
CHAUDRY	8	23,13	13	12	12/13	13,46	13,12	12,52	12,30	11,90	11,12
La MARÈZE	8	20,56	12	10,5	11/12	11,96	11,67	11,13	10,93	10,58	9,89
AUTUN	4	21,25	12	11	11/12	12,36	12,06	11,50	11,30	10,93	10,22
EIFEL	11	18,95	11	10	10/11	11,03	10,75	10,26	10,07	9,75	9,11
FOSSOTTES	23	15,11	8	8,5	8	8,79	8,57	8,18	8,03	7,77	7,27
La LANDE	6	14,08	8	8	8	8,19	7,99	7,62	7,48	7,24	6,77
BAD NAUHEIM	10	13,25	7	7,5	7	7,71	7,52	7,17	7,04	6,82	6,37
11 CHABLES	5	9,6	5,5	5	5	5,59	5,45	5,20	5,10	4,94	4,62
Total cm	123	2586,5	21,03								
Légende :			DGT entiers						score des différents pieds		
21,56			valeur en demi-DGT ajustée par le pied						2 3 5 2 3 4 1		
14,08			valeur en DGT entiers ajustée par le pied						4 8 5 5 5 6 2		
19,5			choix privilégiant le Pied ibérique						3 2 3		

144. Ces différentes sélections convergent (Fig.60) pour montrer l'existence de 2 concentrations des hauteurs moyennes : l'une sur l'intervalle 11- 14 dgt, l'autre sur 7-8 dgt. On note la rareté des moyennes situables sur 16 ou sur 20 dgt. La zone 9-10 dgt semble également peu représentée.

Les *Metæ* hautes en moyenne de 8 dgt semblent plus spécifiques aux fabrications régies par le Pied de 28,2 cm (Fig.61) tandis que le Pied ibérique de 31,1 préférerait l'intervalle 10/12/14 dgt.

Celles dont la moyenne est située sur 5-6 dgt s'avèrent d'une minceur record et sont à ce jour spécifiques à l'atelier suisse de Châbles. Elles pourraient correspondre soit à une fabrication particulière, ultra mince à longévité courte (de type 2 ou 3 dgt maximum), soit à une fabrication à conicité quasi nulle (1 dgt) permettant une longévité de type 4 dgt, soit encore à la sélection des seuls rebuts non récupérables -parce que trop minces (9,6 cm)- sous forme de meules ou pour une utilisation secondaire.

³⁶ Telle qu'elle ressort de 123 hauteurs disponibles sur 172 *Metæ* ; ces moyennes générales peuvent différer légèrement de la moyenne prise en compte dans les autres tableaux de la présente synthèse car elles incorporent des valeurs supplémentaires dues à la transcription de quelques Hauteurs mesurées avec 1 cm d'incertitude (par exemple une valeur mesurée de 13-14 cm est généralement ramenée à 13,5 cm ou peut l'être à 3 valeurs soit 13/13,5/14 cm pour l'approche métrologique qui peut aussi éliminer ces mesures larges en fonction du caractère réduit des échantillons).

une fabrication à conicité quasi nulle (1 dgt) permettant une longévité de type 4 dgt, soit encore à la sélection des seuls rebuts non récupérables -parce que trop minces (9,6 cm)- sous forme de meules ou pour une utilisation secondaire. Si l'échantillon, limité à 5 exemplaires identifiables comme *Metae*, ne permet pas d'être affirmatif on notera cependant en faveur de cette dernière éventualité que les quelques *Catilli* de Châbles sont de leur côté d'une épaisseur courante (13 à 18 cm soit 8 à 10 dgt) et donc loin d'une ultra minceur.

Figure 60 : Spectre des Hauteurs moyennes des *Metae* exprimées en dgt (en violet la sélection n°3 : moyennes en nombre entier de dgt)

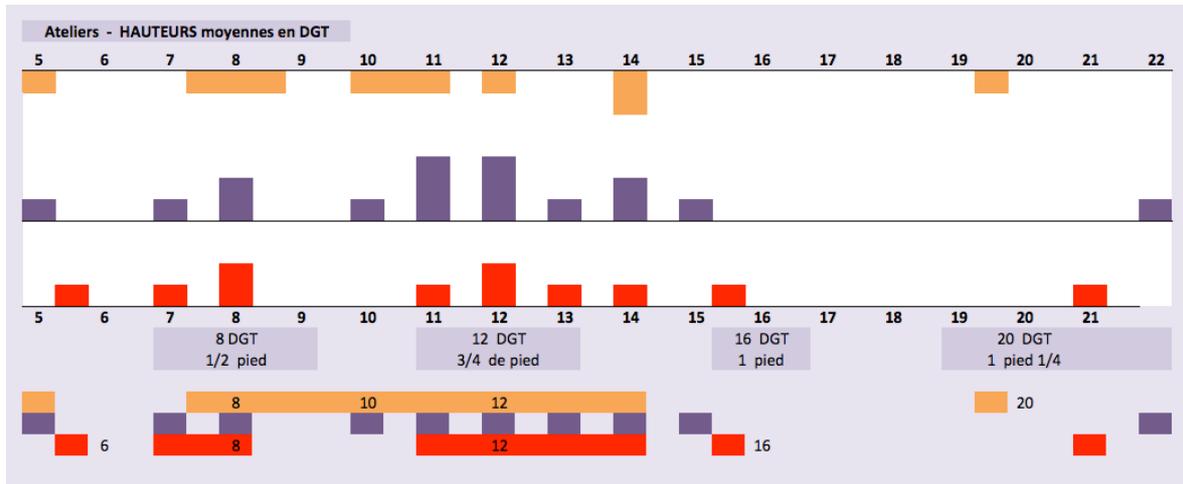
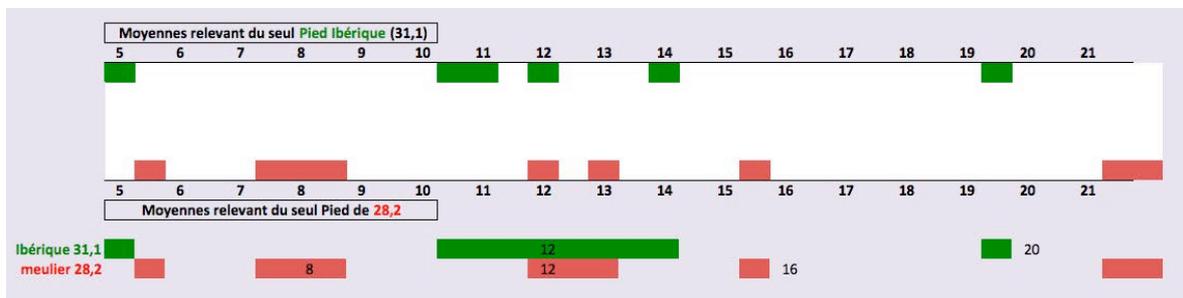


Figure 61 :



145. Nous allons à présent examiner d'un peu plus près les Hauteurs moyennes d'une sélection de 5 ateliers. Elles sont établies sur une soixantaine de mesures, soit une douzaine par atelier (Fig.62 –les effectifs HCo et HU des *Metae* et *Catilli* du site d'Els Vilars sont insuffisants pour permettre une moyenne sur ces paramètres).

La Hauteur de Cône (HCo) y apparaît modérée, occupant l'intervalle 1,5 à 3 dgt (soit 2,5 à 5,5 cm) et par conséquent environ 25% de la Hauteur totale. Elle constitue à elle seule la Hauteur Passive sauf à Orvieto où, en raison de l'existence d'un Evidement interne de l'assise des *Metae*, celle-ci atteint un record (6 dgt) et monte à 40% de la hauteur de la meule.

Cela n'empêche pas Orvieto, grâce à une surépaisseur de la plupart de ses *Metae*, de participer à un groupe d'ateliers (tel celui du Chaudry en France centrale) dont les *Metae* offrent une longévité importante (HU de 8 dgt soit 1/2 pied).

Un autre groupe se caractérise en revanche par une longévité moindre (6 dgt soit ca. 11 cm) comme c'est le cas des 2 ateliers de la zone rhénane (Les Fossottes dans les Vosges et Bad Nauheim à l'Est du Rhin).

Figure 62 : Moyennes H, HP et HU des *Metae* sur les 5 ateliers

Metae des Meules Rotatives Basses - ATELIERS Hauteur du Cône - Hauteur Passive - Hauteur Utile								
Metae	Metae neuves	Hauteur Passive					H. Utile	
		\bar{x} H	\bar{x} HCo	ratio HCo/H	\bar{x} HP	ratio HCo/HP	ratio HP/H	\bar{x} HU HP = HCo
Els VILARS	7	21	< 2 ?	-	-	-	-	> 12
ORVIETO	32	13,5	2,5	19%	6	42%	44%	8
Le CHAUDRY	12	11	3	27%	3	100%	27%	8
Les FOSSOTTES	10	8	1,5	19%	1,75	86%	22%	6
BAD NAUHEIM	10	8	2	25%	2	100%	25%	6
		DGT	DGT		DGT			DGT
ORVIETO Metae sans Hc	16	16	3	19%	3	100%	19%	12
		DGT	DGT		DGT			DGT
ORVIETO Catilli	16	10,5	2,5	24%	6,5	38%	62%	4

seraient de proportion H.11 HP.3 HU.8 dgt, c'est-à-dire de même modèle que celles du Chaudry (I^{er} voire II^e s. aC.). C'est en effet le modèle des minces, de type « classique » ou « continental » que nous avons détectées dans le développement précédent (méthode des couples HH).

Figure 63 : Moyennes H, HP et HU des *Catilli* sur les 5 ateliers

Catilli des Meules Rotatives Basses - ATELIERS Hauteur Passive & Hauteur Utile													
	Total H Catilli	Hauteur Passive								Hauteur Utile			
		\bar{x} H	\bar{x} HCo	\bar{x} HTr	cumul HCo+HTr	ratio HCo/HP	ratio HTr/HP	ratio / H HCo+HTr	autres HP	\bar{x} HP totale*	ratio HP/H	\bar{x} HU H - HP	rendem. HU / H
Els VILARS	8	14-15	2,5	0	2,5	45%	0	17%	6	5,5	38%	9	62%
ORVIETO	16	10-11	2,5	4	6,5	38%	62%	62%	0	6,5	62%	4	38%
Le CHAUDRY	20	12	3	3	6	50%	50%	50%	0	6	50%	6	50%
BAD NAUHEIM	9	8	2	2	4	50%	50%	50%	0	4	50%	4	50%
Les FOSSOTTES	10	8	2	1,75	3,75	53%	47%	47%	0	3,75	47%	4,25	53%
		DGT	DGT	DGT	DGT				DGT	DGT		DGT	

147. Concernant les *Catilli* la composition de la Hauteur Passive (HP) est ici plus détaillée (Fig.63) car elle cumule la contribution de la Hauteur de Cône (HCo) et celle de la profondeur de la trémie (HTr) et l'on a souhaité mesurer la contribution respective de l'une et de l'autre à HP.

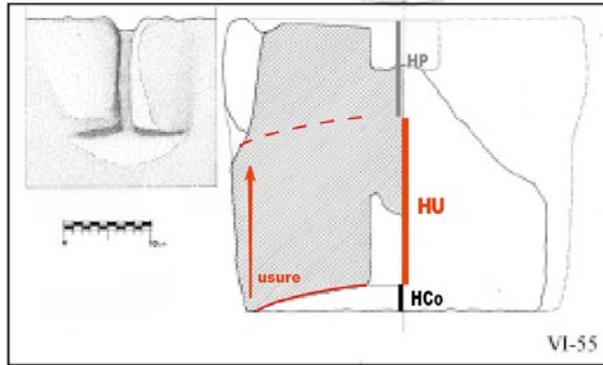
La Hauteur de Cône des *Catilli* varie de 2 à 3 dgt (soit 3,5 à 5,5 cm), étant en cela tout à fait similaire à celle des *Metae*, ce qui est bien normal puisque les deux genres partagent une conicité identique ou voisine à 3°. HCo participe pour environ 50% de la hauteur Passive,

La Hauteur de la trémie (HTr) varie de 2 à 4 dgt et tend à être égale à celle du cône sauf à Orvieto où elle est un peu plus forte (4 dgt) et quitte la parité avec HCo (2,5 dgt). Au total à Orvieto HCo et HTr contribuent à la Hauteur Passive pour un total relativement normal (6,5 dgt contre 4 ou 6 pour les autres ateliers) mais un peu plus élevé en proportion (62% de HP vs 50%). Orvieto montre cependant en ce domaine une petite originalité qui a donc trait à des trémies un peu plus profondes que chez les autres centres producteurs.

La différence apparaît en revanche très nette entre tous les ateliers et Els Vilars où, si la Hauteur de Cône est normale (2,5 dgt), la trémie est absente : la Hauteur Passive qui devrait être ainsi basse est au contraire très élevée en raison de la présence de Manchons plus ou moins incorporés ou d'Encoches qui créent une importante Hauteur Passive supplémentaire, l'usure ne pouvant faire monter le Cône au-delà de leur limite inférieure (Fig.64).

146. Il est intéressant de remarquer (bas de la Fig.62) que si l'Evidement intérieur était absent, les *Metae* d'Orvieto seraient de proportion H.15/16 HP.3 HU.12 dgt, ce qui met en lumière la surépaisseur de 3 ou 4 dgt qui les caractérise : sans cette tranche supplémentaire de hauteur, les *Metae* d'Orvieto

Figure 64 : Exemple de *Catillus* d'Els Vilars avec une forte Hauteur Passive due à des manchons incorporés



148. Il est très probable qu'au-delà de ces moyennes, les hauteurs HCo et HTr des *Catilli* aient été dans l'Antiquité mesurées en demi-dgt comme le fait apparaître la table des Conicités obtenue en croisant les valeurs de HCo et du Diamètre (voir *supra* Fig.41). Il est par conséquent possible que HU ait également été mesurée et réalisée en demi- dgt mais ce n'est pas obligatoire (il faut pour cela que seul l'un des deux termes HCo ou HTr ait une dimension en demi- dgt).

149. En résumé, si l'on excepte le site d'Els Vilars qui appartient à la Phase molinologique ancienne et présente un type différent, les *Catilli* des 4 autres ateliers, dont Orvieto, relèvent d'un même modèle global à Surface Active conique et à Trémie, modèle que nous appelons « continental ». La caractéristique géométrique de ce modèle est de présenter une Hauteur Passive qui occupe la moitié de la Hauteur totale et donc un rendement en HU de 50%. En revanche, si la Hauteur Utile est aussi égale à la moitié de la Hauteur totale, sa puissance varie en fonction de l'importance de la Hauteur du *Catillus* : selon que cette dernière sera plutôt de 8 dgt ou plutôt de 10-12, la Hauteur Utile s'élèvera tantôt à 6 tantôt à 4 dgt. Une même géométrie (HP et HU = 50% de H) donne donc une longévité variable, notamment selon 2 classes de durée (4 et 6 dgt).

150. Le Chaudry représente la version épaisse de ce modèle « continental » (HCo et HTr font 3 dgt, HP en fait donc 6 et la Hauteur totale doit en faire 12 pour que soit obtenue une HU de 6 dgt).

Bad Nauheim représente la version mince, rhénane, de ce modèle (HP mesure 4 dgt et la Hauteur totale doit en faire 8 pour que HU vaille 4 dgt). Notons qu'il suffirait de hausser la Hauteur H de Bad Nauheim de 2 dgt (sans rien toucher aux autres paramètres) pour que la Hauteur Utile de Bad Nauheim égale celle du Chaudry.

Ce modèle rhéna³⁷, où HCo et HTr occupent chacune 25% de la Hauteur et où HP totalise ainsi 50% de H, est probablement obtenu à travers une sélection parmi les Diamètres et les Conicités possibles. Si tel est le cas, il témoignerait sans doute d'un effort de rationalisation géométrique probablement destinée à diminuer le nombre de combinaisons entre D, H, HCo et HTR sinon DOE.

151. Les *Catilli* d'Orvieto semblent un peu en marge de cette règle HU = 50% de H. En effet, ils présentent en regard de leur épaisseur totale (11 dgt) une Hauteur Utile anormalement faible (4 dgt) que l'on aurait plutôt attendue sur la norme 6 dgt. Ce déficit apparaît dû soit à un facteur chronologique (une fabrication intervenue à une époque où la règle HP = 1/2 H était encore non fixée), soit au fait que les rebuts de *Catilli* d'Orvieto que nous étudions incorporent par accident un nombre assez consistant d'individus anormaux, notamment dotés d'une trémie trop profonde. Etant donné leur nombre (23 exemplaires)

³⁷ Il est possible que ce modèle très mince ait caractérisé d'autres régions que la zone rhénane, voire qu'il y ait été mis au point antérieurement.

notamment par rapport aux autres ateliers, ce caractère accidentel de l'échantillon orviétan est peu probable.

152. Une dernière remarque s'impose à propos des *Catilli* de la zone rhénane représentée par les ateliers des Fossottes à l'Ouest et de Bad Nauheim à l'Est. Leur Hauteur Utile est faible (4 dgt) et correspond à une Hauteur totale neuve faible également (8 dgt) dont a vu (Fig.59) qu'elle caractérisait 3 des 11 ateliers (soit ca. 25% : Bad Nauheim, les Fossottes et La lande-La Vernhe dans le Sud Ouest de la France)³⁸. Dans ce cadre un peu particulier de *Catilli* minces, épais seulement de ½ pied, le respect de la règle $HP = 50\%$ de HU est obtenu par une Hauteur Passive étroitement limitée (4 dgt) et composée à égalité par une Hauteur de Cône et une profondeur de trémie (HTr) maintenues dans les valeurs minimales (2 dgt chacune).

Cette configuration pourrait traduire une démarche conceptionnelle comportant un certain degré d'optimisation (schéma H8 HP 4 HU 4 basé sur des unités entières et simples : 4 dgt soit le palme) ou du moins une démarche conceptionnelle de miniaturisation, dans le domaine de l'épaisseur et du poids³⁹.

Le schéma 8/4/4 est optimal dans sa simplicité comme pourrait l'être à cet égard un *Catillus* de modèle 12/6/6 ou 12/4/8 dgt. Il n'est pas strictement lié à la minceur. La simplicité de ce schéma pourrait avoir été destinée à diminuer les erreurs de fabrication et ainsi constituer une adaptation à une main d'œuvre peu spécialisée, de basse technicité voire peu souvent ou peu longtemps affectée à la taille de meules.

La minceur pourrait avoir visé à l'obtention d'un moulin allégé voire portable mais une seule meule des Fossottes pèse en moyenne 40 kg soit 70 à 80 kg le moulin. La production de meules minces pourrait avoir relevé d'une conception de nature commerciale visant à proposer des produits de durée 30% inférieure (HU 4 dgt au lieu de 6 dgt) mais de moindre prix. Le but pourrait alors avoir consisté à maximiser les profits par une réduction de prix quant à elle inférieure aux 30% affectant la durée, ou bien à rendre les modèles rhénans plus présents sur les places de marchés par une production abondante et bas marché (sorte de dumping concurrentiel).

153. Dans tout les cas il est une conséquence importante pour les quantifications archéologiques notamment lorsque l'on veut aborder des aspects tels que l'équipement meulier des habitats ou espaces productifs : chaque meule de modèle rhénan doit être comptée comme 0,65 meule. Plus généralement on devra pondérer les quantités de meules en fonction de leur longévité. Un système simple pourrait consister à comptabiliser 1 pour une HU de 4 dgt, 1,5 pour une de 6 ou 2 pour une HU de 8 dgt.

Comparaison de la Hauteur Utile des *Metae* et des *Catilli*

154. La Figure 65 fournit pour chaque atelier et lorsqu'il est réalisable, le détail des pics de fréquence des Hauteurs (première des 3 lignes), la moyenne (ligne 2) ainsi que (ligne 3) le schéma probable des proportions entre H, HP et HU sur la base duquel nous pouvons opérer des comparaisons entre ateliers ou entre *Metae* et *Catilli*.

Figure 65 : Comparaison de la moyenne des Hauteurs, Hauteurs Passives et Hauteurs Utiles des *Metae* & des *Catilli* sur les ateliers

³⁸ Auxquels on peut probablement ajouter les productions de l'Eifel, à la confluence du Rhin et de la Moselle (voir *infra* Fig.66b)

³⁹ Ces *Catilli* sont d'un diamètre en moyenne de 36,8 cm aux Fossottes et de 37 à Bad Nauheim, c'est-à-dire tout à fait conforme aux envergures courante de la fin de l'Age du Fer (dominance des gabarits de 18 à 20 dgt, rareté des meules de 1 pied ½ soit 24 dgt) ; en revanche l'atelier antique (voire tardo-antique ?) de La Lande est caractérisé par des *Catilli* très larges, d'un diamètre moyen de 57,6 cm soit 2 pieds sans doute en rapport avec un usage ou une chronologie particuliers.

HAUTEURS & HAUTEURS UTILES des <i>Metae</i> moyennes & schéma des proportions				HAUTEURS & HAUTEURS UTILES des <i>Catilli</i> moyennes & schéma des proportions				
METAE (neuves)				CATILLI (neufs)				
		H	HP	HU		H	HP	HU
ORVIETO	\bar{x}	7-9/11-13/16	4/6/7/9	6/8/10/12/14	\bar{x}	8/10/14	5/7/8	3-7
	schéma	13,5	6	7,5	schéma	10,5	6,5	4
Le CHAUDRY	\bar{x}	11/12	3/4	7/8	\bar{x}	12-13	5-6/9	3-8
	schéma	11,5	3,2	8	schéma	12	6	6
BAD NAUHEIM	\bar{x}	7/7,5	1,5/3	4-5/7	\bar{x}	effectif insuffisant pour présenter des pics		
	schéma	8	2	6	schéma	8	4	4
Les FOSSOTTES	\bar{x}	6-8	1-2	5-7	\bar{x}	6-7 / 8,5-11	3-4	3-4,5 / (6/8)
	schéma	8	1,75	6	schéma	8,75	3,75	4,5
						8	4	4

155. Les meules fonctionnant par couple, l'une dormante l'autre courante, on s'attend à ce qu'elles soient de même longévité, c'est-à-dire de même HU. On est alors surpris de constater que les *Catilli* ont une Hauteur Utile presque toujours inférieure à celle des *Metae*. En effet, la Hauteur Utile des *Metae* est centrée sur deux valeurs moyennes : HU.6 et HU.8 dgt (soit 1 palme 1/2 et 2 palmes).

Figure 66 : Comparaison entre les Hauteurs et les Hauteurs Utiles des *Metae* et *Catilli*

Metae & Catilli comparaison des HAUTEURS et HAUTEURS UTILES			
	\bar{x} H. <i>Metae</i>		\bar{x} H. <i>Catilli</i>
Els VILARS	22	+8	14-15
ORVIETO	13,5	+3	10,5
Le CHAUDRY	11,5	=	12
BAD NAUHEIM	8	=	8
Les FOSSOTTES	8	=	8
	DGT		DGT
	\bar{x} HU. <i>Metae</i>		\bar{x} HU. <i>Catilli</i>
Els VILARS	16 ?	+5	11 ?
ORVIETO	7,5	+3,5	4
Le CHAUDRY	8	+3,5	6
BAD NAUHEIM	6	+2	4
Les FOSSOTTES	6	+2	4
	DGT		DGT

En revanche les *Catilli* montrent une Hauteur Utile centrée sur 4 ou 6 dgt (Fig.66), c'est-à-dire de 1,5 à 2 fois moins que celle des *Metae* ou le plus souvent de -2 dgt. Cette longévité nettement inférieure des *Catilli* caractérise également les meules d'Els Vilars, pourtant de type différent et relevant de la période molinologique ancienne. Ce différentiel de Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli* est trop récurrent⁴⁰ pour être imputable à des erreurs de fabrication ou à des approximations de l'analyse archéologique qui auraient les unes comme les autres pour effet de l'abaisser de manière systématique tout en lui conférant une valeur

relativement régulière (4 et sans doute 6 dgt). Cet état de fait ressort également de l'estimation que l'on peut conduire sur 5 autres ateliers à partir de la moyenne des Hauteurs (Fig.66b). Si ces assemblages répondent à la règle établie sur la première série d'atelier (HU 75% de H pour les *Metae* et HU 50% de H pour les *Catilli*) il se confirmerait que la Hauteur utile des *Catilli* se situe sur l'intervalle 4-6 dgt plutôt que vers le pôle 8 dgt (1/2 pied), et surtout que la Hauteur Utile des *Catilli* est presque toujours inférieure à celle des *Metae*. La plus faible longévité des *Catilli* est donc probablement structurelle.

156. Trois hypothèses nous paraissent pouvoir être avancées pour expliquer la moindre Hauteur Utile des *Catilli*.

1. Elle pourrait s'expliquer par une usure plus rapide de la meule dormante, d'un facteur 1,5 à 2, ce qui apparaît considérable

⁴⁰ Même si au Chaudry les simulations indiquent la possibilité que leur schéma ait été de type H.13/14 HP.5/6 HU.8 dgt plutôt que celui donné par les moyennes (H.11 HP.6 HU.4,5), mais ces simulations, exploratoires, considèrent une Hauteur restituée (basée sur un IREC de 250%) sans doute maximale, rien ne disant que toutes les meules obéissent à un seul rapport D/H (IREC).

.2. La moindre Hauteur Utile des *Catilli* pourrait tenir au fait que celle des *Metae*, plus importante, n'était pas exploitée en totalité

.3. Enfin, on ne peut exclure qu'existe un biais dans notre échantillonnage : il serait constitué de rebuts dont la Hauteur totale est le plus souvent normale, c'est à conforme aux standards visés, mais dont la Hauteur Utile résulterait insuffisante de 4 ou 2 dgt ⁴¹.

Figure 66b : Comparaison entre la moyenne des Hauteurs et Hauteurs Utiles (estimées) des *Metae* et *Catilli* d'autres ateliers

(faute de pouvoir calculer la Hauteur Utile pour chaque meule, la moyenne de HU a été estimée pour les *Metae* et *Catilli* de chaque assemblage à partir de la règle déduite sur les autres : modèle classique où HU = 75% de H pour les *Metae* et 50% de H pour les *Catilli* - CAT + signifie que la Hauteur des *Catilli* est supérieure - CAT-6 signifie que la Hauteur Utile des *Catilli* est inférieure de 6 dgt à celle des *Metae*)

COMPARAISON de la HAUTEUR moyenne des <i>METAE</i> et des <i>CATILLI</i> - ATELIERS										
SITE	HAUTEUR totale des meules neuves						bilan \bar{x} HAUTEUR	\bar{x} H.UTILE estimée		bilan \bar{x} H.UTILE estimée
	Hauteur <i>METAE</i>			Hauteur <i>CATILLI</i>				\bar{x} HU <i>Metae</i>	\bar{x} HU <i>Catilli</i>	
	NR	cm	Gabarit	NR	cm	Gabarit		= 75% H	= 50% H	
La LANDE	5	13,3	7,5 DGT	8	16	9 DGT	CAT +	5,5 DGT	4,5 DGT	CAT -1
PORTUS	9	27,22	16 DGT	4	21,5	12,5 DGT	CAT -	12 DGT	6 DGT	CAT -6
AUTUN	6	16,38	9 DGT	4	21,25	12 DGT	CAT +	6,5 DGT	6 DGT	CAT =
La MAREZE	7	20,79	11-12 DGT	7	17,80	10 DGT	CAT -	8,5 DGT	5 DGT	CAT -3,5
EIFEL 2008	15	17,33	9-10 DGT	10	16,70	9-10 DGT	CAT =	7 DGT	4 DGT	CAT -3

On remarquera par ailleurs sur ce tableau que les productions de l'Eifel, zone volcanique située à l'est du Rhin près de sa confluence avec la Moselle, participent du groupe rhénan des MRB minces (*Metae* H.8 HP.2 HU.6 dgt et *Catilli* 8/4/4 dgt) avec ici aussi une Hauteur Utile qui serait de l'ordre de 4 doigts

157. Notons pour commencer qu'une usure différentielle entre *Metae* et *Catilli* entraînerait un renouvellement plus rapide d'un des deux genres de meules et se traduirait alors par une fréquence systématiquement plus élevée de celui à usure rapide. Or, malgré quelques différences observables dans la balance entre *Metae* et *Catilli* dans les assemblages aucun déséquilibre systématique n'apparaît, à fortiori en faveur toujours d'un même genre.

Il n'est par ailleurs pas évident que la rotation d'une meule sur une autre, immobile et de même matériau, doive entraîner une usure différentielle, à fortiori compte-tenu du « 3è corps »⁴² constitué, à leur interface, par le mélange grain/son/farine voire huiles/air/gaz/particules arrachées aux meules (ou par ex. sel cristallisé/sel fin/air/vapeur d'eau/particules). Celui-ci devait jouer un rôle de lubrifiant et partiellement de roulement tout en se modifiant entre l'entrée proximale et la sortie distale.

Il ne semble malheureusement pas exister de littérature tribologique particulière sur les meules traditionnelles rotatives en pierre. Cette lacune aurait avantage à être comblée par des études spécifiques facilitées par la modélisation numérique portant sur l'usure des meules et la composition du « third Body » autant que sur le trajet et les modifications subies par le grain depuis son introduction par l'oeillard⁴³. En parallèle on souhaiterait que soit développée l'étude de la relation entre vitesse de rotation de la meule, fixité ou non du point de sortie des broyats et marquage de position sur la meule.

⁴¹ On arrondit ici à la valeur métrologique probable mais la différence entre la HU moyenne observée sur les *Metae* et celle des *Catilli* est en réalité de 3,5 dgt à Orvieto et au Chaudry comme on peut le constater sur la partie inférieure de la Fig.66.

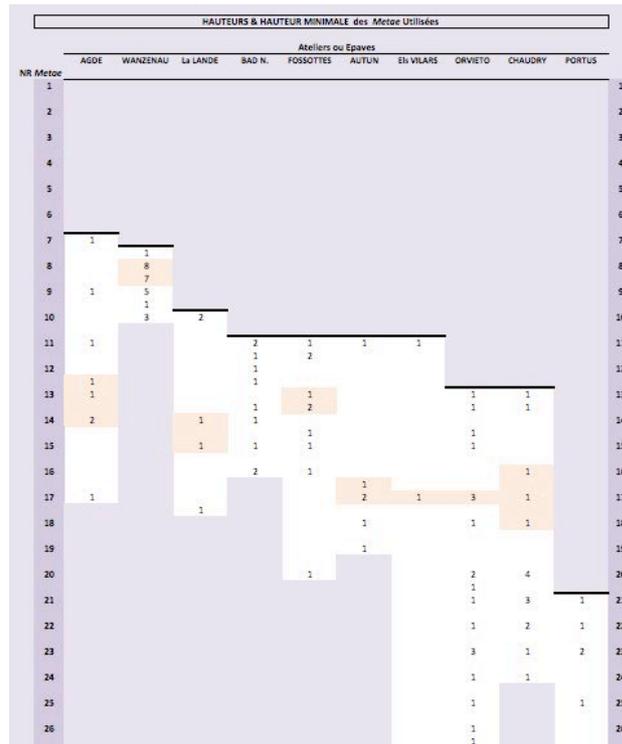
⁴² Notion tribologique importante forgée par GODET 1984, en français voir par ex. BRUNETIERE 2016, 60 ; FILLOT 2004, 21 ou PHILIPPON 2004, 27. Il nous semble d'ailleurs envisageable que l'abandon, vers l'An Mil, de la conicité au profit des Meules Plates soit lié à une maîtrise de la pression entre les deux meules ainsi qu'à un savoir empirique sur le rôle du « 3è corps » : le rôle de ce dernier ne paraît pas pouvoir être le même lorsqu'il n'y a plus utilisation de la pente d'une meule pour contribuer à évacuer les broyats et lorsque la forme de la meule supérieure répartit plus uniformément la pression voire en modifie la direction en chaque point ; ces modifications liées à la Meule Plate pourraient d'ailleurs, à moins qu'elles ne soient peut-être dues à un registre particulier de vitesse, avoir rendu obligatoire le rayonnage des surfaces et même celui des deux surfaces

⁴³ A notre connaissance, la voie ouverte par les travaux initiés par O. Buchsenschutz dans les années 1990 (ARSEGUEL, PETITJEAN 1995) ne semble pas avoir été poursuivie.

Figure 67 : Hauteur minimale des *Metae* neuves (ateliers ou épaves)

158. La seconde hypothèse, où la Hauteur Utile des *Metae*, supérieure de 2 à 4 dgt, n'aurait pas été exploitée dans la totalité de son potentiel, supérieur de 2 à 4 dgt par rapport à celui des *Catilli*, repose sur une donnée statistique. En effet, le diagramme des hauteurs des *Metae* sur les ateliers ou épaves comme sur les assemblages d'utilisation montre (Fig.67) que la hauteur initiale des *Metae* neuves se situe sur l'intervalle 11-13 cm (soit 6-7 dgt)⁴⁴ et qu'une fois les *Metae* utilisées (voir *infra* Fig.68) cette hauteur est le plus souvent ramenée à une valeur de 4 à 6 cm soit 2 à 3 dgt.

Cela traduit le fait que l'utilisation faisait passer en moyenne l'épaisseur des *Metae* de 11-13 cm à 4-6 cm, soit une consommation de hauteur de pierre en moyenne de 7 cm (4 dgt).



159. Une même évaluation peut être conduite à partir des valeurs non plus extrêmes mais courantes des *Metae* neuves et utilisées. En effet, on peut remarquer que les minimaux, toujours en faible quantité, sont systématiquement suivis d'un pic de fréquence sur une hauteur située généralement 2 cm (1 dgt) plus haut : ces pics (représentés en orangé sur la Fig.68) fournissent la valeur réelle de l'usure commune. Les minimaux indiquent quant à eux le seuil d'archi-usure qui traduit la Hauteur Passive incompressible (HPi) des *Metae* laquelle s'établit donc à 3 dgt (les 4 à 6 cm de hauteur minimale).

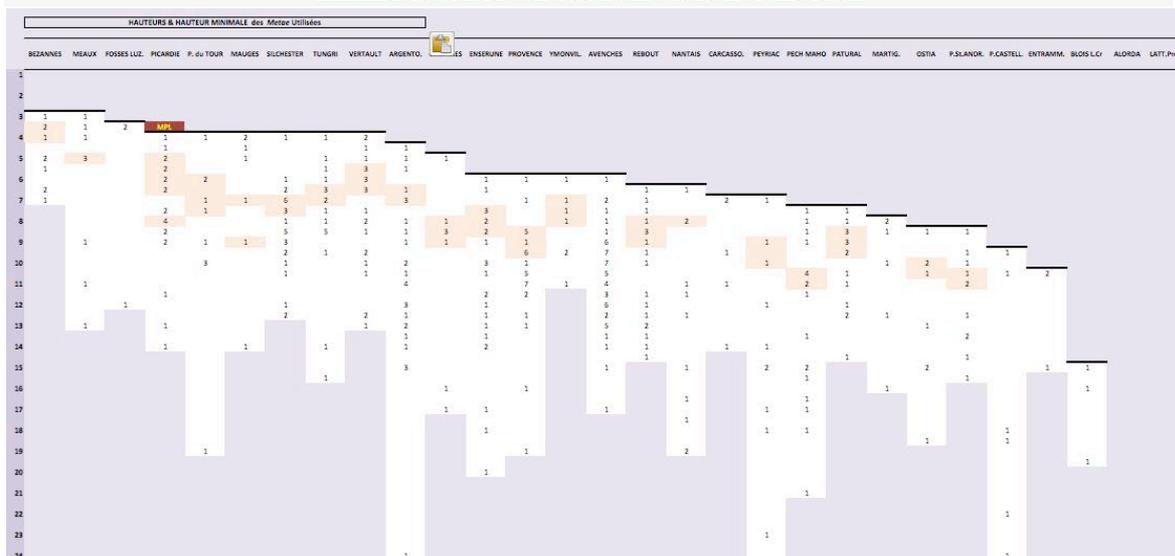
Or on observe que ces pics de fréquence se situent dans la zone des hauteurs mesurant 6 à 9 cm c'est-à-dire entre 3 et 5 dgt, une zone correspondant à 1 palme ou 1/4 de pied. Parallèlement, les valeurs les plus fréquentes des Hauteurs initiales observées sur les ateliers et épaves (en orangé sur la Fig.67), bien que l'échantillon soit un peu limité⁴⁵, se situent sur l'intervalle 13-18 cm, soit 7 à 10 dgt, une zone centrée sur le demi-pied (8 dgt) et un peu au-delà. Ainsi la distance entre les Hauteurs initiales courantes et les Hauteurs finales récurrentes diminue de moitié environ, montrant ainsi que l'usure habituelle fait passer la hauteur des de 7-10 à 3-5 dgt soit un amincissement moyen de 4 à 5 dgt.

Figure 68 : Hauteur minimale atteinte par les *Metae* utilisées et pics de fréquence à ca.+2 cm

⁴⁴ A l'exception d'Agde, assemblage chronologiquement non homogène et qui intègre des meules utilisées, et de l'épave de la Wanzenau, assemblage très homogène où le caractère exceptionnellement mince des *Metae* pourrait indiquer qu'il s'agit de meules très usées ou, si elles étaient neuves, de *Metae* minces se rapprochant du type alto-médiéval (par ex. Dorestadt ou Haitabu).

⁴⁵ Il comprend 130 hauteurs de *Metae* pour 10 assemblages d'atelier (moyenne 13 H/site) ainsi que 415 hauteurs pour 27 sites d'utilisation (moyenne 15 H/site), soit un total de 545 hauteurs de *Metae*.

les assemblages d'utilisation ne sont pas rangés par ordre chronologique mais par ordre croissant des minima de la hauteur résultant de leur utilisation



Les deux estimations, conduites l'une sur la base des minimaux de hauteur observés, l'autre sur les pics de fréquence des hauteurs minimales, convergent pour montrer que l'utilisation des *Metæe* consommait en moyenne 4 dgt d'épaisseur. Cet ordre de grandeur est à rapprocher ce celui qui caractérise la Hauteur Utile moyenne des *Metæe* : 6 ou 8 dgt (*supra* Fig.66). Il accrédite ainsi l'existence d'un surplus de HU de 2 à 4 dgt chez ces dernières.

160. Toutefois, cette seconde hypothèse d'une consommation incomplète de la Hauteur Utile des *Metæe* se heurte au caractère contrôlé des Hauteurs (totale, Passive ou Utile) de la part des meuliers antiques : si les *Metæe* avaient été conçues avec une sorte de marge ou de réserve de HU, pourquoi alors le segment excédentaire de hauteur constitue-t-il de la Hauteur Utile ? il pourrait très bien avoir été éliminé par une disposition spécifique, comme par exemple à Orvieto celle de l'évidement interne, la HU étant ainsi ramenée à la même grandeur que celle des *Catilli*.

Une autre explication à cet excédent des *Metæe* en hauteur Utile pourrait la faire dériver d'une Hauteur totale qui serait trop importante. Mais on ne peut la retenir puisque ces meules dormantes sont en moyenne de même hauteur que les *Catilli* du moins pour le modèle continental (*supra* Fig.66). Par ailleurs le cas d'Orvieto, où la fonction support appelle comme à Els Vilars une Hauteur très développée entraînant une HU potentielle importante, montre *a contrario* qu'une marge de Hauteur Utile chez les *Metæe* ne semblait pas admise puisque cette HU excédentaire y est rabattue par le truchement de l'Evidement intérieur.

En conséquence l'excédent de Hauteur Utile des *Metæe* est peut-être plutôt à analyser comme un déficit des *Catilli* dans ce domaine.

161. Ainsi, en troisième hypothèse, on peut examiner l'éventualité que les *Catilli* mis au rebuts soient essentiellement composés d'individus dont la Hauteur est généralement normale mais dont la Hauteur Utile serait erronée et insuffisante de 2 ou 4 dgt. Toutefois cette explication n'est pas totalement convaincante car elle suppose un biais systématique : les *Catilli* éliminés l'auraient presque tous été en raison d'une insuffisance de Hauteur Utile.

Une telle insuffisance peut avoir trois origines : un excès de Hauteur de Cône (HCo), une profondeur de trémie (HTr) exagérée, ou enfin une Hauteur totale du *Catillus* elle-même insuffisante. Or HCo mesure en moyenne et avec constance à travers les assemblages 2 à 3 dgt (soit 3,5 à 5,5 cm) et aucune distorsion nette ne semble s'observer entre la Hauteur de

Cône des *Catilli* utilisés⁴⁶ et celle des exemplaires neufs. Il en va de même avec la Hauteur de trémie. Rien ne dirige donc vers l'existence d'un excès fréquent de Hauteur Passive qui, dans les rebuts d'atelier soit dû à la conicité ou à la trémie.

Peut-être faut-il alors envisager que les *Catilli* rejetés sur les ateliers-mêmes l'aient été en raison d'une Hauteur Utile systématiquement insuffisante de 2 à 4 dgt due tantôt à un excès de HCo, tantôt de HTr ou tantôt des deux conjugués, configuration précipitée par une Hauteur totale elle-même parfois insuffisante.

Il conviendrait ainsi d'examiner plus en détail les distorsions possibles de HCo, HTr et HU entre ensembles de meules utilisées et de rebuts d'atelier. Nos tentatives de restitution des hauteurs originelles des meules ayant montré leurs limites⁴⁷, cet approfondissement semble devoir attendre que l'on dispose, d'ici quelques années, d'effectifs plus nombreux de *Catilli* neufs provenant de d'utilisation dont, en même temps, l'aire de provenance sera connue afin d'en comparer les hauteurs avec celles des contextes d'atelier, elles aussi actuellement en quantité trop restreinte.

Pourquoi une réduction de la Hauteur Utile des *Metae* à Orvieto ?

162. Les *Metae* d'Orvieto montrent une Hauteur totale assez élevée (moyenne 25,30 cm soit ca.14 dgt). Cette caractéristique est notamment partagée par les productions de Els Vilars⁴⁸ et renvoie probablement à une fonction piédestal ou support (ALONSO, PEREZ 2014, 243-245) dévolue à la meule fixe. Pour être plus exact, les *Metae* d'Orvieto se situent dans une position intermédiaire du rapport entre Hauteur et Diamètre qui les fait correspondre à ce que nous appelons le Groupe 4 d'Els Vilars (Fig.69). En effet, la majorité des *Metae* d'Els Vilars présentent une Hauteur assez basse puisque le rapport avec le Diamètre (IREC) se situe entre 200 et 300%, autrement dit le Diamètre mesure 2 à 3 fois la hauteur. Le groupe 4 en revanche tend à se détacher car il se caractérise par une Hauteur plus importante (IREC compris entre 200 et 150%) qui avoisine les $\frac{3}{4}$ du diamètre (IREC 133%). De ce fait se pose la question des raisons de cette Hauteur pour des meules anciennes (IV^e-III^e s. a.C.) qui pourraient comporter une fonction support cependant peu développée.

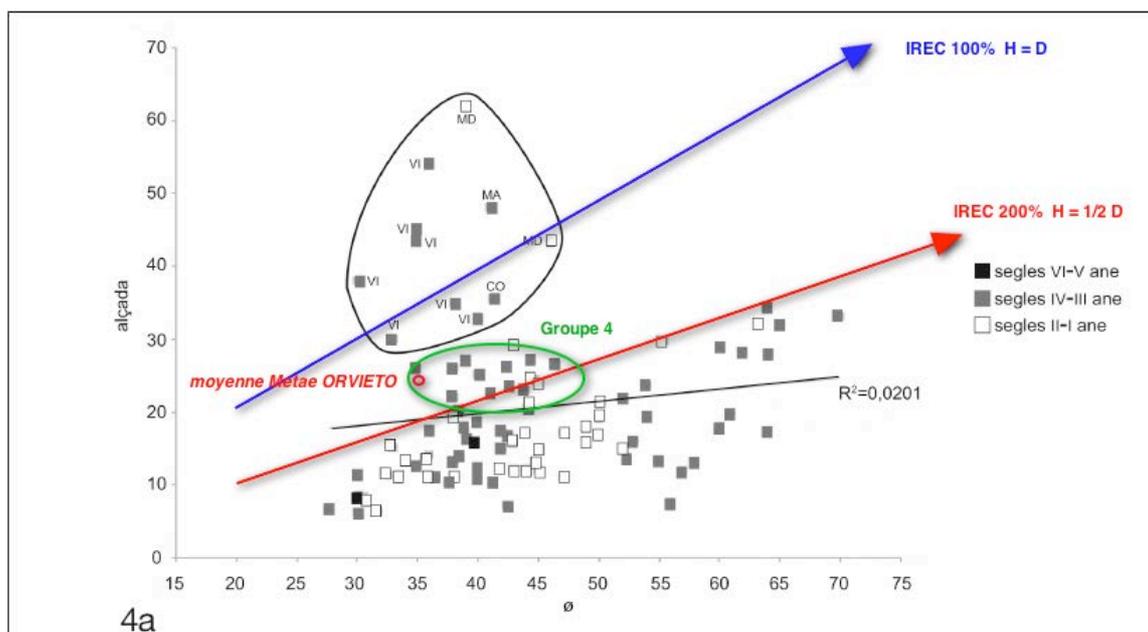
en page suivante :

Figure 69 : Position des *Metae* d'Orvieto par rapport à la Hauteur des *Metae* d'Els Vilars

⁴⁶ Cependant les cas où l'on peut comparer les valeurs de HCo et HTr observables sur un assemblage d'utilisation et celles de l'atelier de provenance correspondant sont rares ou portent, comme pour le Chaudry, sur un faible nombre d'exemplaires.

⁴⁷ Dues au fait qu'elle sont basées sur un IREC identique pour tous les diamètres alors que le croisement des valeurs en dgt de ces derniers avec celles des hauteurs montre (CHAP.18) que l'IREC varie même si sa moyenne est significative.

⁴⁸ Du moins dans notre corpus (avec une petite fraction présente à Puig Castellar), les auteurs en signalent la présence sur quelques autres sites catalans (Margalef, Medicina, Turò de can'Olivé) ; il s'agit quoiqu'il en soit d'un groupe assez restreint (10% des 95 *Metae* de ALONSO, PEREZ 2014 Fig. 4) qui rend d'autant plus intéressante la similarité de son groupe 4 avec Orvieto. Toutefois les *Metae* de hauteur élevée (IREC inférieur à 200%) mériteraient un recensement et un examen détaillé, y compris chronologique.



(le point rouge représente la moyenne des *Metae* d'Orvieto : D.34,89 et H. 25,30 cm – les *Metae*-support sont entourées d'un trait noir par les auteurs : ALONSO, PEREZ 2014, fig.4a)

163. La Hauteur prononcée des *Metae* d'Orvieto (située sur 16 dgt soit 1 pied) a pour effet de créer une HU potentielle hors norme, mesurant 12 dgt (voir *supra* partie médiane de la Fig.62). Cette dernière est ramenée à une proportion plus commune mais encore élevée (8 dgt) par le truchement du creusement intérieur de la base des *Metae*.

Il semble donc que la principale raison d'être de l'évidement⁴⁹ réside dans l'obtention d'une limitation à une Hauteur Utile rendue excessive par une Hauteur totale élevée. Cette forte Hauteur apparaît ainsi comme ayant constitué la contrainte génératrice, ce qui avalise une fonction support.

164. Reste qu'il n'était pas obligatoire pour les meuliers d'Orvieto de brider la Hauteur Utile de leurs *Metae*, leur longévité potentielle (12 dgt) supérieure de 50 à 100% à celle des autres ateliers (6 ou 8 dgt) pouvant représenter un avantage sur les marchés.

On peut envisager 2 raisons essentielles à cette sorte de « auto-mutilation » :

- la première pourrait résider dans une culture de la norme ou de l'habitus : les meules durant en général et partout 6 ou 8 dgt, Orvieto ne pouvait concevoir de faire autrement ;
- la seconde raison serait technique et résiderait dans la nécessité que la longévité des *Metae* soit équivalente à celle des *Catilli*.

Cependant cette seconde cause est invalidée par le fait que les *Catilli* d'Orvieto, en cela conformes aux valeurs courantes (HU 4 à 6 dgt), montrent une Hauteur Utile de 4 dgt soit 2 fois inférieure à celle des *Metae* correspondantes. La raison d'être de l'abaissement de HU des *Metae* au moyen de l'Evidement intérieur ne réside donc pas dans une adéquation à la Hauteur Utile des *Catilli*.

Il est ainsi plus probable que l'évidement de l'assise des *Metae* d'Orvieto réside dans la volonté, devant un surdéveloppement de la Hauteur Utile engendré par la fonction support, de mettre les *Metae* orviétanes en adéquation avec les normes ou pratiques courantes de l'époque. A ce titre on peut envisager que la production de *Metae* hautes à Orvieto se soit

⁴⁹ En dehors naturellement de la création d'un anneau de pose, lequel n'a d'ailleurs rien d'automatique sur les ateliers et pouvait de toutes façons être obtenu avec un évidement limité, comme c'est généralement le cas à une hauteur de 2 ou 3 cm.

située à une période charnière, où l'on fabriquait encore ces modèles hauts issus de la tradition hispanique mais où également se mettaient déjà en place les nouveaux standards de meules basses, où les *Metae* présentaient une Hauteur utile de 6 ou 8 doigts maximum.

165. En définitive à Orvieto, tant pour les *Metae* que pour les *Catilli*, la Hauteur Utile des Meules Rotatives Basses ne se distingue pas de celle des autres ateliers : elle est centrée sur une moyenne de 8 doigts pour les *Metae* et de 4 doigts pour les *Catilli* avec par conséquent un différentiel de 4 dgt.

La Hauteur totale des *Catilli* (10,5 dgt) rentre dans l'ordre de grandeur courant des meules non minces du modèle continental telles celles de l'atelier du Chaudry et sans doute de bien d'autres (ainsi en Bourgogne les ateliers de Portus et Autun Fbg d'Arroux, ou dans le Sud-Ouest de la France celui de La Marèze).

166. Mais une première originalité des produits d'Orvieto concerne les *Metae* et réside dans le caractère élevé de leur Hauteur (en moyenne 25,3 cm soit 13-14 dgt). Celle-ci avoisine ainsi la dimension du demi-diamètre ce qui confère un profil trapu (IREC de type 150%). Ce double trait, hauteur élevée et caractère trapu, rapproche les *Metae* d'Orvieto de la tradition hispanique des *Metae* hautes auxquelles ALONSO, PEREZ 2014 assignent judicieusement une fonction support d'ailleurs documentée par des trouvailles *in situ* de moulins scellés ou installés au sol⁵⁰. Cependant à Orvieto ce « surplus » de hauteur reste limité et trouve sa correspondance dans un groupe d'Els Vilars intermédiaire entre les *Metae*-support et les *Metae* basses. En ce cas on aurait à faire soit à une fonction support limitée soit à une surpèaisseur liée à d'autres motifs. La question reste ouverte.

167. Les *Metae* d'Orvieto sont par ailleurs marquées par la présence systématique d'un anneau de pose, ce qui est loin d'être la règle sur les ateliers où dominant au contraire les assises plates et pleines (notre type 2A). La hauteur élevée de ces *Metae* crée une forte Hauteur Utile potentielle, mais la seconde originalité des fabrications orviétanes de Meules Rotatives Basses réside dans le fait que ce potentiel se trouve réduit de moitié (ramené d'une moyenne de 16 à 8 dgt) par la réalisation d'un évidement intérieur de l'assise. Ce trait est à ce jour spécifique aux fabrications d'Orvieto. Les causes ne sont pas d'une interprétation évidente : on peut songer à des raisons dans l'ordre mécanique puisque ce creusement intérieur allège la meule dormante, fait remonter son centre de gravité et accroît considérablement sa pression sur le support. Mais on peut tout autant se demander si cet évidement ne vise pas simplement à limiter une Hauteur Utile excessive et à la ramener dans une des proportions courantes (8 dgt). Cette réduction pourrait également constituer une projection sur les *Metae* d'Orvieto de la règle en vigueur sur les *Catilli* du modèle classique continental qui veut que la Hauteur Utile occupe la moitié de la Hauteur totale de la meule. Toutefois cette règle de proportion n'étant pas observée sur les *Catilli* d'Orvieto où la Hauteur Utile (en moyenne 4 dgt) correspond plutôt au tiers de la Hauteur, cette éventualité apparaît improbable.

Enfin l'examen des Hauteurs Utiles montre qu'il existe à Orvieto une fraction (ca. 25%) de *Metae* dont la Hauteur totale est limitée (8-10 dgt) et dont la Hauteur Utile (6-8 dgt) pourrait ne pas être diminuée par la réalisation d'un évidement interne. Dans ce cas elles relèveraient du modèle classique et non de celui des *Metae* hautes dont la Hauteur Utile excédentaire est rabattue par un creusement interne. Le fait qu'elles soient inachevées maintient actuellement cette possibilité à l'état d'hypothèse bien que l'absence de *Metae* correspondantes évidées lui soit favorable

⁵⁰ Paradoxalement, ces moulins hauts et posés au sol présentent vraisemblablement un plan de manœuvre (par le dessus) plus bas que les moulins plus minces posés sur ou enchâssés dans une banquette de terre crue ou une table de bois à l'imitation des tables à trémie d'Olynthe. Toutefois la présence de manchons ou d'encoches rend envisageable qu'ils aient été raccordés à un arbre fixé au plafond et mis au-dessus des meules par exemple par un dispositif de type cabestan.

Conclusions : Hauteur et Hauteur Utile

168. La Hauteur Utile des Meules Rotatives Basses ou épaisseur de pierre consommable par l'usure, apparaît en définitive comme un paramètre maîtrisé par les meuliers antiques. Cette maîtrise intervient à travers celle de 3 autres paramètres contrôlés, c'est-à-dire pré-calculés et dont la dimension, vraisemblablement fournie sous la forme de tables, est appliquée lors du façonnage. Il s'agit tout d'abord de la Hauteur totale (H) très probablement mesurée en doigts entiers et par ailleurs liée au diamètre. Interviennent ensuite les paramètres qui définissent la Hauteur Passive (HP) de la meule, c'est-à-dire l'épaisseur de pierre inconsommable par l'usure et qui constitue la hauteur restante au terme de l'utilisation maximale.

169. Le premier paramètre de la hauteur Passive est la Hauteur du Cône (HCo), liée à la fois au Diamètre et à la Conicité de la meule. Ce segment de la hauteur est très vraisemblablement décliné en demi-doigts ce qui permet avec seulement 1 ou 2 de ses valeurs (par exemple 1,5 et 2 dgt) de limiter le nombre de conicités à 2 ou 3, pour des diamètres réalisés en nombre pair ou impair de doigts et correspondant à une très large gamme (gabarits de 16 à 28 doigts ou plus c'est-à-dire 1 à 2 pieds). Ce jeu de correspondances entre la variété des diamètres et un couple ou un triplet de Hauteurs de Cône explique tout à la fois le registre réduit de Conicités pratiquées par un atelier et leur caractère fluctuant autour d'une valeur centrale qui ne devient séparable que tout les 3°. La Hauteur de Cône tant pour les *Metae* que les *Catilli* vaut en moyenne 1,5 à 3 doigts. Elle n'est absente que sur les Meules Plates dont la Hauteur Passive se trouve alors réduite à une seule épaisseur de pierre incompressible (HPi) qui donne aux meules plus usées leur allure en galette.

170. Le second paramètre concourant à établir la Hauteur Passive existe seulement chez les *Catilli* et à l'exception des modèles notamment anciens dépourvus de dépression supérieure. Il est constitué d'un second segment de hauteur (HTr) correspondant à la profondeur de cette cuvette dénommée Trémie. Il apparaît finalement que ce composant de la Hauteur Passive est lui aussi assez rigoureusement contrôlé et que sa valeur se situe en moyenne à 25% de la Hauteur. Ainsi le modèle général de *Catillus*, que nous appelons « classique » ou « continental » se compose d'une Hauteur Passive cumulant HCo et HTr et valant en moyenne 50% de la Hauteur totale initiale. Il est important de souligner que la plupart des *Catilli* qui s'imposent à notre œil à partir des découvertes faites en contexte d'utilisation sont d'une épaisseur nettement amoindrie par l'usure et donc trompeuse par rapport à la physionomie réelle du *Catillus*, plus épaisse et massive, qui n'est en réalité donnée que par les exemplaires trouvés sur les sites d'ateliers.

171. La différence entre la Hauteur totale d'une meule et sa Hauteur Passive correspond à ce que nous avons identifié et désigné par le terme de Hauteur Utile. Chez les *Metae* elle est donc égale à la formule $HU = H - HP$ où $HP = HCo + HPi$. Elle peut s'y trouver diminuée lorsque la profondeur de l'œil (HOE) est plus importante que la Hauteur du Cône ou lorsque, comme à Orvieto, un creusement pratiqué dans l'assise de la *Meta* crée une Hauteur Passive plus importante que HCo.

Chez les *Catilli* la Hauteur Utile correspond à la même formule mais HP y est constituée de HCo+HTr, elle correspond en fait à la hauteur de l'œillard (HOE). Elle peut

être plus importante chez des *Catilli* démunis de trémie ou pour des meules dont l'épaisseur a été renforcée. Elle peut également être augmentée par une autre technique, qui consiste à élargir le diamètre de l'œillard d'un *Catillus*. Mais elle peut aussi être diminuée, de manière non négligeable, par la présence sur la meule tournante d'un trou d'emmanchement, notamment latéral, dont la position se situe dans la hauteur de l'œillard (position B2). Il est sur ce point intéressant de noter que souvent ces mortaises d'emmanchement semblent réalisées postérieurement à la finition en atelier⁵¹, sans doute au stade de l'installation ou de l'ajustement fonctionnel, ou bien au niveau juste antérieur, celui du marché.

172. La conception des *Catilli* n'anticipe pas la diminution de Hauteur Utile que peut occasionner la réalisation d'emmanchements, les meules étaient donc vendues avec une HU brute d'atelier mais néanmoins normée. Il apparaît ainsi que l'impact réducteur de l'emmanchement sur la longévité du *Catillus* n'était pas perçu par l'utilisateur, ou bien que celui-ci assumait, en terme de durée de son matériel, les conséquences de son choix d'emmanchement, ce dernier signifiant sans doute le plus souvent un choix de modalité d'entraînement. Il est à cet égard étonnant que les concepteurs des meules n'aient pas intégré cette réduction de HU en proposant un modèle de *Catillus* à Hauteur Utile compensée par une augmentation de l'épaisseur, à fortiori la proportion de *Catilli* affectés par une réduction due à l'emmanchement n'étant pas négligeable. Le nombre de modèles supplémentaires aurait-il été important, compliquant la production ? ou bien cette non-adaptation traduit-elle un point d'imperméabilité entre la sphère utilisateur et la sphère producteur ?

173. La Hauteur Utile peut s'avérer très forte chez les modèles anciens de type ibérique où *Metae* autant que *Catilli* sont de forte épaisseur. Mais en règle générale, chez les modèles classiques ou continentaux elle mesure de 4 à 8 doigts, soit $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ pied. Elle peut être plus importante pour des meules dont l'épaisseur a été renforcée afin de justement en potentialiser la Hauteur Utile, comme c'est souvent le cas lorsqu'elle atteint 8 dgt.

Enfin, la Hauteur Utile apparaît faible sur certains ateliers caractérisés par la production de meules rotatives minces, où sont faibles (et très calibrées) tout à la fois Hauteur totale, Hauteur Passive et Hauteur Utile. Leurs fabrications relèvent en effet du schéma H/HP/HU 8/2/6 pour les *Metae* et du schéma 8/4/4 pour les *Catilli*. En l'état de nos données, cette minceur touche la zone rhénane (Bad Nauheim et Les Fossottes) et s'ancre dans la Tène Finale mais nous ignorons s'il s'agit d'un phénomène zonal ou bien de manifestations disséminées dans l'espace voire dans le temps. Il mériterait d'être ultérieurement approfondi d'autant qu'il n'est pas impossible que cette culture de la minceur ait convergé avec celle du moulin plat pour aboutir à la naissance du modèle altomédiéval mince et plat (ainsi qu'à collerette autour de l'œillard du *Catillus*) dans une zone (Somme/Rhin) qui correspond à celle de la mise au point du modèle médiéval et moderne caractérisé par l'abandon de la conicité et la réduction de l'épaisseur des meules relativement à leur diamètre.

174. On constate avec surprise l'existence d'une différence entre la Hauteur Utile des *Catilli*, généralement de 4 dgt, et celle des *Metae* correspondantes qui est en moyenne de 8 ou 6 dgt. La longévité des *Catilli* est donc inférieure de 4 ou 2 doigts, soit 50 ou 33%. Cela devrait normalement se traduire par un renouvellement plus rapide de la meule tournante et donc par sa représentation nettement surnuméraire dans les effectifs meuliers. Or il n'en est rien, ceux-ci étant équilibrés malgré quelques fluctuations sans commune mesure avec la

⁵¹ Noter que sur le site de Chartres « Cinéma » les trous d'emmanchements des *Catilli* sont soigneusement positionnés en évitant tout impact réducteur sur la Hauteur Utile (JACCOTTEY *et al.* 2011, fig.12 p. 332).

proportion attendue de 50 ou 33%, alors-même que les fragments de *Catilli*, plus diagnostiques, conduisent à une fréquence relative surestimée de cette catégorie.

Une étude plus approfondie paraît à terme nécessaire, basée sur un large échantillon où l'on aura quantifié et comparé les Hauteurs Utiles d'exemplaires neufs de *Catilli* et de *Metae* provenant d'ensembles de consommation et des ateliers leur correspondant. Elle nécessitera d'une part un large échantillon autorisant des effectifs suffisants, et d'autre part une bonne corrélation provenancielle entre assemblages d'atelier et d'utilisation. Elle permettrait ainsi en premier lieu de dire si le différentiel de HU entre les deux genres de meules est un artefact créé par les moyennes et le faible nombre de meules que nous avons pu analyser. Si cette différence de Hauteur Utile venait à être confirmée, il serait alors intéressant d'établir si elle montre un caractère systématique ou bien si elle porte seulement sur certaines fractions des meules, liées par exemple à des types ou modèles particuliers.

175. Dans l'attente, on peut accepter avec prudence l'existence d'un net différentiel de Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli* et envisager deux hypothèses pour l'expliquer. La première voudrait que cet écart de longévité soit dû à l'absence d'une deuxième partie de Hauteur Passive chez les *Metae* où elle est essentiellement limitée à la Hauteur de Cône. Cette composition réduite de la Hauteur totale créerait un fort potentiel de Hauteur Utile chez les *Metae* lequel deviendrait un excédent dès lors que les fabricants ne se seraient pas souciés de le réduire par des dispositifs tels qu'un évidement interne, comme pratiqué à Orvieto (ce qui représente toutefois un cas unique) ou tels qu'un amoindrissement de la Hauteur totale des *Metae* ou l'augmentation de celle des *Catilli*. Dans ce schéma explicatif il est étonnant qu'aucun atelier n'ait pratiqué cette élimination de l'excédent. Ce fait amène soit à douter de la réalité du différentiel de Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli*, soit à poser la nécessité de contraintes entraînant une surépaisseur utile de 2 à 4 dgt chez les *Metae*.

176. Une seconde explication ne se situerait pas dans le domaine technique et de la géométrie des meules mais dans celui de notre perception. Le différentiel de Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli* n'existerait pas mais apparaîtrait comme résultant d'un biais affectant l'échantillon des *Catilli* rejetés sur les ateliers et partir duquel nous reconstruisons les valeurs à neuf des paramètres. Les *Catilli* découverts sur les sites de fabrication seraient en réalité, pour la plupart d'entre eux, mis au rebut en raison d'une Hauteur Utile insuffisante (de 2 à 4 dgt) par rapport à la normale représentée par les *Metae* (soit une HU de 6 ou de 8 dgt). L'erreur à la source de cette insuffisance serait soit une Hauteur de Cône exagérée, soit une profondeur de trémie excessive, soit une Hauteur initiale trop faible, soit un cumul de ces 3 possibilités. En défaveur de ce schéma explicatif se trouve l'improbabilité du fait que seule des erreurs de hauteur soient à l'origine du rebut des *Catilli* (à des stades variables mais à cône formé). S'y ajoute par ailleurs l'improbabilité que les *Metae* rejetées soient, au contraire des *Catilli*, dépourvues d'une majorité d'erreurs portant sur leur hauteur même s'il s'agit de pièces de réalisation plus simple en l'absence de cette troisième partie qu'est l'aménagement de la trémie.

Au terme de cet examen la question nouvellement posée de la parité ou de la différence entre la longévité des *Metae* et *Catilli* paraît demeurer ouverte. Elle nécessite une étude quantitative de plusieurs centaines de meules neuves provenant notamment d'ateliers⁵², quantité actuellement indisponible ainsi que d'un échantillon de meules neuves en contexte

⁵² Serait en effet nécessaire à notre sens un échantillon d'un minimum de 15 *Metae* et 15 *Catilli* dont tous les segments de hauteur soient disponibles (H, HCo, HTr et HU) sur une quinzaine ateliers antiques *lato sensu* soit environ 450 meules-hauteurs neuves ; si les 15 ateliers sont disponibles en revanche il est rare que 30 meules soient suffisamment renseignées pour chacun : plutôt représentatif des ateliers à nombreuses meules (65 aux fossottes, 47 au Chaudry ou 42 à Bad nauheim, pas toujours loin s'en faut neuves) Orvieto en fournit tout juste 12 pour 32 *Metae* et 15 pour 23 *Catilli*.

d'utilisation. Cette problématique appelle par ailleurs l'approfondissement des causes de rebut et des distorsions pouvant affecter les rejets d'atelier.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ALONSO *et al.* 1996 – ALONSO, PEREZ 2014 – ARSEGUEL, PETITJEAN 1995 – BIZZARRI, BINACO 2015 – BRUN, BORREANI 1998 – BRUNETIERE 2016 – BUISSON, OLIVE 2009 – FARGET 2006 – FARGET 2007 – FILLOT 2004 – GAULTIER 2009 – GODET 1984 – JACCOTTEY *et al.* 2011 – JODRY 2006 – LAGADEC 2008 – LANOS, JUMEL 1992 – PHILIPPON 2004 – SCHUBERT, SCHUBERT 1993 – WEFERS 2012 – WENZEL 2020 –

CHAPITRE .18

Le degré d'USURE des MRB, l'Indice de Rectangularité (IREC) et le passage au modèle Médiéval

_____ Dans un Chapitre précédent (CHAP.11), nous avons vu que les profil des hauteurs présenté par un assemblage pouvait permettre, à partir des deux pôles de leur longévité (hauteur à neuf et hauteur résiduelle), d'apprécier d'une part l'existence éventuelle de meules neuves ou sub-neuves dans cet ensemble et d'autre part, à l'opposé, d'établir si les meules ou une fraction d'entre elles avaient atteint le maximum d'usure possible.

Il est cependant parfois possible d'être moins polaire, de faire mieux, en calculant le degré d'usure de chaque meule et d'établir alors un profil des « âges » des meules composant l'assemblage. Il est pour cela nécessaire de connaître les Hauteurs pratiquées dans le ou les ateliers de provenance. Dans un premier temps nous exposerons cette méthode qui, précise, est basée sur le calcul de deux hauteurs.

_____ Cependant ce calcul du degré d'usure n'est pas toujours possible. C'est ainsi le cas lorsque les ateliers d'où proviennent les meules ne sont pas connus ou lorsque l'atelier propose différents gabarits de hauteurs et qu'il est difficile d'établir laquelle a correspondu à une meule donnée. Il reste alors possible d'estimer l'usure, avec un moindre degré de fiabilité, à partir de bornes données statistiquement : la hauteur moyenne des meules neuves et celle des meules usées. Nous présenterons cette méthode estimative qui sera forcément la plus fréquemment utilisable.

Naturellement, les MRB d'Orvieto connues à ce jour étant toutes à l'état neuf, ces deux méthodes ne peuvent être appliquées à ce centre producteur. Ce sera en revanche le cas dès

qu'on disposera, notamment à partir de fouilles régionales, de MRB en leucite susceptibles de provenir d'Orvieto¹.

_____ L'approche du degré d'usure nous amenant à nous pencher sur le caractère plus ou moins rectangulaire du profil d'une meule, nous développerons ensuite le rapport entre le Diamètre et la Hauteur des Meules Rotatives Basses. Nous définirons trois modèles, la meule Trapue, le modèle 2H et la meule Amincie voire Mince. Nous montrerons sur cette base en quoi le standard meulier antique diffère du module médiéval et moderne.

1. Calcul du degré d'Usure par la Hauteur Utile

1. Le degré ou taux d'usure correspond à la proportion de la Hauteur utile qui a été consommée au cours d'une utilisation. Une meule neuve montre une HU égale à sa hauteur utile à neuf (HUNf) tandis que chez une meule totalement usée cette HU est ramenée à zéro. La connaissance de la hauteur utile à neuf est donc un préalable à la détermination du degré d'usure subi par une meule.

Pour connaître la hauteur utile à neuf (HUNf) d'une meule il faut connaître d'abord sa hauteur totale à neuf (HNf) à laquelle il faut retrancher la hauteur passive HP². Cette donnée n'est disponible qu'à partir des assemblages d'ateliers. Elle correspond à la formule suivante :

$$\text{HUNf} = \text{HNf} - \text{HP}$$

On appellera HUr la Hauteur Utile restante d'une meule, c'est-à-dire la hauteur utile observable sur toute meule ayant été utilisée. Cette hauteur utile restante est donnée par la différence entre la hauteur totale de la meule (H) et la Hauteur passive (HP). Son calcul résulte donc de la formule suivante :

$$\text{HUr} = \text{H} - \text{HP}$$

La consommation de l'épaisseur de pierre par l'usure correspond à la différence entre la hauteur utile à neuf et la hauteur utile qui reste disponible, soit la formule suivante :

$$\text{HUNf} - \text{HUr}$$

Le degré d'usure d'une meule peut alors être calculé ainsi :

$$\text{Degré d' Usure} = (\text{HUNf} - \text{HUr}) / \text{HUNf}$$

2. On prendra l'exemple d'une meule dont la Hauteur Utile à Neuf est de 11 cm. On constate que sa hauteur utile restante est de 6 cm. Son usure est alors de :

$$\text{HUNf} - \text{HUr} \text{ soit } (11 - 6) = 5 \text{ cm}$$

¹ Une profondeur d'excavation de l'assise (Hc) valant la moitié de la hauteur (H) est fortement indicative d'une attribution à Orvieto (voir CHAP.9, 14 et 16) dès lors qu'également l'envergure de la meule s'insère dans l'intervalle des diamètres orviétans.

² La Hauteur Passive HP est composée au minimum par la hauteur de cône HCo complétée chez les *Catilli* par HTr, profondeur de la trémie, et chez les *Metae* par une hauteur passive incompressible (HPi) généralement donnée par HFL c'est-à-dire la hauteur minimale du flanc.

La meule montre ainsi un degré d'usure de : $(HUNf - HU_r) / HUNf = (10 - 4) / 10$ soit 40%
 Sa longévité restante est de 60% ($HU_r / HUNf$ soit 6 / 10 cm).

En pratique on procédera selon les étapes suivantes :

- 1- **Calcul de HU_r** (Hauteur totale – Hauteur Passive soit $H - HP$)
 (pour un *Catillus* HP est donnée par $HCo + HTr$)³
- 2- **Calcul de $HUNf$** (dans les données de l'atelier de provenance on recherche la valeur des paramètres H et HP et l'on obtient $HUNf$ par le calcul $HNF - HP$)

La difficulté posée par l'existence régulière d'un registre de plusieurs hauteurs à neuf sur l'atelier peut être résolue si le diamètre de la meule est sur l'atelier associé à une seule valeur de hauteur (par ex. 23 cm). Si le diamètre correspond à plusieurs hauteurs, on peut se guider par l'IREC (D/H), en calculant la hauteur qui sera sélectionnée par un IREC de 200 ou 221% (voir *infra* partie 2). Mais il s'agit d'une supposition et dans ce cas on obtient un Degré d'Usure « si l'IREC à neuf était de 200 ou 221% », donc un chiffrage d'ordre estimatif.

3. La nécessité de calculer meule par meule les deux composantes de la hauteur passive ainsi que la hauteur utile restante, celle aussi de connaître l'atelier d'origine et d'en définir la ou les hauteurs à neuf correspondant à la meule étudiée font que la possibilité de calculer le degré exact d'usure est plutôt rare et, lorsque cela est possible, le travail nécessaire à son élaboration est digne d'un bénédictin. Aussi, sauf motivation spécifique (par exemple l'étude précise de l'usure d'un lot de meules dont on connaît l'atelier de provenance), préférera-t-on généralement utiliser un instrument estimatif qui, bien que grossier, permet une appréciation rapide et quand même échelonnée du taux d'usure des meules.

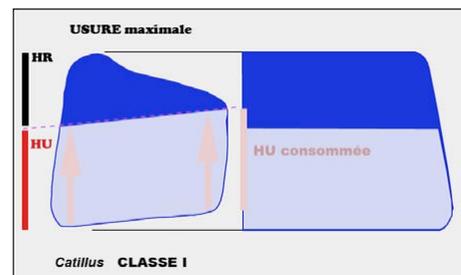
2. Estimation du Degré d'Usure par l'IREC

20. Comme on l'a vu, l'usure d'une meule se traduit par la diminution de l'épaisseur de pierre consommable. En pratique (voir **CHAP.9** partie C.2 et **CHAP.14** notamment Fig.14), sur un *Catillus* la hauteur de l'œillard tend à se réduire à néant (Fig.1) au point que sur un individu totalement usé l'œillard devient un fin anneau fait de la convergence du rebord du cône de travail (Plan B') avec celui de la trémie (Plan A'). Sur une *Meta*, l'usure se traduit par la baisse du cône et donc la diminution du flanc, jusqu'à atteindre une épaisseur minimale incompressible (hauteur passive incompressible HP_i).

Au-delà de ces figures abouties de l'usure, la consommation d'épaisseur de pierre qu'entraîne l'utilisation porte en fait non pas sur la hauteur totale de la meule (H) mais sur la seule hauteur utile (HU). En effet, les composantes de la hauteur passive sont conservées (il s'agit au minimum de la hauteur de cône HCo).

Figure 1 : *Catillus* totalement usé
 - l'épaisseur disparue est représentée en bleu pâle -

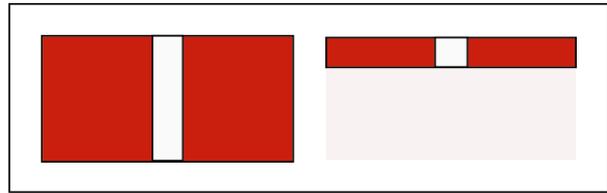
21. La consommation d'une épaisseur de pierre par l'usure a pour effet de diminuer la hauteur de la meule et de rendre celle-ci progressivement plus plate, au point que les exemplaires les plus usés tendent vers



³ Si HCo ou HTr ne sont pas mesurables sur la meule ou son dessin, ou bien si elles n'ont pas été notées lors de son enregistrement, elles restent calculables par le biais de notre simulateur (en ligne sur <https://orviamm.com>) si l'on connaît l'Angle du cône et son rayon.

une forme que l'on qualifie régulièrement par des expressions telles que « en disque » ou « en galette », ce qui s'applique le mieux aux *Metae*.

Figure 2 : Profil rectangulaire de meule usée



On comprendra alors que plus une meule est mince et aplatie, plus elle est à priori usée. Son profil devient de plus en plus rectangulaire (Fig.2). Ainsi une meule et son usure peuvent être caractérisées par un Indice de Rectangularité (IREC), c'est-à-dire le rapport entre son Diamètre (D) et sa Hauteur (H). Plutôt que d'utiliser comme il est courant et comme nous l'avions fait initialement, le rapport H/D, nous utilisons dans ce travail le rapport D/H qui permet une gradation à travers le maniement d'un grand pourcentage. En effet D est toujours plus grand que H, H varie en diminution depuis son état à neuf et l'IREC grandit avec l'usure.

DÉFINITION et CALCUL de l'IREC

22. On prendra comme exemple le cas simple d'une meule neuve dont le diamètre est de 20 dgt (D.20 soit environ 37 cm) et la hauteur de 10 dgt (H.10 soit environ 18,5 cm). Son Indice de Rectangularité est donc de 200% ($D/H = 20/10$), le diamètre valant 2 fois la hauteur. Puisque la meule est neuve il s'agit d'un IREC à neuf (IREC.Nf). Le rapport H/D est de 10/20 et la hauteur vaut 0,5 diamètre ou 50%.

La version usée de la même meule donne toujours un diamètre de 20 dgt puisqu'en effet D n'est pas affecté par l'usure, en revanche la hauteur a diminué pour s'établir à 4 dgt (soit environ 7,5 cm). L'IREC de la meule est donc devenu 500% ($D.20/H.4$). La meule étant utilisée sinon usée, on précisera si besoin qu'il s'agit d'un IREC d'usure (ou IREC.Us).

23. Dans cet exemple, l'usure de la meule se traduit ainsi par une trajectoire de son Indice de Rectangularité depuis la valeur 200% vers celle de 500%, la rectangularité du profil croissant depuis la borne initiale (IREC état neuf) vers la borne finale (IREC état usé). Par conséquent, mesurer l'IREC d'une meule c'est déterminer son degré d'usure.

Il faut pour cela connaître le point de départ, c'est à dire la valeur à neuf de la hauteur (puisque le diamètre, non affecté par l'usure, est en effet constant)⁴.

CALCUL du DEGRÉ d'USURE (IREC à Neuf et IREC d'Usure)

24. Pour reprendre l'exemple ci-dessus, l'IREC à neuf est de 200% (D.20 dgt et H.10) et l'IREC d'usure est de 500% (D.20 et H. 4 dgt). Si la meule mesurait 7 dgt de hauteur son IREC s'établirait à 285% ($D/H = 20/7$). Son degré d'usure peut être apprécié en calculant la position de cette valeur sur la trajectoire entre les bornes 200% (IREC.Nf) et 500% (IREC.Us). Soit le calcul suivant : distance entre les bornes (500%-200%) soit 300% et distance de l'IREC à neuf (285-200%) soit 85%. Ainsi, 85% ayant été consommés sur une course de 300%, le degré d'usure s'établit en conséquence à 85/ 300% soit 28%.

La formule est donc : distance à la borne initiale (200%) divisée par la course d'usure (borne finale – borne initiale) soit en résumé le calcul $(285\%-200\%)/(500\%-200\%)$.

⁴ A l'exception, assez rare il est vrai et limitée en valeur, des meules à flanc oblique ; pour le calcul de l'IREC on considérera toujours le Diamètre Maximal d'une meule.

IREC **usure intermédiaire 3** : **H.5 dgt** IREC 400 % (D.20 / H.5)
 → Usure IREC $(400-200\%)/(500-200\%) = 66,6\%$
 H.10 dgt HP.4 dgt HU 6 dgt
 → Usure HU = $10 - 5$ dgt = 5 dgt
 = $5 / 6$ dgt HU = **83,3 %** $(10-5)/6$

On s'aperçoit ainsi que l'IREC sous-estime le degré d'usure dans une proportion variable mais importante (dans cet exemple 44, 33 et 20 % de l'usure réelle mesurable par HU) laquelle dérive de l'existence du facteur constant qu'est la Hauteur Passive de 4 dgt. Plus le degré d'usure estimé par l'IREC est faible plus la distortion est importante.

Dans l'exemple précédent, si la hauteur observée est de 9 dgt l'IREC sera de 222% (D.20 / H.9) avec un degré d'usure estimé à 7,3% $(222 - 200\%)/(500-200\%)$. En réalité l'usure sera de 1 dgt (H.Nf.10 – H.9) sur une HU de 6 dgt soit un degré d'usure de 16,7% (1/6), c'est à dire le double. On constate donc qu'au-delà de environ 5% d'usure IREC les meules ne doivent pas être considérées comme neuves ou sub-neuves puisque l'IREC minore systématiquement le degré d'usure. L'IREC a donc tendance à tasser le spectre d'usure d'un assemblage vers les meules faiblement usées et à sousestimer l'usure.

Estimation du DEGRÉ d'USURE par l'IREC général moyen

28. Pour imparfait qu'il soit, cet outil d'estimation du degré d'usure qu'est l'IREC reste le seul à notre disposition à ce jour tant que n'est pas connu l'atelier de provenance et son registre des valeurs à neuf de la hauteur. Il se trouve cependant qu'en l'absence de connaissance de ces hauteurs neuves, on peut se baser sur un donné statistique, à savoir la hauteur à neuf moyenne constatée sur notre panel d'ateliers. En effet, la table générale des diamètres et des hauteurs sur les ateliers (voir ANNEXE 24) donne un diamètre moyen des meules en atelier (*Metae* et *Catilli* confondus) de 41,17 cm (soit 24 dgt d'un Pied de 27,5). Parallèlement elle fournit la valeur moyenne des hauteurs, soit 18,6 cm (11 dgt). On peut alors en déduire un IREC moyen à neuf, qui est en l'occurrence de 221%⁵.

Parallèlement, les meules des sites d'Utilisation fournissent un diamètre moyen de 41,68 cm (là encore 1 Coudée soit 24 dgt) et une moyenne des hauteurs de 10,56 cm (soit 6 dgt). L'IREC moyen d'usure s'établit ainsi à 395%⁶.

29. Ces données statistiques apportent plusieurs enseignements :

- .1. au plan de la métrologie elles traduisent la prégnance des pieds courts et tendanciellement celle du Pied de 27,5 dit Osco-italique,
- .2. le fait que la moyenne des Diamètres soit de 1 coudée (soit 24 dgt ou 1 pied 1/2) indique la forte proportion de meules de grand format au sens de l'Antiquité, c'est-à-dire situées au-delà de 1 pied 1/2 et vers 2 pieds,
- .3. la différence entre la Hauteur moyenne sur les Ateliers (18,60 cm soit ca. 11 dgt) et celle constatée sur les sites d'Utilisation (10,56 soit ca. 6 dgt) est de 8,04 cm soit 4 à 5 dgt et un

⁵ Pour les Ateliers, la moyenne des diamètres est établie sur 525 mesures et celles des hauteurs sur 371. Pour les sites d'Utilisation, la moyenne est établie sur 1.298 diamètres et 476 hauteurs.

⁶ Sur certains de nos décomptes un peu plus anciens l'IREC.Nf moyen peut apparaître avec une valeur de 220% et l'IREC.Us de 397%. Par ailleurs la plupart de nos estimations d'usure dans les tables de données des sites d'Utilisation ont été faites avec une valeur ancienne de l'IREC.Us qui était de 385% et non 395%, ce qui ne change rien aux résultats, les moyennes sont relativement stables depuis qu'elles ont été établies sur des échantillons de plus de 3 ou 500 mesures – voir ANNEXE 24.

peu plus de 1 palme. L'utilisation se traduisait donc par une fonte moyenne de 43% de la hauteur et, en mesurage antique, de 1 palme (1/4 de pied soit 4 dgt),

.4. enfin, la différence entre l'Indice de Rectangularité des meules neuves (221%) et celui des meules usagées (395%) confirme cet amincissement de facteur 2 et correspond tendanciellement aux bornes 200% et 400%. Ainsi le modèle de fond des MRB antiques apparaît constitué d'un diamètre moyen mesurant le double de la hauteur moyenne. L'usure consomme la moitié de la hauteur, la hauteur passive constitue l'autre moitié. Nous avons vu (CHAP.17 point 6) que cette formule $HP = HU = 50\%$ de H correspondait par exemple à ce que nous avons appelé le « modèle continental » de *Catillus*.

30. En l'absence de connaissance des valeurs à neuf de la hauteur des meules en atelier, le degré d'usure peut donc être estimé par référence à ces moyennes, c'est-à-dire par la formule suivante :

$$\frac{(\text{IREC observé} - 221\%)}{(395 - 221\%)}$$

Ainsi le degré d'usure d'une meule présentant un IREC de 267% sera estimé à 26,4 % (soit le calcul $(267-221\%)/(395-221\%)$). Si l'IREC observé est par exemple de 325% le degré d'usure sera de 59,7% (soit le calcul $(325-221\%)/(395 - 221\%)$).

On gardera présent à l'esprit que cette évaluation reste assez grossière et que dans les premières dizaines de % l'usure est largement sousestimée. Dans le cas présent l'usure estimée à 26% de la Hauteur indique plus vraisemblablement un degré d'usure compris entre 25 et 50% de la Hauteur Utile, et l'usure estimée à 59% traduit un degré d'usure avancé, sans doute plutôt situé entre 65 et 75% de la Hauteur Utile.

3. Exemples d'IREC sur des Ateliers et des assemblages d'Utilisation

On donnera ici l'exemple des valeurs de l'IREC observables sur 2 ateliers, Orvieto et Le Chaudry. Orvieto se caractérisant par des meules trapues, la hauteur se rapprochant de la valeur du diamètre, tandis que Le Chaudry présente des valeurs d'IREC plus classiques, centrées sur 221%.

Ateliers : IREC à neuf d'ORVIETO

31. La table des données d'Orvieto (Fig.3) indique un rapport D/H (IREC) calculable pour 27 des 32 *Metae*. L'IREC moyen s'établit à 138% et montre ainsi le caractère trapu de ces puisque le diamètre mesure en moyenne seulement 1,4 fois la hauteur.

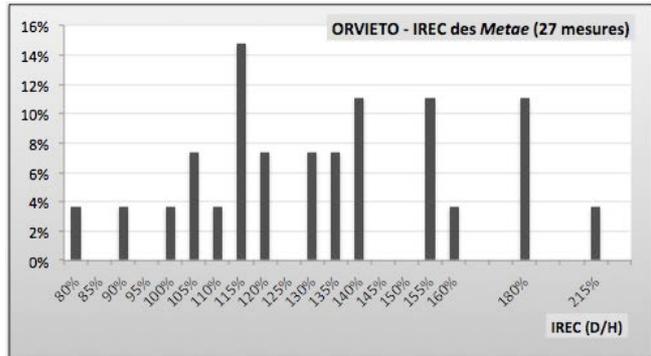
Figure 3 : MRB d'Orvieto - IREC des Metae

Il apparaît par ailleurs (Fig.4) que

Metae MRB ORVIETO - IREC						IREC Metae ORVIETO				
METAE REF.	STADE de FAÇON-NAGE	DIAMETRE (cm)		H.	IREC D/H	D/H	Classe	Valeurs	Q.	%
		D.Base	D.Sup							
R.10-3	III.B	30,5	17	179%	81%	80%	80%	1	4%	
R.10-7	III.B	36	38	26-27	143%	91%	90%	85%		
R.10-9	III.B	ca. 30	37	23	101%	100%	90%	1	4%	
R.10-14	III.B	42	38-39	28-31	142%	104%	105%	95%		
R.10-17	III.B	40	34-36	17	114%	107%	105%	100%	1	4%
R.10-25	III.B	35-37	> 37	39	110%	110%	110%	105%	2	7%
R.10-34b	III.B	32,5	34	23	141%	114%	115%	110%	1	4%
R.10-36	III.B	28-29	29	21	136%	115%	115%	115%	4	15%
R.13-7	III.B	37	37	23	161%	117%	115%	120%	2	7%
R.13-21	III.B	32	33	20,5	156%	117%	115%	125%		
R.16-1	III.B	36-37	41,5	30	122%	122%	120%	130%	2	7%
R.16-20	III.B	-	30-31	13,5	-	121%	120%	135%	2	7%
R.16-21	III.B	32,5	32,5	15	217%	132%	130%	140%	3	11%
R.16-23	III.B	30	34,5	26	115%	132%	130%	145%		
R.16-28	III.B	37	35-36	28	104%	136%	135%	150%		
R.16-29	III.B	32	35,5	30	107%	133%	135%	155%	3	11%
R.16-31	III.B	30	32-34	25	91%	143%	140%	160%	1	4%
R.16-32	III.B	28	32	24	117%	142%	140%			
R.16-37	IV	29	31,5-32	13	81%	141%	140%			
R.27	III.B	34,5	31	34	101%	156%	155%	180%	3	11%
R.30-14	III.B	35	35	29	121%	156%	155%			
R.31-1	III.B	36	36	20	180%	157%	155%			
R.40-1	III.B	ca.29	29	14,5	-	161%	160%	215%	1	4%
R.40-19	III.B	29	30	22	132%	179%	180%			
R.41	III.B	37	37	28	132%	180%	180%		27	100%
R.43-7	III.B	34	39	29	117%	182%	180%			
R.43-8	III.B	28?	28	20	-	27	217%	215%		
R.43-10	III.B	31	36	17	182%					
R.43-11	III.B	28	30	18	156%					
R.30-22	III.B	ca. 68	ca. 70	62	ca.110%					
R.39-1	III.B	48	46 et 48	36	133%					
R.40-2	III.B	56,5	60,5	36	157%					
coll. 1										
coll. 2										
coll. 3										
coll. 4										
coll. 5										
coll. 6										
Total =		940,5		809,5						
Moyenne =		34,83		25,30	138%					
					IREC					

presque la moitié des *Metae* montre un IREC de l'ordre de 100% c'est-à-dire un profil carré où H tend à égaler D. Le reste ne dépasse guère l'indice 150% qui correspond à un diamètre valant 1 fois et demi la hauteur. Seule une meule (R.16.21) se situe dans la norme classique (221%) avec un IREC de 217%.

Figure 4 : Distribution de l'IREC des *Metae* d'Orvieto (MRB)



32. Enfin, la valeur moyenne de l'IREC des *Catilli* et celle de l'ensemble des meules et ébauches de MRB d'Orvieto confirment le caractère trapu de cette production dans son ensemble (Fig.5). En effet l'IREC moyen à Orvieto, *Catilli* et *Metae* confondus, est de 151% ce qui signifie qu'en moyenne le diamètre des meules mesure 1 fois et demi la hauteur.

Figure 5 : IREC moyen des MRB d'Orvieto

Il existe d'ailleurs un écart assez important entre les *Metae* (IREC 138%) et les *Catilli* (IREC 177%). Ces derniers s'avèrent de profil plus aplati confirmant que ce sont bien les *Metae* à porter l'essentiel de la massivité, mais celle-ci touche aussi largement les *Catilli* puisqu'ils sont loin de la moyenne classique (221%).

IREC moyen ORVIETO			
	Total	NR	moyenne
D CAT	1326,5	40	33,16
D MET	940,5	27	34,83
total	2267	67	33,84
H CAT	449,25	24	18,72
H MET	809,5	32	25,30
total	1258,75	56	22,48
IREC moyen			151%

33. On nuancera cependant en notant que la distribution de l'IREC des *Catilli* (Fig.6) indique l'existence en leur sein d'une fraction non négligeable de meules (ca. 33%) dont l'IREC est compris entre 200 et 225%, répondant ainsi a priori à un modèle plus classique. Ce fait renforce l'impression d'une dualité des produits meuliers d'Orvieto comme on l'a remarqué sur plusieurs paramètres.

Figure 6 : Distribution de l'IREC des *Catilli* d'Orvieto (MRB)



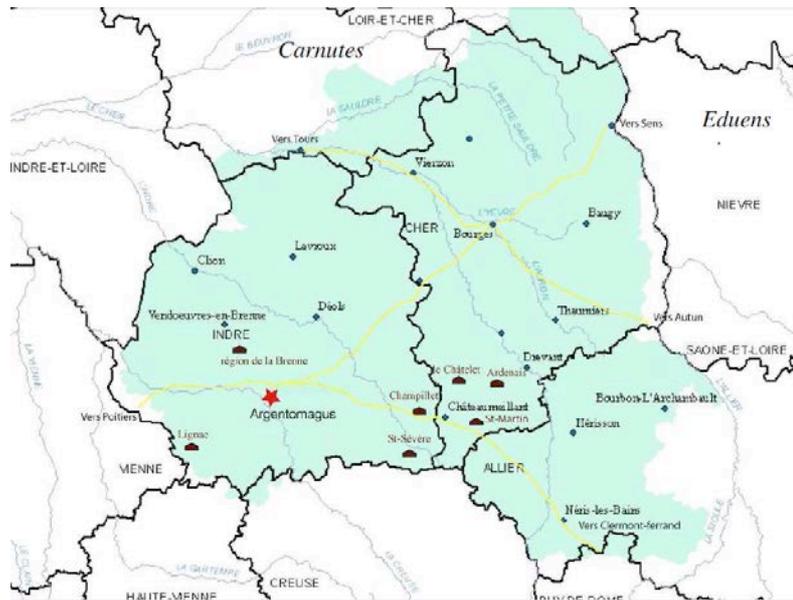
Cette fraction plus mince et de facture classique suggère la possibilité d'une datation plus récente pour une partie de la production dès lors que l'on admet, sauf exception (cf. Portus), une plus grande ancienneté des meules trapues, sinon qu'elles correspondraient surtout à la période molinologique ancienne (voir *infra*).

Ateliers : IREC à neuf du CHAUDRY

34. Notre second exemple concerne des meules non pas trapues mais classiques, dont le rapport D/H est lui aussi classique, c'est-à-dire proche de 221%. Il s'agit de l'atelier du Chaudry situé dans le centre de la France, dans le Sud du département du Cher.

Figure 7 : Ateliers meuliers, oppida et agglomérations antiques autour de l'atelier du Chaudry (St. Martin)

Ce centre meulier fait partie d'un groupe d'ateliers⁷ et se situe non loin des oppida de Chateameillant et de Hérisson. Il est proche de l'agglomération antique de Drevant et (Fig.7) se situe au centre d'un triangle formé par les villes antiques bituriges d'Argentomagus, Bourges et Nérès-les-Bains qui pouvaient sans peine être reliées par voies d'eau et routière combinées⁸.



Les meules du Chaudry sont constituées d'ébauches à divers stades de façonnage dont une grande partie peu avancés (stades I et II). Elles se caractérisent par un diamètre assez fort (moyenne 43,21 cm soit 24 dgt). Les hauteurs sont également assez élevées (moyenne 20,34 cm soit 11 à 12 dgt). L'échantillon est assez homogène car de nombreuses meules présentent une hauteur de 20 à 22 cm correspondant à cette moyenne.

Figure 8 : Ebauches de MRB du Chaudry - D, H et IREC

35. L'essentiel des meules (12 sur 26 soit 46%) présente un IREC groupé sur les valeurs 200-220%. Un autre ensemble apparaît disséminé sur des IREC plus faibles (D mesurant 170-180% de H) qui indiquent une tendance trapue. Celle-ci correspond à de fortes hauteurs (22 à 25 cm -en violet sur la Fig.8) qui ne sont pas seulement dues à des ébauches frustes puisqu'on les observe sur des meules de stade avancé (IV ou V). Ces meules dont la hauteur mesure 12 à 14 dgt pourraient représenter une composante trapue, éventuellement dotée d'une hauteur utile importante (sans doute 8 voire 10 dgt).

IREC Le CHAUDRY						Taux d'USURE sur moyennes 221 / 395%		Note
EBAUCHES Ref. n°	Genre	STADE Façonnage	D. cm	H	IREC D / H			
M. 007	META	V	44	22	200%	-12%		
M. 026	META	II.B	40	21	190%	-18%		
M. 027	META	II.B	46	22	209%	-7%		
M. 028	META	II.B	43	20	215%	-3%		
M. 029	META	I	57	18	317%	55%	usée ou H faible	
M. 030	META	II.A	44	21	210%	-6%		
M. 031	META	II.B	45	24	188%	-19%	forte H	
M. 035	META	II.A	41	20	205%	-9%		
M. 036	META	II.B	40	20	200%	-12%		
M. 037	META ?	II.A	52	17	306%	49%	usée ou H faible	
M. 039	META	II.B	43	20	215%	-3%		
M. 042	META	II.B	44	21	210%	-6%		
M. 043	META	III.B	42	23	183%	-22%	forte H	
M. 038	META	III.B	26	13	200%	-12%		
M. 040	META	III.B	61	42	145%	-44%	très forte H	
M. 008	CAT	V	38	18	211%	-6%		
M. 044 Bernon	CAT	IV	36	21	171%	-29%	forte H	
M. 032	CAT	I	36	15	240%	11%	utilisée ou H un peu faible	
M. 033	CAT	I	36	22	164%	-33%	forte H	
M. 034	CAT	III.A	47	25	188%	-19%	forte H	
M. 025	CAT	V	40	12,5	320%	57%	usagée ou H faible	
M. 041	CAT	II.A	48	22	218%	-2%		
ACH 1	CAT	IV	43	19 - 20	221%	0%		
ACH 2	CAT	IV - V	48	20 - 21	234%	7%		
ACH3	META	III.B	41	13 - 13,5	309%	51%	usagée ou H faible	
26 ACH5	META	III.B	42 - 43	15 - 17	266%	26%		
			1123,5	528,75				
moyenne			43,21	20,34	212%			
sans la M.040			42,50	19,47	218%			
sans M.040 ni M.029, M.037, M.025 et ACH.3)			872,50	426,0	205%		IREC moyen	

36. L'IREC du Chaudry, *Metae* et *Catilli* confondus, est de 212% et se rapproche plus encore (218%) de la moyenne générale (221%) si l'on retire de l'échantillon la meule M.040 dont

⁷ Ste Severe, Champillet, le Châtelet, Ardenais

⁸ Cette combinatoire de voies fluviales et routières pour la diffusion des produits de ce groupe d'ateliers ainsi que celle des produits meuliers provenant du Massif Central par la Loire, le Cher et le réseau local a été présentée par mes soins dans un séminaire de Paris I (Chr. Petit, B. Pasquini) consacré au Portage fluvial et tenu à la MAE de Nanterre le 15 Décembre 2017.

la hauteur (42 cm, 24 dgt) est, tout comme le diamètre (61 cm soit 32 dgt ou 2 pieds), hors norme et traduit une fabrication spéciale. L'IREC de chaque meule indique un degré d'usure nul, le plus souvent exprimé de manière négative ce qui traduit des hauteurs assez élevées et une tendance au caractère trapu (IREC 180 à 200% plutôt que 200 à 220%). Il est ainsi possible que le Chaudry se situe dans une tradition géométrique de meules épaisses, à caractère trapu et à Indice de Rectangularité assez faible. Il faut prendre en compte la puissance de la hauteur utile pour savoir s'il s'agit de meules simplement hautes mais à hauteur utile commune (i.e de 4 à 6 dgt) ou de fabrications dont l'épaisseur correspond à une potentialisation de la hauteur utile (plutôt alors sur 8 sinon 10 dgt – voir sur cet aspect du Chaudry le **CHAP.17** parties 5B et 6).

37. Un petit groupe de 6 meules du Chaudry (5 *Metae* et 1 *Catillus*) soit 23% se distingue par un IREC important (de l'ordre de 250 à plus souvent 300% outrepassés). Cet indice élevé laisse croire à des meules usées (degré d'usure de 11, 26 ou plus souvent 50%) alors qu'il s'agit d'ébauches ou de meules neuves. La rectangularisation du profil que traduit l'IREC est, pour 2 des 6 cas, due en partie à un diamètre important (52 et 57 cm) mais pour ces 6 meules elle est en réalité surtout due à une hauteur de fabrication faible, le plus souvent située sur 15-18 cm (soit dans le 3^e palme, de 8 à 10 dgt) voire sur 13 cm (c'est-à-dire en dessous de 8 dgt soit le demi-pied). S'agit-il de productions répondant à un modèle mince ou bien présentant une minceur accidentelle ?

Pour s'assurer qu'il s'agit de fabrications ratées dont la hauteur insuffisante aurait causé la mise au rebut il faudrait s'assurer que la hauteur utile est elle aussi insuffisante. Dans le cas contraire il peut s'agir tout simplement d'un modèle mince, dont la faible hauteur totale serait compensée par une faible hauteur passive (hauteur du cône chez les *Metae* et HCo ainsi que hauteur de trémie HTr chez les *Catilli*). Cela montre qu'il est difficile d'interpréter le seul IREC ou la seule hauteur au plan individuel, celui de chacune des meules. Ces paramètres doivent toujours être appréhendés au sein de groupes et en regard de leurs bornes générales.

Meules MINCES : IREC de l'atelier de La Lande

38. L'existence de meules à caractère mince et donc à forte rectangularité de leur profil dès fabrication semble apparaître deci-delà pour l'Antiquité romaine bien qu'il faille toujours alors s'interroger sur leur chronologie réelle. On constate en effet que certaines meules, et surtout certains groupes ou assemblages d'ateliers, présentent un IREC non pas centré sur la zone 200-220% mais plus important, de l'ordre de 300 à 500%, c'est à dire que leur diamètre vaut 3 à 5 fois la hauteur au lieu de l'habituel canon antique $D = 2H$ (IREC 200%). Avant de revenir plus globalement sur ce sujet (voir *infra*) notamment en comparant l'IREC moyen de 18 ateliers, on présentera ici le cas de celui de la Lande et La Vernhe dans l'Aveyron rapidement publié en 1997 dans un article centré sur les traces chimiques de leur usage minier (MORASZ, PULOU 1997).

73- MEULES des Ateliers de La LANDE & de La VERNHE (MORASZ, PULOU 1997)					
Réf.	CAT/META	DIAM.	H	D / H	Taux d'USURE sur moyennes 221/395%
La LANDE -1	CAT	70	14	500%	160%
La LANDE -2	CAT	70	17	412%	110%
La VERNHE -1	CAT	75	17	441%	126%
La VERNHE -2	CAT	60	18	333%	64%
La VERNHE -3	CAT	60	17	353%	76%
La VERNHE -5	CAT	36	12	300%	45%
La VERNHE Fig.4	CAT	61,5	15	410%	109%
8 MACAROU n°1	CAT	54	18	300%	45%
		486,5	128		
		moyenne 60,81	16,0		
		Pes monetalis 33 dgt	9 dgt	Pied 28,2	
La VERNHE -8	META	40	10	400%	103%
La LANDE -8	META	66	15	440%	126%
La LANDE FIG.5	META	62,5	17,5	357%	78%
PEYRUSSE -3	META	37	10	370%	86%
5 PEYRESIGNADE-2	META	54	14	386%	95%
		259,5	66,5		
		moyenne 51,90	13,30		
		Pes monetalis 28 dgt	7,5 dgt	Pied 28,2	

Figure 9 : Diamètres, Hauteurs et IREC élevé sur l'atelier de La Lande-La Vernhe (Aveyron, FR)

Sur ce centre producteur (Fig.9), l'IREC apparaît très élevé puisque le minimum est de 300% et le maximum 500%. L'IREC moyen observé est proche de 400% (383%)⁹. L'essentiel de ces meules en grès montrent un IREC situé entre 350 et 450%. Les diamètres sont très élevés, en moyenne 57,38 cm ce qui correspond à 2 pieds (32 dgt) et situent ces gabarits presque en limite des fabrications d'époque Romaine, rares au-delà de ce seuil (voir CHAP.10 partie B et Fig.6 ainsi que le CHAP.20). Les hauteurs sont faibles, la grande majorité (10 sur 13) naviguant entre 13 et 18 cm et la moyenne s'établissant à 14,95 cm soit 8 dgt.

39. Il est possible que l'on ait à faire à des meules particulières dont l'indice de rectangularité initial serait fort, en d'autres termes des meules minces. Il pourrait par exemple s'agir d'individus dont l'IREC à neuf serait de non pas 220% mais par exemple 300% (le diamètre mesurant 3 fois la hauteur), ce qui en ce cas (diamètres de 60 à 70 cm) donnerait une hauteur initiale de l'ordre de 20 à 33 cm soit 12 à 16 dgt (3/4 de pied à 1 pied) sinon un peu plus. Si l'IREC à neuf était par exemple de 400%, la hauteur neuve serait seulement de 15 à 17,5 cm soit à peine au-delà du demi-pied (8 dgt et 14-15 cm). Ces deux niveaux d'épaisseur étant courants chez les meules (voir CHAP.11), une production de meules minces et à la fois de grande envergure est envisageable à La Lande-La Vernhe. Dans ce cas on pourrait s'interroger sur la possibilité qu'ait existé, dans les contextes industriels et notamment miniers, un type de meule particulier, mince et large, plus proche en cela des modèles médiévaux et modernes (voir *infra*).

40. Toutefois il est possible que les meules de La Lande et la Vernhe aient répondu au canon classique (IREC 221%). En effet, il suffirait pour cela, étant donné le grand format de leur diamètre (60 à 70 cm soit 2 à 2,5 pieds) que les hauteurs initiales aient été de 27 cm (pour D.60) à 32 (pour D. 70 cm). La hauteur moyenne observée est de 14,95 cm et la majorité des épaisseurs de ces meules va de 14 à 18 cm, soit à peu de chose près la moitié de 27 et 32 cm. L'usure aurait donc été de l'ordre de 50% sur ces meules épaisses centrées sur un IREC classique de 220%. Or cette fonte d'un facteur 2 est bien celle que l'on observe sur la population générale : IREC à neuf de 221% et IREC d'usure de 395% -voir *supra* § 28.-29.).

41. L'éventualité que les ateliers de La Lande et La Vernhe aient ainsi produit des meules minces n'est donc pas certaine, il faudrait pour cela que les meules publiées soient neuves ce qui n'est pas assuré en raison du caractère peu descriptif de la publication¹⁰. Un caractère usagé est possible puisque 8 des 3 exemplaires ont été analysés comme porteurs d'anomalie géo-chimique pouvant être causée par le broyage de minerai tandis que la faiblesse des épaisseurs minimales indiquées (vraisemblablement la hauteur du flanc pour les *Metae* et celle de l'œillard pour les *Catilli* – Tab.1 de l'article) semble bien aller dans ce sens. Aussi retiendra-t-on plutôt la possibilité que soient sortis des ateliers de La Lande-La Vernhe des produits classiques, non particulièrement minces et d'un IREC à neuf en moyenne de 220%. Leur seule originalité, notable et qu'il faut sans doute relier au contexte industriel, réside dans leur grand format, ces meules ayant une envergure de 2 à 2,5 pieds.

4. La question des Meules Minces dans l'Antiquité : chronologie et spatialité de l'IREC

⁹ L'IREC moyen de 383% est donné par le rapport total des diamètres (746 cm) / total des hauteurs (194,5 cm).

¹⁰ La conicité n'est pas non plus indiquée, mais l'indication dans le Tab.1 de 2 hauteurs rend hautement probable qu'il s'agisse de meules coniques.

42. La question se pose cependant de savoir s'il a existé dans l'Antiquité romaine des meules minces, pour la bonne raison que ces dernières seront le modèle exclusif du Moyen Age et de l'époque moderne, globalement de l'An 900 à 1900.

En effet, le rapport D/H (IREC) observable sur les meules neuves d'époque moderne (XV^e-XIX^e s.) est souvent de l'ordre de 400% sinon de 5 ou 600%, ce qui signifie la fabrication de modèles amincis.

Ainsi, au XVI^e s. dans les Alpes à Quaix (BELMONT 2001) les meules sortent de carrière à la dimension de 65 pouces pour le diamètre (185 cm) sur 11 pouces de hauteur (31 cm), soit un IREC de 590%. En val d'Aoste (CASTELLO 2018) les restes de meules en pierre ollaire trouvés en carrière ont un IREC variant le plus souvent entre 400 et 500% (les diamètres mesurent 60 à 90 cm). En 1788, *l'Encyclopédie des Arts & Métiers* mécaniques, dite Panckouke, indique que les meules (NB : moulins à eau et à vent) ont pour dimension un diamètre de 5 à 7 pieds et une épaisseur de 12, 15 ou 18 pouces, ce qui donne un IREC probablement de 500 et 400% pour le diamètre de 5 pieds (H.12 et 15 pce) et de 560 et 466% pour le diamètre de 7 pieds (H.15 et 18 pce). L'IREC pouvait atteindre 600% si le diamètre de 6 pieds (72 pce) était associé à l'épaisseur de 12 pouces.

On prendra deux exemples modernes avant de revenir sur l'existence ou non de modèles minces dans l'antiquité.

Meules Rhénanes de 1828 & meules des Flandres de 1600 à 1700

43. En 1828, certains modèles de meules rhénanes (HORTER 2003, p. 171) sont fabriqués dans des épaisseurs allant de 11 à 17 pouces clairement liées à des diamètres précis **comme l'indique leur désignation en nombre de pouces** (colonne 2 de la Fig.10). L'IREC de ces meules neuves varie de 327 à 371%, la moyenne étant de 356%. La croissance de l'Indice de Rectangularité à mesure de l'augmentation du diamètre fait clairement ressortir l'amincissement relatif des meules : plus l'envergure est grande plus en proportion la meule s'amincit. Il faut parler de baisse relative de la hauteur des meules.

Figure 10 : IREC de meules neuves de Rhénanie (HORTER in BARBOFF 2003)

désignation	mesures Pied + PCE			IREC PCE (D / H)	
	D	total PCE	progress. PCE		
17 Siebzehner	5 Pd + 3 PCE	63	+ 5	17	371%
Sechzehner	4 Pd + 10	58	+ 4	16	363%
Fünfzehner	4 Pd + 6	54	+ 4	15	360%
Vierzehner	4 Pd + 2	50	+ 4	14	357%
Dreizehner	3 Pd + 10	46	+ 4	13	354%
Zwölfer (12, twelve)	3 Pd + 6	42	+ 6	12	350%
11er Quere (largeur)	3 Pieds	36	-	11	327%
		349		98	356%
					360%
					IREC

44. Jean Bruggeman a par ailleurs publié les dimensions d'une série de meules des Flandres relevées au long des XVII^e et XVIII^e siècles par les contrôleurs des hôpitaux locaux qui possédaient des moulins à eau et à vent dans cette région (BRUGGEMAN 2003). L'exploitation des tables publiées par cet auteur permet (Fig.11 en page 549) entre autres possibilités, de déterminer les meules neuves, les dimensions de l'usure maximale¹¹ et de calculer l'IREC. Les épaisseurs les plus importantes permettent, en relation avec les diamètres, de cerner 27 meules neuves sur les 212 (soit 12,7%) et pour le seul XVII^e s. Le diamètre varie de 149 à 205 cm, la moyenne s'établissant à 180 cm (66 pouces).

¹¹ Voir notre CHAP.11 consacré aux Hauteurs.

L'épaisseur de la meule est étroitement corrélée au diamètre (rapport H/D de 21 à 24% moyenne 22,4%) et varie de 12 à 17 pouces, situation identique à celle que nous venons de voir en Rhénanie. L'IREC moyen est de 446% (contre 356% pour l'exemple de la Rhénanie) et varie de 395 à 486 %, sans pics de fréquence. Le diamètre mesure donc entre 4 et 5 fois la hauteur. On est ainsi en présence d'un ensemble homogène qui ne montre pas d'amincissement relatif des meules à mesure que le diamètre augmente. Mais par rapport aux meules antiques, l'épaisseur est proportionnellement 2 fois moindre (Flandres $D = 4,4 H$ Antiquité $D = 2,2 H$).

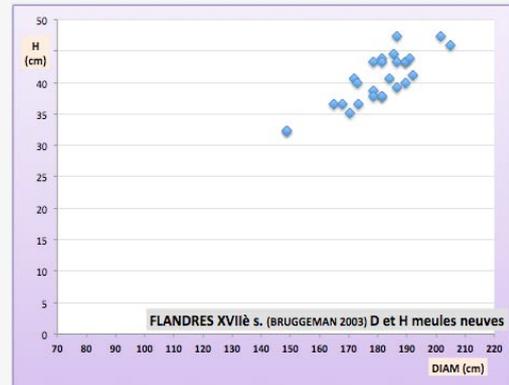
en page suivante Figure 11 : Table des dimensions des meules des Flandres (extrait)

Figure 11 : IREC des meules des Flandres (BRUGGEMAN in BARBOFF 2003, p. 236)

IREC des Meules des FLANDRES XVII-XVIIIè s.							
source : BRUGGEMAN in BARBOFF 2003, p.236							
N°	DIAM	H	H/D	IREC H / D	précisions	Date	Lieu
8	173	31	18%	558%	gisante		
9	184	26	14%	708%	courante	1606	Flandres moulin à vent A
12	178	-			gisante	1627	
13	178	31	17%	574%	courante		
16	178	-			gisante	1636	
17	178	24	13%	742%	courante		
20	178	21	12%	848%	gisante	1642	
21	178	20	11%	890%	courante		
24	178	16	9%	1113%	gisante	1648	
25	173	40	23%	433%	courante		
28	178	11	6%	1618%	gisante	1654	
29	173	34	20%	509%	courante		
32	187	23	12%	813%	gisante	1659	
33	189	38	20%	497%	courante		
34	196	17	9%	1153%	gisante	1726	
35	203	32	16%	634%	courante		
38	205	30	15%	683%	gisante	1737	
39	205	46	22%	446%	courante		
10	164	31	19%	529%	gisante	1606	Flandres moulin B
11	160	34	21%	471%	courante		
14	164	15	9%	1093%	gisante	1627	
15	173	28	16%	618%	courante		
18	173	20	12%	865%	gisante	1636	
19	164	33	20%	497%	courante		
22	-	17			gisante	1642	
23	164	31	19%	529%	courante		
26	164	16	10%	1025%	gisante	1648	
27	150	30	20%	500%	courante	1654	
30	164	11	7%	1491%	gisante		
31	164	25	15%	656%	courante	1726	
36	203	19	9%	1068%	gisante		
37	201	35	17%	574%	courante	1726	
40	173,2	21,6	12%	802%	gisante	1606	Flandres à vent C
41	171,8	31,1	18%	552%	courante		
42	186,7	17,5	9%	1067%	gisante	1627	
43	186,7	37,8	20%	494%	courante		
44	187	16	9%	1169%	gisante		
48	178,6	21,6	12%	827%	gisante	1648	
49	184,2	29,7	16%	620%	courante		
50	170,5	31,1	18%	548%	gisante	1654	
51	173,2	36,5	21%	475%	courante		
52	170,5	28,4	17%	600%	gisante	1658	
53	173,2	33,8	20%	512%	courante		
54	170,5	28,4	17%	600%	gisante	1659	
55	173,2	33,8	20%	512%	courante		
56	204,3	29,7	15%	688%	gisante	1726	
57	204,3	40,6	20%	503%	courante		
58	175,9	32,4	18%	543%	gisante	1606	Flandres moulin à vent D
59	189,4	43,3	23%	437%	courante		
60	184	31,1	17%	592%	gisante	1627	
61	184	33,8	18%	544%	courante		
62	184	29,7	16%	620%	gisante	1636	
63	184	32,4	18%	568%	courante		
64	184	27,07	15%	680%	gisante	1642	
65	186,7	26,7	14%	699%	courante		
66	184	22,3	12%	825%	gisante	1648	
67	186,7	26,3	14%	710%	courante		
68	186,7	23,6	13%	791%	gisante	1654	
69	189,4	39,9	21%	475%	courante		
70	186,7	23	12%	812%	gisante	1658	
71	189,4	37,8	20%	501%	courante		
72	205,7	-	-	-	gisante	1726	
73	205,7	23,6	11%	872%	courante		
74	184	14,8	8%	1243%	gisante	1606	Flandres à vent E
75	181,3	43,9	24%	413%	courante		

- Les plus fortes hauteurs désignent les meules neuves. Elles correspondent à 21-23% du diamètre soit environ 1/5è -

- La série complète montre que la hauteur ne mesurait pas systématiquement 25% du diamètre, les épaisseurs suivantes étaient favorisées et acceptaient une certaine variabilité du diamètre mais comme le montre le diagramme ci-dessous, la dépendance est étroite et en moyenne H vaut 22,4% de D -



- Les diamètres varient de 149 à 205 cm soit de 59 à 76 pouces (de 5 pieds à 6 pieds 4 pce). La moyenne est de 180,27 cm soit 66,5 pouces -

- Les hauteurs varient de 32,4 à 46 cm soit de 12 à 17 pouces (1 pied à 1 pied 5 pce). La moyenne est de 40,46 cm soit 15 pouces -

Meules TRAPUES

45. Il est à présent intéressant d'examiner l'IREC de nos ateliers de l'Age du Fer et d'époque Romaine. Le classement des ateliers

Figure 12 : IREC des meules neuves de l'Antiquité - ateliers de l'Age du Fer et de la période Romaine

en ordre croissant d'IREC montre, à travers un échantillon de 665 mesures et 18 centres producteurs (Fig.12), que **Els Vilars**¹² et **Orvieto** forment un groupe limité caractérisé par des meules trapues (IREC inférieur à 200%) où le diamètre tend à mesurer entre 1 et 1,5 fois la hauteur. Il est probable que ce groupe ait une signification chrono-logique. Il est complété par l'atelier du **Portus** qui, d'époque romaine¹³, constitue pour celle-ci une anomalie : les meules amples, de forte conicité et également épaisses étaient vraisemblablement destinées à un usage particulier, de nature industrielle¹⁴. Toutefois si son IREC moyen de 188% le rend proche des centres de production à meules trapues tels qu'Els Vilars et Orvieto, ce rapport de presque 2 entre un diamètre moyen de 50,83 et une hauteur de 26,83 cm montre que Portus relève du modèle typique de l'Antiquité où $D = 2 H$. L'importante épaisseur des meules de Portus (presque 1 pied) montre que celle-ci a été haussée afin de respecter ce canon.

Un second groupe d'ateliers, le plus fourni, montre un Indice de Rectangularité du profil des meules qui se trouve centré sur la moyenne générale (221%) : en effet la moyenne de ces ateliers varie très graduellement de 212 à 271%.

IREC moyen sur les ATELIERS					
ATELIER	\bar{x} IREC	\bar{x} IREC MET.	\bar{x} IREC CAT.	Notes	
ELS VILARS	129% NR 26	105% 8	168% 8	9 indéterminés : IREC 234%	
ORVIETO	151% 56	138% 27	170% 23		
PORTUS	188% 24	190% 10	208% 10	1,5 à 2 pieds ; conicité élevée (20° et surtout 30-40°) ; surtout ébauches frustes; LTD à III/IVe pC	
Le CHAUDRY	212% 26	213% 17	212% 9		
La MARÈZE	213% 12	195% 7	244% 5		
AVRILLY	224% 16	262% 3	195% 7		
Les FOSSOTTES	237% 60	249% 10	211% 25		
BORKEN	242% 12				
ILLA PEDROSA	247% 59		248% 29		
EIFEL	250% 51	203% 8	234% 5		
OBERNAI	256% 6	252% 1	237% 4	IREC un peu élevé : fait régional ou cause = ébauches ?	
BAD NAUHEIM	271% 14	278% 10	248% 4	IREC assez élevé pour des meules de stade avancé (IV ou V) sauf 1	
AUTUN Arroux	325% 11	352% 7	295% 4	atelier 80-100 p ; meules de 2 pieds amincies : usage particulier	
AGDE	334% 23	247% 1	162% 2	principalement meules utilisées	
London TEX.88	342% 54	282% -	277% 23	avant Xè s pC ; modèle connu à Dorestadt VII-IXè pC : un peu utilisées?	
London POULTRY	355% 212	427% -	326% -	75-80 pC ; IREC élevé (WILLIAMS, PEACOCK - 2001 ; HILL, ROWSOME 2011)	
CHABLES	385% 24	428% 9	255% 10	IREC très élevé car Hauteurs anormalement faibles	
La LANDE La V.	414% 14	390% 5	380% 8	IREC très élevé, de type M.Age-Moderne.	

MEULES AMINCIES

Figure 13 : Ateliers à IREC fort (300 à 400%)

46. Enfin il existe un 3è groupe, plus limité en nombre (4 ateliers, Fig.13) et caractérisé par des meules minces. Le diamètre y mesure en effet 3 à 4 fois la hauteur (IREC moyen allant de 325 à 414%). Pour comparaison on a ajouté à ce groupe les meules en basalte du site saxon tardif de **Londres Tex.88**¹⁵ : les meules sont de modèle alto-médiéval caractéristique (minces et plates avec épais collier autour de l'oeillard) et d'un type

	IREC, Diamètre, Hauteur, Conicité								Groupe IREC 300-400%			
	CHRONO	Conicité °	\bar{x} IREC	\bar{x} D	Format	\bar{x} H	Format	si D = 2H			Modèle	
								H	écart	% écart		
AUTUN Arroux	70 - 100 pC	14°	325%	59,55	32 dgt	2	18,33	10 dgt	29,78	-11,45	-38%	3,25 H
CHABLES	70 - 100 pC	16°	385%	43,54	24 dgt	1,5	11,31	6 dgt	21,77	-10,46	-48%	4 H
POULTRY	75 - 80 pC	9,3°	355%	39,08	23 dgt	1,5	11,01	6 dgt	19,54	-8,53	-44%	3,5 H
La LANDE	-	16°	414%	57,57	32 dgt	2	13,9	8 dgt	28,785	-14,89	-52%	4 H
TEX 88 Late-Sax.	600 - 800 pC	0°	342%	25,98	14 dgt	7/8è	7,61	4 dgt	12,99	-5,38	-41%	3,5 H

¹² ALONSO *et al.* 2011.

¹³ Daté LT-D à IIIè voire IVè s. par les auteurs.

¹⁴ Diamètre moyen à Portus : 50,56 cm (soit ca. 28 dgt ou 1 pied $\frac{3}{4}$), hauteur moyenne : 26,83 cm (soit ca.15 dgt), conicité moyenne : 31,9° donc très élevée même si, comme semblent l'indiquer quelques exemplaires, elle pouvait être rabattue vers la zone des 15-20° suite aux démaigrissements du cône le portant vers les stades de finition.

¹⁵ FRESHWATER 1996 et PARKHOUSE 1997.

connu du VII^e au IX^e à Dorestad. L'IREC moyen de Tex.88 s'établit à 342% mais les meules ont peut-être été un peu utilisées (l'IREC à neuf a pu être inférieur mais en aucun cas relever de la moyenne générale antique de 221%). Petit (en moyenne 26 cm), le diamètre pourrait traduire un usage particulier pour ces meules saxonnes tardives.

L'atelier urbain secondaire de **Poultry**, toujours à Londres¹⁶, daté de 75-80 pC, présente un IREC analogue (moyenne 355%) et ses meules volcaniques proviennent de l'Eifel après avoir descendu le Rhin et embarqué en mer du Nord à destination des ports romano-britanniques de l'Essex et du Suffolk¹⁷.

A ce groupe des meules minces appartient l'atelier urbain gallo-romain d'**Autun Fau-bourg d'Arroux** daté de 70-100 pC¹⁸ et dont les meules sont de grand format (moyenne D. 59,55 cm soit 2 pieds). En revanche, leur conicité est tout à fait ordinaire (moyenne 14°) de même que leur hauteur (moyenne 18,33 cm soit 10 dgt). L'IREC moyen, élevé (325%) est donc dû à l'importance du diamètre : l'épaisseur n'a pas suivi la proportion antique classique $D = 2H$ mais celle de 3,25 H, il s'agit donc d'un amincissement relatif plus que d'une minceur.

Plus généralement, l'amincissement relatif qui caractérise les meules de ce groupe correspond à une diminution de la hauteur de 40 à 50% par rapport à la règle $D = 2H$.

47. L'atelier méridional de **La Lande et La Vernhe** dans l'Aveyron¹⁹, montre un IREC bien fort (moyenne 414%) qui caractérise autant *Metae* que *Catilli*. Les produits meuliers de La Lande montrent donc un diamètre 4 fois plus ample que leur hauteur, soit une épaisseur proportionnellement 2 fois moindre que la règle antique classique $D = 2H$ qui se traduit par l'IREC général de 221%. Le diamètre moyen de La Lande, de 57,57 cm, indique un grand format pour l'Antiquité (2 pieds) tandis que la hauteur moyenne de 13,9 cm (soit 8 dgt ou 1/2 pied) est assez faible pour la période même si plusieurs exemplaires sur 17-18 cm pourraient indiquer une norme plus classique. L'atelier de La Lande montre ainsi des meules à la fois minces et affectées d'un amincissement relatif à leur diamètre : selon la règle antique $D = 2 H$ la hauteur serait attendue non pas sur 14 ou 18 cm mais sur 28. Nous avons *supra* que tel a peut-être été le cas.

48. Une place un peu particulière revient au site de **Châbles**²⁰, dont les meules datent de la seconde moitié du I^{er} s. pC. tout en montrant un IREC moyen particulièrement élevé pour la période (385%). Toutefois ses *Catilli*, avec un IREC moyen de 255% se situent dans la marge supérieure de la variation antique. Châbles se singularise en fait par l'extrême minceur de ses *Metae* (9 à 11cm contre 14 à 18 cm pour les *Catilli*). Toutefois il convient de souligner que les meules dont le genre peut être attribué sont rares (au maximum une quinzaine) et qu'une conservation sur place des ratés par défaut d'épaisseur suffisante est envisageable²¹.

Figure 14 : Ateliers à IREC (ca. 250%) un peu plus fort que la moyenne

Néanmoins il est possible que les meules de Châbles aient pu subir l'influence de meules de l'Eifel - *largo sensu* -

IREC, Diamètre, Hauteur, Conicité										Groupe IREC 300-400%		
	CHRONO	Conicité *	x̄ IREC	x̄ D	Format		x̄ H	Format	si D = 2H			
					H	écart			% écart	Modèle		
BORKEN	LT - D	10°	242%	41,33	24 dgt	1,5	17,08	9 dgt	20,67	-3,59	-17%	2,5 H
OBERNAI	LT - D	17°	256%	37,17	20 dgt	1,25	14,5	8 dgt	18,59	-4,09	-22%	2,5 H
BAD NAUHEIM	LT - Ier s. pC	11,6°	271%	36,88	20 dgt	1,25	13,6	8 dgt	18,44	-4,84	-26%	2,5 H et 2,75 H
Les FOSSOTTES	LT - ROM	12,5°	237%	37,72	22 dgt	1+3/8	15,6	8-9 dgt	18,86	-3,26	-17%	2 H et 2,5 H
EIFEL	LT - ROM	15,6°	250%	42,55	24 dgt	1,5	19,77	11 dgt	21,28	-1,51	-7%	2,5 H
				cm	dgt	pied	cm		cm	cm		

¹⁶ WILLIAMS, PEACOCK 2011 (rapport inédit accessible sur Ads) et HILL, ROWSOME 2011.

¹⁷ Sur la diffusion vers la Grande Bretagne des meules de l'Eifel à l'époque antique voir PEACOCK 2013, 153 et pour le Haut Moyen Age voir PARKHOUSE 1997 (conférence de Bruges) et POHL 2010.

¹⁸ JACCOTTEY, BOYER, ALIX 2017.

¹⁹ MORASZ, PULOU 1997.

²⁰ ANDERSON *et al.* 2003.

²¹ Voir sur ce sujet le CHAP.17 § 144. et le CHAP.7 § 21 et 29.

dont les produits étaient diffusés au Haut Empire dans le Nord de la Suisse (par ex. à Augusta Raurica et Vindonissa²²). De fait l'IREC moyen des ateliers rhénans (Fig.14) montre des valeurs un peu élevées situées sur 250% voire au-delà. Leurs meules s'éloignaient donc quelque peu du standard de 220%, la diminution relative de l'épaisseur étant de l'ordre de 10 à 20% (avant dernière colonne sur la Fig.14).

MEULES MINCES altomédiévales : le modèle DORESTAD

49. Il semble ainsi possible que la région rhénane, au sens large (Vosges/Alsace/Rhin moyen/rive Est du Rhin) ait constitué une zone dont les meules ont connu un amincissement relatif. Un phénomène d'amincissement, absolu plus que relatif, a bien été noté par PEACOCK 2013, 74. Il sera largement accru au cours du Haut Moyen Age à travers la mise au point puis la rapide généralisation d'un modèle que l'on pourrait appeler « Dorestad ». On illustrera ce type alto-médiéval par une ébauche du site même de Dorestad (Fig.15) dont la hauteur est de l'ordre de 7 cm et l'IREC de 550%. Les modèles de ce genre rendent bien compte de la révolu-

Figure 15 : Meule mince de modèle « Dorestad » (Dorestad, PARKHOUSE 1976)

tion meulière qui s'est produite à l'époque carolingienne : les meules deviennent minces car elles sont désormais plates et que, au détail près du « bourrelet » ou « collier »²³ qui entoure l'œillard, la hauteur totale se ramène désormais à la hauteur utile.

50. L'adoption de la Meule Plate (voir CHAP. 19) va dès lors libérer le diamètre de la contrainte limitative posée par la conicité et en permettre la croissance quasi illimitée. Ainsi de l'envergure maximale de 2 ou 2,5 pieds dans l'Antiquité, les meules vont régulièrement atteindre 90-100 cm au Moyen Age (soit 3 pieds) puis 1,50 et 2 m vers 1800 (voir *supra* BRUGGEMAN 2003 et table Fig.11).

51. Le foyer d'apparition du modèle mince de type « Dorestad » n'est pas cerné, pas plus que sa chronologie et son mouvement de diffusion. Toutefois ces meules, en version tantôt légèrement conique (y compris à Dorestad même –cf. PARKHOUSE 1976 par ex. Fig. 3b) tantôt et le plus souvent en version totalement plate, apparaissent généralisées avant l'An Mil. On les trouve en Espagne (ANDERSON 2013) y compris dans les productions volcaniques du Cabo de Gata à Almería (Fig.15b), en Italie (par ex. dans la découverte du fleuve Idice avec une envergure de l'ordre de 60 cm)²⁴, sur le Rhin et à son embouchure ainsi qu'au Sud de la zone viking (POHL 2010, PARKHOUSE 1997 et 2014). L'un des principaux centres de production semble avoir été l'Eifel, à la confluence trévière de la Moselle et du Rhin, dont les produits semi-finis fournissaient des emporia comme Dorestad, Haitabu ou Ribe dans le delta du Rhin et le Sud

JONATHAN PARKHOUSE / The Dorestad Quernstones

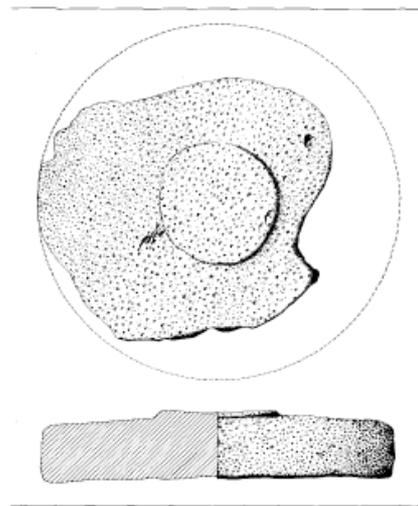


Fig. 6 Dorestad: unfinished and partially worked quernstones, scale 1:6

²² Voir ANDERSON *et al.* 1994.

²³ En Anglais « raised collar », « collar » (WATTS 2002, fig. 11b), « upper collar » ou « raised ridge » (PEACOCK 2013, p. 74 et fig.4.9) ou encore « flanged hopper » (PARKHOUSE 1997).

²⁴ FANTINI 1968, attribuées par BRUN 2017 à l'époque Romaine contre toute évidence typologique.

danois ou, en Angleterre, comme Ipswich (PARKHOUSE 2014). Le modèle « Dorestad » apparaît également en Italie du Nord par exemple dans des productions du Val d'Aoste (CORTELAZZO 2015). Il semble rarement sinon jamais signalé en France où il est peut-être remplacé par un autre modèle, de type Meule Plate de large envergure si l'on en croit des exemples comme celui du Mesnil Aubry en Ile de France²⁵. L'une de ses plus vieilles attestations pourrait être en Angleterre, sur le site romano-britannique tardif (*Late Roman*) de Limpsfield dans la région de Londres (Surrey)²⁶ ou un exemple daté du IV^e s pC sur la côte Sud de l'Angleterre²⁷.

Figure 15bis : Meules ou ébauches à collier (cheminée d'une auberge au Cabo de Gata, ESP., Almeria)²⁸



Figura 51 - Rota presso Tommaso Bove: lato a

Figure 15ter : « Molazza » de Pereto (IT., AQ.)²⁹ D.36 cm



L'AMINCISSEMENT RELATIF

52. En conclusion on soulignera qu'en période ancienne (V-III^e s.) quelques centres meuliers tels ceux d'Els Vilars et d'Orvieto ont produit des meules trapues dont le diamètre tend à mesurer 1 fois et demie la hauteur sinon à l'égal. Mais l'essentiel des meules de l'Age du Fer et de la période Romaine répond à un standard général où il faut 2 hauteurs pour faire un diamètre (règle $D = 2H$).

Cependant, certaines productions antiques s'éloignent de ce canon : elles sont plus minces ou, plus exactement, affectées d'un amincissement relatif et leur diamètre tend à mesurer 2,5 fois la hauteur voir 3 fois (IREC de 250 à 300%). Ces meules amincies sont attestées dès La Tène D et dans une aire ample qui correspond à la zone rhénane (depuis les Vosges jusqu'à l'embouchure du Rhin).

Il se trouve que cette même zone correspondra, au Haut Moyen Age Carolingien, à l'aire de fabrication et de diffusion d'un modèle meulier altomédiéval par excellence, que nous proposons d'appeler « modèle de Dorestad ». Ces meules se caractérisent par leur minceur, avec un Indice de Rectangularité de leur profil plus proche de 500% que de 220% ainsi que par la présence d'un bourrelet annulaire autour de l'œillard. Le plus souvent il s'agit de Meules Plates. Leur diamètre varie d'environ 40 cm à 90 cm (soit de 1,5 à 3 pieds). Le « modèle Dorestad » est

²⁵ GENTILI 2008.

²⁶ PEACOCK 2013, p. 75.

²⁷ A Thundersbarrow Hill dans le West-Sussex (CURWEN 1937, fig. 19-20 d'après PEACOCK 2013, p. 74).

²⁸ Cependant ANDERSON 2013 (p. 211) donne une chronologie antique pour ces ébauches en forme de « sombrero » dont il est difficile de savoir si la protubérance centrale, pas toujours percée, correspond à une meule tournante ou un une gisante (qui obligerait alors à un très large œillard), on peut se demander aussi si ces meules n'ont pas plutôt été l'équivalent des « molazze » italiennes de petit format (Fig.15 ter), broyeurs à manège oeuvrant sur la jante comme un *trapetum* et munis d'un œil carré pour accueillir un axe de bois, inconnues de l'Antiquité.

²⁹ Massimo BASILICI – *Mole e mulini di Pereto* (AQ). Edizioni Lo, s.d. ca 2000-2010, pdf online.

attesté en Espagne et en Italie mais pourrait être rare en France où il est peut-être remplacé par des Meules Plates de grande envergure (2 à 3 pieds) dénuées de bourrelet annulaire à l'œillard.

La chronologie d'apparition et de diffusion du « modèle Dorestad » n'est pas établie mais l'Angleterre romaine tardive et la région de Mayen pourraient être principalement concernées. Il est intéressant de noter que l'aire (anglo-normanno-picarde) du Moulin Plat antique ne correspond pas à celle du modèle alto-médiéval plat de Dorestad. Elle la confronte cependant par la Gaule Belgique (voir **CHAP.19**). Une conjonction technique alto-médiévale est envisageable, quelque part entre Oise/Somme et Rhin, entre la technologie des Meules Plates et celle des meules minces et devrait être enquêtée par de futurs développements de l'archéomolinerologie.

53. On aurait cependant tort de limiter la problématique au passage simple et linéaire de meules antiques épaisses d'un demi-diamètre vers des meules alto-médiévales plates et minces. En effet, les données disponibles montrent qu'il a existé dans l'Antiquité et notamment dès la seconde moitié du Ier siècle pC notamment en milieu urbain, des ateliers produisant des meules minces et surtout affectées par un fort amincissement relatif à leur diamètre (Groupe des ateliers à IREC 300-400% - *supra* **Fig.13**). Ces fabrications, de conicité courante, sont caractérisées par un diamètre variable mais assez élevé (zone des 24 à 32 dgt soit un gabarit de 1,5 à 2 pieds) associés à une épaisseur faible (11 à 18 cm soit 6 à 10 dgt). Toutefois le rapport entre diamètre et hauteur traduit surtout un important amincissement relatif : l'écart par rapport au standard antique ($D = 2H$, soit un IREC moyen de 221%) est de 40 à 50%. En d'autres termes ces meules sont amincies de moitié et le diamètre valait de 3,5 à 4 fois la hauteur et non plus 2.

54. Ce modèle, qu'on pourrait appeler MAR (Meules à Amincissement Relatif) par rapport au standard 2H (meules dont le Diamètre mesure 2 Hauteurs), ne se distingue pas par la typologie mais seulement par son rapport entre diamètre et hauteur. En dehors des ateliers il peut être repéré à travers un IREC très élevé, notamment entre 500 et 1000%³⁰. Un large sondage dans notre corpus de comparaison montre (**Fig.16**) qu'à l'exception d'une présence à la période molinologique ancienne (P.1 : V-IIIe s. aC)³¹, ces meules amincies apparaissent à La Tène C2-D soit au II-Ier s. aC et deviennent nombreuses sinon systématiques à la période romaine, sans aucun doute en relation avec l'augmentation du diamètre des meules et du gabarit moyen des assemblages. Une petite liaison semble également exister au sein des assemblages d'utilisation entre présence de meules MAR (fort IREC d'usure) et Meules Plates puisque celles-ci sont légèrement plus présentes que dans la population générale³².

L'Antiquité Romaine avait donc conscience de la nécessité d'abaisser l'épaisseur des meules à mesure que leur diamètre était plus important, en quittant le standard $D = 2 H$ au profit de $D = 3$ sinon $4 H$. Il est probable, la suite de l'histoire le montre, que cette préoccupation de diminution de la hauteur ait correspondu à un souci d'alléger les meules.

en page suivante :

Figure 16 : Assemblages avec IREC très fort, supérieur à 500%

³⁰ C'est en effet la valeur (1080%) que donne l'IREC d'usure (IREC.Us) des *Catilli* neufs d'Autun Arroux dès lors que restituant graphiquement l'usure maximale, on réduit la hauteur de l'œillard (HOE) à environ 1 cm.

³¹ Sans doute en rapport avec les meules de grand diamètre de cette époque et peut-être aussi en relation avec les *Catilli* sans trémie comme le suggère le cas de Pech Maho.

³² En effet les Meules Plates sont attestées dans 11 des 20 assemblages testés, soit 55% alors qu'elles sont présentes dans 33 des 65 assemblages d'utilisation du corpus d'ensemble, soit 50% : l'échantillon test n'est donc pas biaisé concernant les MPL. En revanche celles-ci sont associées à 10 des 15 assemblages montrant des Meules à Amincissement Relatif (meules utilisées à IREC > 500%) soit sur 66,5% de l'échantillon. Les MAR sont donc un peu plus souvent associées aux MPL.

Figure 16 : Assemblages avec meules présentant un IREC très fort, supérieur à 500%

Très FORT IREC dans les assemblages d' UTILISATION							
SITE	CHRONO	IREC > 500%		\bar{x} D	% MPL	Notes	
		Q. / total MRB	%				
P.1	PECH MAHO <i>Catilli</i>	VI BC - III aC	8 / 35	23%	45,39	2%	511-518-520-520-539-543-563-586%
	PUIG CASTELLAR	III aC	0 / 21		43,1		nombreuses Meules TRAPUES (< 200%)
	PUIG St. ANDREU	-550 / -200	1 / 22	5%	42,11	5%	575%
P.2	Le PATURAL	LT (300-120 aC)	0 / 39		37,62		(maxi 400-450%)
	MARTIGUES	II aC	0 / 20		37,95		(maxi 463%)
	BLOIS La Croupe	LT - C2/D1b	1 / 10	10%	36,05	26%	550%
Période 3	PROVENCE Coquerel	LT - II pC	1 / 33	3%	36,54		533% et surtout 350-400%
	ENTRAMMES	LT C2-D1 + ROM	2 / 7	29%	42,18	14%	505 à 552%
	PEYRIAC-de-MER	II aC - ca. I pC	1 / 17	6%	43,97		532%
Période 4	OSTIA	II-I aC? - II pC?	0 / 12		35,75		(maxi 450%)
	BIBRACTE <i>Catilli</i>	LT	0 / 23		39,46	4%	(maxi 465%)
	Le REBOUT	LT-D (+AVG?)	3 / 51	6%	38,17	5%	500-531-564%
	LATTES	IV aC - I pC	8 / 68	12%	36,46	10%	maxi 600% , absent des meules proto
	ARGENTOMAGUS	20 aC - IV pC	11 / 55	20%	44,44		maxi 1050% , nombreux > 700%
Période 4	CHARTRES	15 aC - 300 pC	4 / 15	27%	47,68	3%	518-522-563 et 840%
	MEAUX	ROM	23 / 31	74%	41,04	22%	maxi 1267% et 11/23 > 800%
	MAZIERES-en-MAUGES	II - III pC	7 / 15	47%	46,57		500/550 et 90/1200%
	VERTAULT	ROM (+LT?)	34 / 40	85%	47,74	2%	maxi 1200 , nombreux > 600%
	AVENCHES	ROM	8 / 55	15%	43,13		500 à 600%
	TUNGRI	ROM	30 / 46	65%	46,74	5%	maxi 1455% et 6/30 > 800%
20				15 sites	cm	11 sites	

5. Des Meules Antiques aux Meules Médiévales : Moulin Plat, Amincissement, Pression stabilisée

55. Trois modèles peuvent ainsi être définis sur la base de la rectangularité du profil des meules (rapport D/H ou IREC) :

. des **meules trapues**, à forte hauteur, dont l'IREC se situe sur l'intervalle 130-160% ; le diamètre tend à valoir 1,5 fois la hauteur. Le standard peut être résumé à la formule **D = 1,5 H**.

. des **meules d'épaisseur classique**, dont la hauteur est centrée sur la moitié du diamètre, l'IREC se situant entre 200 et 250% et correspondant à la moyenne générale (IREC 221%) des meules neuves observables sur les ateliers. Le diamètre tend à valoir 2 fois la hauteur, le standard peut être résumé à la formule **D = 2 H**.

. le **modèle MAR**, qui correspond à des meules présentant un **amincissement relatif** par rapport au diamètre. Même si la hauteur ne relève pas toujours de la zone faible (i.e. 11-15 cm) et peut même atteindre 1 pied de puissance, elle est toujours inférieure à 1/2 diamètre : l'IREC est fort, il dépasse 250% et peut s'élever à 300 ou 400%. En sortie d'atelier le diamètre vaut ainsi entre 2,5 et 4 fois la hauteur. Le standard peut être résumé à la formule **D = 2,5 à 4 H**.

56. Chronologiquement on peut distinguer 3 périodes du point de vue de l'épaisseur relative des Meules Rotatives Basses.

1. Modèle Trapu et Classique (1,5 H et 2 H) : période 1 (Vè – IIIè s. aC)

Le modèle trapu (D = 1,5 H) caractérise une fraction des meules de la période molinologique ancienne (Période 1). Il est présent à Els Vilars, Puig Castellar et Orvieto. Il apparaît lié à la forte épaisseur des meules et notamment à la fonction support des

Metae (l'IREC des *Catilli* est systématiquement plus fort³³ et peut même atteindre une valeur classique). Le modèle trapu n'est pas, sauf le cas d'Els Vilars³⁴, lié à une forte hauteur utile puisqu'à Orvieto les *Metae* montrent une HU de 8 dgt et les *Catilli* une HU de 4 dgt, valeurs courantes (voir **CHAP.17**).

Au cours de cette période ce modèle trapu coexiste avec le modèle classique 2H.

57. **2. Modèle Classique (2 H)** : périodes 2 et 3 (II^e - I^{er} s. aC)

Le modèle trapu disparaît vers le III^e siècle aC sinon avant, et le modèle classique (D = 2 H) devient exclusif. Les meules neuves sont caractérisées par un IREC (rapport D/H) centré sur 220%. L'ambiance générale est aux meules de petit format, les diamètres étant compris entre les gabarits 18 et 22 dgt. Les assemblages montrent une moyenne de diamètre comprise entre 35 et 39 cm.

58. **3. Modèle à Amincissement Relatif (MAR)** (vers **3 et 4 H**) : périodes 3 et surtout 4 (I^{er} s. aC et époque Romaine)

Au cours de la Tène D apparaît, semble-t-il en zone rhénane, un modèle de meules qui présentent un relatif amincissement par rapport au diamètre : ce dernier ne mesure plus 2 fois la hauteur mais tend à valoir 2,5 hauteurs. L'IREC (rapport D/H) est de 250% voire un peu plus. Sur les ateliers (**Fig.14**), ce modèle à relatif amincissement est constaté à l'Est du Rhin à Borken et Bad Nauheim ainsi que dans les Vosges aux Fossottes ou en Alsace sur l'atelier provisoire d'Obernai. Les meules du grand centre producteur de Mayen (MANGARTZ 2008) au confluent de la Moselle et du Rhin, répondent également à ce standard aminci (IREC 250%).

Sur les sites d'utilisation, un IREC important (entre 500 et 1200%) indique la présence dans le mobilier usagé de meules qui à neuf présentaient un IREC fort, supérieur au standard classique 220%. C'est le cas en Période 3 de sites comme Lattes, Blois La Croupe, la Provence (Entremont, Aix Coq), Entrammes, Peyriac-de-Mer ou Bibracte Porte du Rebut. Ces meules à amincissement relatif sont présentes sur quelques sites et toujours en faible quantité (3 à 10%)³⁵.

59. A l'époque Romaine (période 4), parallèlement au maintien du modèle classique (D = 2H soit IREC 220%), la présence des MAR devient presque systématique dans les assemblages et leur fréquence est élevée (20 à 80% d'après la détection opérée à partir des meules usagées dont l'IREC est supérieur à 500% -voir *supra* **Fig.16**). Les meules de modèle MAR diffusent alors dans tout l'espace.

Toutefois leur présence ou leur intensité en zone méditerranéenne serait à vérifier, notre corpus de comparaison étant carent pour la période romaine dans le Sud. Il est en effet possible que les MAR aient été rares sur l'arc méditerranéen. Nous disposons en ce sens de deux indications. La première est fournie par les meules (utilisées) de Magalas près de Béziers³⁶, la seconde par celles (neuves) de la carrière de St. Quentin au Nord de Nîmes³⁷. A Magalas, sur un site occupé du I^{er} au III^e siècle pC, les meules sont en basalte (sans doute du Complexe Volcanique Héraultais) et leur IREC d'usure varie de 475 à 577%. Cette valeur, modeste et

³³ IREC des *Metae* 95% vs 150% aux *Catilli* à Els Vilars ; IREC *Metae* 140% vs 177% aux *Catilli* à Orvieto et *Metae* 179% vs *Catilli* 241% à Puig Castellar.

³⁴ A Els Vilars la HU des *Metae* est de 12 dgt et celle des *Catilli* de 9 dgt, valeur presque double des autres ateliers pour lesquels la Hauteur Utile à neuf est connue.

³⁵ L'anomalie représentée par les 29% d'Entrammes s'explique peut-être par la faiblesse de l'échantillon (7 meules) mais pourrait aussi refléter la présence d'exemplaires d'époque romaine.

³⁶ Rapport inédit GINOUEZ 2016, Inrap.

³⁷ Fouille et thèse de Samuel Longepierre (LONGEPIERRE 2012, notamment p.145) – voir **ANNEXE 21**.

courante, reflète des meules neuves dont l'IREC devait avoisiner 220-250%. Elles relevaient donc du modèle classique ou légèrement aminci. Sur l'atelier de l'Antiquité Tardive de St. Quentin, le gabarit moyen (ébauches) est de 47,21 cm soit environ 26 dgt et un peu plus de 1,5 pied. La hauteur moyenne s'établit à 18,72 cm (soit 10 dgt), une valeur tout à fait classique. L'IREC (à neuf) varie de 213 à 300% et sa moyenne se situe sur 252%.

Ainsi, à Magalas comme plus tard à St. Quentin, les meules antiques restent plus proches du modèle classique ($D = 2 H$) que du modèle à amincissement relatif (MAR). Il conviendra d'enquêter pour savoir si ces deux exemples sont marginaux ou s'ils reflètent le caractère modéré ou rare de l'amincissement relatif des meules sur l'arc méditerranéen.

60. A la période Romaine (Période molinologique 4), dès la seconde moitié du Ier siècle pC, on voit se développer, notamment en contexte urbain, des meules de modèle MAR dont l'amincissement relatif s'accroît. L'IREC des meules neuves se situe alors sur 300 ou 400%, indiquant que le diamètre mesure 3 ou 4 fois l'épaisseur. Ces hauteurs sont modestes (moyennes de 11 à 18 cm), montrant ainsi à la fois un amincissement réel doublé d'un amincissement relatif. En effet, ces épaisseurs sont dans les faibles valeurs des hauteurs antiques (11/13/15 cm c'est-à-dire de 6 à 10 dgt) tout en montrant un déficit de l'ordre de 40 à 50% par rapport au standard $D = 2H$ (voir *supra* Fig.13). Ces MAR minces ont été observées sur les 2 ateliers urbains d'Autun Faubourg d'Arroux et de Poultry à Londres, ainsi que sur 2 ateliers ruraux à Châbles (Suisse occidentale) et peut-être à La Lande (Nord de Toulouse) si les meules y sont neuves. Dans ces quatre cas elles correspondent à des meules d'assez grand gabarit pour l'Antiquité puisque le diamètre moyen est de 1,5 pied ou de 2 pieds.

61. Lorsque l'envergure de ses meules se développait, atteignant ou dépassant 1,5 ou 2 pieds, l'Antiquité Romaine a donc pratiqué soit un amincissement des meules (vers 15/11 cm) soit un amincissement relatif, le standard meulier passant alors de la valeur classique $D = 2H$ vers les valeurs amincies que sont $D = 3$ ou $4 H$ (IREC à neuf de 220 à 300 ou 400%). Ce mouvement technique pourrait être né en zone rhénane à la fin de la période laténienne et s'est généralisé en période Romaine, sa réalité en zone méditerranéenne restant en suspens. Il est difficile d'établir si cette évolution technique procède d'ajustements empiriques, ce que son caractère zonal tend à favoriser, ou bien d'acquis procédant de calculs. De futures recherches permettront peut-être d'avancer sur cette question si elles peuvent cerner un ou plusieurs centres d'apparition du modèle MAR, des régularités mathématiques dans la relation D/H amincie ou encore si elles tracent une chrono-géographie de la diffusion des Meules à Amincissement Relatif.

Une première indication semble cependant apportée dans l'ordre de la géométrie antique. Une seconde l'est par l'histoire, à travers les proportions des meules médiévales et modernes.

A. Le standard antique $D = 2H$ et la divisibilité

62. En effet, la préférence antique pour le standard Diamètre = 2 Hauteurs peut s'expliquer par le fait que la divisibilité par 2 est celle qui produit le plus de hauteurs possibles pour un registre donné de diamètres.

Prenons en effet (Fig.17) l'éventail courant des diamètres des Meules Rotatives Basses, c'est à dire les gabarits de 14 à 32 doigts (sachant que les meules de moins de 16 dgt soit 1 pied sont rares). Si la Hauteur mesure $\frac{1}{2}$ Diamètre, c'est à dire que l'IREC est de 200%, alors 10 hauteurs sont possibles (cadres orange colonne 5 de la Fig.17). Ceci vaut tant que diamètres et

Figure 17 : Hauteurs qui peuvent être produites (cadres orangés) pour chaque Diamètre en fonction du rapport D/H choisi (IREC)

Test des valeurs en DGT de l'IREC											DIAM. en DGT entiers			col.15	
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12	col.13	col.14	col.15	
DIAM.	H = 65% D	H = 57% D	H = 55% D	H = 50% D	H = 45% D	H = 44% D	H = 40% D	H = 33% D	H = 25% D	valeurs exactes		demi-DGT	total	DIAM. DGT	
DGT	IREC 150%	IREC 175%	IREC 180%	IREC 200%	IREC 220%	IREC 225%	IREC 250%	IREC 300%	IREC 400%	DIAM.	Q.	approx.			
14	9,33	8,0	7,78	7,0	6,36	6,22	5,60	4,67	3,50	14	2		1	3	
15	10,0	8,57	8,33	7,50	6,82	6,67	6,0	5,0	3,75	15	3		2	5	
16	10,67	9,14	8,89	8,0	7,27	7,11	6,40	5,33	4,0	16	2			2	
17	11,33	9,71	9,44	8,50	7,73	7,56	6,80	5,67	4,25				3	3	
18	12,0	10,29	10,0	9,0	8,18	8,0	7,20	6,0	4,50	18	5		1	6	
19	12,67	10,86	10,56	9,50	8,64	8,44	7,60	6,33	4,75				3	3	
20	13,33	11,43	11,11	10,0	9,09	8,89	8,0	6,67	5,0	20	3	20	1	5	
21	14,0	12,0	11,67	10,50	9,55	9,33	8,40	7,0	5,25	21	3		2	5	
22	14,67	12,57	12,22	11,0	10,0	9,78	8,80	7,33	5,50	22	2		2	4	
23	15,33	13,14	12,78	11,50	10,45	10,22	9,20	7,67	5,75				2	2	
24	16,0	13,71	13,33	12,0	10,91	10,67	9,60	8,0	6,0	24	4	24	1	5	
25	16,67	14,29	13,89	12,50	11,36	11,11	10,0	8,33	6,25	25	1		1	2	
26	17,33	14,86	14,44	13,0	11,82	11,56	10,40	8,67	6,50	26	1		3	4	
27	18,0	15,43	15,0	13,50	12,27	12,0	10,80	9,0	6,75	27	4		2	6	
28	18,67	16,0	15,56	14,0	12,73	12,44	11,20	9,33	7,0	28	3		2	5	
29	19,33	16,57	16,11	14,50	13,18	12,89	11,60	9,67	7,25				2	2	
30	20,0	17,14	16,67	15,0	13,64	13,33	12,0	10,0	7,50	30	4		1	5	
31	20,67	17,71	17,22	15,50	14,09	13,78	12,40	10,33	7,75			31	1	2	
32	21,33	18,29	17,78	16,0	14,55	14,22	12,80	10,67	8,0	32	1		1	2	
valeurs de la HAUTEUR en DGT															
DGT entiers	6	3	2	10	1	2	4	6	5	39					
demi-DGT		5	4	9	5	4			5	32					
Total Hauteurs obtenues	6	8	6	19	6	6	4	6	10	71					

hauteurs mesurent un nombre entier de doigts. Mais si la hauteur peut être réalisée en demi-doigts, alors le nombre de diamètres compatibles passe à 19 (sur les 19 possibles) pour un IREC de 200%, 10 diamètres seront mis en correspondance avec des hauteurs en demi-doigts si l'IREC est de 400% (D = 4 H) et 8 diamètres seront possibles pour un IREC de 175%.

63. Cette analyse met en évidence que certains diamètres sont privilégiés. Les diamètres correspondant à des nombres premiers (19, 23, 29 et 31 dgt) sont les plus défavorisés puisqu'ils ne sont pas divisibles. Il faut que les hauteurs soient utilisées en demi-doigts pour que ces diamètres puissent être utilisés sur des meules (col. 14 Fig.17). Les diamètres privilégiés par la manipulation de hauteurs définies par un nombre entier de doigts sont : D.18 dgt, D.24, D.27 et D.30 dgt. Plus largement, sont favorisés au total par des hauteurs en dgt entier (col. 11 de la Fig.17) les diamètres D.15 dgt, D.18, D.20 et 21, D.24, D.27 et 28 ainsi que le D.30 dgt.

Si les meuliers acceptaient en revanche des hauteurs mesurées en demi-doigts, les diamètres privilégiés deviennent (col. 15 sur la Fig.17) : D.18 et D.27 dgt, suivis de D.20, D.21, D.24, D.28 et D.30 dgt. On note que figurent dans cette séquence les 3 gabarits métrologiquement canoniques que sont 20 dgt (1 pied 1/4), 24 dgt (1 pied 1/2) et 28 dgt (1 pied 3/4). De manière métrologiquement surprenante, viennent s'y ajouter les diamètres de 18, 27 dgt et 30 dgt tandis que le diamètre 16 dgt (1 pied) ne permet que des meules hautes de 8 et 4 dgt. Nos tests métrologiques avaient déjà fait ressortir la rareté du gabarit de 16 dgt et la forte représentation des diamètres de 18 dgt (voir CHAP.10 § 10. et surtout CHAP.13 p. 399). La fréquence des gabarits montre ainsi que les meuliers travaillaient les hauteurs en demi-doigts et que le registre principal des diamètres possibles étaient D. 18, 20, 21, 24, 27, 28 et 30 doigts.

64. Toute fabrication dans un registre restreint de rapports D/H (IREC) conduisait à limiter l'éventail des diamètres fabriqués. Cependant l'IREC 200% (D = 2 H) permettait tous les diamètres pour toute hauteur mesurée en demi-doigt, suivi en cela par l'IREC 400% et celui de 175%. Ces 3 rapports D/H ont probablement été privilégiés par les meuliers pour ces raisons mathématiques.

Il est ainsi probable que l'IREC à neuf 175% (H valant 57% de D et correspondant à la fraction 7/4) ait été la norme centrale des meules de Modèle Trapu, que l'IREC 200% (avec son correspondant statistique 221%) ait constitué la norme du Modèle Classique (D = 2 H, fraction 8/4) et que, au-delà de ce pôle on entrain dans le domaine extensible de l'Amincissement Relatif (Meules de modèle MAR) dont l'IREC 400% a dû constituer une référence, suivi du rapport

525% qui permettait de produire 6 diamètres pour des hauteurs comprises entre seulement 3 et 6 dgt. Il convient en effet de noter (col. 8 à 10 Fig.17) qu'au-delà d'un IREC de 250% les hauteurs deviennent inférieures à 12 dgt (soit ca.21 cm).

65. En résumé, la règle antique voulant que le Diamètre d'une Meule Rotative Basse mesure 2 fois la Hauteur est d'origine mathématique, la divisibilité par 2 permettant de fabriquer tous les diamètres (même ceux en nombre impair de doigts) dès lors que la hauteur pouvait être définie en demi-doigts.

Si la résolution de la taille de pierre meulière antique ne permettait que des hauteurs mesurées en nombre entier de doigts, les rapports entre D et H utilisables devenaient limités aux IREC 150, 200 et 300%. Le rapport 150% (fraction 6/4, hauteur = 2/3 du diamètre, col.2 sur Fig.17) ne permettait de fabriquer que des meules trapues, hautes de 10 à 20 dgt selon un rythme de 2 dgt (H.10, 12, 14 dgt etc.) et de diamètre 15 à 33 dgt échelonnés chaque 3 dgt (D.15,18, 21, 24 dgt etc.). Le rapport 200% (fraction 8/4, D = 2 H, col.5 sur Fig.17) permettait de fabriquer tous les diamètres mesurant un nombre pair de doigts et selon des hauteurs supérieures à 7 dgt. Enfin le rapport 300% (fraction 12/4, D = 3 H, col.9 sur Fig.17) permettait de fabriquer le même registre de diamètres que l'IREC 150% (D.15 à D. 33 dgt) mais dans des hauteurs plus réduites comprises entre 6 et 15 dgt ou plus.

66. La règle antique des 2 H montre que le Diamètre des meules primait sur leur épaisseur, laquelle était déduite du paramètre Diamètre et mesurée finement pour s'adapter aux différentes envergures de meules. En travail de la pierre il était certes plus aisé d'intervenir pour définir et régler la hauteur d'un tambour que pour adapter son diamètre : diminuer le diamètre d'une meule d'une envergure laténienne courante de 35 cm signifiait intervenir sur un périmètre de 1,10 m linéaire de pierre qui grimpait à 1,32 m dans le cas d'une envergure de 42 cm (gabarit antique courant). De plus l'adaptabilité de la hauteur permettait de diminuer les rebuts liés à l'extraction où l'épaisseur de la meule peut souffrir des variations due aux aléas de structure du banc ou de la fracturation de détachement. Il était probablement plus aisé de maîtriser le diamètre et de le tracer sur le plancher de carrière selon les quelques modules choisis par l'atelier, ces diamètres étant à fortiori liés au registre des conicités.

67. Cependant cette norme des 2H portait à produire des meules de plus en plus épaisses, et donc de plus en plus lourdes, si on voulait en augmenter le diamètre. Ainsi, le passage d'une meule d'une envergure de 20 dgt (37 cm, format laténien courant) à un gabarit de 24 dgt (format romain courant) entraînait une augmentation de poids de 50% et de 7 kg par cm d'épaisseur automatiquement accrue (Fig.18). Si le diamètre passait à 2 pieds (format standard

Figure 18: Croissance géométrique du Poids avec le diamètre (meules neuves)

- cet exemple est simplifié : il ne considère pas les différentes conicité et ramène chaque meule à un cylindre, comme dans le cas des Meules Plates - la densité retenue est de 2,2 g/cm3 elle correspond à des laves très vacuolaires, à des calcaires silicifiés ou à de nombreux grès -

de nombreuses meules antiques de grand format, le poids passait à 151 kg, augmentant de de 3,5 fois par rapport au gabarit initial de 20 dgt. La meule s'alourdissait alors de 11 kg par cm supplémentaire...

68. On comprend ainsi que pour les meules de fort gabarit, les meuliers aient abandonné la proportion D = 2 H et travaillé dans un IREC de type 300% ou 400% qui permettaient d'alléger la meule par un amincissement relatif tout en fabri-

croissance DIAMETRE & POIDS			
modèle antique (IREC 200%)		2,2 g / cm3	
Gabarit	Hauteur	Volume cm3	Poids Kg
20 DGT 37 cm	10 dgt 18 cm	19354	42,6
24 DGT 42 cm	12 dgt 21 cm	29080	64,0
progression		Kg	21,4
		%	50%
		cm H	+ 3 cm
		+ Kg / cm	7
32 DGT 56 cm	16 dgt 28 cm	68929	151,6
progression sur Gabarit 24 dgt		Kg	87,7
		%	137%
		cm H	+ 7 cm
		+ Kg / cm	13
progression sur Gabarit 24 dgt		Kg	109,1
		%	356%
		cm H	+ 10 cm
		+ Kg / cm	11

quant dans des épaisseurs de 8 à 12 dgt qui préservait la hauteur utile (de type 6 dgt pour des meules coniques).

Cet allègement était toutefois limité par la conicité qui crée automatiquement une Hauteur Passive (de l'ordre de 2 à 5 dgt) et seules les meules plates, comme celles fabriquées dans l'aire septentrionale Seine/Somme (voir **CHAP.19**) pouvaient mettre pleinement à profit l'Amincissement Relatif qui les allègerait. L'examen de la situation médiévale permet d'appréhender le problème technique et le facteur limitant qui a caractérisé les meules de l'Antiquité.

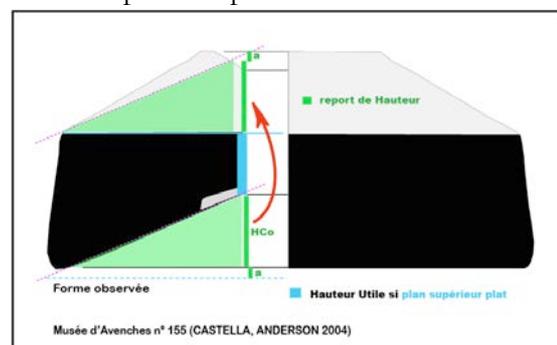
69. Outre l'amincissement relatif, il nous semble par ailleurs que les meuliers antiques ont apporté une ou deux autres solutions au problème de l'appesantissement des meules coniques provoqué par l'augmentation du diamètre.

Il semble en effet possible que la généralisation de la trémie réponde principalement à un motif de répartition et d'importance de la masse d'une meule tournante : la trémie fait perdre à peu près autant de poids que le cône de travail et tend à reporter la masse vers l'extérieur du diamètre tendant à former un levier à boule. Aussi la mise au point et la généralisation du « modèle continental » (*Catillus* conique à trémie de hauteur utile équivalent à $\frac{1}{2}$ hauteur) peut-elle être lue comme une réponse technique d'allègement de la meule tournante. Mais une même perte de poids aurait pu être obtenue par la réalisation de *Catilli* dépourvus de trémie (i.e. à surface plate) dont on aurait diminué l'épaisseur. Or ces modèles sont abandonnés à partir du IV^e ou III^e s. a.C. La raison d'être de la trémie correspond donc à d'autres préoccupations, sans doute d'abaissement du centre de gravité et d'évitement de l'oscillation. Cette motivation devait être basée sur une contrainte forte puisque la trémie se traduit par une nette diminution de la hauteur utile.

70. Une autre tentative de remédier à l'augmentation excessive de poids entraînée par celle du diamètre de la meule semble résider dans la création de *Catilli* à faces parallèles (voir **CHAP.14** partie 3 p. 418 Fig.21 à 23 ainsi que partie 4.A : *Catilli* de Classe I.C p. 424). Si l'on inverse en miroir la section triangulaire supérieure (vert pâle sur la Fig.19) on obtient la version à trémie (modèle continental). Mais la hauteur utile (segment bleu ciel sur la Fig.19) est alors deux fois moindre pour une meule de même envergure, même hauteur et même poids. Pour obtenir, en modèle continental, une HU équivalente à celle du *Catillus* de Avenches 155 ou à sa version en Meule Plate, il faudrait rehausser la meule de $\frac{1}{3}$ et ajouter en poids l'équivalent du volume de 2 couronnes circulaires correspondant chacune à un triangle vert pâle. On aboutirait alors à un *Catillus* massif d'IREC 150% soit un modèle 1,5 H dont le poids, la hauteur et la pression seraient fortement augmentés (un type qui par ce critère relèverait de la période molinologique ancienne et qui ne semble d'ailleurs pas attesté). Aussi, la création de 2 faces parallèles permet-elle de doubler la hauteur utile pour une meule de moindre poids et pression.

Figure 19 : Modèle de *Catillus* à faces parallèles (d'après un exemplaire du Musée d'Avenches - CASTELLA, ANDERSON 2004)

Il est frappant de constater sur le dessin de la Fig.19 que si l'on reporte la partie vert pâle du cône supérieur à la place du cône de travail inférieur, le volume et la masse restent inchangés ainsi que la hauteur utile. Autrement dit, un *Catillus* de modèle Avenches 155 est identique en diamètre, volume, masse et longévité à une Meule Plate ayant la même hauteur de flanc. En revanche sa hauteur totale est 30% plus élevée et son centre de gravité est également situé légèrement plus haut. L'Indice de Rectangularité est de 2 H alors que pour la meule plate équivalente il est de 3 H, manifestant l'amincissement relatif.



Autrement dit, pour des caractéristiques identiques, y compris de pression, le *Catillus* de modèle Avenches 155 est moins performant que sa version plate (conicité 0°) : il n'a pas su économiser de la hauteur, il place l'anille à 1/3 de H alors qu'en version Meuble Plate elle serait au niveau du plan de base. Le gros fer s'en trouve également prolongé d'une hauteur de 30% (du plan de base B au plan de l'Anille B').

Fiche technique du *Catillus* Avenches 155 :

Paramètres de base

Granite	20°	faces parallèles	D.53 cm	H.24,5	IREC 216%
HFL.15	HCo.8	DOE.10,5	HOE.14,5	HU.14,5	
HP.10	(HCo+2cm œillard)				

Volume, Poids, Pression

Tronc de cône supérieur :	Volume : 8.273 cm ³ (8.980 - 707 cm ³ œillard)				
	Poids (2,2 g/cm ³) : 18,200 kg				
	DB.50 cm	DS.19	H.9	œillard : R.5	H.9
Tronc de cône inférieur :	Volume : 31.786 cm ³ (32.296 - 510 cm ³ œillard)				
	Poids (2,2 g/cm ³) : 69,930 kg				
	DB.53 cm	DS.19	H.9	œillard : R.5	H.6,5
Perte due au cône inférieur :	Volume : -6.040 cm ³				
	Poids (2,2 g/cm ³) : -13,288 kg		RB.24 cm	RS.5	H.8
Total Volume :	34.019 cm ³	(8.273 + 31.786 - 6.040)			
Total Poids (2,2 g/cm ³) :	74,840 kg	(18,200 + 69,930 - 13,288)			
Surface Active (cône inférieur) :	1.878 cm ²	(RB. 24 cm	RS.5	H.8)	
Pression :	391 N/ m ²	((74,84 kg x 9,81)/1,878 m ²)			

Commentaire

. L'IREC proche de la moyenne générale des meules neuves (221%) et du module 2H (200%) indique que ce *Catillus* serait neuf ou peu utilisé.

. La métrologie indique un gabarit situé entre 1,75 et 2 pieds (29 dgt en pied de 29,25 et 30 dgt pour un pied de 28,2). La hauteur serait de 14 dgt et la hauteur utile de 8 dgt, cette dernière étant une valeur haute fréquente (les HU de 10 voire 12 dgt sont rares en l'état actuel des données). La métrologie tend ainsi à confirmer le caractère neuf ou sub-neuf de la meule.

. La surface de travail de ce *Catillus* est comparable avec celle par exemple des *Catilli* de l'atelier du Chaudry (variant de 1.100 à 1.800 cm² avec une moyenne de 1.386) dont le diamètre va de 36 à 48 cm (soit 1,5 pied). La surface active de la meule Avenches 155 est également comparable à la surface active des *Catilli* de Style Pompéien de petite dimension (diamètre 39 à 63 cm) – sur ces comparaisons voir l'ANNEXE 23.

B. Du standard antique D 2H au standard 5H : la recherche d'une pression à neuf constante ?

On procède ici (**Fig.20**) à la comparaison entre le modèle de meule antique ($D = 2H$) et les meules médiévales et modernes dont la hauteur s'affaiblit à mesure qu'augmente le diamètre (passage depuis 2 H vers 4 à 6 H).

L'énergie cinétique des meules

71. Le premier constat, qui ne figure pas sur la **Fig.20** ci-dessous, réside dans le fait que l'énergie cinétique (RKE) emmagasinée au cours de la rotation est négligeable pour une meule antique : elle est ainsi de 30 Joules³⁸ pour un *Catillus* à manchons de type hispanique d'Ensérune de diamètre 1,5 pied valant 2 H. La RKE est de 130 J pour une meule antique de type Diamètre 2 pieds = 2 H et elle atteint 1.500 Joules pour les très grands formats, rarissimes dans l'Antiquité que sont les meules d'une envergure de 3 pieds toujours pour le module $D = 2H$. Ce qui est intéressant est que l'Amincissement Relatif de la hauteur des meules a pour conséquence, pour une même vitesse, une importante baisse de l'énergie cinétique : ainsi, la RKE d'une meule de modèle médiéval (envergure 3 pieds et $D = 3H$) est de 772 Joules alors qu'elle serait de 1.157 J en modèle 2H. Cette baisse est couramment de 30 à 50%.

Ainsi, en réduisant le poids, l'Amincissement Relatif opéré par le passage des meules du module 2 H vers les modules amincis 3 à 5 H, abaissait logiquement l'énergie cinétique, ce qui était peut-être l'objectif visé. En effet, à partir d'un diamètre de 3 pieds (ca. 90 cm) les meules pèsent, à neuf, plusieurs quintaux. L'importance de la RKE pouvait rendre difficile autant leur lancement que leur freinage, voire fatiguer l'engrenage ou rudement l'impacter en cas de bris. Elle devait également compter dans les forces centrifuges qui pouvaient avoir tendance à faire quitter son axe à la meule tournante.

La pression de la meule tournante

72. Le second constat, objet principal de la **Fig.20**, concerne la pression de la meule volante. Les traités de meunerie des XVIII^e et XIX^e siècles accordent une place récurrente à cette notion (voir **CHAP.1** § 47. à 49.)³⁹. Il n'est pas certain, comme on va le voir, qu'elle ait eu la même importance durant l'Antiquité *lato sensu*.

Pour bien mettre en évidence et mesurer les modifications entraînées par l'abandon ou l'éloignement de la norme $D = 2H$, on a systématiquement dans le tableau des données (**Fig.20**) indiqué en grisé, sous la ligne de chaque meule, les valeurs de hauteur, volume, poids et pression qui seraient celles si la meule respectait le module 2H. Par exemple la meule n° 7 d'une envergure de 4 pieds et d'un module $D = 3H$ pèse 946 kg et sa pression potentielle⁴⁰ est de 8.460 Newton au m². Si elle avait été aux canons antiques, soit $D = 2H$, elle aurait pesé 1.419 kg et sa pression potentielle aurait été de 12.733 N/m².

³⁸ On a considéré par principe comparatif que les meules tournaient à la vitesse angulaire de 60 rpm, qui est une vitesse régulièrement mentionnée pour les moulins à eau subactuels même si la littérature mentionne que nombre d'entre eux pouvaient tourner à 90 ou 120 rpm en particulier avec les puissants moteurs hydrauliques ou à vent du XIX^e s., nos calculs ont également été réalisés pour 90 et 120 rpm.

³⁹ FABRE 1783 évoque y compris la possibilité de compenser la perte de poids due à l'usure des meules. Mais la fermeture du site www.hydraulica.grenet.fr nous prive d'accès au volume 2 du traité BENOIT 1863, essentiel, ou du DUCREST 1777, nous n'avons donc pu détailler ce point, quant à BnF Gallica elle propose seulement, dans une interface petite et difficile, l'accès à l'ouvrage américain traduit par Benoit une vingtaine d'années auparavant.

⁴⁰ Nous parlons de Pression « potentielle » car en réalité le *Catillus* ou la meule volante ne reposent pas directement sur la gisante ni même directement sur le grain mais sur un « troisième corps » fait d'air (qui chauffe), de grains entiers, décortiqués ou brisés, de son, de farine, de concassé (semoules), de germes, de poussière de meule, d'huiles végétales et d'eau sans doute ; ce corps est en contact avec les meules et sa composition varie depuis l'oillard vers la périphérie et sans doute également selon la distance entre les meules.

Figure 20 : Variation du Diamètre et de la Hauteur des meules – modèles Antiques (IREC 200%) et Médiévaux ou Modernes (IREC 300 à 600%)

- Le tableau présente la Surface Active, le Poids et la Pression de différents modèles de meules classées en ordre croissant de diamètre - En revanche l'épaisseur est amincie relativement, passant du modèle antique (n° 1 à 5) de module D = 2 H (IREC 200%) aux modèles médiévaux et postérieurs (n° 6 à 12c) où le diamètre va représenter 3 à 6 fois la hauteur (IREC 300 à 600% ou D = 3 à 6 H) - Les gabarits de Diamètre et de Hauteur sont inspirés de meules réelles, pour être complet on pourrait ajouter un modèle antique D. 1,5 pied = 2,5 H (IREC 250%) -

PRESSION POTENTIELLE des MEULES tournantes											
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7	col.8	col.9	col.10	col.11	col.12
MEULES THÉORIQUES D = 2H et variation de 2 à 6H							PRESSION (N/m2)				
N°	GABARIT	Type & Gabarit	D / H	DIAM.	Hauteur	Volume	Masse kg (2,2 g/cm3)	Surface Active (cm2)	Suf. plate	Conicité	Surf. Inclivée
1	1 Pied	MEULE de 1 Pied, type ANTIQUITÉ (D = 2H)	2 H	29,5	14,75	8 569	18,85	683	2 705	11°	2 758
2	1,25	MEULE de 20 DGT type ANTIQUITÉ (D = 2H)	2 H	36,9	18,44	16 762	36,82	1 069	3 378	11°	3 442
3	1,5	MEULE de 24 DGT type ANTIQUITÉ (D = 2H)	2 H	44,3	22,13	28 993	63,63	1 541	4 050	11°	4 126
4	2	MEULE de 2 pieds (32 DGT), type ANTIQUITÉ (D = 2H)	2 H	59	29,50	68 554	150,82	2 734	5 412	11°	5 513
5	3	MEULE (rare) 48 DGT type ANTIQUE (D = 2H)	2 H	88,5	44,25	231 371	509,02	6 151	8 118	23°	8 822
6	3	Meule plate Médiévale type 48 DGT (D = 3H)	3 H	88,5	29,50	181 468	399,23	6 151	6 367	0°	
6'		plate 48 DGT en version D = 2H	2 H		44,25	272 202	598,8	6 151	9 551	0°	
7	4	Meule plate Med-Moderne type 64 DGT (D = 3H)	3 H	118	39,33	430 109	946	10 936	8 486	0°	
7'		64 DGT en version D = 2H	2 H		59	645 219	1 419,5	10 936	12 733	0°	
8	4	Meule plate Med-Moderne type 64 DGT (D = 4H)	4 H	118	29,50	322 609	710	10 936	6 369	0°	
9	4,6	Meule plate Napoléonienne Abbey Craig (D = 4,5H)	4,5 H	137	30	442 235	1 400	14 741	9 317	0°	
						densité =	3,17				
10	5	Meule plate Moderne type 80 DGT (D = 4H)	4 H	147,5	36,88	630 182	1 386	17 087	7 957	0°	
10'		80 DGT en version D = 2H	2 H		73,75	1 260 193	2 772,4	17 087	15 917	0°	
11	6	Meule plate Moderne type 96 DGT (H=22%D)	5 H	177	39	959 626	2 108	24 606	8 404	0°	
11'		96 DGT en version D = 2H	2 H		88,5	2 177 613	4 790,8	24 606	19 100	0°	
12	7	Meule plate Moderne type 112 DGT (H=22%D)	5 H	205,7	45	1 495 450	3 309	33 232	9 768	0°	
12a		112 DGT en version D = 2H	2 H		102,85	3 417 935	7 519,5	33 232	22 197	0°	
12b		112 DGT mais D=5,5H (18%)	5,5 H		37,40	1 242 885	2 734,4	33 232	8 072	0°	
12c		112 DGT mais D=6H (16,7%)	6 H		34,28	1 139 312	2 506,5	33 232	7 399	0°	

NB -1 : le poids des meules antiques (n° 1 à 5) est calculé pour 2,2 g/cm

NB -2 : la meule n° 8 d'Abbey Craig provient du Royaume Uni (TUCKER 1984), elle est en lave et son module est D = 4,5 H, son diamètre de 137 cm est ici transcrit pour comparaison en 4,6 pieds de 29,5 (en réalité il correspond à 4,5 pieds anglais de 30,48 cm)

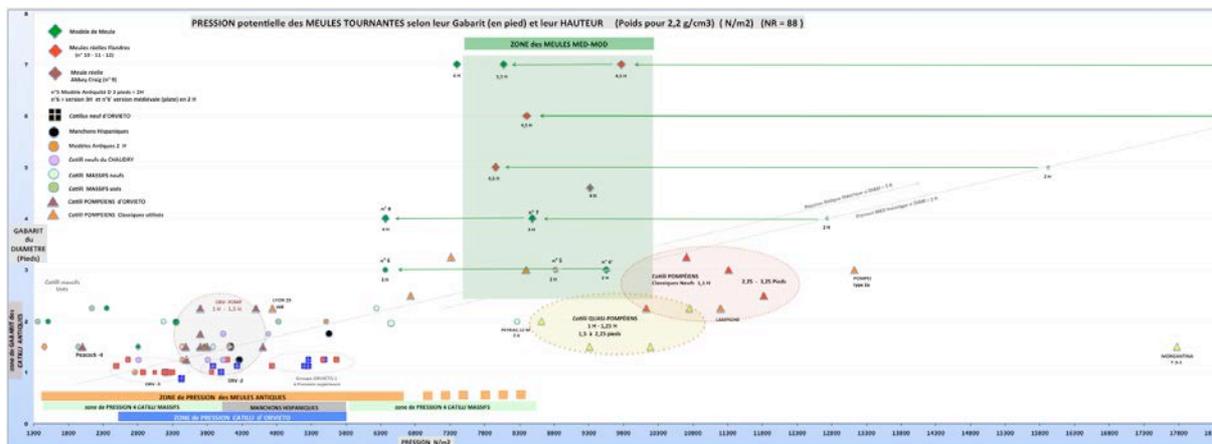
NB -3 : les meules n° 10, 11 et 12, d'une hauteur valant 24 à 22% du diamètre (IREC moyen 450%) sont empruntées aux meules de Flandres de BRUGGEMAN 2003

Les meules antiques étant de petite envergure (1,5 à 2 pieds, plus rarement 2,5 –voir **CHAP.10**), elles sont peu lourdes, pesant autour de 40 à 60 kg à neuf, plus rarement 100 kg et au-delà⁴¹. La pression potentielle de leurs *Catilli* est faible (bande orangée en bas à gauche de la **Fig.21 et 22**) elle varie sur l'intervalle 2.500 à 6.000 N/m². L'**ANNEXE 22** fournit Poids, Surface Active et Pression pour un échantillon de 26 *Catilli* anciens, généralement de modèle trapu, de Els Vilars et d'Orvieto.

Plus amples (3 à 6 pieds voire 7 au maximum du XIX^e s), les meules médiévales et modernes, essentiellement attachées à une motorisation hydraulique ou à vent, sont bien entendues plus lourdes, atteignant ou dépassant allègrement la tonne (col.8 de la **Fig.20**). La pression de la meule tournante est logiquement supérieure à celle des *Catilli* antiques et tend à valoir le double (8.000 à 10.000 N/m²), s'établissant autour de 9.000 N/m². Cette valeur correspond à une meule de 3 pieds d'envergure qui observerait le canon D = 2 H.

⁴¹ 130 kg par exemple pour la meule massive n° 12 de Peyriac-de-Mer (voir **ANNEXE 22**).

Figure 21 : Diamètre et Pression potentielle : situation des *Catilli* de Style Pompéien



- En (y) le Gabarit des meules (diamètre en pieds) et en (x) la pression en Newton par m² – En bas à gauche la zone de pression des Meules Rotatives Basses de l’Antiquité –
- Au milieu, en haut, un rectangle vert figure la zone de pression des meules médiévales et modernes centrée sur 9.000 N/m² (8.000 à 10.000) dont l’envergure va de 3 à 7 pieds –
- Juste au-dessous, au centre du diagramme, sont représentés (ovale jaune) les *Catilli* quasi-pompéiens (non biconiques ou biconiques non réversibles) dont la pression est centrée sur 9.500 N/m². Un peu plus sur la droite (ovale rougeâtre) figurent les *Catilli* de Style Pompéien de modèle classique, avec un gabarit plus important (le plus souvent de 2 ou 3 pieds de diamètre et de hauteur) et dont la pression se situe dans la zone 10.500 à 12.000 N/m² –
- Les petits modèles de de Style Pompéien d’Orvieto, d’une envergure de 1,25 à 2,25 pieds, figurent en bas à gauche dans un cercle gris. En effet leur pression est la même que celle des meules Rotatives Basses.
- La distribution des meules Antiques (MRB) et des meules médiévales et Modernes est perceptible plus en détail sur la Figure 22 qui permet également de situer les modèles à Manchons de type Hispanique ou les MRB d’Orvieto –

73. Mais le premier fait remarquable est que cette pression médiévale et moderne centrée sur 9.000 N/m² est 1,5 à 2,5 fois plus faible que si ces meules avaient obéi au canon antique 2H, c’est-à-dire une épaisseur valant ½ diamètre (voir Fig.22). En effet, si les meules médiévales et modernes avaient respecté la règle des 2H, leur pression aurait été environ 1,5 fois plus élevée pour le diamètre de 4 pieds, puis 1,75 fois plus pour une envergure de 5 pieds ou 2 fois plus pour un diamètre de 6 pieds et enfin 2,5 fois plus forte (22.000 N/m²) pour l’envergure de 7 pieds qui est le maximum observé en Flandres vers 1800. Ce rabattement de la pression vers la valeur de 9.000 N/m² (matérialisé par les flèches vertes sur la Fig.22) s’opère au moyen d’un abaissement de l’épaisseur de la meule depuis 50% du diamètre (2H) vers 20% (D = 3 à 5 H).

page suivante :

Figure 22 : Position des meules tournantes Antiques et Médiévales ou Modernes d’après leur Diamètre & leur Pression potentielle

presque et de module 2,5 H et non 2H, montrant ainsi qu'il serait conçu avec un Amincissement Relatif -

- Les Modèles de Style Pompéiens se caractérisent par une pression élevée (10 à 12.000 N/m² pour les modèles classiques biconiques parfaitement symétriques) qui les rapprochent sérieusement de la zone de pression médiévale et moderne. C'est particulièrement le cas des modèles quasi-pompéiens (non biconiques ou non réversibles) dont la pression à neuf navigue entre 8.500 et 10.500 N/m².

- Les meules Médiévales et Modernes se situent en effet toutes dans une même zone de pression (rectangle vert) centrée sur 9.000 Newton au m²

- Cette pression constante est obtenue par un Amincissement Relatif de l'épaisseur. Ainsi, au lieu de suivre le canon Antique Diamètre = 2 Hauteurs, à partir de l'époque Carolingienne la hauteur des meules est ramenée vers les standards D = 3 à 5 H. Cet affaiblissement de l'épaisseur en proportion du diamètre a pour effet de rabattre la pression vers la zone des 9.000 N/m².

L'importance de ce rabattement augmente avec le diamètre. Sur la Figure, ce rabattement est illustré par la longueur des flèches vertes situées entre la ligne (fine diagonale grise) des valeurs 2H et les valeurs 3H, 4H, 4,5 H voire 5 H qui sont celles des meules volantes médiévales ou modernes (losanges rouges ou violets) et des modèles correspondants (losanges verts) -

Le second fait remarquable est en effet que cette pression est stable, autour de 9.000 N/m² (encadré bleu foncé de la col. 10 sur la Fig.20 et rectangle vert sur la Fig.22), ceci quel que soit le diamètre de la meule. Cela signifie que l'Amincissement Relatif des meules, opéré à travers le passage entre l'Antiquité et le Moyen Age depuis le modèle 2H vers des modèles 3 à 5 H, revient à diminuer une pression qui autrement aurait été très élevée et à la stabiliser sur une valeur constante⁴².

74. Il est à cet égard intéressant de prendre en compte la valeur de la pression attachée aux Modèles de Style Pompéiens (MSP)⁴³. Celle-ci apparaît forte. En effet (Fig.21), malgré l'important évidemment des leurs deux cônes, le poids de ces *Catilli* biconiques les place dans une zone de pression potentielle située entre 10.000 et 12.000 N/m² pour les *Catilli* de Style Pompéien de modèle Classique⁴⁴ (ovale rosâtre sur les Fig.21 et 22). Cette zone de pression est particulièrement éloignée de celle des Meules Rotatives Basses Antiques (2.500 à 6.000 N/m²) et 2 à 4 fois plus forte. En revanche elle est proche de la pression des meules plates médiévales et modernes (8.000-10.000 N/m²).

Cette proximité est encore plus vraie pour les *Catilli* que nous désignons par le terme de Quasi-Pompéiens⁴⁵ dont la pression (il s'agit toujours d'une pression à l'état neuf) est centrée sur 10.000 N/m². Ces meules (ovale jaune sur les Fig.21 et 22) entrent donc dans la zone de pression des meules médiévales et modernes, elles s'en distinguent uniquement par une envergure inférieure à 3 pieds. Il est clair que cette position proche de la valeur centrale de pression (9.000 N/m²) est en partie due au poids apporté, et non soumis à usure, par la partie basse, massive, et par les oreilles de ces modèles. En effet les oreilles des *Catilli* Quasi-Pompéiens représentent en moyenne 9,4% du poids (moyenne 143,6 kg) et pèsent 13,5 kg (Fig.23).

75. Les modèles de Style Pompéien classiques apparaissent massifs, ils sont en effet construits sur la proportion 1 H (diamètre = hauteur)⁴⁶. Si on les examine du point de vue de la

⁴² Nous avons vu précédemment que l'Amincissement Relatif opéré par le modèle médiéval et moderne diminuait aussi fortement l'énergie cinétique, mais sans la stabiliser (car la RKE dépend plus du diamètre et de la vitesse que de la masse), mais il y a chez les concepteurs médiévaux un souci commun de limiter ces deux paramètres qui autrement présenteraient des tendances communément dites « exponentielles ».

⁴³ Ces derniers ne sont pas présentés dans ce mémoire de thèse, ils font en revanche l'objet d'un article assez détaillé : BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI à paraître en français en 2021 aux éditions Mergoïl dans un volume d'Homages.

⁴⁴ C'est-à-dire parfaitement biconiques et symétriques, H valant 100 à 110% de D. Ces *Catilli* SP classiques sont généralement de grande dimension (2,25 à 3,25 pieds).

⁴⁵ Ce terme évite toute connotation chronologique ou génétique (telle que « pré-pompéien » ou « proto-pompéien ») et décrit des *Catilli* qui peuvent être biconiques (en général avec un cône plus petit que l'autre) mais ne sont pas réversibles car leurs oreilles sont situées dans la moitié inférieure. Il s'agit notamment des exemplaires bien connus de Byrsa ou de Morgantina mais aussi des *Catilli* anciens du Mont Faulat dans la Montagne Noire au Nord de Narbonne (II^e s. aC) et des 2 exemplaires de l'épave majorcaine d'El Sec, dont l'asymétrie des cônes a peu souvent été notée. Dimensions, surface, conicité et pression sont figurées pour ces 5 *Catilli* ainsi que pour un choix de modèles classiques et orviétans dans l'ANNEXE 23.

⁴⁶ Le plus souvent le diamètre vaut 1,1 H (IREC 110%) parfois 1,25 ou plus rarement 1,5 H.

norme de pression 9.000 N/m², ils comportent un excès de poids qui, pour un même gabarit (3 pieds) les place hors de la zone de la pression fixe médiévale et moderne. Ce surpoids est très probablement dû à la zone médiane, qui est épaisse en raison de la relative étroitesse de l'œillard, et à l'apport de poids constitué par les oreilles. Ces dernières pèsent en moyenne 21,357 kg et représentent 7,4% du poids total d'un *Catillus* classique (moyenne 287,3 kg). Elles sont beaucoup plus réduites à Orvieto où elles pèsent 12 kg et totalisent 3,4% seulement du poids total (moyenne 87,7 kg - (Fig.23).

Après un certain degré d'usure (peut-être de l'ordre de 25%) les Modèles Pompéiens Classiques entraînent à leur tour dans cette zone (les triangles rouges de la Fig.22 migrant vers la gauche puisque le poids diminue alors que la surface reste constante, ce que montrent bien les meules représentées par un triangle orange qui correspond à la pression observée sur des *Catilli* utilisés).

76. Aussi est-il envisageable que le processus chronologique de réduction des oreilles observé sur les *Catilli* de Style Pompéien s'inscrive dans une possible recherche d'allègement destiné à rapprocher le modèle classique de la valeur centrale de pression 9.000 N/m².

Figure 23 : Approche du poids relatif des Oreilles des *Catilli* de Style Pompéien

POIDS représenté par les OREILLES des <i>CATILLI</i> de Style POMPÉIEN			
Référence	OREILLES kg	Total kg CAT.	% OREILLES
MORGANTNA T.3-1	7,5	91,85	8,2%
MORGANTNA T.3-10	2,2	66	3,3%
FAULAT -2	18,8	129,98	14,5%
EL SEC -2	10,3	83,78	12,3%
POMPÉI -2a	28,26	400,13	7,1%
6 BYRSA	13,61	89,87	15,1%
Kg	80,670	861,610	9,4%
moyenne	13,445	143,602	
LYON 1-29	26,29	149,93	17,5%
LYON 1-29 Neuf	26,29	224,9	11,7%
TOURS Halles -32	16,45	386,4	4,3%
TOURS Halles -32 Nf	16,45	419,26	3,9%
LAMPIONE	13,2	247,3	5,3%
AMIENS -4	25,41	230,93	11,0%
7 AMIENS -4 Neuf	25,41	352,6	7%
Kg	149,500	2011,320	7,4%
moyenne	21,357	287,331	
ORVIETO R.13-17	5,7	183,25	3,1%
ORVIETO R.13-14	2,03	47,19	4,3%
ORVIETO R.10-24	2,25	69,2	3,3%
4 ORVIETO R.40-6	2	51,1	3,9%
Kg	11,980	350,740	3,4%
moyenne	2,995	87,685	

77. La première conclusion à tirer de ces données est que les Meules de Style Pompéien peuvent être considérées comme travaillant à une pression élevée par rapport aux Meules Rotatives Basses⁴⁷. En second lieu on est amené à se demander si, en réalisant les modèles classiques de *Catilli* de Style Pompéien, les mécaniciens et les meuliers de l'Antiquité, notamment du Haut Empire, n'ont pas empiriquement cerné la valeur-clé de pression des meules (ca. 9.000 N/m²) qui sera adoptée par le Moyen Age et la période Moderne, vraisemblablement suite à des travaux de calcul.

Cette convergence, sinon prouesse, technique a été atteinte par l'adoption d'une conicité très élevée qui a pour effet de fortement augmenter non seulement la surface de travail mais aussi la pression. En effet, celle-ci (Fig.24) est accrue d'un facteur 1,4 à partir de 45° et de 2,6 à 67,5° (12/16è de l'Angle Droit). Or les Meules de Style Pompéien présentent une conicité (cf. ANNEXE 23) supérieure à 50-52° (9/16è de 90°) et le plus souvent de l'ordre de 62 à 67° (11 et 12/16è de l'Angle Droit).

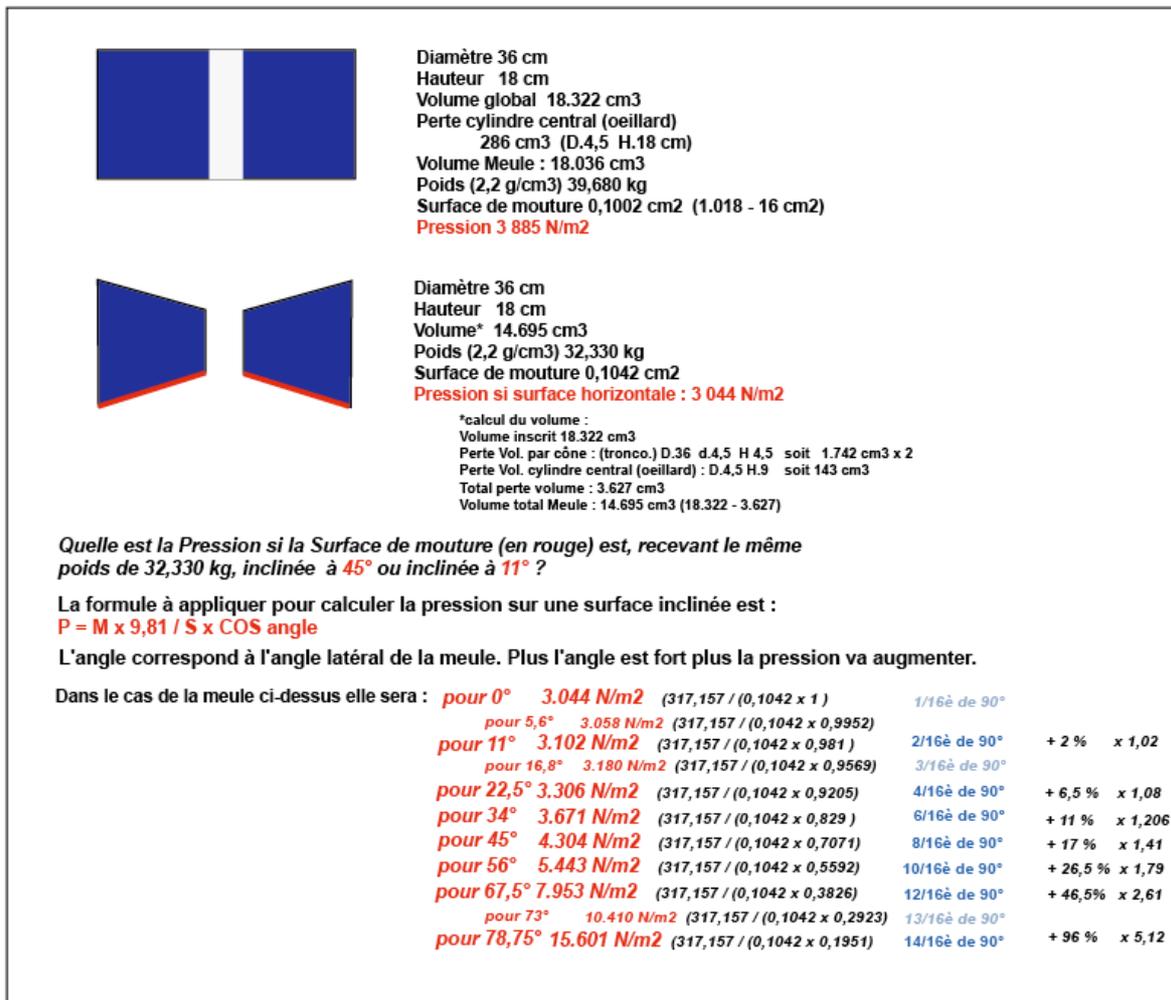
78. Ces constats effectués sur la pression potentielle à neuf des meules antiques à modernes porte à formuler quatre hypothèses :

.1. les meuliers antiques ne maîtrisaient pas la pression de la meule tournante, voire ne s'en souciaient pas, elle croissait de manière forte en fonction de l'envergure de la meule et même exponentielle si le diamètre obéissait à la norme 2H (voir en gris la diagonale 2H sur la Fig.22).

⁴⁷ Cette pression assez forte, équivalente aux valeurs modernes, était encore augmentée par le poids du grain placé dans l'important volume du cône supérieur formant trémie, ce qui n'est aucunement le cas des meules plates médiévales et modernes. Ajouter 50 kg au poids d'un *Catillus* de Style Pompéien classique tels ceux d'Amiens ou de Tours Les Halles (cf. ANNEXE 23) augmente la pression de 1.000 N/m². Cependant si l'on remplit la totalité du cône supérieur d'un *Catillus* de 2 pieds tel celui de Lyon (28.100 cm³) le poids de grain qu'il peut contenir ne pèse que 14 kg. Il ne semble donc pas que la quantité de grain insérée dans la trémie ait pu ainsi jouer un rôle de régulateur de pression même si ce poids augmentait avec l'usure de la meule : son apport en tant que lest (It. *zavorra*, Engl. *ballast*) semble demeurer marginal du moins quant à la pression.

Elle était de 2.500 à 6.000 N/m² pour les modèles rotatifs courants⁴⁸ et baissait progressivement (vers 1.200 N/m²) avec l'usure,

Figure 24 : Accroissement très fort de la Pression au-delà d'une conicité de 45°



.2. il est cependant possible que la limitation du diamètre à moins de 3 pieds ait été, dans l'Antiquité, motivée par le souci de maintenir une pression relativement basse (en-dessous de 6.000 N/m²)⁴⁹, peut-être en liaison avec la vitesse de rotation,

.3. la préoccupation du diamètre et de son augmentation semble avoir été centrale au Moyen Age et à la période Moderne,

.4. l'existence d'une pression à neuf normée rend possible que la maîtrise médiévale du triptyque Diamètre/Pression/Hauteur repose sur le calcul plus que sur l'accumulation de savoir

⁴⁸ Certaines MRB antiques pouvaient peut-être atteindre, du moins à neuf, le niveau de pression médiévale : ce pourrait être le cas du *Catillus* n° 12 de Peyriac-de-Mer dont la pression initiale est de 8.268 N/m² si d'aventure son module était 2H. Il pèse 130 kg pour un diamètre de 2 pieds (58 cm) et une hauteur restituable à neuf à 1 pied pour un modèle 2H. En l'état la hauteur est de 23 cm, le module 2,5 H et la pression 4.827 N/m² serait ainsi diminuée de moitié pour une usure de seulement 25% (données détaillées dans l'ANNEXE 22 – meules massives). Toutefois il est possible que cette meule soit quasi-neuve et de module initial 2,5 H et non 2H ce qui la ferait alors parfaitement rentrer dans les valeurs des MRB antiques au lieu d'en faire une exception.

⁴⁹ Au plan mécanique il nous paraît envisageable que la pression de 9000 N/m² ait pu participer à une nouvelle dynamique de la mouture et du circuit centrifuge des broyats, voire à une régulation thermique du 3^e corps, dynamique comprenant sans doute une aspiration et une dépression créées par la vitesse périphérique de la meule, et remplaçant la contribution de l'écoulement gravitaire lié dans l'Antiquité à la conicité des meules (10 à 19° et parfois 23°).

empirique. L'un des moyens de le savoir est sans doute de comprendre pourquoi le choix s'est arrêté, jusqu'à nos jours, sur une pression de 9.000 N/m^2 ⁵⁰.

Conclusions

79. La notion de Hauteur Utile d'une meule rend possible le calcul du degré d'usure d'une meule dès lors que l'on dispose de sa hauteur neuve en sortie de meulière. Cette méthode est précise, l'usure étant estimée entre 0 et 100% par la formule $(HUN_f - HU_r)/HUN_f$. Si la hauteur à neuf en carrière n'est pas connue, le degré d'usure peut néanmoins être estimé à partir de l'Indice de rectangularité du profil (IREC) qui correspond au rapport entre le Diamètre et la Hauteur. En effet, plus les meules sont usées, plus elles vont s'aplatissant et plus leur profil devient rectangulaire. L'estimation du degré d'usure correspond à la distance entre la rectangularité d'origine et celle, accrue, observable sur la meule utilisée.

Comme on ne connaît généralement pas la rectangularité initiale, l'usure peut être estimée à partir de l'Indice de rectangularité général moyen : calculé sur plusieurs centaines de meules antiques neuves provenant d'ateliers, l'IREC moyen à neuf est de 221%. L'IREC des meules utilisées est quant à lui de 395%. Ce rapport d'un facteur 2 (entre tendanciellement un IREC de 200 et l'autre de 400%) signifie qu'en moyenne générale l'usure entraînait une diminution de moitié de la hauteur des meules antiques. Cela signifie aussi que leur Hauteur Passive tendait à occuper la moitié de la hauteur.

80. A travers l'IREC, la notion de rectangularité du profil d'une meule permet de définir différents modules de fabrication des meules et d'appréhender la différence entre l'Antiquité et le Moyen Age à partir de l'époque Carolingienne.

En effet trois modules de meules peuvent être définis pour l'Antiquité *lato sensu* :

- Les Meules Trapues de modèle tendanciel 1,5 H où l'IREC varie autour de 150 voire 100% c'est-à-dire des meules où hauteur et diamètre sont proches, ce qui en réalité signifie des meules sur-épaisses et une probable fonction support (pour les *Metae*). Ce module semble marquer une partie des sites de la période molinologique ancienne (Els Vilars, Puig Castellar) et caractérise également Orvieto (IREC moyen 140%) ;

- Les Meules de module classique 2H où l'IREC est centré sur 200%, c'est-à-dire que le diamètre vaut 2 hauteurs. C'est le modèle largement majoritaire dans l'Antiquité, présent dès la période molinologique ancienne (V-III^e s. aC) il apparaît généralisé au II^e-I^{er} s. aC soit la période LT-C2/D ;

- Il existe toutefois un modèle que nous appelons MAR, qui est affecté par un Amincissement Relatif de l'épaisseur par rapport au diamètre : son IREC se situe au-delà de 250% (diamètre valant 2,5 hauteurs) et peut se diriger vers 300% sinon plus. Ce modèle aminci est attesté dès LT-D en zone rhénane. Dans la première moitié du I^{er} pC, notamment en zone urbaine, apparaissent des meules dont l'amincissement relatif est accentué. Cet Amincissement Relatif n'interdit pas des meules épaisses, elles sont simplement moins épaisses que si elles avaient respecté le canon 2H. Dans les assemblages de meules utilisées, des IREC de forte

⁵⁰ Il serait intéressant de voir à quelles valeurs elle correspond en livres médiévales et royales et de quel calcul elle peut procéder, les pages des traités FABRE 1783 et BENOIT 1863 (p. 809 sq.) sont sans doute précieuses à cet égard.

valeur, de 600 à 1.200%, permettent de détecter des meules dont, à neuf, la rectangularité était déjà prononcée (IREC de l'ordre de 3 à 400% soit un diamètre valant 3 à 4 H).

Figure 25 : Table des données fondant le diagramme de la Figure 22

N°	GABARIT	D / H	PRESSION	
0.1	1,25	1,5 H	4261	type ESP à MANCHONS
0.2	1,5	2 H	4140	
0.3	1,75	1,66 H	5557	
0.4	0,875	2 H	3428	
0.5	1	1,75 H	4000	
0.6	1	2,2 H	3200	
0.7	1	2,2 H	3200	
0.8	1	2,2 H	3200	
0.9	1,125	1,5 H	5257	
0.10	1,125	1,5 H	5200	
0.11	1,125	2 H	3886	
0.12	1,125	2 H	4229	
0.13	1,25	1,5 H	5486	
0.14	1,25	1,75 H	5257	
0.15	1	1,5 H	3884	
0.16	1	1,75 H	3083	
0.17	1	1,75 H	3253	
0.18	1	1,75 H	3208	
0.19	1	2 H	2876	
20.20	1	2 H	3178	
0.21	1,125	1,5 H	4793	
0.22	1,125	2,75 H	2490	
0.23	1,25	1,75 H	4088	
0.24	1,25	2,75 H	2657	
0.25	1,25	1,25 H	5664	
0.26	1,25	1,5 H	5867	
1	1	2 H	2758	
2	1,25	2 H	3442	
3	1,5	2 H	4126	
4	2	2 H	5513	
5	3	2 H	8822	
6	3	3 H	6367	
6'	3	2 H	9551	
7	4	3 H	8486	
7'	4	2 H	12733	
8	4	4 H	6369	
9	4,6	4,5 H	9317	
10	5	4 H	7957	
10'	5	2 H	15917	
40.11	6	4,5 H	8404	
11'	6	2 H	19100	
12	7	4,5 H	9768	
12a	7	2 H	22197	
12b	7	5,5 H	8072	
12c	7	6 H	7399	
13	1,5	2,5 H	2895	
13a	1,5	2 H	3885	
13b	1,5	3 H	1942	
14	1,5	2,25 H	3440	
14a	1,5	2 H	3764	
14b	1,5	4,5 H	1455	
15	2	3,25 H	1510	
15a	2	2 H	3170	
15b	2	4,5 H	1357	
16	2,25	4,25 H	2353	
16a	2,25	2 H	6238	
16b	2,25	4,5 H	2137	
17	2	2 H	8.268	
18	2	2,5 H	4.827	
60.19	1,75	2 H	4030	
20	1,25	2,5 H	2810	
21	1,25	1,5 H	4030	
22	1,75	2 H	4680	
23	1,25	1,75 H	3810	
24	1,5	2 H	3490	
25	1,75	2 H	3700	
26	2,25	1 H	3.700	
27	2,25	1 H	4.500	
28	1,5	1,5 H	2.000	
29	1,5	1,5 H	4.600	
30	1,5	1,5 H	3.800	
31	1,5	1 H	1.700	
32	1,25	1 H	3.500	
33	1,5	1,25 H	17.774	
34	2	2 H	8.616	
35	2,25	1,25 H	10.748	
36	1,5	1 H	10.187	
37	1,5	1 H	9.310	
38	3	2,25 H	13.125	
80.39	2,25	1 H	4.741	
40	2,25	1 H	10.127	
41	3	1 H	8.394	
42	3	1 H	11.316	
43	2,25	1 H	11.200	
44	2,5	1 H	6.732	
45	2,5	1 H	11.822	
46	3,25	1 H	7.316	
88.47	3,25	1 H	10.708	

cercles noirs sur la Fig.22

carrés bleus sur la Fig.22

carrés rouges sur la Fig.22

cercles orange sur la Fig.22

losanges verts (modèles) ou rouges (meules réelles observées) sur la Fig.22

cercles verts sur la Fig.22 :
 - vert pâle : état neuf
 - vert sombre : état utilisé observé
 - vert moyen : usure maximale projetée

cercles roses sur la Fig.22 (Catilli neufs)

triangles bruns sur la Fig.22

triangles jaunes sur la Fig.22

Catilli neufs : triangles rouges sur la Fig.22
 Catilli utilisés : triangles orange sur la Fig.22

Ce module connaît un fort développement à l'époque Romaine, en relation avec l'augmentation du gabarit des meules. L'Amincissement Relatif est corrélé au diamètre : plus l'envergure d'une meule est importante (au-delà de 1,5 pied) plus son épaisseur va décroître. C'est la situation médiévale qui va nous permettre de comprendre la nature probable de cette liaison.

81. Il apparaît en effet que l'Antiquité avait repéré la nécessité d'amincir les meules à mesure que leur envergure croissait. Toutefois les meules antiques qui atteignent 3 pieds de dimension sont rarissimes et fréquemment suspectes d'une chronologie postérieure. On en déduit donc soit que l'Antiquité ne disposait pas de la puissance motrice à même de mouvoir des meules larges et lourdes (de l'ordre de 500 kg à 1 tonne) -ce dont on peut douter à voir l'envergure des roues hydrauliques-, soit qu'elle disposait de la puissance motrice mais ne pouvait fabriquer les meules adaptées.

La prise en compte de la pression de la meule tournante semble éclairer la problématique. En effet, les meules antiques de module Diamètre = 2 Hauteur (module 2 H) montrent une pression faible, compris entre 2.500 Newton au m² pour une envergure de 1 pied et 5.500 N/m² pour un gabarit de 2 pieds. A partir d'un diamètre de 3 pieds (ca. 90 cm), le module antique habituel (2H) fait sortir la meule de la zone de pression antique pour la faire entrer dans celle qui va s'avérer typique du Moyen Age au XIX^e siècle : la pression de 8.000 à 10.000 N/m². Pour qu'une meule d'un diamètre de 3 pieds reste dans la zone de pression de l'Antiquité, il faut qu'elle passe en module 3 H sinon plus (3,5 ou 4 H soit un IREC de 350 ou 400%).

La pression de la meule tournante (*Catillus*) était dans l'Antiquité faible et les meules amples, celles de 3 pieds, n'ont pas été fabriquées : on peut dès lors supposer que se posait un problème de poids et de pression pour les grands gabarits antiques.

82. La clé de la question semble donnée par le fait qu'à partir de l'époque Carolingienne, de manière stable au long du Moyen Age et jusqu'à la période industrielle, la pression à neuf de toute meule volante va être stabilisée autour de la valeur 9.000 N/m². Ce standard, dont nous ne connaissons pas les raisons, est obtenu au moyen d'un Amincissement Relatif systématique des meules vers une valeur de 3H à 5H sinon un peu plus. On peut ainsi poser l'hypothèse que l'Antiquité n'a pas pu réaliser des meules d'une envergure de 3 pieds ou plus parce qu'elles aboutissaient à une pression trop élevée qu'on ne savait pas alors rabattre bien qu'on ait connu ou entrevu le principe de l'Amincissement Relatif.

La raison nous semble résider dans la conicité. En effet l'immense majorité des meules antiques, outre le fait qu'elles soient de module 2H donc épaisses, sont systématiquement coniques. Or dès que le diamètre augmente, la conicité entraîne une hausse automatique de l'épaisseur et une hausse plus forte encore du poids. Seul l'abandon de la conicité, qui apparaîtra généralisé à l'An Mil, autorisera une croissance infinie de l'envergure des meules et l'application d'un Amincissement Relatif systématique et proportionné. Autrement dit la généralisation de la meule plate nous paraît avoir historiquement constitué une condition à la libération du diamètre et au dépassement de l'envergure des meules antiques bloquées au seuil des 3 pieds.

83. Cette lecture ouvre une prospective d'enquête sur les raisons d'un certain confinement géographique du Moulin Plat dans l'Antiquité (restreint à l'aire Seine/Somme en période Romaine puis perdant après La Tène la zone Mayenne/Seine) et sur la rencontre entre d'une part la technologie normanno-picarde du Moulin Plat et d'autre part la tradition thénane des meules amincies voire minces. Dans le même temps, il a également fallu que cette rencontre technique s'articule avec de fortes sollicitations en direction de la fabrication de meules de 3 pieds. En effet, les meules de type Dorestad demeurent dans le gabarit antique classique de 1,5

pied⁵¹. Les 3 paramètres que sont minceur, conicité 0° et grand gabarit ne sont donc pas automatiquement liés, ils se sont trouvés réunis, d'abord les deux premiers puis le troisième.

Dans cette évolution décisive vers des meules à la fois plates et minces ou amincies puis de grand gabarit, il apparaît probable que l'aire Seine/Rhin ait joué un rôle central. A l'opposé, se pose la question de savoir si la zone méditerranéenne, dépourvue de meules plates depuis le III^e s. aC et où le modèle MAR semble rare, ne s'est pas tenue à l'écart de ce progrès technique décisif élaboré en période tardo-antique ou alto-médiévale.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ANDERSON 2013 – ANDERSON *et al.* 1994 – ANDERSON *et al.* 2003 – BARBOFF 2003 – BELMONT 2001 – BENOIT 1863 – BRUGGEMAN 2003 – BRUN 2017 – BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI à paraître – CASTELLA, ANDERSON 2004 – CASTELLO 2018 – CORTELAZZO 2015 – CURWEN 1937 – DUCREST 1777 – FABRE 1783 – FANTINI 1968 – FEVEILE 2010 – FRESHWATER 1996 – GENTILI 2008 – GINOUEZ 2016 – HILL, ROWSOME 2011 – HORTER 2003 – JACOTTEY, BOYER, ALIX 2017 – KARS 1980 – LONGEPIERRE 2012 – MANGARTZ 2008 – MORASZ, PULOU 1997 – PARKHOUSE 1976 - PARKHOUSE 1997 – PARKHOUSE 2014 – PEACOCK 2013 – PICAUVET 2019 – POHL 2010 – WATTS 2002 – WILLIAMS, PEACOCK 2011 –

⁵¹ Le diamètre le plus fréquent à Dorestad-même est en effet 48 cm (KARS 1980, 411 ou PICAUVET 2019, 289) il est de 45-47 cm à Ribe (FEVEILE 2010) et semble identique à Haitabu (*Engl.* Hedeby). Ces dimensions correspondent au standard 1 pied ½ (pour un pied long de 30 à 32 cm) ou un peu plus (26 et 28 dgt) soit vers 1pied ¾ dans des pieds courts de type 27,5 et surtout la valeur intermédiaire 25/26 dgt pour des pieds de 28,2 ou 29,25 et 29,56. Les 6 meules de l'**Idice** près de Bologne (FANTINI 1968) dont 2 en schiste à grenat et 4 en grès, non datées mais vraisemblablement attribuables à l'intervalle 500/1000 voire 1200 pC, sont d'un gabarit de 2 pieds (54 , 58, 59, 63, 63,5 et 64 cm) et semblent mesurées en pouces.

CHAPITRE .19

Origine & déploiement du Moulin Plat

_____ L'examen du paramètre Pente ou Conicité des meules, destiné à placer le corpus d'Orvieto dans l'espace Ouest méditerranéen et ses zones ou traditions techniques, esquisse des Faciès géographiques de Conicité que nous ne pourrons exposer dans le présent mémoire. Ces Faciès ouvrent sur une perception moins synchrétique du fait meulier protohistorique et romain, appelant à enquêter sur l'origine et la chronologie des conicités, sur des effets de frontières et de perméabilités, sur également l'autonomie ou la liaison entre la pente des meules et les autres paramètres.

Néanmoins l'étude de la Conicité nous a conduit à mettre en relief un phénomène qui nous semble jusqu'ici insuffisamment souligné : celui de l'existence de meules plates que nous appelons également « moulin plat¹ » car il est susceptible de correspondre à une technologie particulière.

_____ Trois observations nous conduisent à proposer cette distinction :

1- du point de vue géométrique, comme nous l'avons vu (CHAP.9), l'absence de conicité libère le Diamètre qui peut alors croître indéfiniment sans poids supplémentaire,

2- probablement pour cette raison, les meules plates seront seules retenues par le développement des techniques molinologiques au cours du Moyen Age et de l'époque Moderne, ce probablement dès le Haut Moyen Age (sans doute Carolingien),

3- certaines régions, telles que la Picardie à la période LT C-D et sans doute la Normandie, sont caractérisées par la haute fréquence des meules plates, où elles tendent à constituer le standard dominant.

_____ Le caractère technologiquement particulier du Moulin Plat nous paraît résider

¹ S'agissant d'un concept, on a choisi de l'écrire Meules Plates ou Moulin Plat et de l'abréger en MPL, par opposition à la catégorie des Meules ou Moulins Coniques qui pourront le cas échéant être abrégés en MC.

dans l'abandon qu'il consacre ou qu'il manifeste, des dispositifs (Anilles et crampons) ou des géométries (Conicité) destinés à éviter l'oscillation des meules, cette dernière ayant selon nous constitué une préoccupation majeure de la technologie antique des moulins.

L'entraînement du Moulin Plat peut être indifféremment par-dessous (mécanisation hydraulique, manuelle ou pédestre) ou par-dessus (manchon & bielle ou bâton) et potentiellement latéral (courroie sur la jante de la meule). Le MPL a pu fonctionner avec différents systèmes de support du *Catillus* (ailettes en boîtard dans des Œils « celtiques » ou de forme variable, anilles par-dessus ou par-dessous ou systèmes de cramponnage par-dessus). Mais avec la croissance du Diamètre qu'il autorise, le Moulin Plat s'accommode peut-être surtout de la présence de l'Anille, qui permet de surcroît un meilleur réglage de l'écartement des meules (hausse du gros fer par-dessous à travers l'Œil perforant de la *Meta*). A ce titre il conviendrait de mesurer la proportion d'Anilles présentes sur les *Catilli* dont le Gabarit atteint ou dépasse 2 pieds.

_____ **D**évelopper les problématiques liées au Moulin Plat et approfondir l'examen du corpus en ce sens n'entre cependant pas dans les objectifs du présent travail et, méritant une thèse en soi, ce sujet fera l'objet de développements ultérieurs dans le cadre du programme de recherche que nous souhaitons initier.

On se contentera donc ici, afin que les meules d'Orvieto soient situées, d'esquisser un cadre général et problématique, la frontière géographique et chronologique du Moulin Plat en Italie nous paraissant d'ailleurs une question importante, notamment pour savoir si la Péninsule a pu en hériter à partir de l'aire méridionale de ce modèle, mais la présence du Moulin Plat en Italie nous paraît assez improbable avant l'époque tardive.

1- **Moulin Plat : Deux zones medio-laténiennes**

1. Le classement tendanciellement chronologique de notre Corpus de comparaison et la prise en considération de la proportion de meules plates (67 assemblages et 2.082 meules – **Table en fin de ce Chapitre**) met en évidence, pour deux périodes grossières (La Tène et Romaine), un phénomène de polarité du Moulin Plat. Ce dernier apparaît spécifique à 2 aires, l'une septentrionale, et l'autre méridionale, dont seule la septentrionale sera conservée en période Romaine.

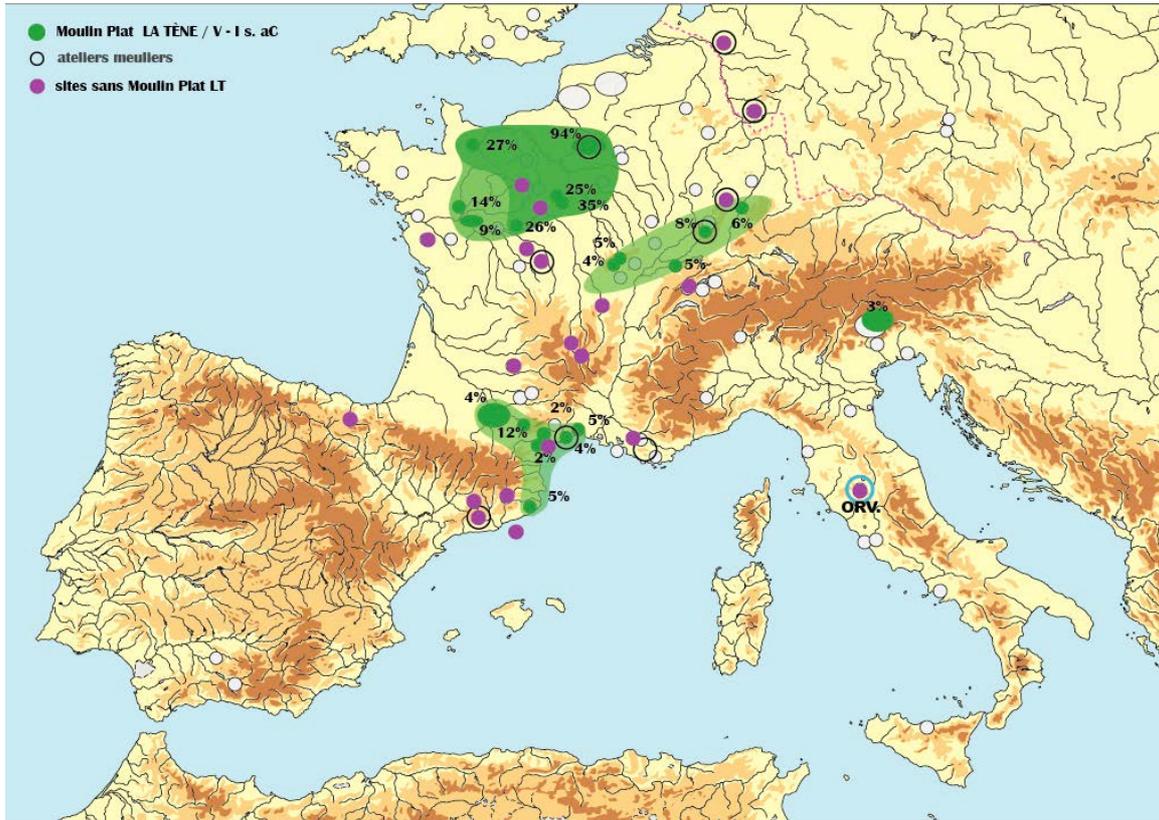
2. Ainsi, pour la période de La Tène (Vè – Ier s. aC) on observe d'une part (**Fig.1**) la présence du Moulin Plat dans la partie N-W du Bassin Parisien, aire septentrionale que l'on peut qualifier de « Normanno-Picarde ». En effet, cette zone Eure/Seine/Somme/Oise/Seine/Loiret constitue le cœur de l'aire septentrionale du Moulin Plat car les fréquences de ce dernier y sont élevées : 94% de Meules Plates en Picardie et 25-30% ailleurs. Ces pourcentages élevés indiquent que la Conicité 0° constitue souvent un standard, éventuellement dominant, et pourrait traduire le fait que la Picardie constitue le foyer du Moulin Plat septentrional.

Il serait intéressant de savoir si dans cette aire principale « Normanno-Picarde » les Meules Plates correspondent à la production exclusive de certains ateliers ou si Meules Plates et Meules Coniques sont associées dans ces derniers ou seulement dans les assemblages.

3. L'aire septentrionale du MPL s'étend à l'Ouest sur une zone Orne/Mayenne/Loire (9 et 14%). La présence de sites laténiens sans MPL rend incertaine la continuité avec la zone Normanno-Picarde d'autant qu'une limite d'extension occidentale

semble exister à l'Ouest d'un axe Chartres/Orléans².

Figure 1 : Zones Méridionale & Septentrionale du Moulin Plat à La Tène



4. Une troisième aire s'observe à l'Est, sur une zone Morvan/ Saône/Vosges/Rhin. La fréquence du Moulin Plat y est assez faible (autour de 5% des assemblages). Cette configuration pourrait traduire l'existence d'une production de MPL soit limitée dans le temps soit limitée à un nombre restreint d'ateliers. Toutefois l'amplitude spatiale importante des MPL de l'Est rend moins probable cette dernière hypothèse. En l'état actuel des données (absence dans le corpus d'assemblages meuliers laténiens pour l'espace intermédiaire Yonne/haute Seine/Aube/Meuse) on ignore si cette aire orientale à MPL est coalescente à l'aire Picarde.

5. L'aire méridionale présente une situation analogue à la partie Est de l'aire septentrionale. Elle présente en effet une étendue assez large (du Rhône au Toulousain) associée à des fréquences faibles (2 à 5%). Sa géographie combine une distribution côtière autour du Golfe du Lion et une distribution linéaire armée par l'Aude et l'axe Narbonne-Toulouse.

6. Le Moulin Plat semble connaître (Fig.1) une distribution restreinte au sein même du foyer originel catalan. Sur 5 sites laténiens du corpus il n'est présent qu'à Puig St. Andreu (550-200 aC) et absent à la fois de Els Vilars (meules du V-IVE s. aC), d'Alorda Park (450-200 aC) et de Puig Castellar (IIIè s. aC).

7. La fréquence des Meules Plates méridionales n'apparaît pas différente entre la

² Sites sans meules plates de Moulin Geargeot (Fontaine la Guyon à l'Ouest de Chartres – ROBIN in FENCKE 2009) et site de Saran (10 km au Nord d'Orléans – ROBIN 2014).

distribution côtière et celle de l'axe Aude/Narbonne/Toulouse³. Elles sont cependant rares à cette extrémité Ouest (2 sur 95 soit 2,1%). La fréquence la plus élevée (12%) s'observe au dépôt archéologique de Carcassonne⁴ et elle monte à 20% à Lattes parmi les meules datées avant notre ère⁵. Mais le caractère souvent quantitativement limité des assemblages et plus encore des datations (sauf en toulousain) incite à la prudence.

Reste toutefois le fait que les fréquences sont bien peu élevées si on les compare à l'aire normanno-picarde. La situation méridionale est plutôt analogue à celle de la zone septentrionale Est mais en revanche pour le Midi on sait que les Meules Plates sont issues d'ateliers variés (*cf. infra* : lithologie) : la faiblesse des fréquences y traduit donc probablement une production de MPL limitée dans le temps sinon en nombre d'ateliers émetteurs.

Figure 2 : Table des Meules Plates du Midi

MEULES PLATES de l'Aire Méridionale								
Site	ROCHE	NR 0°	NR meules	% 0°	DIAM.	MPL plus anciennes	CHRONOLOGIE du SITE	Notes
LATTES	Basalte	4	20	20,0%	D.35/39/40/42	300 - 250 aC	550 aC - 150 pC	
AGDE	Basalte	1	23	4,3%	D.48	500-400 aC ?	500 aC? - 200 pC?	Catillus à Anille par-dessous : ROM ?
		5	43	11,6%				
ENSÉRUNE	SEDIM	1	56	1,8%	D.42	-	IVè et IIè aC	tardive ou médiévale (2 anilles croisées)
PECH MAHO	SEDIM	1	59	1,7%	D.49	-	560 - 200 aC	n° 43 CAT ou META (550-450 ac ?)
P. St. ANDREU	Granite	1	22	4,5%	D.46	-	500-200 aC	la MPL PSA.24 n'est pas datée
CARCASSONNE	SEDIM	2	16	12,5%	D.42 et D.37 (Lag.)	-	120-60 aC	MPL n°8 de La Lagaste : non datée
TOULOUSAIN	SEDIM	2	46	4,3%	D.42 (LT-D)	LT-C2	LT-C + D (+ ROM)	LT-C exemplaire de Castres, n°89
		7	199	3,5%				
								42,27 moyenne
Total		12	242	5,0%	DIAM. 42 cm			

8. Malgré la faiblesse des effectifs (12 Meules Plates, 11 Diamètres et tout au plus 6 datations), il n'est pas inintéressant de regarder plus en détail les MPL méridionales (Fig. 2). Les Meules Plates non volcaniques sont autant représentées (7) que celles en basalte (5). Surtout, on voit que l'Aire Méridionale du Moulin Plat est issue de la réunion de deux aires lithologiques (Fig. 3).

A l'Est tout d'abord s'esquisse une zone Languedoc Central, assez limitée et constituée de meules plates en basalte issues des ateliers d'Agde ou du complexe volcanique héraultais. A l'Ouest ensuite s'étend du Nord Catalan (Puig St. Andreu d'Ullastret)⁶ au Toulousain une zone Pyrénéenne et Audoise⁷ alimentée en meules non volcaniques (granitiques ou plus souvent sédimentaires : 6 sur 7). Il est clair que cette zone Pyrénéenne est approvisionnée à partir de plusieurs ateliers ou centres de production. Les meules de l'oppidum de Montlaurès permettent toutefois de voir que le domaine du basalte héraultais s'étend à l'Ouest (narbonnais) mais sans que l'on sache actuellement si cette extension comporte des Meules Plates⁸.

³ 2 exemplaires, en roche sédimentaire, sur 46 meules laténiennes (soit 4,3%) : la n° 24 Rue Férétra à Toulouse (LT-D) et la n°89 à Castres (datée de LT-C) : THOMAS 2006.

⁴ 2 meules sur 16, en roche sédimentaire et dont l'une provient de l'oppidum de La Lagaste (inédit A. Chartrain).

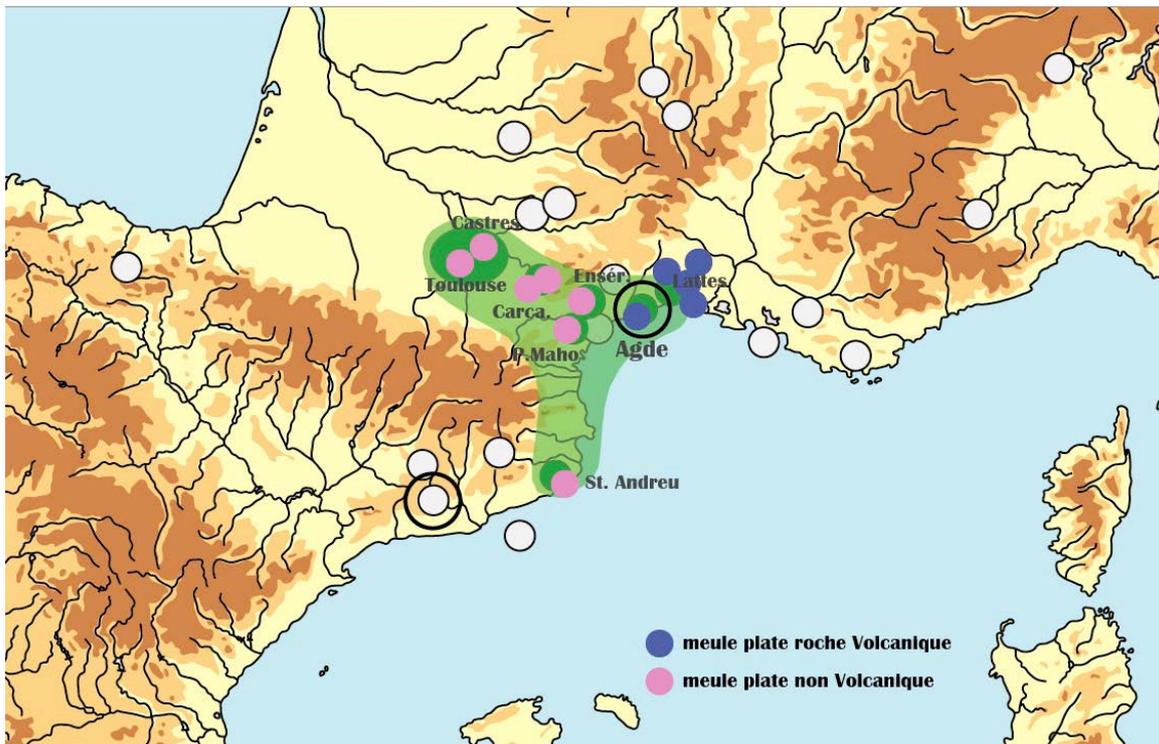
⁵ A Lattes 4 meules plates, toutes en lave vraisemblablement héraultaise, parmi 20 attribuables à l'intervalle 500 aC-Auguste (PY 1992 et RAUX 1999), cependant ce pourcentage est très vraisemblablement inférieur car beaucoup de meules indatées sont probablement protohistoriques.

⁶ PORTILLO 2006.

⁷ Il est dommage que nous n'ayons pu accéder aux meules rotatives de l'oppidum de Montlaurès, site précurseur de Narbonne, dont 14 ont été publiées par REILLE 2001 malheureusement sans datation, diamètre, angulation ou dessin : 8 sont en roche sédimentaire (arkose, litharénite ou conglomérat) et 6 sont en basalte héraultais).

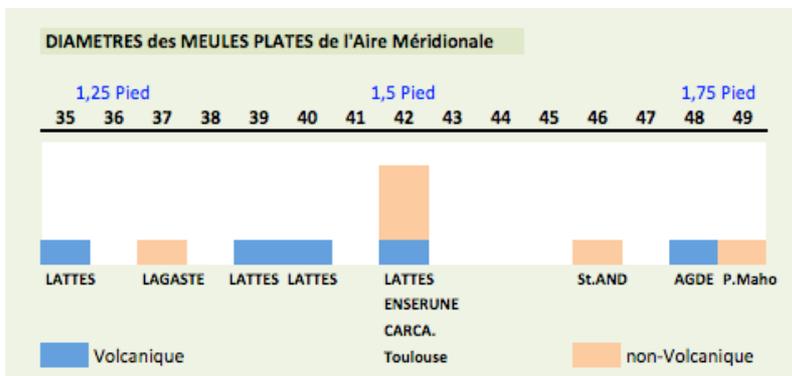
⁸ Cf. note précédente.

Figure 3 : Lithologie des Meules Plates de l'Aire Méridionale



9. Les Diamètres (Fig. 4) sont plutôt amples. Ils varient de 35 à 52 cm c'est à dire du gabarit de 1 pied $\frac{1}{4}$ à 1 pied $\frac{3}{4}$. La moyenne et le mode s'établissent à 42,27 cm ce qui indique que le gabarit le plus fréquent était de 1 pied $\frac{1}{2}$. Pour la période protohistorique, cette moyenne et ces valeurs supérieures traduisent l'importance des Grands formats. Les meules de 46 et 49 cm (St. Andreu et Pech Maho⁹) sont assurément d'époque laténienne, de même que la plupart de celles mesurant 42 cm d'envergure¹⁰. A l'exception de celle de 39 cm, qui date de la seconde moitié du Ier s. aC, les MPL de Lattes se situent sur l'intervalle 275-200 aC. Il est donc possible que les Meules Plates héraultaises du III^e s. aC aient été d'une plus faible envergure, ou que simplement les grands gabarits ne soient pas représentés dans ces échantillons faibles.

Figure 4 : Diamètre des meules Plates de l'Aire Méridionale



10. Les plus anciennes Meules Plates méridionales datées sont celles de Lattes qui renvoient à l'intervalle 300-250 aC. Elles permettent d'établir que le Moulin Plat est attesté dans l'aire méridionale, et plus particulièrement dans sa zone du Languedoc Central,

⁹ PORTILLO 2006 ainsi que GAILLEDRAI *et al.* 2012.

¹⁰ A l'exception de celle d'Ensérune (étude inédite A. Chartrain), probablement tardive voire médiévale ; de même, dans les grands formats, le *Catillus* d'Agde (ARIS 1973), à anille et de 48 cm de diamètre, pourrait être antique sinon tardif.

dans la première moitié du III^e s. aC. Il reste toutefois possible que le MPL soit plus ancien, s'il était présent au sein des meules du IV^e s. aC d'Ensérune (ce qui n'est pas actuellement attesté)¹¹ et surtout de Pech Maho où l'occupation principale couvre l'intervalle 450-200 aC¹².

11. Le Moulin Plat ne semble pas présent entre l'aire Septentrionale et l'aire Méridionale. Même si cet espace intermédiaire est peu référencé dans notre corpus¹³ (Fig. 1) et que l'on dispose seulement de 4 sites laténiens sur le Massif Central, dont 3 pour l'Auvergne (LT C-D Le Pâtural¹⁴ et Roanne, LT-D Gondole) et 1 en Corrèze (Puy du Tour, LD), ces sites sont en effet dépourvus de meule à conicité 0¹⁵. Cette configuration rend peu probable que le foyer Picard ait emprunté le Moulin Plat au Midi par l'intermédiaire de l'axe méridien (régordan). Si transmission dans un sens S/N il y a eu, elle se serait plus probablement effectuée par l'axe rhodanien. En effet, un transfert maritime Gironde / Loire (puis une diffusion, tout à fait possible, par le réseau fluvial de la Seine) paraît improbable au vu des références dont on dispose sur l'axe ligérien (Fig. 1)¹⁶.

2- Rapports entre les aires Nord et Sud et Question de l'Origine du Moulin Plat

12. En Picardie, le Moulin Plat apparaît sous la forme en dôme (*Beehive* anglais) à la période LT-C2 (POMMEPUY 1999, 132) sur des sites tels que (Acy-Romance *La Warde* et Menneville *Derrière-le-Village*) où, avant de s'effacer à la période LT-D1, elles dominent les autres MRB, toutes des modèles plats. Les meules rotatives coniques sont inexistantes et resteront minoritaires au cours de la période Romaine qui suivra.

On dispose également de quelques références anciennes en Beauce et plus globalement entre Seine et Loire. A Ymonville (FR, 28)¹⁷ le Moulin Plat représente 5 des 18 meules laténiennes (soit 9%). Il est attesté en 1 exemplaire dans un contexte LT-B2/C1, puis également en 1 exemplaire dans des structures archéologiques de la phase LT-C1, LT-C tandis que 2 autres MPL relèvent de contextes attribués à la période LT-C2-LT-D. Sur ce site du cœur de la Beauce, les MPL sont donc en proportion importante et apparaissent dès avec les premières meules rotatives.

Plus à l'Ouest, sur la Loire, le site laténien d'agglomération artisanale de Blois-La Croupe (PEYNE *et al.* 2019), montre une proportion égale de meules plates (9 exemplaires sur les 35 meules, soit 26%) et les plus anciennes MPL apparaissent exclusives et en 4 exemplaires dans

¹¹ La seule MPL d'Ensérune connue à ce jour, réalisée en roche sédimentaire, est comme on a vu probablement d'époque romaine voire médiévale.

¹² Les meules de Pech Maho (41 cataloguées dans PORTILLO 2006) ont fait en 2012 l'objet d'une étude dans le cadre d'un contrat post-doctoral (UMR 5140 de Lattes) ; nous remercions E. Gailledrat, responsable du programme Pech Maho, d'avoir bien voulu nous transmettre le rapport 2012 où il en est rendu compte. Sur 59 éléments une seule meule plate y est attestée (1,7%), réalisée en grès ; toutefois la rareté des datations ne permet guère de savoir sur quel intervalle chronologique se situent la plupart des meules de Pech Maho entre ca. 550 et 200 aC, leur chronologie dépend des futures découvertes.

¹³ Lacune globale sur l'Aquitaine et le Sud-Ouest ainsi qu'à l'Est sur tout le couloir rhodanien.

¹⁴ Au Pâtural les MRB semblent plutôt précoces (phase 1b attribuée au LT-C1 vers 260-200 aC – DEBERGE *et al.* 2007).

¹⁵ Il est même possible, mais le référencement insuffisant de notre corpus ne permet pas de s'en assurer, que les Meules Plates aient également été rares dans cet espace intermédiaire au long de la période Romaine.

¹⁶ Il sera toutefois intéressant de voir si le MPL est présent et en quelle mesure, sur l'axe Garonne (thèse en cours de Pierre Caussade sur les meules rotatives de la zone Toulouse/Bordeaux).

¹⁷ ROBIN in JOSSET 2012.

des contextes LT-C2 attribués à l'intervalle 200-150 aC. Mais, très fragmenté, le matériel meulier de La Croupe pourrait être résiduel et donc plus ancien.

13. Sur cette base documentaire, déjà ancienne pour la Picardie et sans que nous ayons pu naturellement entrer dans une recherche systématique des données à jour concernant cette région ainsi que pour la Normandie sur les deux rives de la Seine, ou pour la Brie et l'Île de France, où les sites de La Tène Ancienne et Moyenne sont nombreux, on peut néanmoins déduire que les Meules Plates apparaissent vers la période LT-B2/C1 et qu'elles constituent parfois les premières manifestations des Meules Rotatives Basses.

La transition entre LT-B2 et LT-C1 est situable en région Seine/Marne autour de 250 aC. Cette période dite de la « *Mutation du III^e siècle* » est depuis quelques années perçue comme une période d'évolution majeure de l'Age du Fer (BRUN 2007) que certains auteurs ont analysée en détail (MARION 2016) comptant souvent la technique des meules rotatives au rang des symptômes de cette mutation¹⁸.

14. La confrontation chronologique entre les aires méridionale et septentrionale du Moulin Plat fait ressortir l'**éventualité d'une contemporanéité d'apparition des meules plates entre ces deux aires**. La particularité de l'aire **méridionale** est d'être sans lendemain et de montrer une fréquence vraisemblablement faible des MPL.

15. L'aire Méridionale et Languedocienne du MPL apparaît en effet comme un simple épisode entre d'une part la conicité catalane des origines du MRB, d'ailleurs plutôt élevée¹⁹, et d'autre part la généralisation postérieure des moulins bas coniques dans le Midi à partir du II^e s. aC (Fig.5) puis à l'époque Romaine. La présence, en quantité peut-être assez limitée (toujours inf. à 10% des assemblages globaux mais peut-être plus au sein des ensembles protohistoriques), du Moulin Plat au III^e s. a C dans le Midi constitue donc une parenthèse.

16. La première possibilité pour expliquer cette intrusion sans lendemain est celle d'une innovation sur place, parallèle à celle qui intervient dans le Bassin Parisien mais qui aurait en somme été « tuée » localement. Pourtant le Moulin Plat présente de no

Figure 5 : Périodes de Conicité à Lattes

LATTES - meules ordonnées chronologiquement						diamètre-périodes		conicité-périodes		phasage		
N°	DIAM cm	Meta	CAT	Angle	CHRONO		conicité					
826	42	1		16°	IV BC	Période 1 IV & III BC	16°	A	forte conicité	Phase I A grands formats forte conicité piéd long ou court	16° 20° 25° 30° 35°	3 soit 18%
835	44		30 + 20°	IV BC	30° + 20°							
102	48	1	25 + 35°	325 BC/300	35° + 25°							
26	42	1	2°	300/250 BC	2°							
29	42	1	1°	300/250 BC	1°	B	faible conicité	Phase IB grands formats faible conicité piéd long ou court	0° 1° - 2° - 4°	6 soit 37%		
30	39,5	1	4°	300/200 BC	4°							
31	42,5	1	0°	275/250 BC	0°							
27	41	1	0°	225/200 BC	0°							
28	35		0 + 8°	225/200 BC	0° + 8°	Phase II B petits form. faible con.						
37	33,5	1	11 + 15°	250/150 BC	11° + 15°	Période 2 II & I BC	11° + 15°	C	conicité moyenne	Phase II C petits formats - conicité moyenne - piéd court dominant	0° 9° - 11° 15°	3 soit 18%
38	67	1	15°	200 BC p.228	15°							
67	37	1	9°	150/125 BC	9°							
52	39,5	1	20 + 35°	100/50 BC	35° + 25°		Phase II D					
79	36	1	15°	50 BC/+25	15°	petites meules	15°	D	forte conicité	petits formats forte conicité piéd court dominant	15° 16° 20°	4 soit 25%
33	39	1	0° + 16°	50/0 BC	0° + 16°							
80	34,5	1	20 + 30°	25 BC/+25	20° + 3°							

¹⁸ « En ce qui concerne le domaine agricole, les progrès sont également bien marqués dans les données archéologiques. Toutes les enquêtes révèlent une forte croissance du nombre d'établissements agricoles qui trahit l'intensification de l'exploitation du territoire (MALRAIN et al. 2013). Elle s'accompagne de la diffusion généralisée et de la spécialisation de l'outillage agricole en fer et des meules rotatives » (MARION 2016, p. 553).

¹⁹ Le Nord de l'Espagne et en particulier la zone catalane, foyer d'origine du MRB, présente 3 Conicités plutôt séparées et assez équilibrées en effectifs : d'une part une conicité située sur 6-9°, d'autre part sur 15-18°, enfin sur 27-30° ce qui est fort. Cette dernière Conicité est notamment attestée à Els Vilars, et à Alorda Park, ainsi qu'au Cerro de la Cruz (Andalousie) et à Bolunburu (pays Basque) ; les MRB de l'épave d'Illa Pedrosa, au large de Gironne, se cantonnent au registre médian de Conicité (18-21°).

tables avantages techniques, tels que la libération du Diamètre. De même l'anille potentialise l'efficacité du MPL et semble attestée dès le III^e ou II^e s. aC dans l'aire catalane. Un rejet technique ou culturel d'une innovation trop isolée dans son contexte technique est possible, à l'époque d'ailleurs (III^e-II^e s. aC) où semble exister une confrontation avec le moulin à trémie d'Olynthe (cf. Martigues et la Provence).

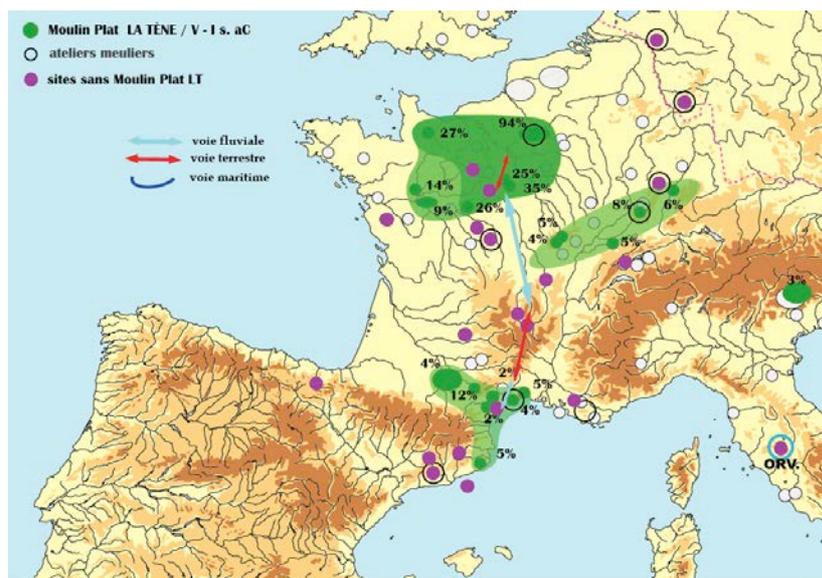
L'abandon de cette innovation pourrait être dû au fait qu'elle aurait été propre à un nombre trop restreint de centres producteurs voire à un seul. Toutefois (Fig. 3) sur 12 meules plates de l'aire méridionale, 7 sont en roche sédimentaire et 5 en lave (provenant du complexe Héraultais et présentes à Agde et Lattes). Les MPL du Midi renvoyant ainsi à plusieurs centres producteurs, il est difficile d'invoquer une « fermeture » du marché ou un isolement qui auraient entraîné une clôture technique²⁰.

17. Une seconde possibilité pour expliquer la parenthèse Moulin Plat en Languedoc serait celle d'une innovation intervenue non sur place mais par transfert technique. L'absence de consolidation de l'innovation et le caractère sans lendemain du MPL en Languedoc, et en particulier sur le centre producteur du complexe Héraultais dont la longévité et le rayon de diffusion étaient importants, seraient dûs à la nature de ce transfert : ce dernier serait intervenu non pas à partir d'un mouvement graduel de diffusion ou d'une acculturation technique diffusée entre des points-relai forts situés sur des axes, mais plutôt par implantation lointaine, par greffe sans tissu technique préalable et en quelque sorte par saltation géographique.

18. A ce titre 4 axes « naturels » se proposent quant à l'origine d'un transfert technique : la voie maritime et 3 voies terrestres et fluviales sinon océanique.

La voie maritime supposerait une provenance du modèle Meules Plates depuis l'Italie ou depuis l'Espagne orientale. La documentation italienne actuelle, carente sur le plan des corpus comme sur les plans géographique et chronologique ne permet pas de soutenir une provenance péninsulaire. Plus vraisemblable serait un transfert depuis un centre producteur espagnol, notamment du N-Est, mais comme on a vu, les attestations du Moulin Plat sont à ce jour rares en Espagne (Fig.3) où seul en présente le site de St. Andreu d'Ullastret avec une fréquence limitée à 4,5% (Fig.2).

Figure 6 : Transfert N/S du Moulin Plat : la Voie Méridienne



19. On est par conséquent contraint de considérer, plutôt à rebours des habitudes archéologiques, que le Moulin Plat pourrait constituer un transfert technique depuis l'indéniable aire de prédilection septentrionale.

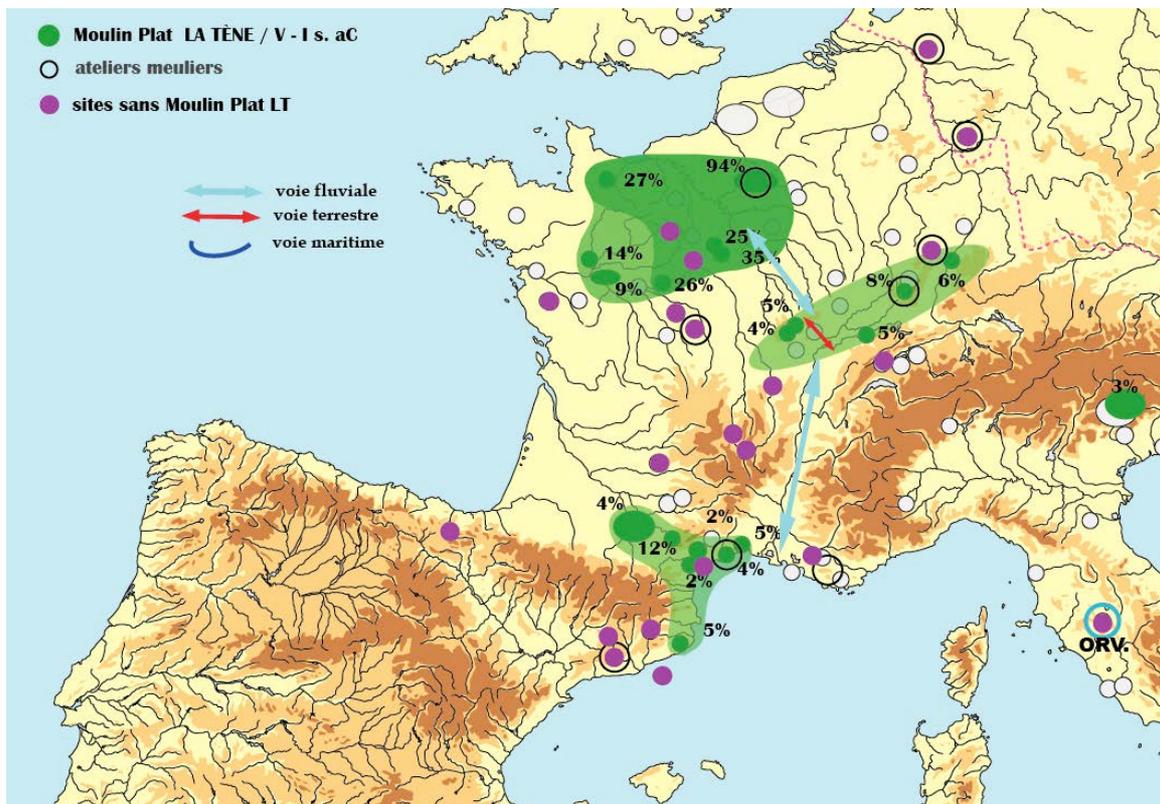
Dans ce cadre, sont envisageables 3 axes de transfert : la voie méridienne par le Massif Central, la voie rhodanienne et enfin la voie atlantique, trois

²⁰ Même si un certain isolement technique et « mercatique » pourrait caractériser les productions d'Agde et du Complexe Héraultais, comme semble le traduire le recours régulier à l'anille par-dessus (ital. *ponte*), apparemment assez rare ailleurs (sauf sur les *Catilli* en lave et de style Gaule continentale présents à Ostie).

possibilités sur lesquelles nous ferons quelques remarques quant à leur probabilité en fonction de la documentation limitée que nous avons pu réunir.

20. **La voie méridienne** (Fig.6) dite aussi « regordane », très souvent évoquée pour l'Âge du Fer comme armature des échanges Méditerranée occidentale / Gaule continentale peut très probablement être écartée car elle est prise en écharpe par la grande zone médiane dépourvue de Moulins Plats et les 3 jalons dont on y dispose pour l'Âge du Fer (Le Pâtural, Roanne, Gondole) sont dépourvus de toute meule plate (on ignore cependant ce qu'il en est par exemple de Coirent²¹).

Figure 7 : Transfert N/S du Moulin Plat : la Voie Rhodanienne



21. **La voie rhodanienne** (Fig.7) constitue un axe naturel, fluvial et terrestre, des échanges Nord-Sud notamment entre, au Nord, la région de la Seine et celle du Rhin par l'intermédiaire de la vallée de la Saône.

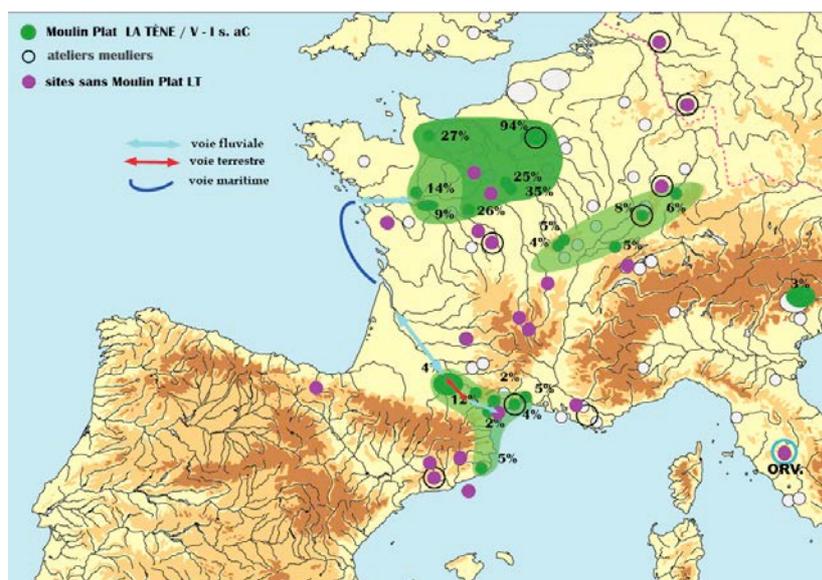
Malheureusement notre corpus ne documente pas l'axe rhodanien²², mais deux éléments s'avèrent peu favorables à une diffusion du modèle Meule Plate entre l'aire Septentrionale et l'aire Méridionale : d'une part entre l'Auvergne et le Jura, les quelques assemblages laténiens de meules rotatives disponibles ne connaissent pas le MPL. D'autre part la zone N-Est du Moulin Plat (Morvan-Vosges-Alsace), est caractérisée par une fréquence en MPL faible (autour de 5%).

²¹ L'étude du corpus des meules (une centaine) issu de la fouille récente des phases laténiennes (LT-D1) et romaines de Coirent est en cours.

²² Les ensembles meuliers publiés sont rares et l'effort de visite et d'enregistrement dans les musées et dépôts tels que Arles, Vienne, St Romain en Gal, Lyon et Chalons dépassait largement les possibilités du présent travail.

22. Enfin, la **voie atlantique** (Fig.8) reliant l'aire méridionale à celle du Bassin Parisien par l'axe Aude/Garonne et Toulouse puis Bordeaux pour rejoindre par mer l'embouchure de la Loire est d'abord suffisamment complexe (notamment la longue phase terrestre du seuil de Naurouze entre Bram et Toulouse puis celle entre Orléans-Gien et la Seine) pour ne pas perdre en probabilité. Ensuite cet itinéraire possible de transfert se heurte à ce qui semble être une faible présence des Meules Plates sur l'axe ligérien en période laténienne et notamment sur toute la Basse Loire, d'Angers à Rezé.

Figure 8 : Transfert N/S du Moulin Plat : la Voie Atlantique

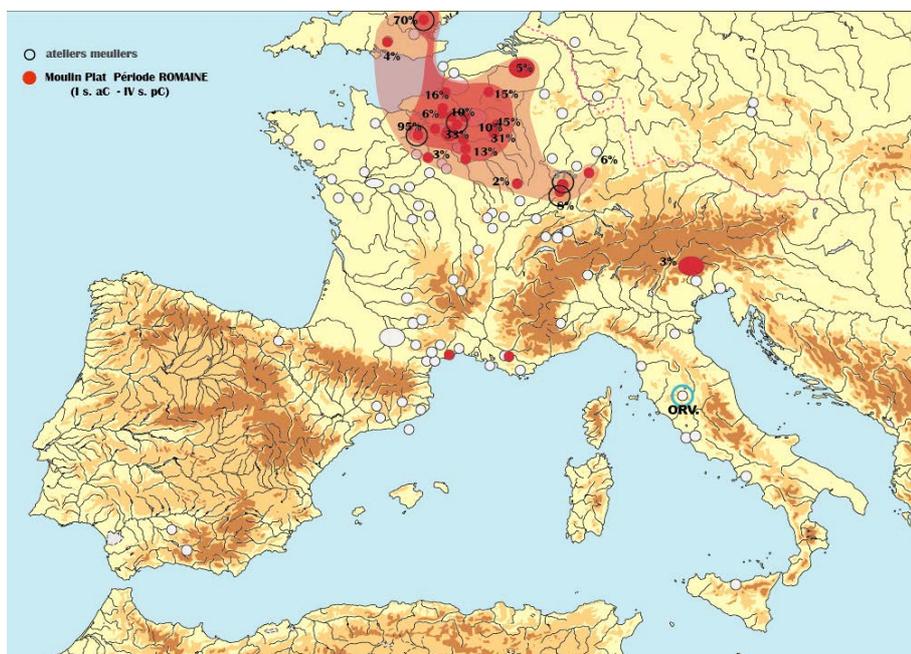


23. En définitive toute supposition sur un éventuel transfert de la technologie du Moulin plat entre l'aire méridionale et l'aire septentrionale, et quelle qu'en serait la direction, apparaît fragile en l'état de la documentation.

Cette discussion appelle un renforcement notable des données à prendre en compte. Cela concerne d'abord l'Espagne où quelques Meules Plates sont signalées, par exemple au

Figure 9 : L'Aire du Moulin Plat à l'époque Romaine

Cerro de la Cruz en Andalousie, à faible fréquence (1 sur 14) et pour l'intervalle 300-100 aC (QUESADA *et al.* 2014²³). Une revue détaillée de la documentation publiée et des fonds muséaux est également nécessaire pour le couloir rhodanien et l'Italie notamment padane autant qu'insulaire (Sardaigne, Sicile où les Meules Rotatives Basses



²³ Un article plus récent, paru en 2020 dans les Actes en anglais du colloque d'Almería sous forme de supplément à la *Revista Arqueologica de Ponent* (extra 4) et signé KAVANAGH DE PRADO, LANZ DOMINGUEZ, QUESADA SANZ, présente plus particulièrement les meules des contextes ibériques du site du Cerro de la Cruz, mais en raison de sa date nous n'avons pu en tenir compte.

sont présentes, peut-être assez anciennement) : il conviendrait en effet de statuer sur la possibilité d'un phénomène Moulin Plat en zone alpine ou sur une éventuelle réalité centro-méditerranéenne des Meules Plates (même si elle nous paraît peu probable).

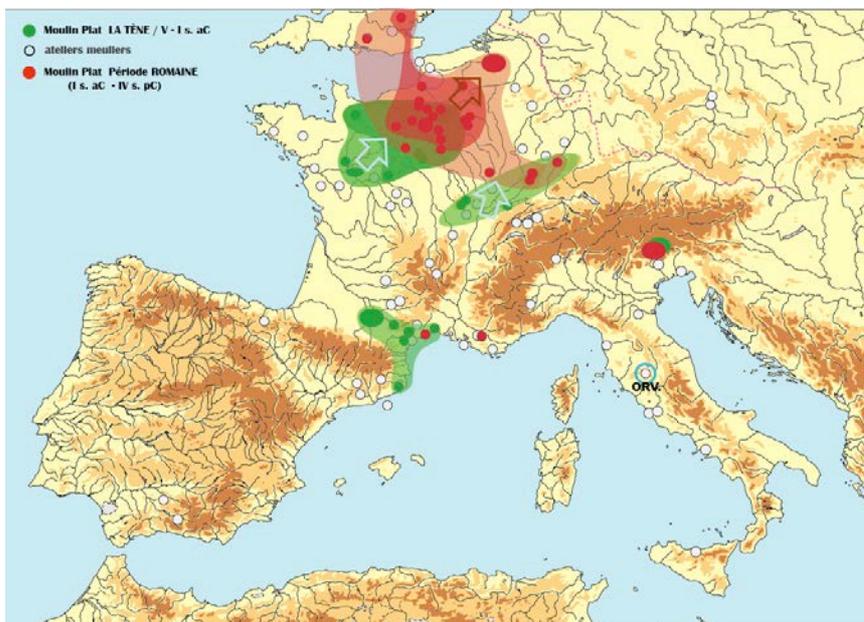
24. En l'état de la documentation réunie, le fait saillant est celui de la forte réalité et de l'ancienneté (LT-C) des Meules Plates dans une aire septentrionale centrée particulièrement sur la zone Eure/Seine/Marne à partir des environs de 200 aC sinon quelque peu avant.

3- Evolution zonale du Moulin Plat en période Romaine

25. A la période Romaine on constate (Fig.9) que les Meules Plates ne sont plus désormais présentes que dans le Nord, autour de l'importante aire Septentrionale qui les concentrait au second Age du Fer. La comparaison, schématique, entre la période Laténienne et l'époque Romaine montre (Fig.10) d'abord en effet une régression de l'aire continentale du Moulin Plat.

La zone Méridionale est abandonnée et celle du Bassin Parisien perd le secteur Mayenne-Sarthe à l'Ouest ainsi que le Morvan au Sud. Son maintien à travers une faible intensité sur la zone Vosges-Alsace serait à confirmer, notamment à travers une chronologie des Meules Plates issues des ateliers vosgiens de La Salle/Les Fossottes. Une telle contraction romaine du domaine du Moulin Plat correspond à une diffusion de la Conicité et pourrait traduire une certaine Méditerranéisation de la culture meulière.

Figure 10 : Evolution de l'aire du Moulin Plat entre l'Age du Fer et la période Romaine



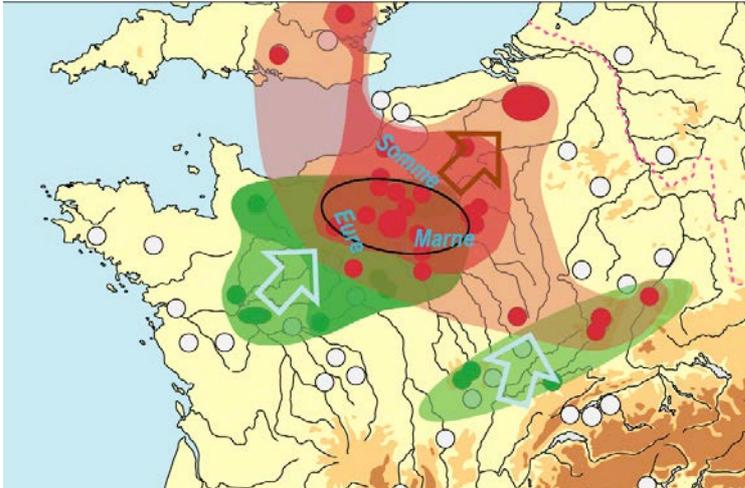
26. La comparaison entre l'Age du Fer et la période Romaine montre en outre une expansion du Moulin Plat vers le Nord de la France (au-delà de la Somme) et vers l'Angleterre, mouvement sur lequel il nous faudra nous arrêter un instant (*infra* § 42.).

Par ailleurs, avec l'époque romaine, la zone forte du Moulin Plat (auréole rouge foncé sur les Fig.9 à 11) ne change pas

véritablement de dimension dans le Bassin Parisien mais elle se déplace en direction N-E, et gagne en occupant le secteur Seine/Somme/Escaut-Sambre²⁴ ce qu'elle a perdu à l'Ouest entre la Mayenne et l'Eure.

²⁴ Soit en direction tout d'abord de Bavay puis de Tongres par l'axe Sambre-Meuse.

Figure 11 : Zone-cœur du Moulin Plat



27. La mise en évidence de ce mouvement de l'aire des Meules Plates à travers le temps permet en troisième lieu de désigner une auréole de permanence des MPL. Ce cœur du phénomène correspond au domaine Eure/Seine/Marne/Somme (Fig.11) et, *largo sensu*, à l'étendue géologique lutétienne. Cette aire focale du Moulin Plat prend la forme globale d'un ovale de 230 km d'extension E-W sur 110 km N-S. Elle s'inscrit entre les villes de Rouen, Dreux, Meaux, Soissons puis Beauvais au Nord.

28. Aucune corrélation ne semble pouvoir être établie entre cette aire focale et la zonation périodisée des modes de stockage agricole (silos, greniers, fosses quadrangulaires) établie par BOSSARD 2018 et dont nous donnons ci-dessous une vue (Fig.12 et 13) pour les III^e et II^e s. aC (soit LT- B2/D1).

En termes de peuples gaulois cette zone de permanence diachronique correspond assez bien aux territoires Véliocasse, Eburovice, Parisis, Melde, Suession et Bellovaque. Sont en revanche extérieurs à cette sone cœur du Moulin Plat les territoires Carnute, Senon, Rème ou Ambien qui connaissent pourtant les Meules Plates pour certains à La Tène (Carnutes avec plus à l'Ouest les Bajocasses, Turons, les Cénomans, les Andes et les Diablintes) et pour d'autres plutôt à la période Romaine (Ambiens, Vermandiens, Rèmes et sans doute Sénons).

Figure 12 : Modes de Stockage & zone du Moulin Plat III^e s. aC

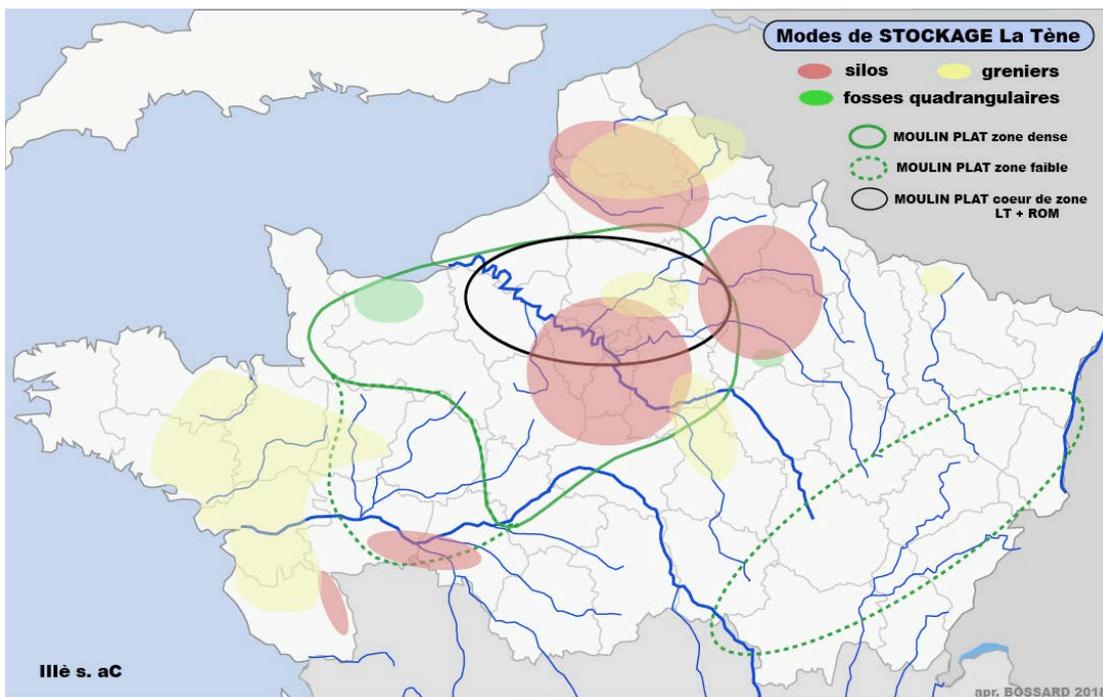
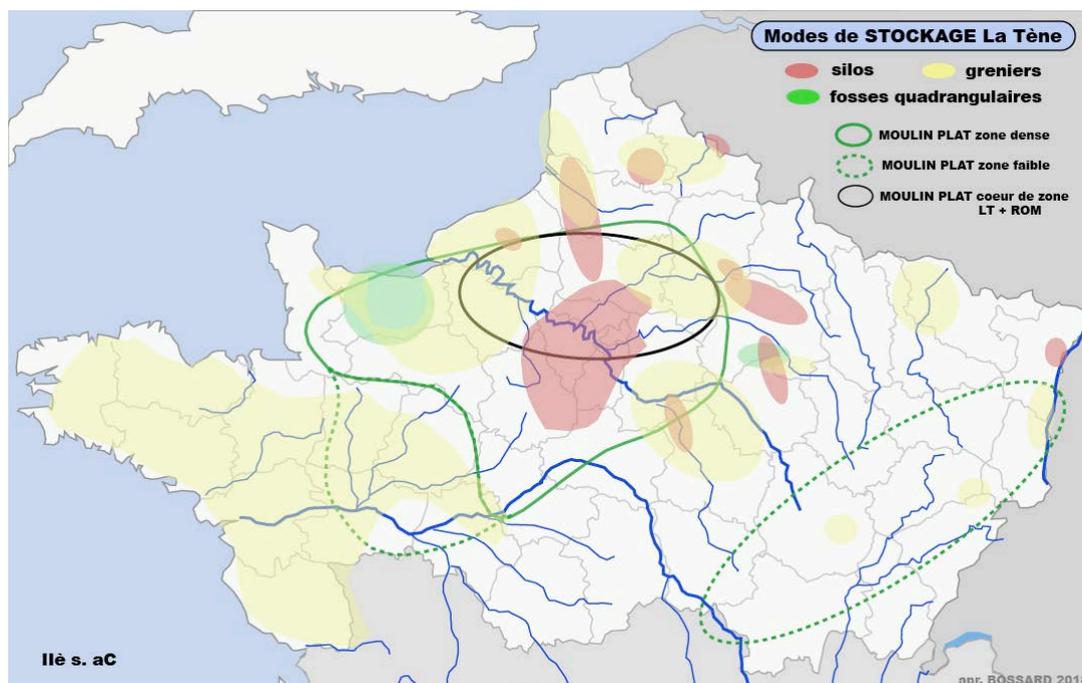
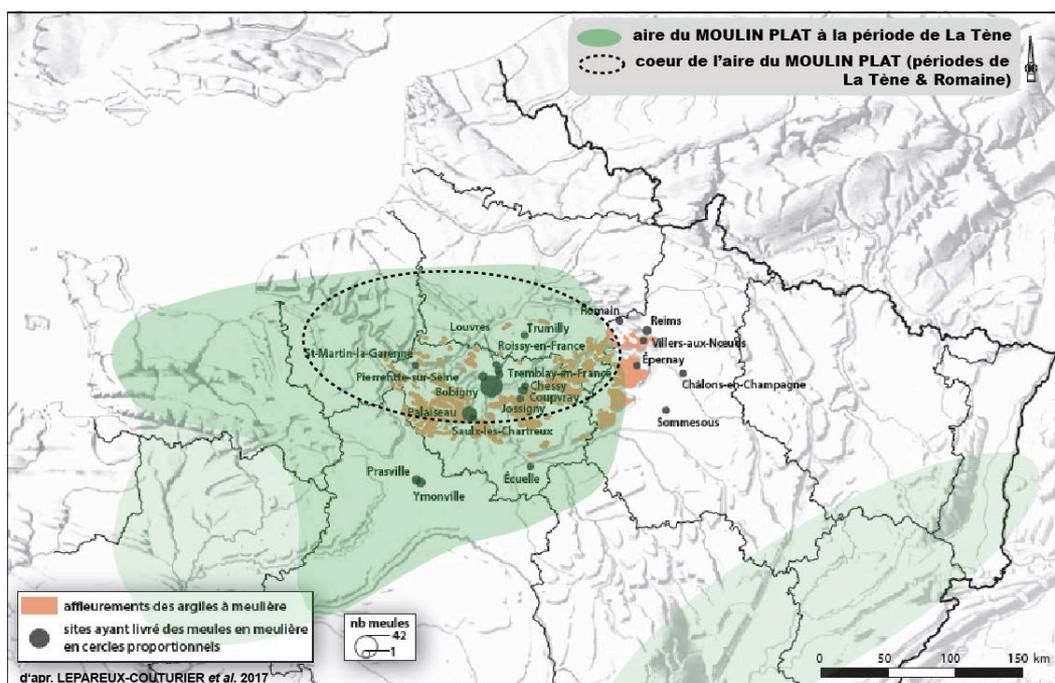


Figure 13 : Modes de Stockage & zone du Moulin Plat IIè s. aC



29. On remarque en revanche (Fig.14) qu'un gros tiers Sud de cette aire focale du Moulin Plat se superpose assez bien avec les formations de Meulière du Bassin Parisien²⁵, notamment avec les Meulières de Montmorency à l'Ouest et celles de Brie à l'Est, alors que celles de l'auréole externe de Champagne, à l'extérieur de la Côte d'Île de France, se trouvent exclues de la zone focale du MPL.

Figure 14 : Correspondance entre l'aire permanente du MPL et les formations de Meulière du Bassin Parisien



²⁵ Voir LEPAREUX-COUTURIER *et al.* 2017, notamment Fig.2 p. 234 et FIG.11 p. 242.

30. Toutefois les Meules Plates qui apparaissent en période laténienne, au LT-B2/C1, sont fabriquées en divers lithotypes dont les Grès de Fosses (entre Paris et Senlis), la Meulière de Montmorency et de Brie, ainsi que d'autres roches sédimentaires pour certains exemplaires de Beauce ou de Blois La Croupe (divers grès dont un de type Dun-Le-Poëlier et un autre de type Le Chaudry)²⁶. Les Meules Plates de Picardie, peut-être un peu plus tardives (LT-C2 mais l'information est déjà ancienne : POMMEPUY 1999), sont façonnées dans des Calcaires à Limnées ou à Cérithes et Bivalves associées²⁷. Enfin elles intègrent dès la phase ancienne (LT-C) le type en dôme (*beehive* anglais ou type 3 de POMMEPUY 1999) qui en Normandie et en Angleterre affectionne les poudingues.

31. Il résulte de ces constatations que les Meules Plates ne sont pas étroitement associées à un type de roche et moins encore à un nombre limité de centres producteurs. Elles ne correspondent pas non plus à une typologie restreinte et au plan territorial elles occupent dès La Tène une vaste aire correspondant à la Normandie, la Beauce *lato sensu*, l'Île de France et la Picardie.

Il est intéressant de noter les grandes entités qui semblent n'avoir jamais connu le Moulin Plat antique, ni à La Tène ni en période Romaine : l'Armorique, le Poitou, le Berry et la Champagne. L'aire centrale du Moulin Plat apparaît ainsi localisée sur la Seine moyenne et tournée vers la Manche. Cette dernière caractéristique pourrait traduire l'existence de relations transmanche de l'ordre de la diffusion ou du transfert techniques, quel qu'en soit le sens (vers l'Angleterre ou depuis cette dernière vers le Continent).

32. La zone cœur des MPL, celle qui demeure à travers les périodes Laténienne et Romaine, semble indiquer que le Moulin Plat pourrait avoir constitué dans l'Antiquité une invention assez spécifique au territoire « E.S.O.M » (Eure/Seine/Oise/Marne), soit celui de 6 ou 7 peuples de la Gaule césarienne, les Suessions et les Silvanectes²⁸, les Meldes, les Parisis, les Eburovices, les Vélocasses et les Bellovaques. Mais ni l'aire Laténienne du MPL ni sa zone-cœur ni son emprise d'époque Romaine ne correspondent en termes de peuples gaulois à une confédération ou un réseau de dépendance.

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances l'invention du Moulin plat ne semble pas d'ordre culturel et pourrait plutôt correspondre à une certaine spécificité technologique (nous pensons à l'inutilité de la conicité : dans cette zone-cœur, auraient existé des solutions qui, au niveau de la liaison *Catillus/Meta*, permettaient d'éviter l'oscillation).

Au cours de La Tène la technologie du Moulin Plat a rapidement diffusé autour de sa zone de densité principale et en direction de l'Ouest : chez les Carnutes et en Basse-Normandie ainsi que dans le domaine supra-ligérien (chez les Turons, les Andécaves, les Diablintes et les Cénomans). On peut toutefois également se demander si la Normandie des Baiocasses, Esuviens et Lexoviens, domaine-roi des meules en dôme plates ou coniques, n'aurait pas joué un rôle dans l'avènement du Moulin Plat²⁹.

33. L'une des comparaisons les plus frappantes entre l'aire globale du Moulin Plat à l'Age du Fer et dans l'Antiquité Romaine est sans doute offerte par la Carte Pédologique de France (Fig.15).

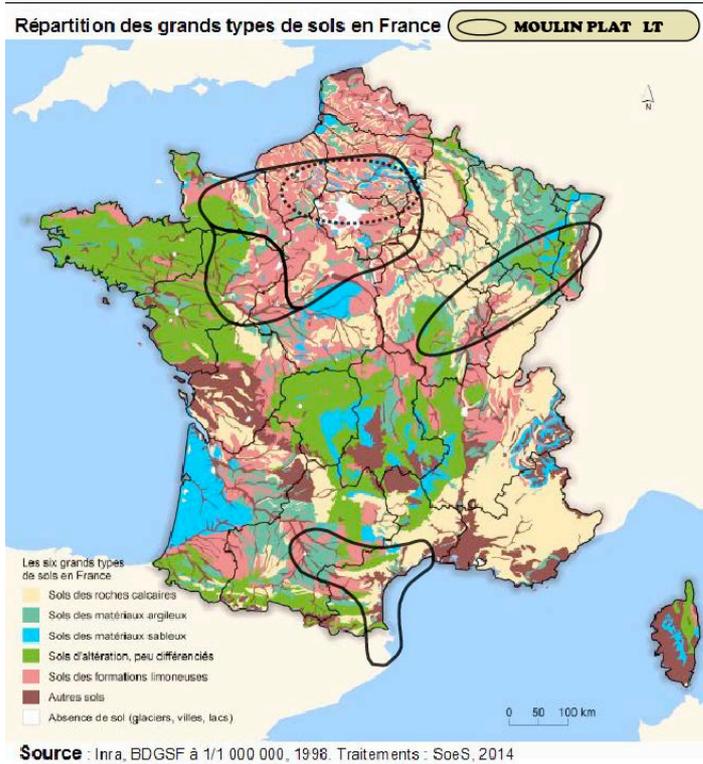
²⁶ Voir les lithotypes définis sur lame mince par B. Robin (p. 284 et Fig.5) in PEYNE 2012.

²⁷ POMMEPUY 1999, p. 131.

²⁸ Pour les peuples de la Gaule pré-augustéenne et leurs territoires nous nous référons à FICHTL 2012 (p. 182 pour les Silvanectes).

²⁹ L'abondante et dispersée documentation nécessaire à cette discussion, qui doit impliquer la chronologie de naissance et diffusion des modèles en dôme (*beehive querns*) nous aurait cependant trop éloigné des questions principales du présent travail de thèse.

Figure 15 : Aire du Moulin Plat à l'Age du Fer & Principaux types de sols

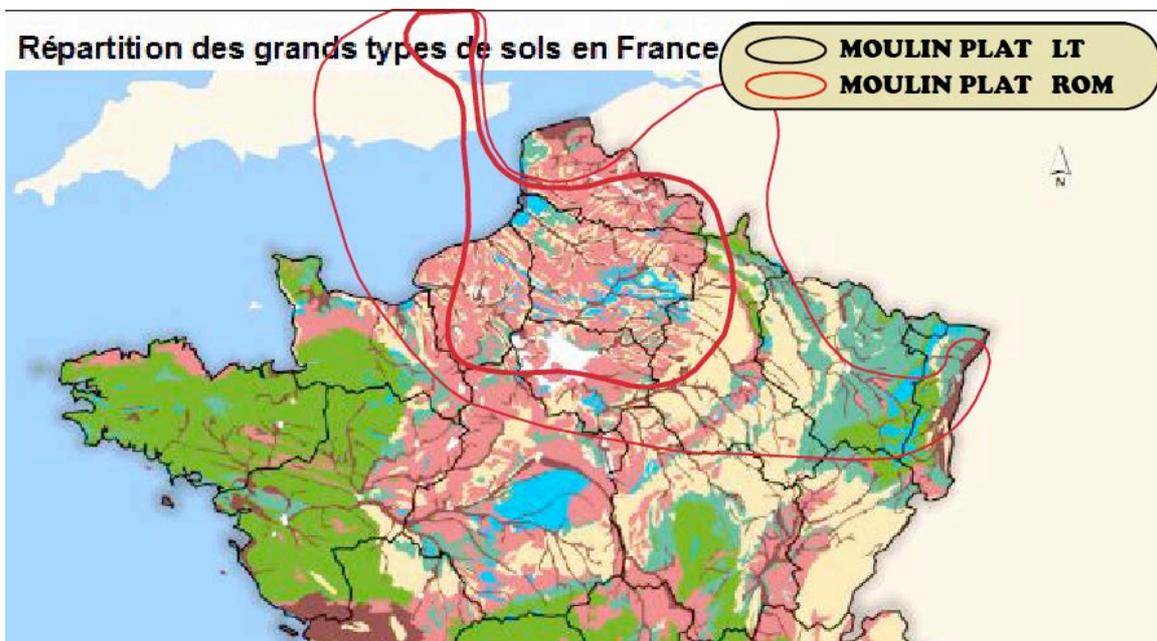


En effet, au contraire des aires Méridionales et N-Est à faible fréquence de Moulin Plat, la grande aire septentrionale du Bassin Parisien apparaît assez étroitement associée aux formations limoneuses (en rose sur la Fig.15) qui s'étendent de l'Anjou-Touraine à la Picardie en passant par la boucle de la Loire. Cette aire des Meules Plates évite la Champagne où elle s'étendra cependant à la période Romaine (Fig.16).

34. On observe une anomalie à cette adéquation entre Limons des Plateaux et Moulin Plat puisque ce dernier est absent au Nord, sur les sols de la Somme et de l'Artois. Ce sera chose faite avec la

période Romaine (Fig.16) ce qui pourrait signifier que l'anomalie observable à La Tène tient à des raisons chronologiques : le foyer initial de la technologie MPL se serait alors situé à l'Ouest, sur le bassin Eure/Seine/Oise/Marne puis se serait ensuite étendu vers le Nord sur des sols de même nature.

Figure 16 : Aire du Moulin Plat en période Romaine & Principaux types de sols



35. A la période Romaine (Fig.16), le Moulin Plat apparaît bien étendu à tous les sols limoneux du Bassin Parisien (de l'Eure à la Belgique) mais il a perdu le domaine Nord ligérien (Anjou, Touraine, Orléanais). Dans le même temps, il s'est étendu à la Champagne et à la

Meuse, avec des fréquences cependant faibles qui témoignent d'une position marginale. Ainsi l'association avec la nature des sols (limoneux) semble rester forte mais d'autres logiques sont à l'œuvre, sans doute différentes pour l'Est (extension sur sols pauvres non limoneux) et pour la Loire (régression sur sols de nature identique, limoneux). Ainsi, la forte régression du Moulin plat au Nord de la Loire pourrait avoir eu lieu sous la poussée d'ateliers produisant seulement des meules coniques et les diffusant par la Loire.

36. L'examen de la carte des formations loessiques (Fig.17) soulève l'éventualité que l'on puisse retenir une liaison assez forte entre la technologie du Moulin Plat et les sols de loess les plus profonds qui correspondent à la zone Seine/ Oise / Somme puis Sambre/Meuse plus au N-Est, secteur conquis par les Meules Plates à l'époque Romaine.

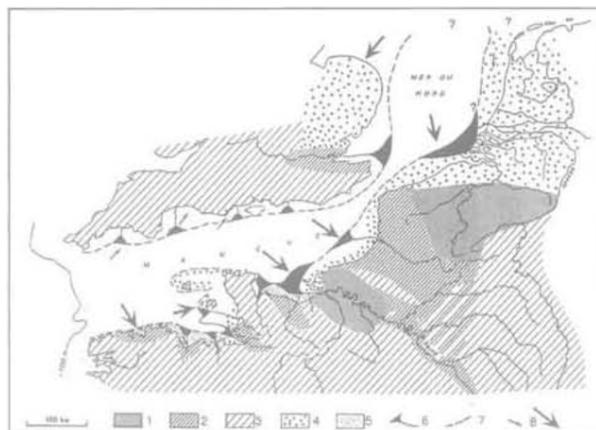


Figure 17 : Carte des étendues de Loess (ANTOINE 2002) selon leur épaisseur (en grisé : 2 à +4 m d'épaisseur, en hachures : moins de 2 m d'épaisseur ; en points : sables)

FIG. 5 Carte simplifiée des couvertures loessiques et sableuses et des provinces d'alimentation pendant le Dernier glaciaire (d'après Lautridou, 1985).

37. On peut à cet égard émettre l'hypothèse que la liaison entre Moulin Plat et nature de sol soit « intermédiaire » par un facteur de nature culturelle (habitus) ou de nature technique et en particulier culturelle : le Moulin Plat ne pourrait-il pas par exemple correspondre assez étroitement à un type de denrée ? Dans cette hypothèse il conviendrait de rechercher, à partir de la période Laténienne, quelles cultures pourraient dans leur géographie correspondre à l'aire de haute fréquence du Moulin Plat puis, en période romaine, être associée à son expansion Nord et Est. Parallèlement, le constat d'une éventuelle régression de ces mêmes cultures au Nord de la Loire et en Beauce donnerait du crédit à une telle hypothèse. Intéressant à cet égard est le cadre général brossé dans la thèse PICAVET 2019, 27 sur la base des acquis paléobotaniques et notamment carpologiques, concernant une opposition zonale et pédologique entre céréales vêtues et nues

Si toutefois l'hypothèse culturelle ne se trouvait finalement soutenue par les données, il conviendrait alors de rechercher dans la dynamique diffusionnelle des ateliers l'explication à la fois de la permanence Seine/Oise du Moulin Plat et celle de son extension vers la Sambre ou de son déploiement britannique.

38. Enfin, bien que le sel soit sans doute sous-estimé par des approches archéologiques largement « farino-centrées » alors qu'il pourrait constituer, du moins à certaines époques ou dans certains territoires, un client privilégié du moulin (au point qu'on peut s'interroger sur son rôle éventuel dans la généralisation et la pénétration rurale des MRB entre 400 et 100 aC), nous aurions tendance à exclure une association entre Moulin Plat et sel.

A cela deux raisons : d'une part la forte liaison du Moulin Plat avec la nature des sols, et d'autre part le fait que le Moulin Conique répondrait tout autant aux nécessités de la mouture du sel. Toutefois on doit rester prudents sur de tels aspects car certaines pratiques d'élevage (salage de la nourriture, nourriture complémentaire du bétail, fabrication de semoules etc.) peuvent instituer des déterminations dans des domaines autres que ceux des pratiques culturelles, notamment dans les techniques, les objets et outils, ainsi que dans les pratiques de production ou de transformation. La relation entre sel et élevage pourrait très bien à travers

certains choix ou pratiques faire sentir ses conséquences dans la technique et l'équipement meuliers.

4- Evolution de la Fréquence du Moulin Plat en période Romaine

39. La comparaison entre les deux périodes fournit une quatrième indication. En effet, une différence notable avec la période Laténienne s'exprime à travers une plus grande faiblesse des fréquences des Meules Plates lors de la période Romaine (Fig.18).

En effet, les fréquences de MPL élevées semblent en période Romaine spécifiques aux seuls ateliers (95% sur le centre producteur augustéen d'Avrilly en Normandie et 70% sur les *puddingstones* du Hertfordshire au Nord de Londres), tandis que sur les villes ou sites ruraux la fréquence des Meules Plates est inférieure à 50%.

Se dégagent même 3 groupes que l'on retrouve également à La Tène, période pour laquelle la seule différence est la très forte fréquence (94%) de MPL en Picardie :

Sites avec MOULINS PLATS Périodes LT & ROM (ordre décroissant de fréquence)							
SITE	LT	ROM	type site	AIRE	NR	MEULES 0° NR %	Notes
ATELIERS avec Conclité 0°							
La SALLE	LT ?	ROM	Atelier	N-EST	3	8 37%	sur planche typo
Les FOSSOTTES	LT	ROM	Atelier	N-EST	65	2/25 8%	
AGDE	LT	ROM	Atelier	SUD	23	1 4%	% proto > 4% (8-12%?)
AVRILLY		AVG	Atelier	NORD	22	21 95%	
5 HERTFORDSHIRE		ROM	Atelier	NORD	10	7 70%	
					123	39	47%
Sites d'UTILISATION avec Conclité 0°							
plus anciennes							
PICARDIE - LT	LT		territoire	NORD	72	68 94%	LT-C
YMONVILLE	LT		rural	NORD	18	6 / 17 35%	LT-B1/C2 (300-250 aC)
CALVADOS	LT		territoire	NORD	12	2 + 2? 27%	
BLOIS-La Croupe	LT		rural	NORD	35	9 26%	LT-D1a = 150-130 aC
10 PRASVILLE	LT		rural	NORD	8	2 25%	LT-D1
Grès Fosses LT	LT		territoire	NORD	38	7 18%	LT-C2/D1 Plessis-Gassot
ENTRAMMES	LT	(+ROM)	aggl	N-W	11	1 / 7 14%	
CARCASSONNE	LT	ROM	rural	SUD	16	2 12%	120-60 aC La Lagaste
MAYENNE BRETAGNE	LT		territoire	N-W	11	1 9%	
CERRO de la CRUZ	LT		aggl	SUD	16	1 6%	300-100 aC
St ANDREU Ullastret	LT		aggl	SUD	22	1/22 LT 5%	550-200 aC
LATTE	LT	(ROM)	aggl	SUD	73	4/20 LT 5%	300-250 aC
Le REBOUT	LT	(ROM)	aggl	NORD	51	3 5%	LT-D
BIBRACTE	LT	(ROM)	aggl	NORD	23	1 4%	seulement des Cotilli
20 Franche COMTÉ	LT	ROM	territoire	N-EST	19	1 5%	
TOULOUSAIN	LT		territoire	SUD	98	2 / 46 4%	1 LT-C2 et 1 LT-D
PECH MAHO	LT		aggl	SUD	41	1 2%	560 - 200 aC
ENSÉRUNE	LT		aggl	SUD	56	1 / 56 2%	Ive et Ilè aC
REIMS Jodry 2017	LT	ROM	aggl	NORD	11	5 45%	
BEZANNES	LT ?	ROM	rural	NORD	26	8 31%	LT-D / AVG
Grès Fosses GARCIA 2019	LT	ROM	territoire	NORD	105	35 33%	
VILLES DU NORD		ROM	aggl	NORD	159	17/134 13%	AVG
MEAUX		ROM	aggl	NORD	35	4 10%	
ALSACE	LT	ROM	territoire	N-EST	19	1 6%	
30 TUNGRI		ROM	territoire	NORD	46	2 / 44 5%	
SILCHESTER		ROM	aggl	NORD	48	2 / 45 4%	
CHARTRES		ROM	aggl	NORD	28	1 3%	
TRENTINO	LT	ROM	territoire	Ital	106	6 / 67 3%	
34 VERTAUT	LT ?	ROM	aggl	N-EST	40	1 2%	
					1243	195	18%
					1064 Beauce = 17/59 = 29%		
détail VILLES DU NORD (PICAVET 2011)							
AMIENS		ROM	aggl	NORD	49	8 16%	
BAVAY		ROM	aggl	NORD	40	6 15%	
SOISSONS		ROM	aggl	NORD	10	1 10%	
REIMS		ROM	aggl	NORD	10	1 10%	
BEAUVAIS		ROM	aggl	NORD	16	1 6%	
TUNGRI		ROM	territoire	NORD	46	2 5%	
BOULOGNE		ROM	aggl	-	4	0 0%	
ARRAS		ROM	aggl	-	5	0 0%	
					180	19	11%

- le premier groupe est constitué au-tour de 30% (45% Reims JODRY 2017 ; 33% grès de Fosses GARCIA 2019 ; 31% Reims-Bézannes),

- le second autour de 10-15% (16% à Amiens ; 15% à Bavay et en moyenne 13% pour les cités du Nord PICAVET 2011 ; 10% à Meaux ; 10% à Soissons et Reims),

- enfin un troisième groupe, assez fourni, autour de la fréquence 5% (6% en Alsace et à Beauvais ; 5% cité des Tungri ; 4% à Silchester ; 3% à Chartres et dans le Trentin ; 2% à Vertault en Bourgogne).

Figure 18 : Fréquences des Meules Plates à la Tène (en jaune) et en période Romaine (en rouge)

40. Cette distribution peut d'abord signifier que la haute fréquence en MPL de la Picardie à La Tène correspond globalement à un faciès d'atelier,

les sites considérés montrant une forte proximité avec des ateliers qui ne fabriquaient que des Meules Plates. Etant donnée l'ampleur de la zone concernée (du site ardennais d'Acy Romance à la confluence Oise/Aisne) cela correspondrait à une structure faite d'une multiplicité d'ateliers à diffusion limitée (sans doute de type 30 plutôt que 50 ou 100 km). Parallèlement, la quasi exclusivité des Meules Plates dans tous les assemblages publiés par Cl. Pommepeuy en 1999 indiquerait soit l'homogénéité de ce schéma en zone Picarde soit, si les ateliers étaient moins nombreux et plus distants, une forte homogénéité technique et culturelle des moulins laténiens.

Il sera intéressant de voir dans le développement ultérieur des études archéo-molnologiques du quart N-E de la France ce qu'il en est exactement de la forte fréquence des MPL dans les assemblages ainsi que du nombre, restreint ou pullulant, des ateliers et de leur échelle de diffusion.

41. La répartition des Meules Plates selon des classes de fréquence (30/15/5%) analogues pour les périodes Laténienne et Romaine traduit vraisemblablement une échelle et une intensité de diffusion similaires, avec des *fall-off curves* semblables autour des aires de densité maximale. Il sera donc intéressant d'examiner ces prochaines années si la densité des ateliers et la distance de diffusion a évolué entre ces deux périodes, ou bien si elle est restée analogue.

La seule différence notable introduite par la période Romaine serait, comme en témoignent les valeurs centrées sur 15 à 10% de villes comme Soissons, Reims ou Meaux, la dilution de la haute fréquence du foyer Picard. Cela voudrait alors dire qu'en période Romaine le Moulin Plat était, dans sa zone-même de prédilection, mis à rude concurrence avec les modèles coniques.

5- Provenance britannique ou continentale du Moulin Plat ?

42. Dans le Bassin Parisien, les Meules Plates apparaissent un peu après les Meules Coniques et, en l'état des données, à la période LT-C1 voire LT-B2³⁰. Des meules dites « en cuvette » (surface active convexe plutôt pour les *Catilli* et concave plutôt pour les *Metae*) leur sont régulièrement associées dans la zone septentrionale du Moulin Plat, notamment en Picardie (POMMEPUY 1999), dans le Nord (PICAVET 2019, 208) ou en Beauce comme à Blois La Croupe³¹. Elles caractérisent également une partie des MRB de Normandie et souvent les *Beehive* anglaises (type en dôme)³². Les meules en cuvette semblent associées aux MPL sinon plus strictement aux *Beehive* et pourraient constituer une forme liée à l'usure. La forme en dôme du Moulin Plat est attestée sur les sites laténiens de Picardie (type 3 de POMMEPUY 1999) et de Normandie (par ex. PICAVET 2019, 84-99).

43. Mentionnons au passage que l'un des traits originaux de ce domaine est la perforation quasi systématique des *Metae*, ce qui pourrait dénoter une association forte entre le Moulin Plat et une modalité de réglage d'écartement (par en-dessous et par levier) ce qui rend probable un mode d'entraînement particulier (par dessous et par axe tournant), cela avant-même l'apparition dans cette zone de l'anille par-dessous. Ce type d'entraînement rend

³⁰ A ce jour et à notre connaissance, les plus vieilles MPL sont celles du site beauceron d'Ymonville Les Hyèbles (ROBIN *in* inédit JESSET 2012), une partie des meules picardes (POMMEPUY 1999) sont probablement de même ancienneté, de même que dans le Nord (PICAVET 2019, p. 201 et *passim*).

³¹ PEYNE 2019.

³² Voir par exemple GREEN 2011, fig. 5 p. 126, CURWEN 1941 ou WATTS 2002 (nous n'avons pu accéder à KING 1986).

possible que ces meules puissent régulièrement correspondre à des moulins hydrauliques à rodet. L'examen de cette possibilité implique l'étude détaillée des œils des *Catilli* et des modalités de solidarisation entre *Catillus* et gros fer.

44. Le constat de la présence de Meules Plates en Angleterre, principalement parmi les *Beehive* en dôme, à une époque équivalente à celles de la région Eure/Seine/Oise, puis leur persistance voire leur extension lors de la romanisation au cours du Ier s. pC soulève la question de l'origine continentale ou britannique du Moulin Plat.

A l'examen des cartes produites dans le présent chapitre, on pourrait croire qu'avec la période romaine le Moulin Plat se déploie depuis le continent et l'aire Normanno-Picarde vers la Grande Bretagne. Deux observations semblent aller dans ce sens (GREEN 2017, 157) : d'abord le fait que les MRB apparaissent en Angleterre à partir de 350 aC et surtout à partir de 150-100 aC, ensuite le fait que la production de meules en Dômes en poudingue semble, en Bassin Parisien, antérieure à celle de la Blanche Albion (PICAVET 2019, 12 et note 6³³) notamment à celle de la zone principale du Hertfordshire (GREEN 2017, 167).

45. Mais ce phénomène d'une diffusion du Moulin Plat dans le sens Continent/Angleterre reste incertaine : chronologie et dynamique demeurent à retracer, de même que les ateliers meuliers de Normandie à connaître et à dater. De plus un effet de corpus est possible, l'Angleterre ayant été peu prise en compte dans la constitution de notre référentiel meulier. Etant donné l'ancienneté britannique du moulin en dôme (*beehive quern*), souvent plat, et les intenses relations entre Albion et la Gaule au cours de l'Âge du Fer, le mouvement inverse est tout autant à considérer, le Moulin Plat ayant ainsi pu provenir d'Angleterre durant le Second Age du Fer. On observe parfois que certains traits techniques d'époque laténienne (par ex. les emmanchements) pourraient avoir été empruntés Outre-Manche (PICAVET 2019, 215). Une invention polycentrique est enfin également envisageable si l'on retient par exemple les datations hautes des Meules Plates d'Ecosse (200 aC dates C14, WATTS 2002, 33).

Traiter cette question des relations et chronologies du modèle Meules Plates entre le Continent et les Iles Britanniques suppose une étude spécifique et précise qui sortirait de notre cadre. On notera seulement ici que les Meules Plates en dôme sont, avant de s'effacer à la période LT-D1 (POMMEPUY 1999, 132), attestées et dominantes au LT-C2 (Acy-Romance *La Ward* et Menneville *Derrière-le-Village*).

6- Orvieto et le Moulin Plat

46. La Conicité 0° est totalement absente d'Orvieto dont les MRB sont au contraire marquées par une forte conicité, qui se place dans les valeurs hautes et même marginales en comparaison de la Gaule (Fig.19). Autant qu'on puisse l'affirmer compte-tenu de la faiblesse du corpus actuellement accessible pour l'Italie, il n'est par ailleurs pas certain que le Moulin Plat ait été présent dans la Péninsule voire dans l'Italie septentrionale³⁴. Pourtant l'influence celtique y est patente et les liens maritimes réguliers entre le Golfe du Lion et la côte Tyrrhénienne constituent un important potentiel de transfert du modèle Meules Plates

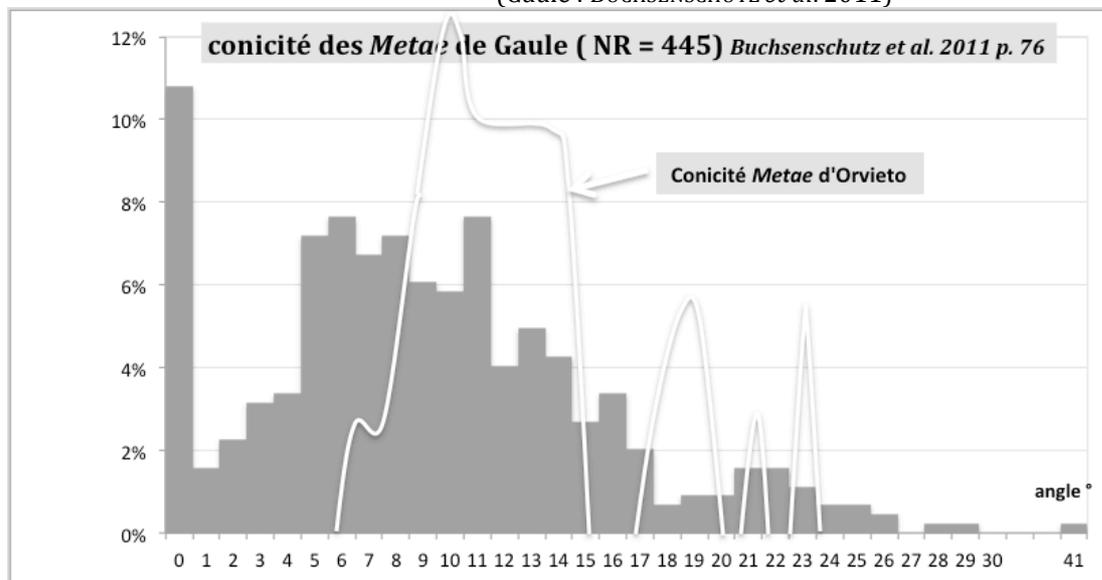
³³ Inventaire, pétrographie et synthèse des poudingues Normands dans PICAVET 2019, p. 84-99.

³⁴ Toutefois, à part le cas d'Orvieto, les Meules Rotatives Basses d'époque laténienne ou républicaine n'y sont pas encore suffisamment connues (ou datées) bien qu'elles soient fortement susceptibles d'être présentes au sein des quelques collections publiées notamment dans le quart N-Est (ainsi DONNER 1996 ou FRANCISCI 2011).

lesquelles comme nous l'avons vu *supra* sont connues dès autour du III^e s. aC dans l'aire Languedoc-Catalogne même si c'est avec une faible fréquence (3-6%).

Figure 19 : Conicité comparée des *Metae* d'Orvieto et de Gaule

(Gaule : BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011)



La présence éventuelle du Moulin Plat en Italie, Sardaigne et Sicile constitue également un axe d'enquête prioritaire pour les années qui viennent afin d'établir l'absence de cette technologie ou la réalité de sa fréquence selon les zones depuis le Nord vers le Sud.

7- Meules Plates, Villes, Grands gabarits

47. Peu de sites ruraux entrent dans le corpus réuni (5 sur 41 dont 4 pour la période de La Tène) ce qui nous prive d'une comparaison réelle. On constate cependant une forte intensité du Moulin Plat dans certaines villes, tout particulièrement dans la zone Seine-Marne (Reims 45%, Meaux 22%) et dans les *civitas* du Nord (PICAVET, BOYER 2011). Un phénomène meulier urbain particulier est envisageable, certains *oppida* ou villes semblant en effet disposer d'un équipement meulier plus important que d'autres. Mais la rareté de nos données pour le milieu rural nous interdit en l'état d'aller au-delà du simple signalement de cette éventualité.

48. Dans la mesure où l'absence de Conicité ouvre le champ libre à la croissance du Diamètre (cf. CHAP.9, 12 et Synthèse), il convient d'examiner la relation observable entre Moulin Plat et Grands Gabarits, que nous avons examinés à partir d'un diamètre supérieur à 1,5 pied (soit 42-50 cm³⁵). On versera ici à ce dossier plusieurs éléments de réflexion.

Le premier réside dans le fait qu'il n'y a pas de liaison particulière entre les Grands Gabarits et le Moulin Plat. En effet, la conicité 0³⁶ se répartit aussi bien sur les petits gabarits que les plus grands, ceci globalement (moyenne 55%, avec 57% de MPL pour les Petits Gabarits et

³⁵ 1 pied et demi ou 24 DGT mesure 41,25 cm pour le pied de 27,5 cm, 44,34 cm pour le *Pes monetalis* de 29,56 et 49,90 cm pour un pied long de type Drusus (33,27 cm) ; étant donné dans nos essais de métrologie appliqués aux assemblages meuliers la faible occurrence ou probabilité d'une part de pieds supérieurs à 31 cm sinon à 29,56 et d'autre part l'abondance des diamètres sur 47/48 cm on a considéré ici comme supérieur à 1,5 pied tout diamètre mesurant 48 cm ou plus.

³⁶ On a ici considéré les meules présentant un angle de 0° mais aussi les quelques exemplaires mesurant 1 ou 2°.

50% pour les grands) autant que pour chacune des périodes y compris la Période 1 (50% sur Petits gabarits et 60% sur les Grands – voir Table générale du corpus en fin de ce Chapitre).

Figure 20 : Diamètre Moyen des Meules Plates et des Meules Coniques sur les Ateliers et sur les sites d'Utilisation

ATELIERS		Sites d'UTILISATION	
DIAM. Conicité 0-2°	DIAM. Meules CONIQUES	DIAM. Conicité 0-2°	DIAM. Meules CONIQUES
34,37	38,16	39,41	41,37
cm	cm		
30,55	30,53	27,42	27,58
18 DGT	20 DGT	23 DGT	24 DGT
28,94	29,07	28,67	28,78
19 DGT	21 DGT	22 DGT	23 DGT
27,50	27,75	30,03	30,09
20 DGT	22 DGT	21 DGT	22 DGT
		31,53	31,52
		20 DGT	21 DGT

49. En second lieu (Fig.20), on observe que le diamètre moyen des Meules Plates est très voisin de celui des Meules Coniques (MCo).

En effet sur les Ateliers les MPL ont un diamètre moyen de 34,37 cm et les MCo de 38,16. L'écart est de 3,79 cm soit pratiquement 2 Doigts (1,9 DGT). La transcription métrologique selon plusieurs pieds ajustant ces moyennes indique qu'elles sont centrées sur un gabarit de 20 dgt (19 ou 20 pour les MPL et 21 ou 22 pour les MCo).

Sur les sites d'Utilisation et de rejet de meules, les diamètres moyens sont supérieurs, sans doute en raison d'un échantillon moins restrictif et chronologiquement plus étendu en domaine romain. Les MPL y ont un diamètre moyen de 39,41 cm et les MCo de 41,37. L'écart est de 1,95 cm soit pratiquement 1 Doigt (1,06 dgt). La transcription métrologique indique que ces moyennes sont centrées sur 23 dgt (22 ou 23 pour les MPL et 23 ou 24 pour les MCo). On se rapproche alors du pied et demi (24 dgt).

Ainsi l'examen des Diamètres moyens³⁷ ne montre pas de différence significative entre Meules Plates et Meules Coniques, voire : les Coniques apparaissent tendanciellement légèrement plus grandes.

50. Toutefois un examen plus attentif des données (Fig.21) montre qu'il semble exister une liaison un peu privilégiée entre les Meules Plates et les Grands Gabarits, sans toutefois qu'un lien fort soit établi entre ces deux catégories.

Figure 21 : Rapport entre Meules Plates (MPL) et Meules Coniques (MCo) dans la population totale des meules et dans celle des Grands Gabarits (diamètres supérieurs à 48 cm)

Taux de Grands GABARITS					
	ATELIERS	UTILISATION	TOTAL		
Total meules	353	1310	1663		
MPL	23	147	170	MPL = Population Totale	MCo ≥ 48 / MCo Total = 1/6
% MPL	6,5%	11,2%	10,2%		
MCo	330	1163	1493	MPL = Population ≥ 48 MCo	MPL ≥ 48 / MPL Total = 1/3
% MCo	93,5%	88,8%	89,8%		
MPL ≥ 48 cm	1	5	6		
%	4,3%	3,4%	3,5%		
MCo ≥ 48 cm	31	192	223		
%	9,4%	16,5%	14,9%		
total ≥ 48 cm	32	197	229		
%	9,1%	15,0%	13,8%		
total inf. à 48 cm	321	1113	1434		
%	90,9%	85,0%	86,2%		

Les Meules Plates représentent 10,2 % du total des 1.600 meules du corpus pris en compte. Meules Coniques et Meules Plates tendent à s'exclure et peu d'assemblages (14%)³⁸

³⁷ Les moyennes du gabarit ont été établies sur un corpus de diamètres associés à une conicité pour un total Ateliers de 353 meules (23 MPL et 330 MCo) ainsi que sur un corpus de 1360 mesures pour les sites de rejet-utilisation (147 MPL et 1 163 MCo) ; les moyennes générales des Meules Plates et des Meules Coniques peuvent rarement être comparées au sein d'un même assemblage, soit en raison de l'exclusion MPL vs MCo, soit en raison de la faiblesse des quantités comme en témoignent les « meilleurs » cas constitués par Bézannes (MPL NR 10, MCo NR 16), Meaux romaine (MPL 5, MCo 30), Carcassonne (MPL 2 et MCo 16), Ensérune meules basaltiques (MPL 9, MCo 23), Reims 2017 (MPL 8 et MCo 5), Prasville LT (MPL 4 et MCo 8) ou encore Ymonville laténien (MPL 5 et MCo 11 – ce site représente un des rares cas où les MPL avec une envergure moyenne de 36,0 cm sont d'un gabarit plus fort que celui des Meules Coniques dont le diamètre moyen est de 30,86 soit une différence de 5,14 cm correspondant à 3 dgt d'un pied de 27,5 ou 2,75 dgt d'un pied de type 29,56 ; sur le site contemporain et voisin de Prasville les moyennes sont de 31,50 et 32,31 soit une différence minimale de 0,81 cm ou 0,5 dgt).

³⁸ 1 site d'Atelier sur 17 (Hertfordshire) soit 6% et 9 sites d'Utilisation sur 61 (15%), ces derniers sont listés dans la Fig. 22.

présentent une proportion significative de MPL associées à des Meules Coniques (Fig.22).

Dans la population totale (1.663 meules associant Diamètre et Conicité), la proportion des MPL est de 10% et celle des MCo de 90% (Fig.21). Toutefois, si l'on examine cette proportion dans le registre des grands gabarits (considérés à partir de 48 cm soit au-delà de 1,5 pied), on constate que les Meules Plates y sont 2 fois mieux représentées.

Meules Plates, Meules Coniques et Diamètres moyens							
SITE	MPL	MCo	Total	% MPL /	\bar{x} DIAM.	\bar{x} DIAM.	écart
				Total	MPL	MCo	
ATELIERS							
HERTFORDSHIRE	7	3	10	70%	29,0	28,5	-0,5
UTILISATION							
REIMS 2017	8	5	13	62%	39,63	54,20	14,57
BEZANNE	10	16	26	38%	40,60	43,84	3,24
PRASVILLE	4	8	12	33%	31,5	32,31	0,81
YMONVILLE	5	11	16	31%	36,0	30,86	-5,14
ENSÉRUNE Basalte	9	23	32	28%	39,07	39,63	0,56
CALVADOS	2	7	9	22%	(33,0)	37,71	(4,71)
MEAUX	5	30	35	14%	37,70	41,60	3,9
ENTRAMMES	1	7	8	13%	(48)	43,85	(-4,15)
CARCASSONNE	2	16	18	11%	39,50	40,38	0,88
	53	126	179	2,38			
	30%	70%		ratio			
				MCo/MPL			

Figure 22 : Assemblages associant Meules Plates et Meules Coniques

En effet, le rapport MPL / MCo qui est de 9 dans l'ensemble des meules (89,8% MCo vs 10,2% de MPL soit un rapport exact de 8,8) s'établit à 4 dans le domaine des grands gabarits (14,9% de MCo vs 3,5% de MPL soit un rapport exact de 4,2). Chez les grands gabarits, la proportion de Meules Plates est donc 2 fois plus importante que dans la population générale.

Il existe donc une liaison un peu privilégiée entre les Meules Plates et les Grands Gabarits, sans toutefois qu'un lien fort soit établi entre ces deux catégories. En effet les MPL ne sont pas exclusivement le modèle des meules de grand gabarit et ces derniers existent en nombre significatif (15%) chez les Meules Coniques.

Figure 23a : Table des Très Grands Gabarits de meules (2 à 3 pieds) : Ateliers

51. Mais l'existence d'une liaison tendancielle entre les Meules Plates et les grands gabarits apparaît moins convaincante lorsque l'on examine les diamètres les plus grands (Fig.23).

Meules Plates & Très GRANDS GABARITS (2 à 3 pieds)					
ATELIERS	2 Pieds (55 - 68 cm)		2,5 Pieds (70 - 82 cm)		3 Pieds (85 cm)
	Q.	DIAM. (cm)	Q.	DIAM. (cm)	Q. / Dénier
GRIVETOT	1	60,5			
Le CHAUDRY	2	57 - 61	1	70	
CHABLES	1	57			
AUTUN - ARROUX	10	56-58 x2-59 x2- 60-62 x2- 64 - 65			
EPFEL	1	56	1	75	88-92 x2 - 93-97-98
La LANDE- La VERNHE	6	60 x 3-61,5-62,5-66	3	70 x2 - 75	
PORTUS	7	55-64 - 56 x3			
Total	28		5		139

Total Très Grands Gabarits = 39 / 610 soit 6,4% 0 MPL / 39 Tr. Gds. GABARITS 23 MPL / 610 soit 3,8%

Meules Plates & Très GRANDS GABARITS (2 à 3 pieds)					
UTILISATION	2 Pieds (55 - 68 cm)		2,5 Pieds (70 - 82 cm)		3 Pieds (85 cm)
	Q.	DIAM. (cm)	Q.	DIAM.	Q. / DIAM.
CARCASSONNE	1	61			
FRANCHE-COMTÉ	1	58			
MEAUX	2	64 - 67			
PECH MAHO Basalte	1	64			
BOULOGNE	1	59			
ENTRAMMES	1	58			
PUIG CASTELLAR	2	61 - 64			
AVENCHES	1	58			
PEYRIAC-de-MER	2	58,5 - 59			
BÉZANNE	1	69			
SOISSONS	1	67			
ARGENTOMAGUS	2	55 - 56			
AMIENS	4	56-58-59-66	2	71-75,5	
BAVAY	8	56-60 x2-66-67 x2-68-69	2	71-71	
CERRO de la CRUZ	4	55-56-59 x2			
TUNGRI	2	63 - 64,5	6	70,5-71,5-72,5-73,5-78-80	
PACÉ	1	56			
REIMS 2017	1	67,5	1	70,5	
CHARTRES	9	54-56 x4-58 x2-68 x2			
VERTAULT	6	55,5-56-58-60-63-67			
NANTAIS	13	54-56-57-57,5-58,5-59-60,5 x2-61 x2-61,5-62			
BEAUVAIS	2	55 - 65	2	78,5 - 80	
BOURGOGNE			3	71 - 76 x2	
OSTIA	1	67			
TRENTINO	2	56 - 57			
LATTES	1	67			1 85,5
Total	70		16		87
	80,5%		18,4%		1,1%

Figure 23b : Très Grands Gabarits de meules (2 à 3 pieds) : Sites d'Utilisation

En effet, si l'on considère les diamètres équivalents à 2 ou 3 pieds³⁹, on constate tant sur les assemblages d'ateliers que sur ceux issus des sites d'utilisation et rejet que les Meules Plates sont totalement absentes de la population des Très Grands Gabarits (Fig.23a et 23b).

Le léger lien entre MPL et Grands Gabarits décelé plus haut est ainsi démenti et n'est sans doute dû qu'à la faiblesse de l'effectif (les 3,5% de MPL dans les gabarits supérieurs à 48

³⁹ Soit les plages 55 à 68 cm (2 pieds de 27,5 à 34,3 cm), 70 à 82 cm (2 pieds et demis) et au-delà de 85 cm (soit à partir de 3 pieds de 27,5 cm).

cm ne reposent que sur 6 exemplaires).

52. Cette absence de lien entre Meules Plates et Grands Gabarits des meules signifie à nos yeux que l'Antiquité, *lato sensu*, n'a pas perçu le potentiel du Moulin Plat en termes de croissance infinie du diamètre des meules, lequel se trouve bridé par la Conicité. Seule la généralisation des Meules Plates, vers l'An Mil ou un peu avant, permettra en réalité la libération du diamètre et son augmentation en fonction de la puissance développée par les moulins hydrauliques et à vent.

Que l'Antiquité n'ait pas perçu le potentiel technique du Moulin Plat ressort également de l'examen (CHAP.20) des Très Grands Gabarits qui sont d'abord très rares (ca. 1% des meules) et qui ensuite se situent pleinement dans une culture de la conicité.

Conclusions : les Meules Plates, une fabrication de rupture

53. On se demandera peut-être, parvenu au terme de ce chapitre en quelque sorte inutile puisque les Meules Plates sont totalement absentes à Orvieto, pourquoi avoir consacré une vingtaine de pages à une question qui ne se posait pas. En réalité, l'approche géométrique de la Conicité des meules et de ses rapports avec le Diamètre nous a amené à *percevoir* une réalité jusque là enfouie qui aujourd'hui nous apparaît comme un fait saillant. Une meule de conicité 2 ou 0° n'est pas en effet une meule juste un peu moins angulaire que les autres, c'est un modèle différent, une fabrication de rupture qui n'a d'ailleurs peut-être pas été perçue comme telle dans l'Antiquité et dont le potentiel est sans doute longtemps resté latent, attendant entre Marne et Somme que vienne son heure, alto-médiévale.

Notre matière nous a ainsi porté vers la formulation du concept de Moulin Plat. Ce dernier nous a dès lors permis de mieux cerner la place et la géographie culturelle du Moulin Conique, lequel apparaît chronologiquement et géographiquement comme un Modèle Méditerranéen. Il nous a également conduit à appréhender un fait technologique majeur, la révolution que constitue la généralisation rapide du Moulin Plat et la libération du diamètre des meules. Jusque-là bridé par la conicité, le diamètre a pu alors engager une croissance qui ne s'interrompra qu'avec l'abandon des meules au profit des cylindres.

Auteurs cités dans ce Chapitre : ANTOINE 2002 – ARIS 1973 – BRUN 2007 – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011 – CURWEN 1941 – DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007 – DONNER 1996 – FICHTL 2012 – FRANCISCI 2011 – GAILLED RAT *et al.* 2012 – GARCIA 2019 – GREEN 2011 – GREEN 2017 – JODRY 2017 – KAVANAGH DE PRADO, LANZ DOMINGUEZ, QUESADA SANZ 2020 – KING 1986 – LEPAREUX-COUTURIER *et al.* 2017 – MALRAIN *et al.* 2013 – MARION 2016 – PEYNE *et al.* 2019 – PEYNE 2012 – PICA VET 2019 – PICA VET 2011 – POMMEPUY 1999 – PORTILLO 2006. – PY 1992 – QUESADA *et al.* 2014 RAUX 1999 – REILLE 2001 – ROBIN 2014 – ROBIN in FENCKE 2009 – ROBIN in JOSSET 2012 – THOMAS 2006 – WATTS 2002 –

Table des Diamètres Moyens et de la proportion de Meules Plates

- Diamètre moyen : en jaune - Conicité 0° : en brun dans la colonne 5 -

FORMATS MOYENS des ASSEMBLAGES MEULIERS - présentation périodisée						
Classement tendanciellement CHRONOLOGIQUE		DIAM moyen domaine du		Conicité 0°	NR total DIAM.	Total cm DIAM
Sites d'UTILISATION & ATELIERS	CHRONO	F.1 Petit GAB.	F.2 Gd GAB.			
Els VILARS	V - IV aC	37,81			26	983
ALORDA PARK	450 - 200 BC		43,00		11	473
PUIG S. ANDREU	-550 / -200		42,11	5%	18	758
CERRO de la CRUZ aC	300-100 aC		46,22	6%	16	739,5
BOLUNBURU	IV-III BC	39,33			6	236
ENSÉRUNE Basalte	IV & II aC	39,65		2%	33	1308,5
PUIG CASTELLAR	III BC		43,10		21	905
PECH MAHO Basalte	VI BC - III aC		41,82	2%	41	1714,5
ORVIETO	III aC? - I pC?	35,24			59	2079
10 Le PATURAL	LT (300-120 BC)	37,62			39	1467
ILLA PEDROSA	II aC	35,26			96	3385
MARTIGUES	II aC	37,95			19	721
ROANNE	LT C-D	34,05			10	340,5
YMONVILLE	LT C1-D2	35,25		29%	16	564
BLOIS La Croupe	LT - C2/D1b	36,05		26%	11	396,5
Les HERBIERS	LT C2 - D1	37,60			5	188
LEVROUX	LT C2-D1	36,21			7	253,5
PICARDIE LT	LT C-D	39,59		94%	67	2652,5
20 AGDE	IVe ? aC - II ? pC	39,11		4%	23	899,5
Moulin GÉARGÉOT	LT - D1	31,60			5	158
OBERNAL	LT - D	37,17			6	223
GONDOLE	LT -D2	36,75			4	147
BIBRACTE Le REBOUT	LT-D (+AVG?)	38,17		5%	51	1946,5
Le MORMONT	LT-D	39,33			6	236
PUY du TOUR	LT-D	34,89			19	663
Bretagne & Mayenne	LT	36,09		9%	11	397
BAD NAUHEIM	LT	36,55			30	1096,5
TOULOUSAIN	LT	37,81		4%	43	1631,5
BIBRACTE	LT	39,46		4%	23	907,5
30 CALVADOS	LT C-D + ROM.	35,17		27%	12	422
SARAN	LT-D + ROM	36,0			3	108
PRASVILLE	LT D + I pC	35,31		25%	8	282,5
CARCASSONNE	ca. II aC - I pC	39,78		12%	16	636,5
ENTRAMMES	LT C2-D1 + ROM (D.44+)		42,18	14%	11	464
PEYRIAC-de-MER	II aC - ca. I pC		43,97		16	703,5
BOURGOGNE	LT D - ROM		52,00		11	572
FINISTERE 1987	LT - ROM		45,14		7	316
La MAREZE	LT - ROM	41,67			12	500
40 La MAREZE	LT - ROM	38,13			4	152,5
SAVERNE	LT ?	40,17		6%	6	241
ALSACE AUTRES	LT ? + ROM?	41,33			12	496
BORKEN	LT	40,62			49	1990,5
Le CHAUDRY	LT - II pC ?	40,63		5%	19	772
FRANCHE COMTÉ	LT D - ROM		42,50		8	340
STRASBOURG	LT ? + ROM?		44,10	38%	26	1146,5
BÉZANNES	LT ? - ROM	38,95		5%	73	2843,1
LATTES	300 aC-150 pC	36,54			64	2338,5
PROVENCE 1992	LT - II AD	35,75			12	429
OSTIA	II-III BC? - II AD?	36,17			6	217
VARIA ITALIA	I aC - IV pC	36,29		3%	106	3846,5
TRENTINO Donner	I aC - IV pC	37,51		8%	52	1950,5
Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	35,00			5	175
MAGALAS	II aC - III pC	37,50		95%	14	525
AVRILLY	AVG	36,0			4	144
CHAMPION	ROM		47,75		57	2721,5
EIFEL 2008	ROM		47,36	45%	11	521
REIMS JODRY 2017	LT ? - ROM		47,74	2%	40	1909,5
VERTAULT	ROM (+LT?)	44,44			59	2622
ARGENTOMAGUS	20 BC - IV AD		49,48		23	1138
60 PORTUS	LT - ROM		47,68	3%	28	1335
CHARTRES	158C-300AD	41,04		22%	35	1436,5
MEAUX	ROM	42,13			4	168,5
BOULOGNE	ROM	43,13			128	5520
AVENCHES	ROM	43,20			5	216
ARRAS	ROM	44,23		10%	11	486,5
SOISSONS	ROM	44,78		16%	62	2776,5
AMIENS	ROM	28,85		70%	10	288,5
HERTFORDSHIRE	50 - 100 pC	44,02			106	4666
CHABLES	70 - 120 pC		59,55		11	655
70 AUTUN - Arroux	I pC		46,73	10%	20	934,5
REIMS	ROM		46,74	5%	46	2150
TUNGRI	ROM		45,93	15%	44	2021
BAVAY	ROM		47,0		3	141
PACÉ	ROM		47,98		27	1295,5
NANTAIS Polinski	ROM		51,57	6%	14	722
BEAUVAIS	ROM		46,57		21	978
MAZIÈRES en MAUGES	II - III pC	44,52			25	1113
WANZENAU	fin III pC		57,57		14	806
78 la LANDE la VERNHE	I pC					

Diamètre Moyen	61 sites	2082	85703
ATELIER de meules	17 ateliers	1482	24 403
site d'UTILISATION		610	61 300,1

CHAPITRE .20

Les Meules de Très GRAND FORMAT

Le présent chapitre n'entend pas étudier l'ensemble des différents aspects des Meules Rotatives de Très Grand Format¹, notamment leur rapport à la motion hydraulique, la proportion qu'y occupent les laves, la provenance des meules, leur chronologie, la puissance nécessitée pour leur entraînement, les différents dispositifs d'écartement ou centrage, la vitesse de rotation, la pression de ces meules ou encore la géographie de leurs métrologies ou de leur angulation.

FIG. 1 Meule conique de Très Grand Format, Lattes Port Ariane (DAVEAU et al. 2007)² :

D. 85,5 cm H. 23
Angle 32° DOE. 10,5
Métrologie : 48 DGT (Pied de 28,5 cm)
ou 47 DGT (Pied de 29,25)



Ce chapitre opère une incursion très limitée dans ce domaine et vise à statuer sur un nombre réduit d'objectifs directement liés au cours de notre étude, à savoir :

- de Grands Gabarits ont-ils été produits à Orvieto et si oui à quels autres ensembles peuvent-ils être comparés ?

- quelles métrologies régissent les meules de Très Grand Gabarit et sont-elles communes ou distinctes de celles observables sur les Meules Rotatives Basses (MRB) ou les Meules de Style Pompéien (MSP)?

¹ Nous employons de manière tout à fait équivalente les termes de Très Grand Format ou Très Grand Gabarit, parfois abrégés sous la forme TrGDsGAB pour les nécessités liées aux tableaux ou à la dénomination de fichiers.

² Bien quelle soit fortement conique, il n'est pas exclu que cette meule par ailleurs réutilisée au fond d'un puits soit post-antique, la période Carolingienne et le Moyen Age Central étant également représentés sur le site.

- les Très Grands Formats montrent-ils une relation étroite avec la Conicité basse et les Meules Plates occupent-elles une place particulière dans ces grands formats ? faits qui pourraient enraciner dans l'Antiquité la mutation alto-médiévale vers le Moulin Plat et les grands diamètres.

1. Remarques préliminaires

Définition des Grands Formats

1. Les principaux gabarits de MRB étant au maximum d'une envergure de 2 pieds (voir **CHAP.10**), on a ici retenu au titre des Très Grands Formats les meules d'un gabarit égal ou supérieur à 2,5 pieds.

En pratique il s'agit des diamètres supérieurs à 68,75 cm (soit 68,5 et 69 cm en mesurage archéologique), envergure qui correspond au gabarit de 2,5 pour le plus petit pied attesté, l'Osco-italique de 27,5 cm (**Fig. 1**). Cependant afin de minimiser la zone de confusion avec des gabarits inférieurs à 2,5 relevant de pieds longs (type Drusus de 33,27 ou Punique de 34,33 cm) on a en pratique limité la sélection de l'échantillon à la valeur de 70 cm. Il se trouve toutefois que les pieds longs, tels que le Dorique de 32,75, le Drusus ou le Punique sont rarement attestés sur des meules ou toujours en concurrence avec des pieds plus probables (cf. **Introduction de la Partie II et CHAP.10**).

Figure 1 : Diamètres correspondant aux Grands Gabarits selon les différents Pieds (en grisé la zone de confusion entre diamètres supérieurs à 70 et gabarits inférieurs à 2,5 pieds)

		METROLOGIE des Très Grands FORMATS							
		27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9	32,75	33,27
2,25	61,9	63,5	65,8	66,5	67,7	69,5	73,7	74,9	
2,5 pieds	68,8	70,5	73,1	73,9	75,3	77,3	81,9	83,2	
2,75	75,6	77,6	80,4	81,3	82,8	85,0	90,1	91,5	
3 pieds	82,5	84,6	87,8	88,7	90,3	92,7	98,3	99,8	

Rareté Antique des Grands Formats

2. Il est un fait indéniable dans l'Antiquité, à savoir que les meules de Très Grand Format (donc ≥ 70 cm) sont très rares, la période Tardive (V-VI^e s. pC) restant par ailleurs fort mal documentée. Ainsi dans notre corpus de 2.082 MRB³, les grands gabarits égaux ou supérieurs à 70 cm représentent 26 éléments soit 1,2% du total.

En raison de la faiblesse de cette fraction nous avons donc étendu l'échantillon à 95 éléments, en intégrant un corpus additionnel (**Fig. 2**) constitué de 69 grandes meules en sus des 26 exemplaires déjà réunis dont l'unique d'Orvieto⁴, notre corpus se limitant initialement aux seuls Grands Gabarits inclus dans les assemblages de Meules Rotatives Basses. En effet, les grandes meules sont généralement -en France- exclues de ces ensembles au motif qu'elles ne seraient pas « manuelles »⁵ ou qu'elles relèvent de la catégorie « hydraulique ». Parallèlement, les

³ 1.482 MRB provenant de Sites d'Utilisation et 600 autres provenant d'Ateliers (cf. **CHAP.6 « Corpus » en Partie I**)

⁴ Il existe cependant à Orvieto ou à proximité (Pagliano) quelques autres exemplaires de grand diamètre, que nous n'avons toutefois pas pu enregistrer, voir *infra* ; par ailleurs ce corpus additionnel n'a pu prendre en compte les grands formats romano-britanniques (par ex. à partir de BRUN 2017 apr. WILSON 2001).

⁵ Ainsi le « Groupe Meule », initié en 2005 par les travaux menés par O. Buchsenchutz et Fr. Boyer dès les années 1990, a dans un premier temps, semble-t-il sur une base fonctionnaliste (longueur du bras) évoquée par BAATZ 1995, limité la catégorie « meules manuelles » à un diamètre maximal de 48-50 cm (JACCOTTEY *et al.* 2011, 291-292) ou de 58 cm (LONGEPIERRE 2007, 8) ainsi que plus récemment de 55 cm (LEPAREUX-COUTURIER *et al.* 2017, 321-323) ; il semble avoir décidé de la fixer désormais à un diamètre de 62 cm ; ces variations sont signe qu'il existe un problème et certains auteurs reconnaissent que le diamètre n'est pas un « critère suffisant » car « la limite est floue » (PICAVET 2011, 179) voire dépend (PICAVET 2019, 161) du matériau ou de la région : les espoirs de discrimination se reportent alors généralement sur les emmanchements dont les trous font l'objet de toutes les attentions (sauf leur position sur la hauteur) ; il se trouve cependant que les limites de gabarit invoquées correspondent *grosso modo* à des limites métrologiques : gabarit de 1,5 pied pour 44-48 cm et, pour 55-62, gabarit de 2 pieds dans les pieds les plus courants (soit 27,5 à 30,9 en passant par 29,56) sans que cela n'autorise pour autant, ou à fortiori, à en déduire un lien avec différentes modalités d'entraînement (manuel, manuel avec bielle, manuel avec bâton, mécanisé avec courroie, mécanisé avec engrenage par

grandes meules sont régulièrement publiées à part ou en elles-mêmes en tant qu'indicateur de moulin à motion hydraulique.

Grands Formats = Hydraulique ?

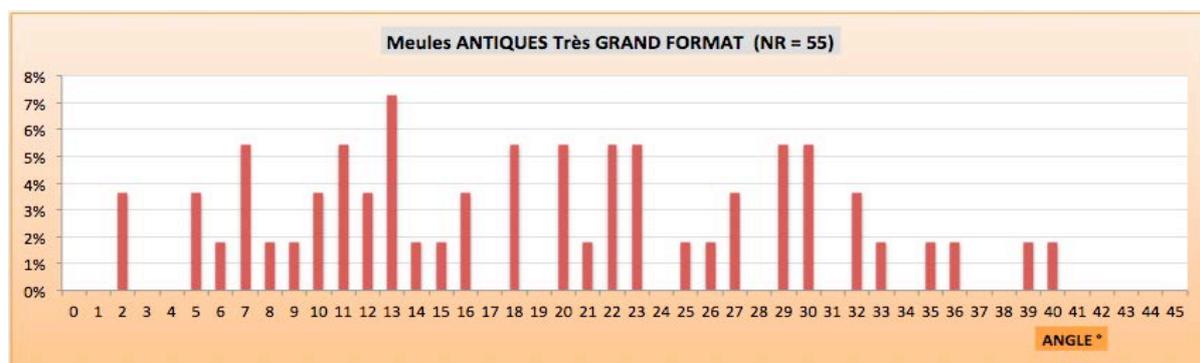
3. Le caractère hydraulique de la meule est parfois avéré lorsqu'elle est découverte lors de la fouille d'un moulin à eau (par ex. à Avenches En Chaplix ou Les Tourbières, à Cham Hagendorn ou à Barbegal)⁶. Nombreux sont cependant les fouilles de moulins à ne pas avoir livré de meules⁷ ce qui ne facilite pas la constitution d'un corpus de meules indubitablement hydrauliques. Bien souvent la catégorisation « hydraulique » d'une meule résulte d'une simple supposition interprétative, généralement basée sur l'envergure du diamètre.

Or cette supposition ignore deux aspects : d'une part il n'est pas sûr, et le contraire est même probable, que toutes les meules à motion hydraulique soient obligatoirement de grand format (la petite hydraulique à rodet pourrait ainsi fort bien utiliser des meules proches des MRB), d'autre part on ne peut exclure qu'une partie des meules de grand format (notamment dans la zone 2,25/2,5 pieds soit 62-74 cm) relève d'une motion mécanisée non hydraulique (bielle, manivelle, pédale, courroie) notamment à sang ou humaine (telle que proposée dans la restitution du moulin à lanterne de Saalburg).

4. On comprend à ces remarques qu'il y aurait avantage, au stade de la présentation d'un assemblage, à ne pas dissocier les meules selon leur format, ce qui expose à des présupposés, et à les examiner dans la globalité/continuité des paramètres (dimensions, conicité etc.), enfin de réserver à un second temps, celui des propositions interprétatives argumentées, la séparation des ensembles en différentes catégories de meules ou de modes d'entraînement. Une telle non séparation entre catégories de meules permet en effet de définir les continuités et les ruptures observables en termes de gabarit, de conicité et de métrologie. Elle permet de ne pas préjuger des ruptures.

5. On s'aperçoit en effet, pour s'en tenir au seul domaine des meules de Très grands Format, que leur pente varie de 2 à 40° (ci-dessous Fig. 2). Elle se superpose ainsi à celle des meules réputées « manuelles » dont la conicité varie de 0 à 30° (Fig. 3) et surtout de 0 à 17° avec un groupe, de faible fréquence mais marqué, situé entre 18 et 26°. Il apparaît ainsi soit que la conicité n'est pas un indicateur du caractère hydraulique, soit que certaines zones de conicité (par ex. 18-26°) pourraient l'être et donc que l'on rangerait dans les meules manuelles des meules à motion hydraulique.

Figure 2 Conicité des meules Antiques de Très Grand Format
(corpus additionnel de 94 meules dont 55 avec conicité -voir *infra* TABLE)



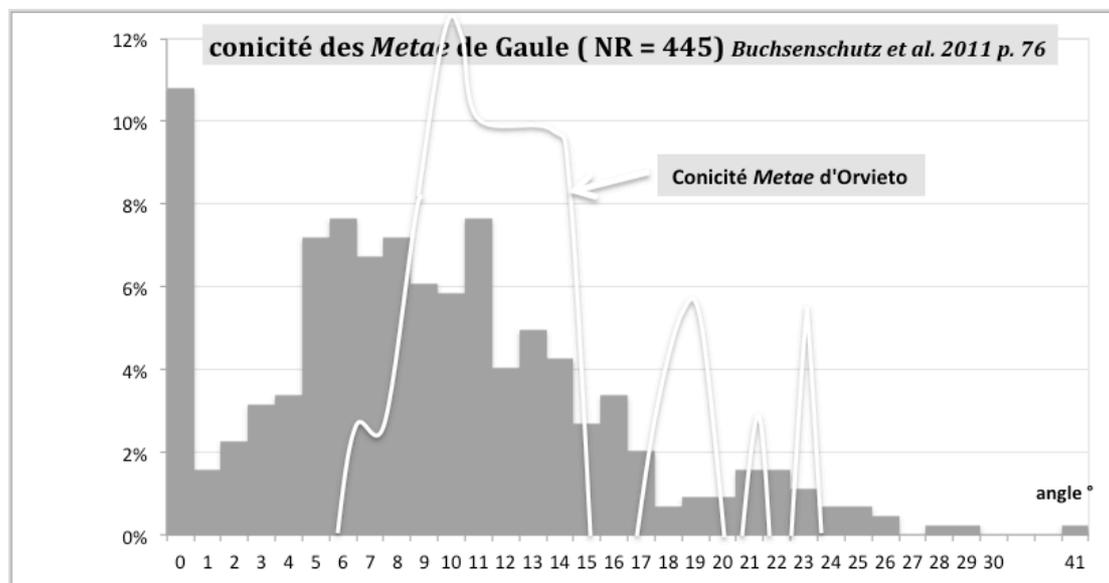
manivelle, roue motrice à entraînement hydraulique ou à sang) d'autant que les poids des meules peuvent grandement varier pour un même diamètre.

⁶ Nombreux cas publiés récemment dans JACCOTTEY, ROLLIER 2016 (colloque de Lons-le-Saunier).

⁷ Ainsi par exemple des moulins fouillés à l'Auribelle Basse ou à Vareilhes en Languedoc (MAUNE *et al.* 2003, 2007) ou en Provence (BRUN, BORREANI 1998).

6. La question de la perméabilité entre les catégories meules « manuelles » et « hydrauliques » peut également être posée de manière inversée, en considérant les trouvailles issues de la fouille de moulins hydrauliques et en cherchant à savoir si elles n'associent pas régulièrement des meules de petit format, automatiquement dites « manuelles » à des meules de grand gabarit dites « hydrauliques ». Dans l'affirmative on peut supposer que ces dernières ont pu succéder à des meules de format plus réduit pour lesquelles le lieu de découverte porte à suspecter une motion hydraulique. Mais l'éventail des gabarits présents sur les moulins hydrauliques avérés par la fouille peut aussi permettre de statuer sur l'existence de gabarits tranchés entre le mode « manuel » et le mode « hydraulique » ou sur celle d'un *continuum* graduel entre petits et grands formats de meules. A titre exploratoire, nous avons sondé cette question par un examen rapide (Fig. 4 en page suivante) d'un échantillon limité aux cas des moulins hydrauliques publiés dans le Colloque de 2011 tenu à Lons-le-Saunier (JACCOTTEY, ROLLIER 2016, vol. 1).

Figure 3 : Distribution de la Conicité des *Metae* dites « manuelles » en Gaule (la conicité des *Metae* MRB d'Orvieto est surimposée en blanc)



7. Il apparaît qu'au minimum 3 des 10 sites à moulin hydraulique présentent des meules dites « manuelles » en raison de leur faible gabarit (Art sur Meurthe, Rodgersdorf, Lyon Dr Horand). Sauf présence très voisine d'un établissement rural, on ne peut donc pour ces cas exclure que sur ces sites ait existé ou pré-existé un moulin hydraulique qui entraînait des meules de petit format, probablement un moulin à rodet (roue horizontale). Pour cela il est cependant nécessaire que les *metae* soient munies d'un œil perforant et à priori large (de type 4 cm ou plus) correspondant à une motion par le bas, ce qui est généralement le cas des *Metae* une fois passée la période laténienne (CHAUSSAT 2011).

8. Il apparaît également que 7 des 10 sites présentent des meules d'un gabarit de 2 ou 2,25 pieds, soit en pratique des diamètres compris entre 55 et 69 cm et plus fréquemment entre 56 et 62 cm. Comment dès lors attribuer ces meules qui se situent entre le petit format des meules dites « manuelles » (au maximum 44-58 cm soit 1,5 à 1,75 pieds) et le grand format des meules candidates au statut « hydraulique » (à partir de 2,5 pieds) ?

En réalité (cf. CHAP.10, Fig.5 et 6), le format des meules antiques se présente comme

un continuum entre un diamètre rarement inférieur à 28 cm (soit 1 pied) et rarement supérieur à 48 cm (soit 1,5 pied). On observe en effet une forte chute des fréquences à partir de 49 cm et plus encore à partir de 61 cm. La concentration sur le segment 28-48 cm traduit la prééminence dans l'Antiquité des gabarits de 1,25 et 1,5 pieds (20 et 24 doigts) et la rareté des formats dépassant 2 pieds.

En conséquence, des meules dont le diamètre se situe sur 56 cm et au-delà correspondent pour l'Antiquité à de grands gabarits, ceux supérieurs à 70 cm pouvant être considérés comme des formats hors-normes et très rares. Trouvées en contexte de moulin hydrauliques, des meules d'une envergure de 56 à 69 cm (2 et 2,25 pieds voire 2,5 pour les pieds les plus courts de type 27,5 ou 28,2) sont donc fortement susceptibles de constituer des meules à entraînement hydraulique. Cependant, dans d'autres contextes on ne peut exclure que les mêmes grands gabarits se rapportent à d'autres motorisations que l'entraînement hydraulique, on pense particulièrement à la motion exercée à partir d'une roue à engrenage, que la force soit animale (de type manège) ou humaine (manège ou manivelle voire pédale).

Figure 4 : Gabarits des Meules trouvées en contexte de Moulins hydrauliques

Meules en contexte de Moulins Hydrauliques (ANTIQUITÉ)						
source: JACCOTTEY, ROLLIER 2016						
NOM	REF.	Q. MEULES	Q. MRB	DIAM	Gabarit	Pied
1 ART sur MEURTHE	DEFRESSIONES et al. 2016, p. 75	-	++ (L.T.D1-D2)	-	-	-
2 RODERSDORF	HARB 2016, p.91	2+	1 D. 44	D. 44	1,5 pied	24 DGT 29,33
3 VANNES	BERNARD et al. 2016, p.99	8	D.56-58-61,5-62-65-69	D. 56	2 pieds	32 DGT 28,0
				D.58	2 pieds	32 DGT 29,0
				D.62	2,25 pieds	36 DGT 27,56
				D.65	2,25 pieds	36 DGT 28,89
				D.69	2,5 pieds	40 DGT 27,60
4 EN CHAPLIX	BLANC, CASTELLA 2016, p.119	ca. 20 D.60 à 73		D. 60	2 pieds	32 DGT 30,0
						34 DGT 28,24
					2,25 pieds	36 DGT 26,67
					2,5 pieds	40 DGT 29,20
						42 DGT 27,81
5 Les TOURBIERES	BLANC, CASTELLA 2016, p.119	ca. 20 D.61 à 77		D. 61	2 pieds	32 DGT 30,50
				D. 61		34 DGT 28,71
				D. 77	2,5 pieds	40 DGT 30,80
				D. 77		42 DGT 29,33
				D. 77	2,75 pieds	44 DGT 28,0
6 LYON Dr Horand	BELLON et al. 2016, p.137	+7 D.54-64-80-87	1 D.37	D.37	1,25 pied	20 DGT 29,60
						22 DGT 26,91
				D. 54	1,75 pied	28 DGT 30,86
						30 DGT 28,80
					2 pieds	32 DGT 27,0
					2,25 pieds	36 DGT 28,44
						34 DGT 30,12
					2,75 pieds	48 DGT 26,67
						46 DGT 27,83
						44 DGT 29,09
		42 DGT 30,48				
7 CHAMPLITTE	HERVÉ et al. 2016, p.149	4 D.75-76-75-76		D.75	2,75 pieds	44 DGT 27,27
						42 DGT 28,57
					2,5 pieds	40 DGT 30,0
					2,75 pieds	44 DGT 27,64
						42 DGT 28,95
8 VICHY	TROUBAT 2016, p.161	7 D.60-67-70-87-87		D. 60	2 pieds	32 DGT 30,0
						34 DGT 28,24
				D.67	2,5 pieds	40 DGT 26,8
						38 DGT 28,21
					2,25 pieds	36 DGT 29,78
						34 DGT 31,53
					2,5 pieds	40 DGT 28,0
						38 DGT 29,47
					2,25 pieds	36 DGT 31,11
						50 DGT 27,84
	3 pieds	48 DGT 29,0				
		46 DGT 30,26				
	2,75 pieds	44 DGT 31,64				
9 HAGENDORN	SCHUCANY, WINET 2016, p.187	6 D.70 à D.88		D.70	2,5 pieds	40 DGT 28,0
						38 DGT 29,47
					2,25 pieds	36 DGT 31,11
					3,25 pieds	52 DGT 27,08
						50 DGT 28,16
					3 pieds	48 DGT 29,333
		46 DGT 30,609				
	2,75 pieds	44 DGT 32,0				
10 BURGILLE	SIMONIN 2016, p.215	5 D.76 D.80	1? D.56 grès	D.56	1,75 pied	28 DGT 32,0
						30 DGT 29,87
					2 pieds	32 DGT 28,0
						34 DGT 26,35
					2,75 pieds	44 DGT 27,64
						42 DGT 28,95
					2,5 pieds	40 DGT 30,40
	3 pieds	48 DGT 26,67				
		46 DGT 27,83				
	2,75 pieds	44 DGT 29,09				
		42 DGT 30,48				

valeur relevant des Petits Gabarit (MRB)
valeur inférieure au seuil des Grands Gabarits (2,5 pieds)
correspond à un Pied répertorié

9. En l'état des données, pour des meules non trouvées en contexte de moulin à eau avéré, il apparaît préférable de ne pas leur assigner la motion hydraulique sur la base d'un seul critère, qu'il s'agisse de la conicité ou du diamètre. Une telle attribution doit selon nous rester dans l'attente d'un progrès de la recherche, y compris dans l'approche mécanique des meules. L'interprétation du caractère hydraulique d'une meule semble devoir reposer sur des critères variés (voire variables entre la petite hydraulique et la grande hydraulique à roue verticale) qui prennent en compte peut-être aussi la pression des meules, la vitesse de rotation ou la puissance du moulin, sinon des modalités de mécanisation

plus variées dans l'Antiquité qu'on ne le croit peut-être actuellement.

De Grands Formats souvent mal datés

10. Un autre aspect des meules de Grand Format mérite d'être souligné à des fins de prudence. En effet nombre de ces grandes meules attribuées à l'Antiquité Romaine s'avèrent finalement assez mal datées ou pourraient

parfois relever de contextes de l'Antiquité Tardive (V-VI^e s. pC) voire du début du Haut Moyen Age (VII-VIII^e s. pC). Il s'agit le plus souvent de découvertes anciennes ou imprécises, de meules isolées de tout contexte mais aussi parfois de meules issues de fouilles dont on peut rétrospectivement interroger la datation proposée. Au nombre de celles-ci se trouvent malheureusement la plupart des grands formats trouvés à Rome, ou par exemple la meule de Lattes issue d'une fouille et présentée en Fig.1 de ce chapitre.

L'interrogation critique sur la chronologie de tels exemplaires survient sur la base de la position de la meule sur l'échelle des diamètres ou à propos du rapport entre diamètre et épaisseur⁸. Bien que louable, la volonté de débusquer les meules ou les moulins hydrauliques peut toutefois être facteur de parti pris alors-même qu'il convient d'être prudent, aussi bien dans la tentation d'une attribution alto-médiévale que dans l'affirmation de l'appartenance à l'Antiquité. En effet, outre les critères qui seraient des marqueurs spécifiques ou concourants de l'hydraulicité d'une meule, on ignore actuellement presque tout de la chronologie et de la géographie de la disparition de la conicité comme de la généralisation des Meules Plates, deux phénomènes qui interviennent quelque part entre 600 et 900 pC et ont toutes les chances d'être liés au développement de la motorisation.

2. Grands Formats à Orvieto

11. Une seule meule de Grand Format est actuellement observable au sein du corpus de 55 Meules Rotatives Basses produites à Orvieto. Il s'agit de la *Meta* R.30-22 dont le diamètre de base mesure ca.68 cm et le diamètre supérieur ca.70. Cette meule appartient à un petit groupe de 3 *Metae* de fort calibre qui se détachent du commun des MRB orviétanes⁹. La R.30-22 se singularise en outre, à la fois des deux autres et de l'ensemble, par sa très forte conicité (25°).

12. Tant le caractère réduit des diamètres que la rareté des formats supérieurs à 1,5 pied tendent à placer les productions d'Orvieto dans une chronologie assez haute, de type LT-D voire LT-C si l'on compare avec la Gaule (Fig. 5)¹⁰.

13. Les Meules de Style Pompéien qui sont issues d'Orvieto comportent une fraction très notable de grands formats. Ce fait contraste avec l'absence de grands gabarits parmi les Meules Rotatives Basses.

Toutefois il convient de nuancer quelque peu ce constat de rareté. En effet, des meules de grand format ont été observées en 3 endroits. A Orvieto même, 2 sites ont livré quelques meules de grande envergure :

- le site R.1 (tout proche de R.39 et R.40) montre, dans un fourré, quelques pierres de leucite travaillée dont 1 cuve et un large bloc ainsi qu'au moins 3 meules (Fig. 6 & Fig.7). Deux d'entre elles sont de large gabarit (de type 70-90 cm) ;

- par ailleurs le site R.3 correspond à une meule (Fig. 8) de forte conicité (18-20°) et d'un diamètre de 78 cm disposée devant une maison au carrefour de Tamburino et de San Martino

⁸ Notamment lorsque l'Indice de Rectangularité du profil de la meule (IREC) s'écarte des standards antiques récurrents (D. 160 à 250% de H. pour des meules neuves) –voir le CHAP.18 consacré à l'IREC).

⁹ Le diamètre des *Metae* est en moyenne de 34,83 cm et se répartit de 28 à 42 cm complété des 3 individus de fort calibre situés sur 46/48 cm, 56/60 et ca.68/ca.70 ; le diamètre moyen des *Catilli* se situe sur 31,87 cm et se répartit de 27 à 39 sans comporter d'individu de grand format.

¹⁰ Nous avons abordé cette comparaison de manière un peu plus détaillée dans BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI - *Orvieto, centre producteur de meules dans l'Antiquité : premières données issues du programme ORViAMM*, à paraître dans un volume de *Mélanges offerts à M. Fèngère* aux éditions Mergoïl.

Figure 5 : Comparaison entre les Diamètres des MRB d’Orvieto et ceux de la Gaule

sur la voie rectilinéaire. L’œil large de 19 cm occupe 24,3% du diamètre ce qui apparaît très fort sans que l’on puisse établir si cette dimension renvoie à une chronologie Médiévale / Moderne ou à un système d’entraînement donné. Le gabarit de la meule est de 2,75 pieds¹¹ ce qui le classe dans ce que nous définissons comme les Très Grands formats autour du maximum antique que constitue le format de 3 pieds). Cette *Meta* est de réalisation avancée (stade IV ou V) et pourrait avoir été utilisée mais son flanc haut de 19 cm tendrait à indiquer une faible usure. La dimension de la meule, celle de son œil comme son indice de Rectangularité (D 410% de HFL) semblent renvoyer à un type médiéval, cependant sa forte conicité pourrait situer cette *Meta* dans la tradition antique.

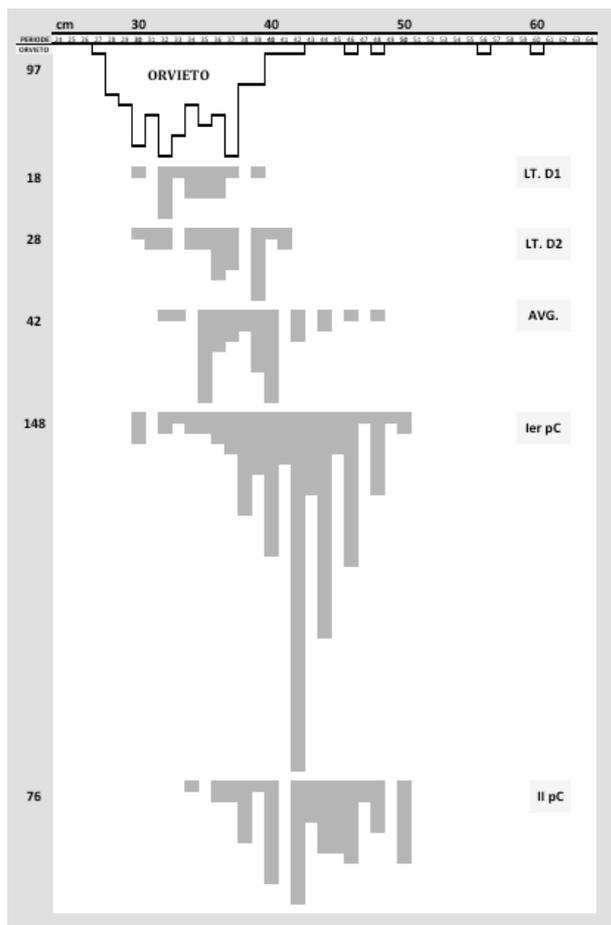


FIG. 6 Site R.1 : grand bloc équarri et meule rotative de format modéré (ca. 50 cm ?)



FIG.7 Meules de Grand Format du site R.1 (ca. 70-90 cm)



¹¹ 78 cm correspondent à 44 dgt d’un pied de 28,36 (soient 77,55 cm attendus pour le pied de 28,2) ou bien à 42 dgt du Pied impérial (*Pes monetalis*) soit 77,59 cm attendus pour ce pied de 29,56.

FIG. 8 Meule de Grand Format du site R.3



14. Enfin, il existait (jusqu'à sa destruction en novembre 2012 par une crue exceptionnelle du Paglia) une demi-douzaine de meules coniques ou subconiques de très grand format sur le site portuaire de Pagliano, localisé à la confluence du Paglia et du Tibre, à environ 10 km à l'aval d'Orvieto. On en trouvera quelques illustrations dans la **Fig. 9** ci-après.

Lors de notre visite en Juin 2012 nous n'avons cependant pu enregistrer ces meules qui ne sont malheureusement plus accessibles et dont on espère qu'elles n'ont pas été emportées par la crue. Leur typologie, leur nombre et leur datation antique ou tardo-antique seraient des données à rechercher dans les minutes et archives de ce site exploité depuis la fin du XIX^e s. (fouilles Mancini 1890).

Il s'agit semble-t-il essentiellement d'ébauches, la plupart de ces meules se présentant sans réalisation de l'œil, deux *Metae* comportant un cône mis en forme (stade de façonnage III) et un tambour à face plane bien régularisée correspondant vraisemblablement à un *Catillus* dont cône et trémie ne sont pas amorcés (stade de façonnage II).

FIG. 9 Meules de Grand Gabarit sur le site antique de Pagliano (juin 2012)



Au-delà de leur grand gabarit (les diamètres sont de type 60-90 cm), ces meules apparaissent épaisses et coniques (de type 15-20°), du moins lorsque le cône a été façonné. Le rapport D/H étant de l'ordre de 250% elles apparaissent trapues, ce qui les situe dans la tradition morphologique antique¹² tandis que les meules médiévales et modernes présentent un rapport D/H compris entre 3 et 600% (D = 3 à 6 H).

15. La présence de telles ébauches massives à Pagliano peut s'expliquer par deux hypothèses principales :



- ce site constituait un embarcadère pour des productions qui descendaient le Tibre vers Rome et Ostie pour le cas échéant prendre des routes maritimes. Toutefois le caractère inégalement accompli des meules (elles semblent toutes parvenues au stade d'élaboration III ou IV) implique que ce site de confluence comportait une officine de façonnage post-extractif où les ébauches primaires étaient avancées ou achevées avant leur embarquement,

- l'hypothèse alternative considèrerait la possibilité que Pagliano ait été le siège de moulins hydrauliques de forte puissance et que les meules retrouvées seraient en instance d'être percées et achevées. Cette éventualité implique cependant qu'en tant que site utilisateur Pagliano livre des meules similaires usées, meules dont l'absence à ce jour est défavorable à cette supposition.

FIG. 9 suite : Meule de Grand Gabarit sur le site antique de Pagliano

¹² En effet, à Orvieto le Diamètre des meules neuves ou ébauches mesure généralement 160 à 180% de la Hauteur et sur notre corpus de comparaison (La Tène et époque impériale) la moyenne est de 220% sur les ateliers, les meules utilisées montrant un rapport D/H de 350% en moyenne (cf. **CHAP. 18**).

TABLE des Meules ROTATIVES de Très GRAND FORMAT (≥ 70 cm)

A- n° 1 à 43

CONICITÉ & DIAMÈTRE des MEULES Antiques de Très GRAND FORMAT (≥ 70 cm)					
N°	SITE	REF.	DIAM	ANGLE *	Notes
CORPUS ACH ATELIERS					
1	ORVIETO	ACH inédit	70	25	
2	EIFEL		75		
3	EIFEL	MANGARTZ 2008	88	20	
4			92	22	
5			92		
6			93	33	
7			97		
8			98	30	
9	LA LANDE-LA V.	MORASZ, PULOU 1997	70		
10			70		
11			75		
CORPUS ACH Sites d' UTILISATION					
12	AMIENS	PICAVET, BOYER 2011	71	13	
13			75,5	10	
14	BAVAY	PICAVET, BOYER 2011	71	12	
15			71	2	
16	TUNGRI	HARTOCH	70,5	13	
17			71,5	11	
18			72	14	
19			72,5	11	
20			73,5	11	
21			78	7	
22			80	5,5	
23	REIMS	JODRY 2017	70,5	35	
24	BEAUVAIS	PICAVET, BOYER 2011	78,5	7	
25			80	5	
26	BOURGOGNE	BUCHSENSCHUTZ <i>et al.</i> 2011	71	32	
27			76	15	
28			76	18	
29	LATTES	DAVEAU <i>et al.</i>	87	32	
AUTRES					
30	BARBEGAL	LEVEAU 2007	80,5	30	
31			80,5	40	
32			82	29	
33	ROMA-Janicule	BRUN 2007	80		
34	ROMA-Sta Maria Antiqua	WILSON 2003, p. 101	88		
35			88		
36	ROMA-Via Sacra Atr. Vest.	WILSON 2003, p. 101	80		ca.80
37	ROMA PALATINO-KRAUSE 512,R15	WILSON 2003 Tab.3	83		
38			88		
39	ROMA PALAT. V.Nova-S.17-R.14	WILSON 2003 Tab.1	86	8	
40			86	13	
41			86		
42			88	5	
43			88	12	

TABLE des Meules ROTATIVES de Très GRAND FORMAT (≥ 70 cm)

B- n° 44 à 95

N°	SITE	REF.	DIAM	ANGLE °	Notes
43			88	12	
44			97	10	
45	VENAFRO	BRUN 2007	80		
46			80		
47	AVENCHES -Tourbières	BLANC, CASTELLA 2012	69,5		ca. 20-25°
48			75,5		
49			76		
50			77		
51			77		
52	AVENCHES -En Chaplix	CASTELLA 1994; BLANC, CASTELLA 2016 p.124	73	23	22-24°
53	ZUGMANTEL	BAATZ 1995 ; JUNKELMANN 1997	75,5	18	75,5 CAT.anille
54			76	16	76 Meta
55	SAALBURG	JACOBI 1912; MORITZ 1958 p.124	81		
56	ATHENES Agora	SPAIN 1987 ; BRUN, BORREANI 1998	71	2	
57			82		
58	Les MARTRES-de-VEYRE	ROMEUF 1978, p. 32-33	92		non plates
59	LYON -Vaise	BELLON et al. 1998, p. 315	84		
60	MUSÉE AVENCHES, METAE hydraul	CASTELLA, ANDERSON 2004, Fig. 21, p.131	70	23	n° 139
61			71		
62			73		
63	MUSÉE AVENCHES, CAT. hydraul.	CASTELLA, ANDERSON 2004, Fig. 26, p.136	74	21	n° 157
64	RODESDORF	HARB 2002, 2016 vol.1 p.91-95	70	22	
65	VANNES	BERNARD et al. 2016, vol.1 p75	69	22	[69]
66	LYON Dr Horand	BELLON et al. 2016, vol.1, p. 137	86		MET.14°-27° CAT.ca.23°-28°-30°-37°
67			80	30	CAT.n°1 US.283
68			86		
69			87	29	CAT.n°2 US.283
70	CHAMPLITTE (70)	HERVÉ et al. 2016, vol.1, p.149	75	18	
71	VICHY	TROUBAT 2016, vol.1, p. 161	70		
72			87	26	Meta n°8 D.87
73			87		
74	ICKHAM	in SPAIN 1987	86		
75			88		
76	DIEULOUARD (54) Carolingien	ECKER 2016, vol.1, p. 271	82	3,9 (!)	
77			84	3,4°	
78			85	3,4°	
79			85	1,8°	
80			88	3,3°	
81			88	2,7°	
82	BURGILLE (25)	SIMONIN et al. 2016, vol.1, p.215	76	27	
83			76	29	
84			80	36	
85			80	39	
86	TREMBLAY en France, Le Nouret	BAUCHET, LEPAREUX-COUTURIER 2016, vol.1, p. 177	72	13	
87			74	9	
88			82	7	
89	CHAM HAGENDORN	SCHUCANY, WINET 2016, vol.1, p. 205	70	23	
90			80	16	ca.80
91			88	20	
92			73,5	27	
93			80	20	ca.80
94	REICHELHEIM Odonwaldkreis	BAATZ 2010, Fig.11, p. 613	110		
95	villa de HECHINGEN-STEIN	SCHMIDT-LAWRENZ S. 1995 ; BAATZ 2010	80		
36 sites Total 95 Diamètres TRGDsGABARITS			1047		
2,64 très Grand Format par site			NR 55		
			moyenne 19,03 °		

3. Métrologie des Très Grands Formats

Du Diamètre au Gabarit

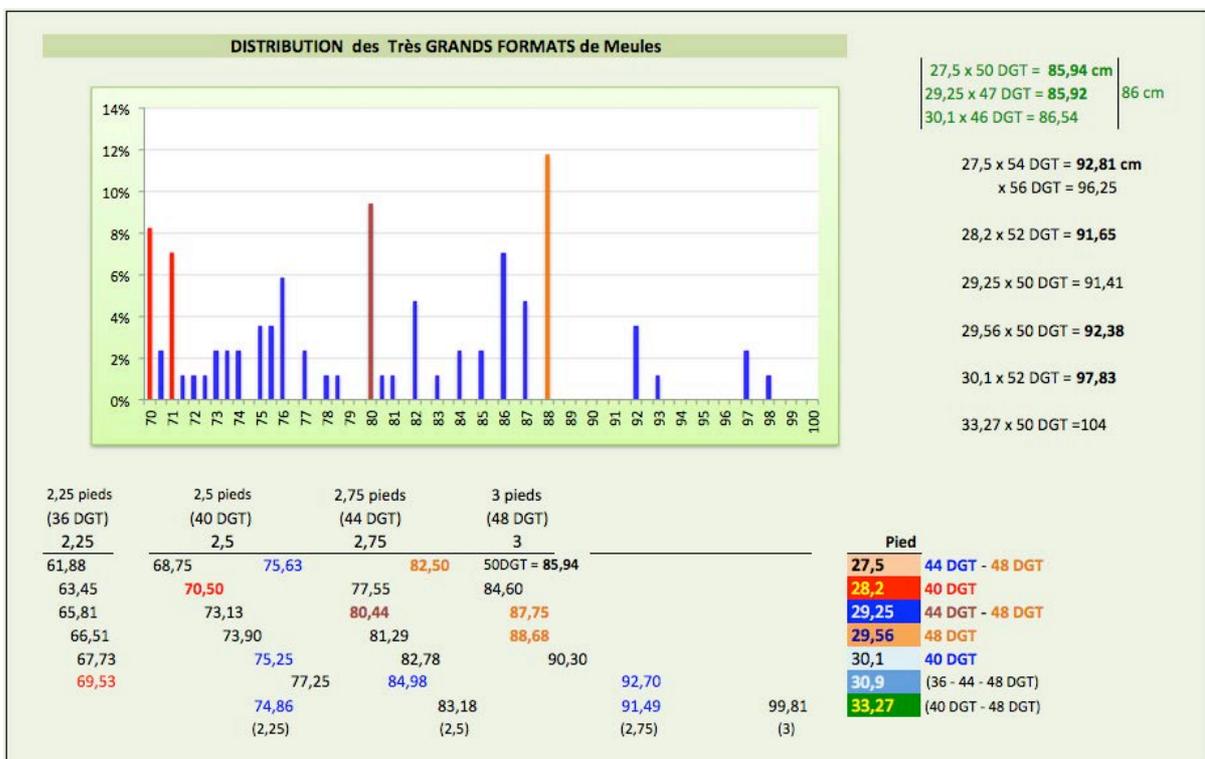
16. Les diamètres des meules de Très Grand Format montrent une distribution principalement répartie sur 2 plages (Fig. 10) : d'une part de 70 à 76 cm et d'autre part de 80 à 88 cm. Au-delà de 88 cm les très grandes meules antiques deviennent très rares : quelques exemplaires sur 92-93 cm et sur 97-98 semblent ainsi dépasser les 3 pieds¹³.

¹³ 52 dgt soit 3,25 pieds ou 50 Dgt soit 3 pieds + 2 dgt (voir les calculs de la partie située à droite de l'histogramme Fig.10).

Les pics de fréquence constatables sur certaines dimensions indiquent l'existence de standards, au nombre de 4, qui ont toutes chances de correspondre à des valeurs métrologiques canoniques, c'est à dire un nombre entier de pieds ou de palmes (quart de pied), de type 2/2,5/3 pieds et quarts intermédiaires de type 2,25/2,75 pieds.

17. On observe ainsi un pic principal sur 88 cm (12%), deux pics majeurs sur 80 cm (9,5%) et sur 70 cm (8%) complétés par un pic secondaire situé sur 76 cm (6%). On remarque parallèlement que ces pics apparaissent le plus souvent sous une forme redoublée (86-88 cm / 80-82 cm / 75-76 cm / 70-71 cm). L'écart de 2 cm correspond à 1 Doigt, celui de 1 cm à 1/2 dgt. On peut ainsi penser à un même standard réalisé parfois avec une approximation de 1/2 ou 1 dgt. Cependant l'examen attentif des valeurs propose plutôt de voir dans ces redoublements un même standard exprimé dans 2 pieds différents.

Figure 10 : Distribution des Diamètres des Très Grands Formats



18. La recherche du pied correspondant à chacun des pics (partie basse de la Fig. 10) montre ainsi que :

- le **Pic 1 (86-88 cm)** totalise **23,5%** des très Grands Formats et correspond au **gabarit de 3 pieds** (48 dgt) exprimés dans les pieds de 29,25 (87,75 cm) et de 29,56 (88,68 cm), la sous-dominante 86 cm pouvant correspondre à 3 pieds + 2 dgt (50 dgt) du pied de 27,5 ;

- le **Pic 2 (80-82 cm)** totalise **12%** et correspond au **gabarit de 2,75 pieds** (soit 44 dgt) dans le pied de 29,25 (80,44 cm) et dans le Pied Impérial de 29,56 (81,29 cm) ;

- le **Pic 3 (75-76 cm)** montre une fréquence analogue en regroupant **13%** des effectifs, il correspond également au **gabarit de 2,75 pieds** mais cette fois dans le pied de 27,5 (valeur attendue 75,63 cm) et, le cas échéant, au gabarit de 2,5 pieds dans le pied de Salamis1 (30,1 cm) ou au gabarit de 2,25 dans le pied de Drusus, ces deux étalons étaient cependant d'une probabilité nettement moindre ;

- le **Pic 4 (70-71 cm)** totalise **17,5%** des très grandes meules et correspond au **gabarit de 2,5 pieds** exprimé dans un pied de 28,2 (diamètre attendu 70,5 cm). Ce pic semble complété par un petit foisonnement (total 8%) de diamètres situés sur l'intervalle 72-74 cm, valeurs qui correspondent au gabarit de 2,5 pieds exprimé dans les pieds de 29,25 et 29,56 (respectivement 73,13 et 73,90 cm).

19. Au total, les meules de Très Grand Format apparaissent correspondre à 3 standards de gabarit, ceux de 2,5 pieds, de 2,75 et enfin de 3 pieds, ceci selon une même fréquence voisine de 25% pour chaque gabarit. Il est rare (8%) que le gabarit de 3 pieds soit outrepassé, les meules de plus de 3 pieds d'envergure sont au nombre de 1 pour mille¹⁴. Pour cette raison, dès qu'une meule antique atteint ou dépasse le diamètre de 90 cm on doit s'interroger sur sa datation et envisager qu'elle puisse être post-antique ou dater de l'Antiquité Tardive.

Pieds régissant les Très Grands Gabarits

20. La transcription métrologique des diamètres des très grandes meules en doigts ou en palmes (quarts de pied soit 8 dgt) donnée par la table **Fig. 14**, permet de définir leur gabarit et d'identifier les pieds dont ces gabarits procèdent.

Les gabarits de diamètre des meules de Très Grand Format se répartissent de 70 à 98 cm (**Fig. 10**) ce qui correspond à une plage allant de 36 à 50 Doigts. Comme nous l'avons vu, les gabarit s'ordonnent de manière équilibrée autour du triptyque des valeurs 2,5 / 2,75 / 3 pieds, ce qui correspond à une sanction en palmes.

21. Ainsi qu'on l'a déjà remarqué, il est rare qu'à un diamètre exprimé en cm ne corresponde qu'un seul pied possible. Les meules de Très Grand Format font apparaître deux faits. Les pieds générateurs de leur dimension sont les mêmes que ceux régissant les petits et moyens gabarits (diamètres de 28 à 69 cm). Il semble que des pieds plus rarement observés sur ces petits formats, ou plus incertains, tels celui de Salamis1 (30,1 cm) ou le Pied de Manching (30,9 cm), soient absents du groupe des grandes meules.

en page suivante :

Table Métrologique des Diamètres des meules de Très Grand Formats

¹⁴ 8,2% d'une fraction estimée à un total de 1,2% sur la base de notre corpus, soit une fréquence de 0,1% de meules antiques qui dépassent le gabarit de 3 pieds (soit ca. 90 cm).

Figure 14A : Table Métrologique des Diamètres de Très Grand Formats

MÉTROLOGIE des Très GRAND FORMAT (≥70 CM)									
Total	SITE	DIAM	PIEDS & DGT						
CORPUS ATELIERS			27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9	33,27
1	ORVIETO	70	40 DGT						
1	EIFEL	75	44 DGT			40 DGT		36 DGT	
6	EIFEL	88			48 DGT	48 DGT			
		92-92					48 DGT	44 DGT	
		93					48 DGT		
		98					52 DGT		
3	LA LANDE-LA V.	70-70	40 DGT						
11		75	44 DGT			40 DGT		36 DGT	
CORPUS Sites d' UTILISATION									
2	AMIENS	71	40 DGT						
		75,5	44 DGT						
2	BAVAY	71-71	40 DGT						
6	TUNGRI	70,5	40 DGT						
		71,5							
		72,5	40 DGT						
		73,5	40 DGT						
		78	44 DGT						
		80	44 DGT						
1	REIMS	70,5	40 DGT						
2	BEAUVAIS	78,5	44 DGT						
		80	44 DGT						
3	BOURGOGNE	71	40 DGT						
		76-76	44 DGT						
1	LATTES	87	48 DGT						
17									
Corpus additionnel									
2	BARBEGAL		48 DGT				44 DGT		
1	ROMA-Janicule	80					44 DGT		
2	ROMA-Sta Maria Antiqua	88-88					48 DGT 48 DGT		
2	ROMA PALATINO-KRAUSE S12,R15	83	48 DGT				44 DGT 40 DGT		
		88					48 DGT 48 DGT		
6	ROMA PALAT. V.Nova-S.17-R.14	86-86-86	50 DGT				47 DGT 46 DGT		
		88-88					48 DGT 48 DGT		
		87					48 DGT		
2	VENAFRO	80-80					44 DGT		
4	AVENCHES -Tourbières	75,5	44 DGT						
		76	44 DGT						
		77-77					40 DGT		
1	AVENCHES -En Chaplix	73					40 DGT		
2	ZUGMANTEL	75,5	44 DGT						
		76	44 DGT						
1	SAALBURG	81					44 DGT 44 DGT		
2	ATHENES Agora	71	40 DGT						
		82	48 DGT						
1	Les MARTRES-de-VEYRE	92					48 DGT 44 DGT		
1	LYON -Vaise	84							
4	MUSÉE AVENCHES, METAE hydraul	70	40 DGT				36 DGT		
		71	40 DGT						
		73					40 DGT		
		74					40 DGT		
1	RODERSDORF	70	40 DGT				36 DGT		
4	LYON Dr Horand	80					44 DGT		
		86-86	50 DGT				47 DGT 46 DGT		
		87					48 DGT		
1	CHAMPLITTE (70)	75	44 DGT				40 DGT 36 DGT		
3	VICHY	70	40 DGT				36 DGT		
		87-87					48 DGT		
2	ICKHAM	86	50 DGT				47 DGT 46 DGT		
		88					48 DGT 48 DGT		
2	BURGILLE (25)	76	44 DGT						
		80					44 DGT		
3	TREMBLAY en France, Le Nouret	72					40 DGT		
		74					40 DGT		
		82	48 DGT						
3	CHAM HAGENDORN	70	40 DGT						
		73,5					40 DGT 40 DGT		
		88					48 DGT 48 DGT		
1	TOUL	96							
51		6218,5	22	16	32	12	12	9	8
79	total Meules Tr GD FORMAT	78,715	19,8%	14,4%	28,8%	10,8%	10,8%	8,1%	7,2%
	moyenne		27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9	33,27

Figure 14.B : Table des Pieds possibles pour chaque site

		MÉTROLOGIE des Très GRAND FORMAT (≥70 CM)							
Total	SITE	PIEDS & DGT						Total	Meules / Pied
		27,5	28,2	29,25	29,56	30,1	30,9		
CORPUS ACH ATELIERS									
1	ORVIETO		1			2		2	0,5
7	EIFEL	1		1	1		3	4	1,8
3	LA LANDE-LA V.	1	2			1		3	1
11									
CORPUS ACH Sites d' UTILISATION									
2	AMIENS	1	1					2	1
2	BAVAY		2					1	2
6	TUNGRI		2	3				2	3
1	REIMS		1					1	1
2	BEAUVAIS			1				1	2
3	BOURGOGNE	2	1					2	1,5
1	LATTES			1				1	1
17									
AUTRES									
2	BARBEGAL	1		1				2	1
1	ROMA-Janicule			1				1	1
2	ROMA-Sta Maria Antiqua			2	2			2	1
2	ROMA PALATINO-KRAUSE S12,R15	1		1	1	1		4	0,5
6	ROMA PALAT. V.Nova-S.17-R.14	4		5	2	4		4	1,5
2	VENAFRO			2				1	2
4	AVENCHES -Tourbières	2					2	2	2
1	AVENCHES -En Chaplix			1				1	1
2	ZUGMANTEL	2						1	2
1	SAALBURG			1	1			2	0,5
2	ATHENES Agora	1	1					2	1
1	Les MARTRES-de-VEYRE						1	1	1
1	LYON -Vaise								
4	MUSÉE AVENCHES, METAE hydraul.		2	1	1		1	4	1
1	RODERSDORF		1				1	2	0,5
4	LYON Dr Horand	2		4		2		3	1,3
1	CHAMPLITTE (70)	1				1		2	0,5
3	VICHY		1	2			1	3	1
2	ICKHAM	1		2	1	1		4	0,5
2	BURGILLE (25)	1		1				2	1
3	TREMBLAY en France, Le Nouret	1			1			2	1,5
3	CHAM HAGENDORN		1	2	2			3	1
1	TOUL								
51									
79	total Métrologie Tr GD FORMAT	22	16	32	12	12	9		
		28%	20%	41%	15%	15%	11%		
		Total identifications Pieds = 103							

Figure 11 : Table des Pieds les plus probables régissant les très Grands Gabarits

22. Les pieds observables sur les Très Grands Formats sont ainsi des classiques : le Pied Osco-italique (27,5), le Pied meulier courant (28,2), le Pied de Vindonissa (29,25) ainsi que le Pied Impérial (*Pes monetalis* de 29,56 cm).

Trois remarques doivent être faites à cet égard. Tout d'abord, le Pied dominant (41% des meules) est ici inhabituellement celui de 29,25 (Vindonissa), il est présent dans toutes les régions sauf sur

MÉTROLOGIE des Très GRAND FORMAT (≥70 CM)				
				Pied
Meules justifiées de	18 sites /33	55%		29,25
Total Meules justifiées	32 / 79 M	41%		
Justifiées par ce seul Pied	6 / 32 M	19%		
Meules justifiées de	15 sites /33	45%		27,5
Total Meules justifiées	22 / 79 M	28%		
Justifiées par ce seul Pied	2 / 22 M	9%		
Meules justifiées de	12 sites /33	36%		28,2
Total Meules justifiées	16 / 79 M	20%		
Justifiées par ce seul Pied	3 / 16 M	19%		
Meules justifiées de	9 sites /33	27%		29,56
Total Meules justifiées	12 / 79 M	15%		
Justifiées par ce seul Pied	0 / 12 M	0%		

l'Agora d'Athènes, à Orvieto et en Bourgogne (Fig. 12 et 13).

Egalement très diffusés (Fig. 13) et présentant une géographie similaire (Fig. 15-16), les pieds de 27,5 et 28,2 semblent néanmoins d'une fréquence moindre puisqu'ils rassemblent chacun environ un quart des très grandes meules (respectivement 28 et 20%).

Figure 12 : Carte des Meules de Très Grand Format relevant ou pouvant relever du Pied de 29,25 cm

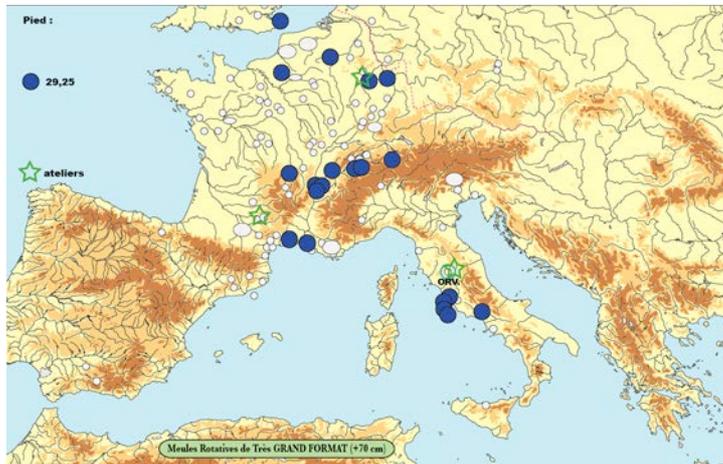
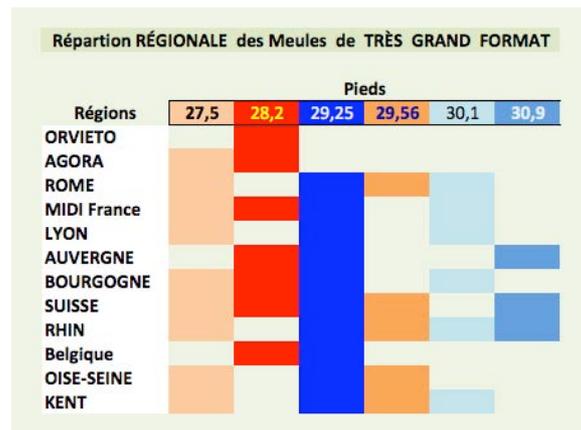


Figure 13 : Répartition régionale des Pieds régissant les meules de Très Grand Format

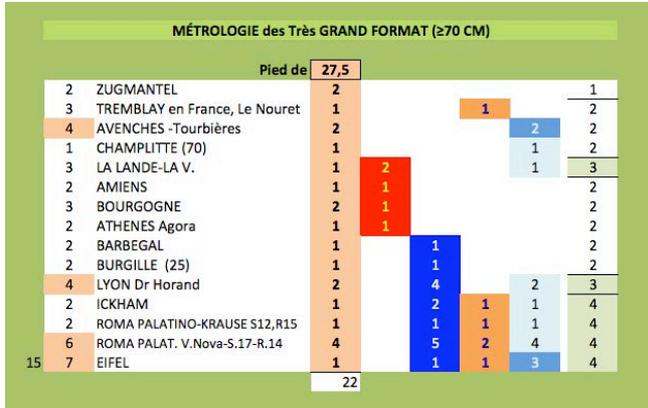


Figures 15 et 16 : Meules de Très Grand Format relevant ou pouvant relever des Pieds de 27,5 (à gauche) et de 28,2 cm (à droite)



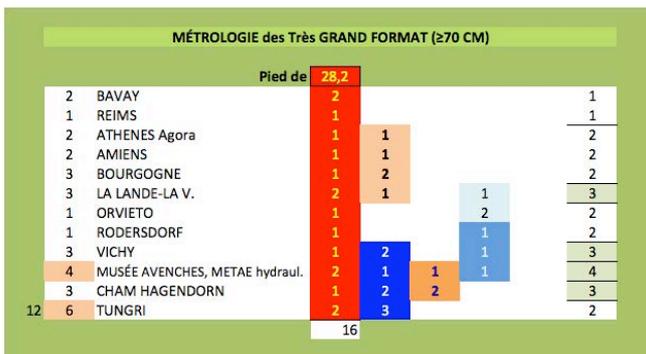
Cependant ces deux pieds de 27,5 et 28,2 ont tendance à s'exclure, se rencontrant assez peu souvent associés dans les mêmes assemblages (Fig. 17 et 18).

Figure 17 : Diagramme d'association/exclusion du Pied de 27,5



L'association de 2 pieds signifie qu'ils rendent compte du même diamètre et que celui-ci a pu être fabriqué dans 1 des 2 pieds différents ou bien les deux. Sur le corpus des Très Grands Formats, le pied de 28,2 cm est peu associé au pied de 27,5 (4 occasions et 5 diamètres sur 15 sites -Fig. 17 ou 18).

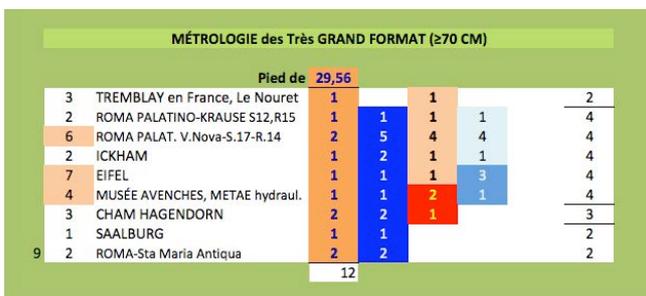
Figure 18 : Diagramme d'association/exclusion du Pied de 28,2



23. La dernière remarque a trait au caractère que l'on pourrait presque dire marginal du Pied Impérial ou *monetalis* (29,56) qui totalise au maximum 15% des meules, alors-même que les diamètres qu'il justifie peuvent toujours également relever d'un autre pied. En effet les diamètres pouvant relever du *Pes monetalis* peuvent souvent être également engendrés par le pied de 29,25 et souvent par celui de 27,5 (Fig.

19).

Figure 19 : Diagramme d'association/exclusion du Pied de 29,56



La répartition spatiale des Très Grands Formats liés au Pied Impérial de 29,56 (Fig. 20) ne présente pas de particularité, elle se résume à la forme contractée et quantitativement moins fournie de la spatialité montrée par les autres pieds.

En définitive et comme on va le voir, la géographie des Très Grands Formats en Gaule n'est pas totalement dénuée d'intérêt.



Figure 20 : répartition spatiale des Meules de Très Grand Format relevant ou pouvant relever du Pied de 29,56

Zonation des conicités & Géométries possibles

24. En effet, si l'on ordonne la table des Très Grands Formats selon une conicité croissante, les sites présentant ces grandes meules apparaissent se classer en deux grandes catégories (Fig. 21 ci-dessus) dont la frontière se situe sur 15-16°. Ainsi, une zone 1 de basse conicité (de 2 à 14°) regroupe la totalité des Très Grands Formats de la Gaule Belgique et de Rome ainsi qu'une partie de l'aire Picarde (Oise/Seine). En revanche, la plupart des autres sites se rangent dans une zone 2, caractérisée par des conicités fortes, de 16 à 40°. Il s'agit en particulier des Très Grands Gabarits de la Suisse, du Rhin et de Bourgogne qui forme une aire compacte à laquelle participe probablement aussi Lyon. Le Midi de la France relève aussi de cette mouvance.

25. Cette bipartition de la conicité des Très Grands Formats suggère une homogénéité des centres producteurs lesquels pratiqueraient tantôt des registres de conicité basse et moyenne (Zone 1), tantôt des conicités élevées (Zone 2).

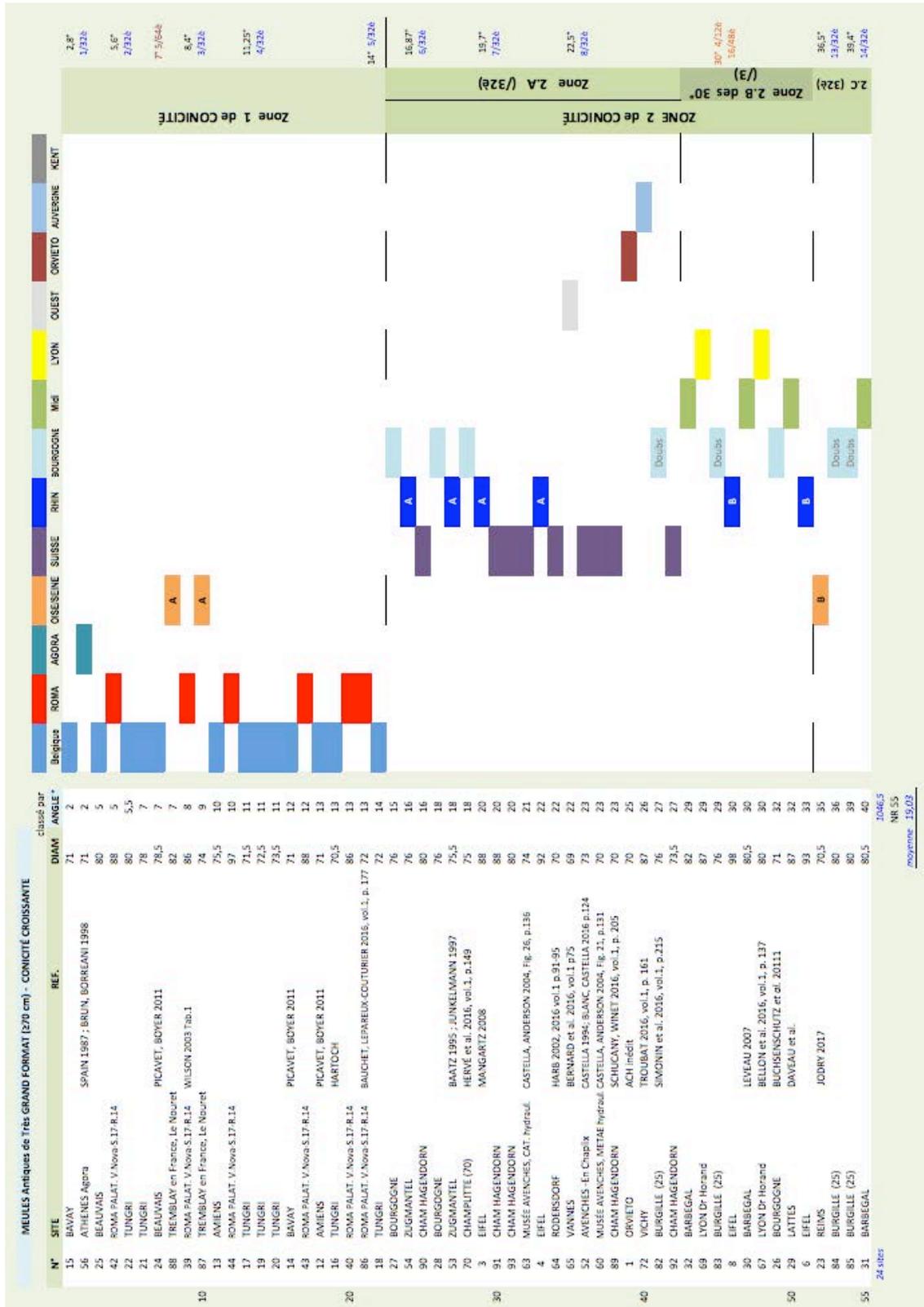
Si elle devait être confirmée par les recherches ultérieures, cette configuration serait défavorable à l'association étroite entre l'entraînement hydraulique et une plage particulière de conicité (cf. *infra* 4.). En effet, concernant la zone de conicité 1 (basse) si cette motorisation n'est pas prouvée ni ne peut-être systématique pour les meules du Nord et des Tongres, il est en revanche peu probable que la plupart des moulins correspondant aux grandes meules de Rome n'aient pas été mus par l'eau. A l'inverse, concernant la zone 2 (conicités fortes) la motion hydraulique est avérée pour plusieurs moulins de Suisse par exemple. L'entraînement hydraulique est donc probable pour chacune des deux zones de conicité caractérisant les Très Grands Formats.

26. A y regarder de plus près (Fig. 21), la zone 2 peut vraisemblablement être divisée en deux, entre une partie 2.A regroupant les meules de conicité 16 à 28° et une partie 2.B rassemblant les conicités de 29 à 33°. En effet, la zone 2.B correspond à des sites dont les grandes meules n'existent pas dans la conicité 16 à 28°. Les causes de cette zonation des conicités semblent tenir à la géométrie.

Ainsi on constate en premier lieu que les diamètres sont communs à toutes les zones ou sous-zones et qu'ils y sont tous représentés. Seul celui de 76 cm, qui semble être une signature du pied de 27,5, apparaît spécifique à la zone 2.A sans toutefois être lié à un centre producteur particulier¹⁵. Mais on constate surtout que la conicité répond assez bien à des valeurs procédant

¹⁵ Ce diamètre de 76 cm correspond aux 2 meules de Zugmantel, à 1 meule de Bourgogne ainsi qu'à 1 de Burgille dans le Doubs, soit en secteur Bourgogne/Suisse ; si celle de Burgille provient du Massif Central, en revanche celles de Zugmantel ont toutes chances d'être taillées dans des laves de l'Eifel.

Figure 21 : Zones de Conicité des Très Grands Formats



d'une division de l'Angle Droit en 32^e. Toutefois cela pourrait ne pas être le cas pour la zone 2.B qui, regroupant un tiers des effectifs sur un pic de 29 et 30°¹⁶, semblerait plutôt répondre à la moitié de l'angle du triangle équilatéral et donc à l'angle de 30°.

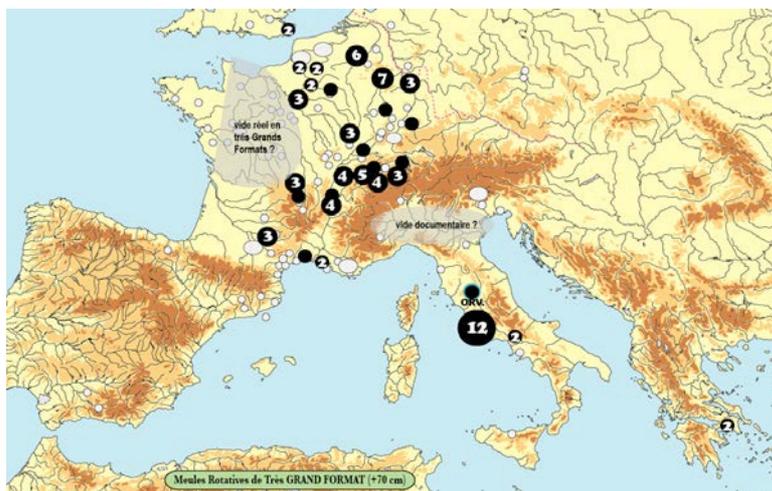
En effet, la pente attendue selon le système des 32^e, c'est-à-dire 30,9° (11/32^e), est ici remplacée par une valeur un peu plus faible, celle du couple 29 et 30°. Ainsi, les grandes meules de la zone 2.B pourraient procéder d'une géométrie distincte de celle du système général des 32^e et relever en l'occurrence du système des 12^e (ou des 36^e en pratique) seul capable de donner avec exactitude un angle de 30°. L'imprécision du mesurage archéologique de la pente des meules empêche sans doute de s'en assurer, du moins sur une série non statistique¹⁷.

27. Il reste cependant tout à fait possible que les meules de Très Grand Format qui relèvent de la conicité 29-31° correspondent pour partie à des fabrications régies par la norme 30,9° (11/32^e) et donc le système du Doigt, tandis que d'autres relèveraient de la norme 30° et donc du système du Pouce (12^e ou, en pratique, 36^e)¹⁸.

Géographie des Très Grands Formats et de leur métrologie

28. Il convient sans doute d'être prudent en l'état actuel des données lorsque l'on aborde la répartition spatiale des meules de Très Grand Format (Fig. 22), étant donné le caractère limité de l'échantillon disponible (86 diamètres répartis en 36 sites, 79 diamètres exploitables métrologiquement sur 33 sites, 55 diamètres et conicités associés sur 24 sites), notre dépouillement étant par ailleurs incomplet¹⁹. Toutefois la distribution spatiale des très grandes meules, ni régulière ni aléatoire, ni même très groupée, paraît tendre vers une géographie particulière qui serait peut-être difficilement remise en cause par un sérieux étoffement quantitatif des données.

Figure 22 : Géographie des Meules de Très Grand Format de l'Antiquité



29. On notera pour commencer que la distribution spatiale d'ensemble n'est guère différente de la géographie antique des moulins hydrauliques dressée dans BRUN 2016, 33-36 : cette dernière ne fait qu'ajouter quelques points dans le centre et l'Ouest (tels que Vannes, dont la meule mesure 69 cm de diamètre, et St. Doulchard)

¹⁶ 3 fois 29°, 3 fois 30°, 2 fois 32° et 1 fois 33°.

¹⁷ En l'occurrence 55 conicités connues et des effectifs de 3 ou au maximum 4 par degré de conicité.

¹⁸ L'étude des pics de conicité des centres producteurs correspondrait peut-être permettre de le savoir dès lors qu'ils révéleraient des quantités significatives de meules dont la pente répondraient à un système en 36^emes de l'Angle Droit.

¹⁹ L'Espagne et l'Italie du Nord n'ont pas été enquêtées en raison de la dispersion des données, pour la Grande Bretagne on s'est limité pour mémoire au seul moulin d'Ickham dans le Kent publié par R. Spain mais les données meulières pourraient être avantageusement complétées à partir de la carte WILSON 2011 reprise dans BRUN 2016 p. 38, enfin la complétude des données rhénanes n'est pas assurée ; soulignons ici qu'il s'agit de dresser un tableau des meules de très grand format (à partir de 70 cm) et non celui de toutes les meules hydrauliques, moins encore d'un recensement des moulins hydrauliques ou de forte puissance.

ou étoffer des zones telles que l'Eifel ou l'Auvergne où sont déjà recensées de grandes meules. La seule différence notable apportée par la carte des découvertes archéologiques de moulins hydrauliques est d'ajouter la Provence et de renforcer le Languedoc.

Mais comme nous l'avons dit précédemment on ne saurait réduire la population des moulins hydrauliques, fussent-ils grands, à celle des meules de grand format, d'abord parce qu'une partie des moulins constituent des moteurs qui entraînaient autre chose que des meules (scieries, marteaux...), d'autre part parce que les grandes meules pouvaient être mues par des animaux et non par l'eau.

On peut s'attendre, comme le laisse pressentir la cartographie BRUN 2016, 33-36, à une distribution relativement ubiquiste des moulins à entraînement hydraulique de l'Ebre au Rhin, à fortiori si l'on y intègre le petit moulin à roue horizontale (à l'exemple de celui de la Calade du Castelet à Fontvieille²⁰ en Provence). En revanche les meules de Très Grand Format paraissent esquisser une géographie particulière selon un axe Sud-Nord que l'on peut retracer par la séquence suivante : Rome, Midi-Provence, Rhône-Auvergne, Saône-Suisse, Rhénanie, Gaule Belgique et Seine, Angleterre.

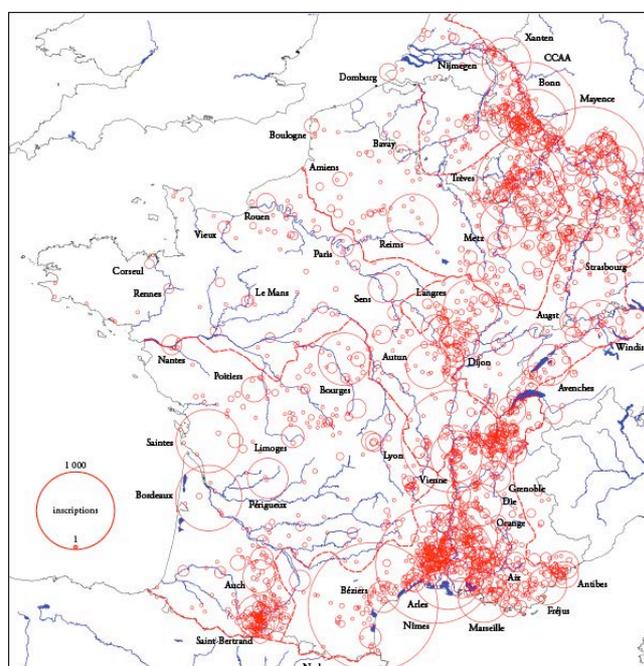
30. S'il est probable que le Nord-Est de l'Espagne et l'Italie correspondent à des vides documentaire et bibliographique, en revanche il est possible que les meules de Très Grand Format soient quasiment absentes d'un grand Ouest, en gros de la Dordogne (sinon de la Garonne) au Cher et à la Seine. En effet dans cette large zone atlantique, les fouilles et les découvertes de meules sont suffisamment nombreuses pour que l'absence de très grands gabarits ne soit pas significative, à fortiori devant le contraste offert par le fuseau central.

On notera que les meules de Très Grand Format se rencontrent dans des milieux variés (y compris sur un pont comme à Vichy ou en milieu péri-urbain comme à Lyon Dr Horand), principalement en milieu rural (villas, moulins ruraux) et assez peu en milieu urbain, Rome mis à part. Si de nombreuses découvertes meulières (Chartres, Meaux, villes du Nord de la Gaule) attestent que diverses activités productives urbaines recouraient à des meules de bon gabarit (supérieures à 1,5 pied soit 42-50 cm), celles-ci ne semblent pas avoir privilégié les plus forts calibres.

Les meules de Très Grand Format équipaient probablement des machines ou installations d'un niveau de puissance particulièrement élevé ou/et vouées à une utilisation spécifique. Dans les villes tournaient, nombreuses, des meules d'un registre inférieur, celles dont le gabarit s'étendait de 1,75 à 2 voire 2,25 pieds (soit un diamètre compris entre 48 et 68 cm).

Figure 23 : Epigraphie des Gaules

31. Il est naturellement difficile et prématuré d'interpréter la distribution spatiale des meules antiques de



²⁰ Fouille menée par R. Thernot dans le cadre de l'opération GDF *Gazdnic Arière du Midi* (1996-1997) que nous avons conçue et coordonnée avec J. Kotarba, cette découverte a été publiée en 2000 : AMOURIC (H.), THERNOT (R.), VACCA-GOUTOULI (M.) – *Un moulin à turbine de la fin de l'Antiquité. La Calade du Castelet (Fontvieille)*. In : LEVEAU (Ph.), SAQUET (J.-P.) eds. – *Milieu et sociétés dans la Vallée des Baux*. Actes du colloque de Mouriès, 1996. Paris, R.A.N., suppl. 31, 2000, p. 261-273.

Très Grand Format. Cependant deux rapprochements sont assez immédiats aux yeux de l'antiquisant :

- outre Rome, les meules de très grande envergure se répartissent sur des axes bien connus de la Gaule romaine : d'une part la directrice rhodanienne et sa parallèle régordane (Nîmes/Auvergne), d'autre part l'axe Saône-Rhin, enfin la zone Seine-Oise-Somme ;

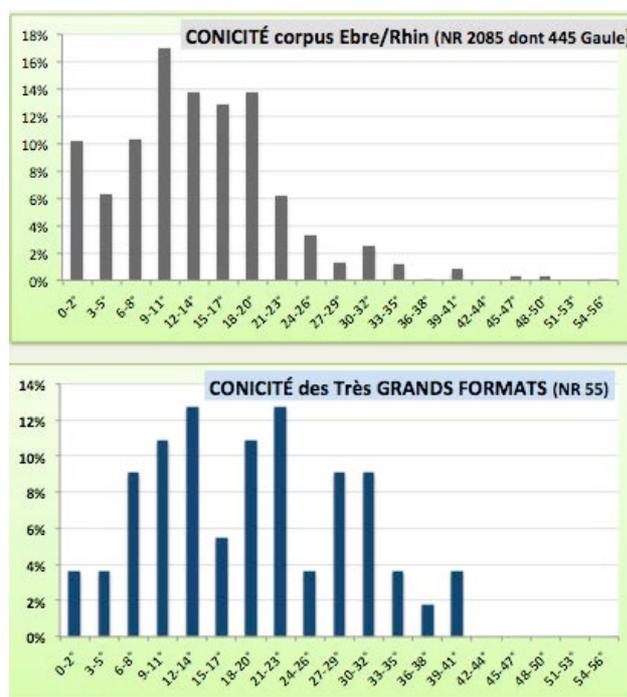
- par ailleurs on est frappé de la ressemblance entre la distribution des meules de Très Grand Format et celle de l'épigraphie romaine des Gaules, de la Germanie et de la Rhétie (Fig. 23)²¹. Les seuls points de discordance sont d'une part la densité des meules de très Grand Format sur les villes du Nord de la Gaule alors que l'épigraphie y est faible, et au contraire l'absence des très grandes meules sur 3 zones à fort marquage épigraphique : le pôle Toulouse/Comminges, le pôle Bordeaux/Aquitaine et enfin le Cher. En l'état des données nous nous contenterons de constater ce rapprochement.

4. Conicité des Très Grands Formats antiques

Figure 24 : Spectre de la Conicité du corpus meulier global & du corpus constitué des seuls Très Grands Formats

32. Les meules rotatives de très grande dimension montrent une conicité analogue à celle de l'ensemble de la population laquelle se situe principalement entre 9 et 20° (Fig. 24 – partie supérieure en grisé) avec une sous-dominante dans les faibles conicités due à l'importance des Meules Plates (conicité 0 à 2°) de l'espace Anglo-Picard (cf. CHAP.19 sur le Moulin Plat). Elle comporte également une petite population de forte conicité centrée sur la classe 30-32°²².

33. Comme dans la population générale, Diamètre et Conicité des meules sont des attributs indépendants, tous les diamètres montrant toute conicité (*infra* Fig. 25).

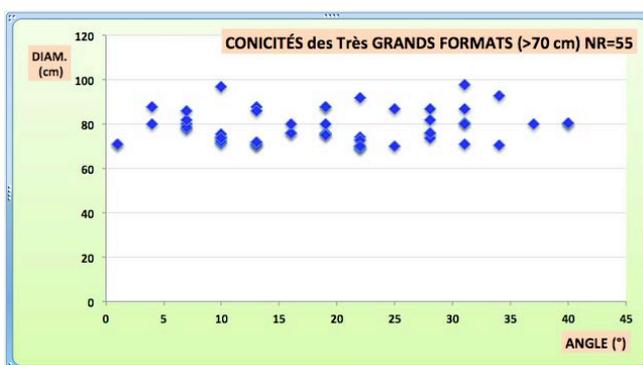


²¹ Carte dressée par l'Université de Paris 1 et publiée en petit format N&B dans OUZOULIAS 2010, Chapitre 13 et disponible en PDF couleur (7 Mb) sur sa page Academia.Edu; elle comporte 21.500 inscriptions provenant de 2.324 lieux (*op.cit.* p. 202); les fortes distributions Midi/Rhône/Saône/Moselle/Rhin sont décrites sous la forme globale d'un λ Sud-Nord.

²² La Conicité est mesurée sur chaque meule, avec une précision de l'ordre de 1 à 3°; pour cette raison et celle que la probabilité que la pente des meules antiques réponde à une division de l'Angle Droit en 32^e de l'Angle Droit (soit une unité de 2,8°) nous l'exprimons par classes de 3 degrés, généralement désignées par leurs bornes (par ex. 18-20°) ou par leur centre (ainsi 19°).

Figure 25 : Diamètre & Conicité des Très Grands Gabarits

34. Bien que la faiblesse de l'échantillon²³ doive rendre prudent, le spectre des meules de Très Grand Gabarit apparaît plutôt globalement conforme à la distribution de référence. En effet, la plage majeure de conicité reste la même (6-8° à 18-20°) et les pics se situent également sur une fréquence de 10-14% (Fig. 24 -partie inférieure en bleu). On observe toutefois un léger renforcement de la conicité, les pics principaux étant décalés de 3° vers la droite (12-14° vs 9-11 et 21-23 vs 18-20°).

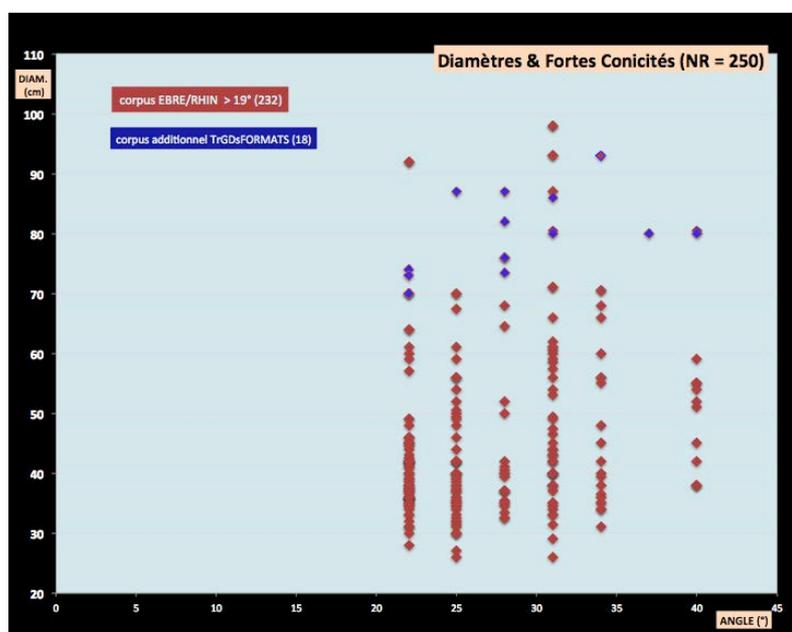


35. Il est par ailleurs possible que les Très Grands Formats soient caractérisés par une relative faiblesse (4 contre 10%) des Meules Plates. En effet si ces dernières sont très majoritairement le fait de la zone Anglo-Picarde, les Très Grands Gabarits sont plutôt bien représentés dans cette aire (14% du total -cf. Fig. 22). Toutefois le faible effectif des meules de forte envergure et plus encore de celles dont on connaît l'angle, interdit d'être pleinement affirmatif sur ce point.

36. Le seul point qui ressort véritablement de la comparaison des deux spectres de conicité (Fig. 24) est l'importante fréquence des conicités fortes chez les Très Grands Formats. En effet, la population générale montre un petit pic relativement isolé sur 31° qui totalise 4% (avec ses latéraux 27-29° et 33-35°) tandis que celle des Très Grands Gabarits montre à cet endroit un double pic (sur 28 et 31°) qui totalise 17% (et même 20% si l'on inclut là aussi le latéral sur 33-35°). La conicité centrée sur 31° montre donc une fréquence 5 fois plus élevée chez les meules de très grande envergure.

Cette primauté apparaît bien quand on observe le couplage entre Diamètre et Conicité (Fig. 26) : au-delà d'une envergure de 70 cm et surtout à partir d'un diamètre de 80 cm, la conicité 31° apparaît privilégiée et les meules de Très grand Format rares au-delà de cette pente.

Figure 26 : Diamètre & Conicité dans la population générale (en rougeâtre) et celle des meules de Très Grand Format (en bleu)



37. Il est sans doute intéressant de relever que cette conicité forte centrée sur 31° apparaît caractériser un nombre non négligeable de meules dont le caractère hydraulique est

²³ 79 meules de Très Grand Format dont seulement 55 associent diamètre et conicité.

équilatéral ou en être l'expression équivalente (donc légèrement approchée) dans une géométrie du *Digitus* pratiquant les 16è et 32è plutôt que dans celle du Pouce (*Uncia*) qui pratique les 12è et 60è.

5. Meules de Grand Format et entraînement Hydraulique

41. Malgré la rareté des meules de fort gabarit à l'époque antique (1,2% d'un diamètre supérieur ou égal à 70 cm et 0,1% supérieur à 90 cm), il ne saurait pour autant être question de nier l'existence, à la période impériale, de meules de très grande envergure qui dépassaient les normes communes. Ces pierres appelaient obligatoirement un entraînement par des machines de grande puissance telles qu'on peut les entrevoir à travers les aménagements de Barbegal²⁵ ou de Chemtou²⁶.

Mais il est probable aussi que certains des moulins vitruviens plus ordinaires qui équipaient nombre de villas, d'agglomérations ou de sites productifs²⁷ aient eu la capacité d'entraîner des meules de 2 pieds et demi ou 3 pieds. On soulignera à cet égard que nombre des moulins ordinaires de ce type, comme ceux trouvés à Vareilles sur l'A.75 près de Montpellier²⁸, étaient actionnés par une eau provenant de l'aqueduc de la villa et arrivant sur la roue motrice soit de flanc²⁹ soit par-dessus³⁰, ce qui leur donnait (à fortiori si la roue était munie d'augets plutôt que de pales) un bien meilleur rendement qu'un entraînement au fil de l'eau, par le bas³¹, comme c'était le cas pour nombre de moulins médiévaux ou modernes.

On peut à cet égard se demander si la technologie motrice, issue sans doute du génie hydraulique minier, n'était pas plus en avance, plus performante, que la technique de la meule elle-même qui semble seulement au Moyen Age, par le fait de la meule plate, s'ajuster au niveau technique atteint antérieurement par la motricité.

42. Il est possible d'approcher, pour l'Antiquité, la quantité de ces équipements avancés, capables de mouvoir des meules de Grand ou Très Grand Gabarit. En effet aux 1,2% de meules de Très Grand Format, il convient d'ajouter 5,4% de meules dont l'envergure se situe dans la zone des 2 pieds, soit entre 55 et 68 cm³². Au total, les meules de fort gabarit atteignent ainsi dans l'Antiquité la fréquence globale de 6,5%, ceci sans préjuger des différentes motorisations qui ont pu les entraîner ni des différences de chronologie³³.

Ce pourcentage global de 6,5%³⁴ a pu varier selon les régions et selon également le caractère urbain ou la chronologie. On peut par exemple faire l'hypothèse d'une montée en fréquence des

²⁵ Voir LEVEAU, PASSCHIER, SURMELIHINDI 2019.

²⁶ Voir le panorama dressé dans BRUN 2016, p. 21-50.

²⁷ Divers cas publiés dans JACOTTEY, ROLLIER 2016, notamment le volume 1.

²⁸ Fouilles MAUNE, cf. note 6 p.4 du présent Chapitre.

²⁹ Roue de poitrine, Engl. *breast-shot* ; Ital. *per di fianco* ou « *alle reni* ».

³⁰ Engl. *overshot* ; Ital. *per di sopra*.

³¹ Engl. *undershot* ; Ital. *per di sotto*.

³² Toujours selon notre corpus Ebre/Rhin de 2.082 Meules Rotatives Basses, 113 (5,4%) mesurent entre 55 et 68 cm (2 pieds) et 26 (1,2%) se situent sur 70 cm et au-delà (2,5 et 3 pieds voire un peu plus).

³³ La proportion de meules de 2 et 3 pieds est clairement dépendante de la chronologie (rares avant l'époque romaine impériale –notre Période 3B- sauf en Catalogne –notre période 1) mais elle dépend aussi pour une part de la région ; une part notable (ca.35%) des sites à Grands Gabarits présentent un taux de 1 à 6,5%, les autres s'égrenant de 9 à 20% tandis que 6 sites montrent un taux de 25 et 35% (villes romaines de Bavay et Boulogne avec 25% et villes de Soissons, Bavay et Chartres sur 35%), deux sites paraissant spécialisés dans les Grands formats avec un taux exceptionnel de 64 ou 91% (atelier de La Lande et atelier urbain d'Autun-Arroux).

³⁴ Noter qu'il apparaît double (14,7%) en Angleterre (Class A meules > 75 cm sur un total de 832 meules – SHAFFREY 2015, p. 58 Table 2), il serait nécessaire de discuter les causes de ce chiffre, notamment en contrôlant s'il peut être dû à la présence dans les assemblages d'une

grands gabarits sur la période IV-VI^e siècles pC et globalement dans l'Antiquité Tardive si l'on envisage que prennent place à cette époque les prémices de la révolution médiévale qui verra, semble-t-il en période carolingienne, se généraliser le diamètre meulier minimal de 3 pieds (soit ca.90 cm). Mais le phénomène des meules de grande envergure reste limité dans l'Antiquité. Il concerne 40% des sites soit 42% des meules³⁵ et demeure centré sur l'époque romaine. On remarque toutefois que les sites comprenant le plus fort taux de Gabarits de 2 à 3 pieds sont le plus souvent urbains (*supra*, note 33). Motorisation hydraulique ou non, certaines villes romaines sont marquées par un emploi soutenu de grosses meules, tout particulièrement dans le Bassin Parisien et le Nord (y compris la cité des Tongres avec 19%).

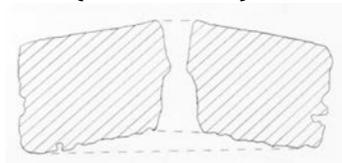
43. On peut inverser le raisonnement pour aborder la place de la motorisation hydraulique dans l'Antiquité : peut-on en effet raisonnablement admettre que seulement 6,5% des meules ou des moulins antiques (soit 2 sur 31) aient correspondu à l'entraînement hydraulique ? (à fortiori si ces 6,5% comprennent, comme il est probable, des meules à sang).

Il nous semble que l'approche des meules hydrauliques par le seul critère du diamètre montre là ses limites. Il faut en effet vraisemblablement envisager une place plus large pour l'entraînement hydraulique des meules, notamment sous la forme -plus difficile à détecter archéologiquement (cf. **Partie I CHAP.1 § 8-9**)- du moulin de petite hydraulique ou moulin à roue horizontale (rodet). Si la place de l'hydraulique est supérieure à 6,5%, cela signifie qu'une partie notable des meules hydrauliques nous est invisible à travers le prisme du gabarit des meules parce que celui-ci ne les distingue pas des meules communes, dont l'envergure navigue le plus souvent entre 1,25 et 1,5 pied. Faut-il alors se limiter au diamètre et rechercher les meules du moulin à rodet dans la fraction des gabarits située sur 2-2,5 pieds ? ou bien faut-il chercher à identifier les meules de la petite hydraulique à partir d'autres critères que le diamètre ?

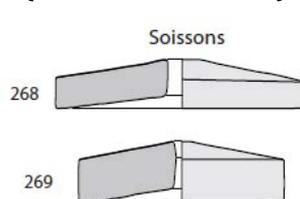
44. L'archéomolinologie actuelle semble placer beaucoup d'attention dans la typologie et les variations des trous d'emmanchement³⁶ implicitement considérés comme la signature des modalités d'entraînement des meules. Pourtant ces mortaises ou encoches pourraient se rapporter à des accessoires non liés à l'entraînement³⁷. Par ailleurs ce qui se passe au centre des meules en termes d'axe fixe ou tournant, de transmission de la rotation ou de modalités d'application du principe de la bielle, nous semble tout autant sinon plus important que les emmanchements dans l'appréhension du mode d'entraînement.

Figure 28 : *Meta* à Œil en double perforation & étranglement

A- Steinfurth (WEFERS 2012)



B- Soissons (PICAVET, BOYER 2011)



NB : l'exemple de Soissons (B) permet de comparer deux *Metae* de même typologie dont la première possède un œil perforant large et la seconde un œil perforant étroit à étranglement

importante fraction de meules plus tardives (d'époques saxonne et anglo-saxonne) qui manifesteraient déjà la tendance au gabarit de 3 pieds typique du Moyen Âge.

³⁵ Dont 29% des Ateliers (5/17) et 42% des sites d'Utilisation (26/61).

³⁶ Comme en témoignent des volumes tels que BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011 ou plus récemment PICAVET 2019, par ex. p. 212 (avec chez ce dernier des développements intéressants concernant emmanchements et entraînement à perche).

³⁷ On peut en effet penser à des dispositifs d'alerte ou de secouage de trémie suspendue, à des petits balais à farine ou à des plaques de rabattage et collecte du broyat, à des dispositifs liés au levage périodique du *Catillus* pour nettoyage etc.

45. Or l'entraînement hydraulique suppose d'abord que la *Meta* soit perforée pour laisser passer l'axe tournant qui transmet par-dessous la rotation donnée par l'arbre mû par la roue. A cet égard on relève que certaines *Metae* présentent une double perforation centrale, à la fois par la face (active) supérieure et par la face (de pose) inférieure, sans que celle-ci puisse admettre le passage d'un axe moteur en raison de son exigüité ou de l'existence d'un goulot médian d'étranglement (CHAUSSAT 2011, 365 et **Fig. 28**).

S'il ne s'agit pas d'individus inachevés, il faut peut-être supposer que l'atelier de façonnage proposait alors une amorce d'œil traversant, qui pouvait soit être laissé tel quel en cas de motion par le haut (de type « manuelle »), soit –au stade ultime de la mise en service- être achevé et élargi en cas d'entraînement par-dessous. Ce genre de configuration pourrait, si la meule est neuve ou utilisée, dénoter une production à options tournée vers deux modes d'entraînement, disponibles en un même lieu et temps mais variables selon les utilisateurs et les types de moulin.

46. L'entraînement par-dessous lié à la motion hydraulique suppose ensuite qu'à travers l'œil de la *Meta* l'axe puisse tourner aisément (frottements tendanciellement réduits à zéro par lubrification et choix de matériaux compatibles non échauffants et à faible usure) et donc qu'il soit de section ronde. Cela signifie que l'archéologie doit accorder une plus grande attention à l'œil de la *Meta*, meule qui s'avère diagnostique pour l'approche de la motion par en-dessous³⁸. L'œil peut-il en effet être le même s'il sert simplement un dispositif de hausse et d'écartement des meules (interprétation courante, par ex. PICAVET 2019, 167) ou bien s'il accueille un axe en rotation (dont la section est probablement d'au moins 1 cm) ? A cet égard les recherches futures devront se pencher plus précisément sur le diamètre des œils, sur les éventuels stigmates d'usure ou de rotation présentés par leur paroi³⁹, sur la hauteur de cette paroi et sur son profil vertical, c'est-à-dire sur les implications observables ou possibles de la présence dans la *Meta* d'un axe tournant.

47. La motion par-dessous suppose enfin que l'axe moteur en fer, ou peut-être parfois en bois⁴⁰, soit solidarisé avec un dispositif apte à transmettre la rotation au *Catillus*. Le principe est celui de deux ailettes diamétrales qui débordent de l'axe (voir **Partie II, Introduction**), sans pour autant que ce débord doive être nécessairement long⁴¹. La typologie préliminaire des oeillards de *Catillus* proposée par le groupe Meule (ROBIN, BOYER 2011 et **Fig. 29**) fournit une bonne illustration de ce dispositif à ailettes à travers son logement aménagé dans l'oeillard. On peut envisager de multiples matériaux (bois, os, fer, bronze peut-être) pour ces ailettes ainsi que de nombreuses modalités de raccord avec le *Catillus* : avec ou sans encastrement dans la paroi de l'oeillard (œil dit celtique), par logement ajusté sis en sous-face du *Catillus* (anille par-dessous), par « pontage » (anille par-dessus) c'est-à-dire fixation par cramponnage d'ailettes longues en face supérieure du *Catillus* etc.

³⁸ Nous avons accordé dans cet esprit un minimum de place à l'œil des *Metae* dans ce travail (voir **CHAP.13**), malgré leur rareté sur les ébauches d'Orvieto et l'improbabilité que les *Metae* de ce centre producteur correspondent à un entraînement par-dessous.

³⁹ Voir à ce propos les intéressantes notations dans PICAVET 2019, 210 (§ 10.2.8.1 forme de l'œil).

⁴⁰ On ne peut en effet exclure que dans de petits moulins à entraînement par-dessous, hydraulique ou mécanique, l'axe soit en bois, en particulier dans le cas de la petite hydraulique à rodet où l'arbre moteur peut monter de la roue horizontale à la meule sans obligatoirement que cette liaison ne passe par une terminaison en fer ; cela dit, les forces et à-coups engendrés par la rotation de l'arbre provenant directement de la roue peuvent fragiliser la transmission de la rotation à la meule par bois et nécessiter l'utilisation d'un fer, matériau qui peut également outre sa solidité, faciliter le passage d'une section ronde de l'axe à une section carrée plus apte à transmettre la rotation.

⁴¹ Il est cependant probable qu'une longueur d'ailette débordant de l'axe d'une longueur minimale, par exemple 1 à 2 cm ou bien au contraire d'une dizaine de cm comme dans le cas de l'anille, ait une incidence au plan mécanique notamment en termes de support du poids, d'évitement de l'oscillation ou de vitesse linéaire en bout de ce levier, ou bien encore en termes de prise en charge de l'inertie due au poids de la meule, voire de meilleur lancement de cette dernière.

Figure 29 : Typologie des Œillards de *Catillus*
(PICAUVET 2019, 176, Fig.179 apr. ROBIN, BOYER 2011)

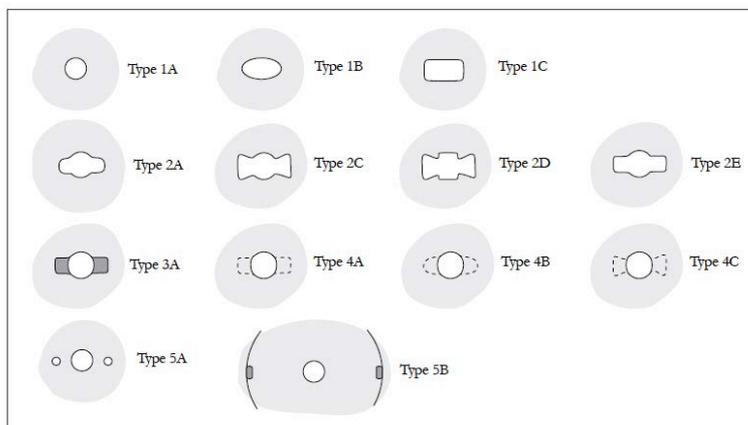


Figure 179 Typologie des œils de meules développée par le Groupe Meule. D'après ROBIN, BOYER 2011

48. Dans le contexte de ces dispositifs, dont l'inventaire archéologique complet, l'approche fonctionnelle et la classification mécanique restent à faire, il convient sans doute d'être attentif aux modalités de raccordement et de solidarisation entre l'axe moteur et les ailettes : solidarisation monolithe (bois ou fer), par moulage (bronze), par soudure (fer) ou par encastrement (sur l'axe passé en section carrée). Sans délaissier ce que la typologie et la variété des œils de *Catilli* peut apporter, il nous paraîtrait dans un premier temps nécessaire que soient mieux inventoriés ces dispositifs, qu'en soient établies les géographies différentielles et datées les premières apparitions. En effet, il semble par exemple qu'œil « celtique », anille par-dessous ou anilles par-dessus (it. *ponte*) se comportent différemment à ces égards. De tels développements pourraient sans doute contribuer à l'appréhension de l'entraînement hydraulique, en complément des approches concernant la métrologie (gabarits) ou la conicité.

Conclusions sur les Meules de Très Grand Format

49. Les meules rotatives de Très Grand Format (≥ 70 cm) sont rares dans l'Antiquité, leur fréquence pouvant être estimée à 1%. Ce simple fait doit d'ailleurs conduire à considérer avec circonspection la datation de chacune de ces meules, y compris lorsqu'elles sont associées à du mobilier antique.

La population des Meules Rotatives Basses se concentre (97,8%) entre les diamètres de 28 et 61 cm, seuil au-delà duquel elles se raréfient⁴². Les Gabarits les plus fréquents se situent ainsi autour de 1,25 et 1,5 pieds (20 et 24 DGT). Les Très Grands Gabarits constituent donc la frange extrême d'une population déjà rare (ca. 3%) de forts gabarits dépassant une taille de 2 pieds (ca.62 cm). Ces très grandes meules correspondent à des gabarits de 2,5 à 3 pieds dont l'envergure et le poids devaient nécessiter une motorisation puissante avec engrenage⁴³.

Leur métrologie est conforme à celle de la population globale mais pourrait faire une place plus large au Pied de 29,25 (Vindonissa) tandis que le Pied impérial de 29,56 y semble occuper une place très limitée.

⁴² Sur un échantillon de 1.343 diamètres, 71,4% des MRB mesurent jusqu'à 42 cm (soit ca. 1,5 pied) et 26,4% ont une envergure de 43 à 61 cm (soit 2 à 2,25 pieds), 1,5% des meules (soit 20) mesurent 62 à 70 cm de diamètre et 0,7% (soit 10 meules) sont au-delà des 70 cm.

⁴³ Par exemple, une meule de 80 cm de diamètre et de 30 cm d'épaisseur en lave pèsera près de 3 tonnes tandis qu'une MRB commune, d'un diamètre de 40 cm pour une épaisseur de 23 cm pèsera 58 kg et, pour comparaison, 75,4 kg pour une épaisseur de 30 cm.

En l'état actuel des données, ces Très Grands Formats se distribuent selon une géographie particulière mais assez connue des antiquisants : au-delà de Rome elles sont en effet attestées dans le Midi de la France, sur une zone centrale Auvergne/Lyon/ Suisse/Jura et Sud de la Bourgogne, elles sont ensuite présentes dans l'Eifel et sur le Rhin ainsi qu'en Gaule Belgique jusqu'à la Seine, enfin en Angleterre. Il est probable qu'elles soient rares dans tout un grand Ouest de la Gaule, peut-être jusqu'à Bordeaux.

50. Le registre de conicité des Très Grands Gabarits, privilégiant la plage allant de 6 à 20°, s'avère tout à fait similaire à celui de toutes les autres meules non pompéiennes et lui est même généralement supérieur de 3°. Toutefois les Meules Plates (pente de 0 à 2°) semblent y être plus rares bien que leurs aires se recouvrent. Par ailleurs, une originalité des Très Grands Formats réside dans le fait que ces meules montrent une fréquence 5 fois plus importante de la conicité centrée sur 28-31°.

Ce type de pente forte semble s'observer régulièrement chez les meules hydrauliques avérées, sans que l'on sache pour autant aujourd'hui s'il s'agit d'une spécificité liée à ce mode d'entraînement, ou bien au traitement d'un type particulier de denrée, ou encore à une détermination mécanique ou géométrique qui imposerait la pente de 31° à certains très grands formats.

51. Il apparaît en définitive probable que les meules de Très Grand Format aient été dans l'Antiquité peu soucieuses de la conicité zéro malgré le potentiel que l'on peut aujourd'hui percevoir dans cette dernière en faveur de la croissance du diamètre. Les meules antiques de Très Grand Gabarit semblent, tout au contraire, s'être situées pleinement dans une culture technique de la conicité.

Auteurs cités dans ce Chapitre : AMOURIC, THERNOT, VACCA-GOUTOULI 2000 – BAATZ 1995 – BRUN 2017 – BRUN 2016 – BRUN, BORREANI 1998 – BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011 – BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI à paraître – CHAUSSAT 2011 – JACCOTTEY *et al.* 2011 – JACCOTTEY, ROLLIER 2016 – LEPAREUX-COUTURIER *et al.* 2017 – LEVEAU, PASSCHIER, SURMELIHINDI 2019 – LEVEAU, SAQUET 2000 – LONGEPIERRE 2007 – MAUNE *et al.* 2003 – OUZOULIAS 2010 – PICAVET 2019 – PICAVET 2011 – ROBIN, BOYER 2011 – WILSON 2011 –

CHAPITRE .21

Peut-on identifier le *Norse-Mill* à partir des Meules ?

La Conicité 31-34°, possible indicateur de la petite hydraulique ?

_____ L'identification de la motion hydraulique à partir des meules pose un problème à la démarche archéologique actuelle.

1. Des meules hydrauliques antiques sont en effet définies en premier lieu à partir des restes meuliers découverts lors de la fouille de moulins à eau tels que par exemple ceux d'Ickham (Kent) ou de Rodersdorf (Suisse), bien qu'une grande partie des moulins antiques mis au jour ne livrent pas de documents meuliers¹ ou seulement quelques fragments ou éclats. Ce défaut de meules est sans doute dû à la fréquence des pratiques de démontage et d'emport des équipements. Cependant cette absence pourrait parfois renvoyer au fait que les vestiges sont relatifs non pas à un moulin, mais à un moteur hydraulique, lequel entraînait non pas des meules mais une autre machine (scie, marteau-pilon, roue élévatrice) comme dans le cas de *Saepinum* (BRUN, LEGUILLOUX 2014).

2. L'archéologie déduit aussi le caractère hydraulique à partir de la dimension sinon de la typologie des meules², attributs qui conduisent à identifier indirectement une implantation hydraulique lorsqu'elle n'est pas incluse dans la fenêtre d'observation du site ou dans les vestiges

¹ Comme c'est par exemple le cas des trois moulins successifs fouillés sur la grande *villa* de Vareilles ou elui du complexe de l'Auribelle Basse, tous deux dans l'Hérault (fouilles St. Mauné).

² La spécialiste des meules anglaises, Ruth Shaffrey, considère ainsi (SHAFFREY 2015, p. 58 et 78) qu'au-delà d'un diamètre de 57 cm (soit 1,75 à 2 pieds), une meule a toutes chances d'être hydraulique (*millstone*, par opposition à *quern*) ; sa proposition inclut également des critères typologiques (p. 75-78 et Table 6) comme l'anille mais aussi le diamètre de l'œil (hydraulique quand il est sur 10 cm et non-hydraulique quand il est sur le gabarit de 7 cm).

livrés. Cette seconde catégorie d'identification est légitimée par le fait que ces dimensions ou ces typologies sont observées sur les meules issues de la fouille des moulins hydrauliques. Mais la démarche n'est pas sans risque et peut brouiller les pistes du statut hydraulique des meules.

_____ **E**n effet, hors les cas de découvertes sur le site-même d'un moulin à eau, la capacité d'identification de la nature de l'entraînement est actuellement limitée aux deux pôles extrêmes de l'échelle des dimensions : les meules de petites dimension sont assignées à une motion manuelle, celles de dimension majeure sont attribuées à l'entraînement hydraulique.

3. Or il n'est d'abord pas du tout certain que toutes les grandes meules aient été entraînées par des moteurs hydrauliques. De même il est envisageable que la dimension ne soit pas le seul critère distinctif des meules à entraînement hydraulique, on peut notamment penser que cette motorisation se marque tout autant dans la conicité (*cf.* CHAP.9 et 12) voire dans l'épaisseur passive (HP *-cf.* CHAP.9, 11 et CHAP.17). On rappellera à cet égard que le grand moulin de Saalburg et ses meules ont été -à tort ou à raison³- attribués à un entraînement mécanique soit par l'homme soit par l'animal, la preuve de la présence d'un engrenage n'entraînant pas en effet celle d'un moteur hydraulique. En réalité, dans sa pratique trop dichotomique entre motion manuelle et motion hydraulique, l'archéologie actuelle mésestime sans doute la variété des modalités d'entraînement des meules dans l'Antiquité et notamment les degrés possibles d'une motion mécanisée non hydraulique⁴ (par bielle, bâton, manivelle, pédale ou encore par courroie), certaines formes avec engrenage pouvant probablement mouvoir des meules de notable dimension sans recours à l'énergie de l'eau.

_____ **L**es limitations actuelles à l'identification du fait hydraulique meulier font deux grandes victimes :

- la première est la chronologie du moulin hydraulique,
- la seconde est ce que nous appelons la *petite hydraulique* notamment rurale, celle du moulin à rodet ou roue horizontale⁵.

4. Le moulin hydraulique est certes attesté à la charnière de l'époque romaine impériale grâce à la description augustéenne (non dénuée d'obscurités) de Vitruve (*De Architectura*, X, 5, 2) et par des découvertes désormais régulières lors de la fouille d'établissement ruraux⁶ ou de contextes urbains à partir du Ier siècle pC⁷. Encore s'agit-il là de ce que nous appelons le moulin de « *grande hydraulique* », régulièrement désigné par le terme de *moulin vitruvien* et qui se caractérise par une roue verticale (de 2 à 3 m d'envergure) et par une installation d'une certaine ampleur (**Fig. 1**) qu'elle soit maçonnée ou en bois : coursier pour la grande roue, sommier et paliers d'appui pour l'arbre, chambre d'engrenage, canal de fuite pour l'évacuation de l'eau, souvent adduction d'eau par le haut (canalisation ou aqueduc).

On ne connaît pas actuellement d'exemple de moulin à roue verticale qui soit véritablement antérieur au texte vitruvien⁸. Il apparaît peu probable que l'on en découvre de nombreux pour la période de La Tène D.

³ Intéressante discussion de l'interprétation manège vs hydraulique in LONGEPIERRE 2012, 86.

⁴ Rarement évoqué dans la littérature à l'exception par exemple de SHAFFREY 2015, 58 « *stones measuring 45-50 cm may have been mechanically operated* ».

⁵ L'appellation *Norse Mill* a été popularisée par FORBES 1993 ; en italien il s'agit du *Molino a ritrecone* ; en espagnol *Molino de rodesno*.

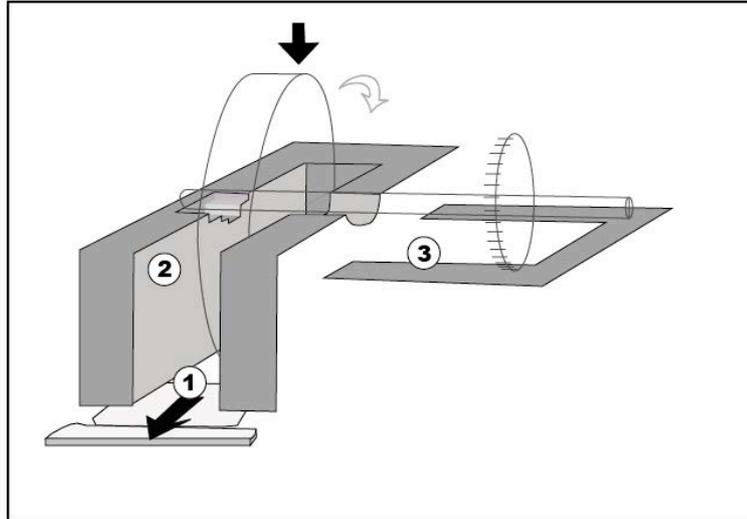
⁶ Un exemple récent, sur la grande *villa* de Burgille (Doubs) et datable du IV^e s. pC, a été publié dans les actes du colloque de Lons-le-Saunier (SIMONIN, JACCOTTEY, GLUHAK 2016).

⁷ Comme par exemple à Clermont Ferrand, sites de Fontgiève et Scène Nationale (MARTINEZ, OLLIVIER 2018).

⁸ Voir notamment BRUN 2017, en particulier p. 32-33.

Figure 1 : Schéma du Moulin Vitruvien

- 1- canal de fuite en sortie de coursier
- 2- coursier avec appuis de l'arbre moteur
- 3- chambre d'engrenage (pour rouet et lanterne)



Le grand moulin vitruvien à roue verticale et engrenages pourrait à vrai dire constituer l'arbre qui cache la forêt.

5. Il nous apparaît probable en effet que le moulin de *petite hydraulique*, celui à roue horizontale et entraînement direct des meules par l'arbre moteur (Fig.2 & 3), ait été non seulement plus fréquent mais plus ancien que le grand modèle vitruvien. Les difficultés actuelles à identifier sur le terrain cet équipement plutôt fugace, ou à en reconnaître les meules, font que pèse sur la datation du moulin hydraulique une incertitude de l'ordre de 2 à 5 siècles : cette technologie s'enracine-t-elle dans la période laténienne ou bien se développe-t-elle en période Romaine impériale voire seulement à l'Antiquité Tardive ?

Compte-tenu de l'existence d'une part du moulin de grande hydraulique dès au moins dès la période augustéenne (Vitruve) et d'autre part de la turbine (cf. CHAP.1 §.11), il semble improbable que le moulin à roue horizontale n'ait pas existé sur la même période même si les rares exemplaires actuellement reconnus sont plutôt à ce jour d'époque Tardive (BRUN 2017). Rappelons que Lewis en fait l'hypothèse à partir du III^e siècle aC même si la documentation est ténue⁹.

Figure 2 : Moulin à roue horizontale (rodet à cuillers) moulin actuel, Europe - photo internet non sourcée

Notre inclination en faveur d'une datation haute pour la petite hydraulique meulière se base sur une compatibilité ou une unité technoculturelle générale pré-industrielle.

6. Les travaux de Rynne en Irlande montrent en effet la grande diffusion, au cours du Haut Moyen Age en milieu rural, de cette technologie qui sera encore en usage jusqu'au début du XX^e siècle de la Grèce à l'Écosse ou à la Scandinavie en passant par la Corse¹⁰. Simple et à base de bois, sans engrenage, le moulin à roue horizontale devait être plus aisément mis en oeuvre en contexte rural et se distinguer notablement de l'investissement lourd nécessité par le moulin à roue vertical¹¹. Or au plan technique et culturel rien ne s'oppose particulièrement à ce qu'une telle



⁹ A partir de transcriptions arabes de sources mécaniciennes grecques (LEWIS 1997, 9 et 58-59), schéma de la reconstruction de M. J.T. Lewis dans AD SA'ID, FRANKEL 2005, 167.

¹⁰ RYNNE 1989-2015 pour l'Irlande ; ORSATELLI 1979 pour la Corse ; BENOIT 2017 pour l'Irlande, la Grande Bretagne, la Scandinavie et l'Allemagne ; GOUDIE 1886 pour l'Écosse ; PUJOL 2010 et 2015 pour l'Inde ; pour l'Espagne ROJAS-SOLA, LOPEZ GARCIA 2007 ou VIGUERAS GONZALEZ 2001 pour le XVI^e s.

¹¹ Les coûts d'installation ou de maintien des pièces de charpenterie ou de métal du moulin vertical sont bien mis en évidence par exemple à Sens au XV^e s. (ROUILLARD 1996).

technique ait été répandue dans l'Antiquité, y compris à la période laténienne dès lors que l'usage du moulin rotatif y était consolidé.

7. Dès lors que l'on suppose le moulin à rodet possible en contexte antique, se pose la question des meules qui pouvaient l'équiper. Or le fait que l'archéologie actuelle ne puisse identifier ces dernières, voire n'y pense pas même, peut correspondre à l'alternative suivante¹² :

- ces meules ne sont pas identifiées parce qu'elles ne sont pas distinctes des meules communes, essentiellement à entraînement manuel ou faiblement mécanisé,

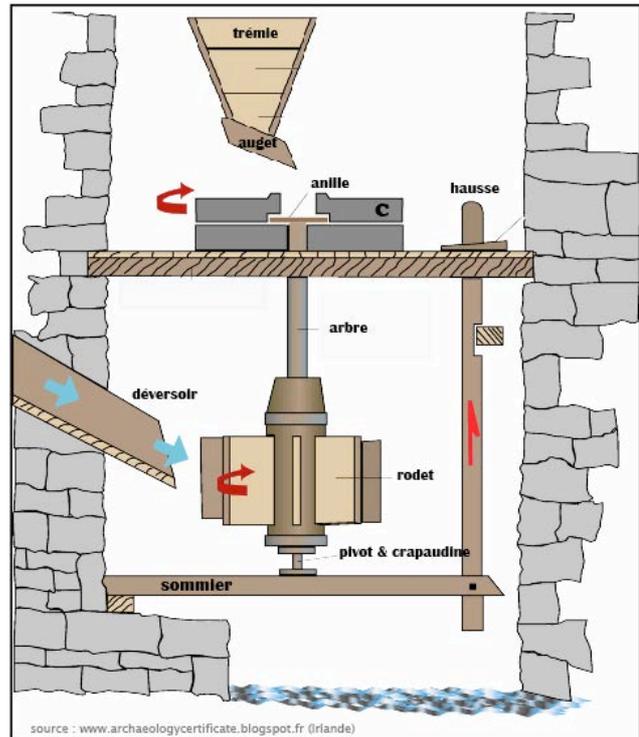
- les meules du petit moulin hydraulique **sont distinctes mais** ne sont pas identifiées parce que l'archéologie actuelle n'en connaît pas encore les marqueurs **spécifiques**.

Figure 3: Schéma du Moulin à rodet montrant roue, arbre, meule dormante perforée laissant passer l'axe tournant, meule tournante (C) solidarisée à l'axe par une anille (légendage A.CH)

_____ Nous nous plaçons donc dans cette optique d'identifier les meules du petit moulin hydraulique paysan, ce à quoi nous invitent certaines des caractéristiques des meules d'Orvieto autant que du corpus de comparaison.

8. En effet, comme nous l'avions déjà évoqué à Brescia (CHARTRAIN 2015) notre impression de la possibilité d'une ancienneté et d'une récurrence plus grandes de la *petite hydraulique* tient à des interrogations soulevées par les meules elles-mêmes. Il s'agit en premier lieu du développement de l'œil traversant sur les *Metae*, ceci dès le courant de l'Age du Fer. En second lieu il apparaît que certaines conicités se détachent des normes principales qui caractérisent certains ateliers, phénomène que l'on retrouve sur de nombreux assemblages issus des sites d'utilisation. Or l'une d'entre elles en particulier, la conicité 31-34°, semble être en rapport avec les meules au caractère hydraulique avéré (cf. précédemment CHAP.20).

Nous avons souhaité dans le présent chapitre examiner ces deux aspects, sans toutefois parvenir à résoudre la question de l'identification des meules du moulin à roue horizontale qui s'avère soit impliquer un faisceau de traits techniques et typologiques plus large, soit se confondre avec les meules communes dites manuelles. Les recherches à venir nécessitent sans doute d'une part une compréhension des pré-requis techniques et mécaniques du moulin à rodet et de leurs implications sur la meule¹³, d'autre part une analyse de type AFC/ACP avec classification dégageant des groupes, ceci à partir d'un corpus de meules issues d'ateliers et d'assemblages de rejets, ensembles limités dans le temps et bien datés.



¹² Naturellement notre hypothèse possibiliste exclut la troisième éventualité (les meules ne sont pas identifiées parce que le moulin de petite hydraulique n'existe pas dans l'Antiquité).

¹³ Notamment en termes de poids minimal (ou maximal) du couple de meule, de rapport peut-être entre le diamètre de la roue et celui des meules, de vitesse de rotation ou de gestion des à-coups et des mises en vibration du moulin.

1. L'Œil Traversant des *Metae* : une condition de la Motion Hydraulique

9. Dès lors que l'on écarte la transmission du mouvement rotatif par courroie¹⁴, l'entraînement hydraulique des meules suppose la perforation complète de la meule dormante puisque le moteur (la roue) est située en dessous. La rotation est transmise par celle-ci à l'axe (arbre) qui tourne (Fig.3) et communique ainsi le mouvement à la meule courante, supérieure, avec laquelle cet axe est solidarisé. La présence sur la *Meta* d'un Œil Traversant est donc une condition indispensable à la motion hydraulique des meules.

10. L'archéomolinologie permet d'établir à cet égard deux faits : les plus anciennes meules et ce durant environ 2 siècles, sont pleines et munies d'un Œil non traversant¹⁵. Par la suite, au cours de l'Age du Fer et somme toute assez tôt (vers 250/200 aC) va se développer l'Œil Traversant qui deviendra presque systématique en Gaule à l'époque Romaine (CHAUSSAT 2011, 362-363).

FIG. 4 Exemples de *Metae* à Œil Non-Traversant

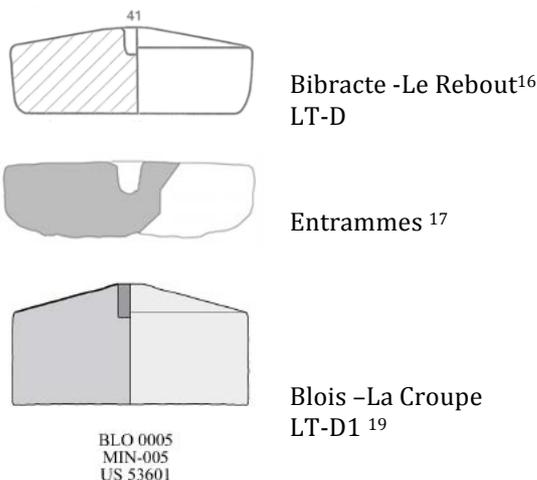
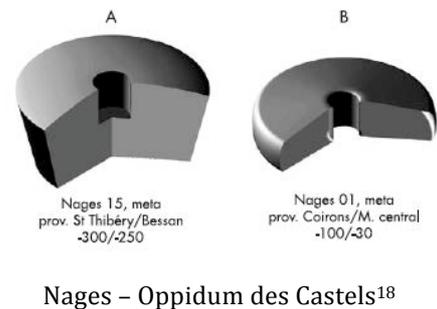


FIG. 5 *Metae* à Œil aveugle (A) ou Traversant (B) - Nages



¹⁴ Ce mode de transmission de la rotation est courant en contexte de machine à vapeur puis de moteur à explosion, nous l'avons également constaté dans d'anciennes laiteries du Nord de l'Italie actionnées au XIX^e s. par une roue hydraulique, il repose dans tous ces cas sur de larges poulies en métal (fonte) à jante plate et sur des tiges en acier ; mais rien ne s'oppose à une plus grande ancienneté de la courroie et ce mode de transmission pourrait très bien avoir été utilisé sur de petites machines pré-industrielles en bois et métal, notamment actionnées à la main ou au pied par des systèmes tels que bielle, manivelle, pédale (on pense par exemple à des tours à bois, à albâtre, à des moulins, de petits marteaux, des perforatrices, des scies ou des limes...) pouvant éventuellement combiner mouvement rotatif et alternatif (bielle, came).

¹⁵ Dit aussi « œil aveugle » (par ex. FARGET 2006, 36 Fig.50).

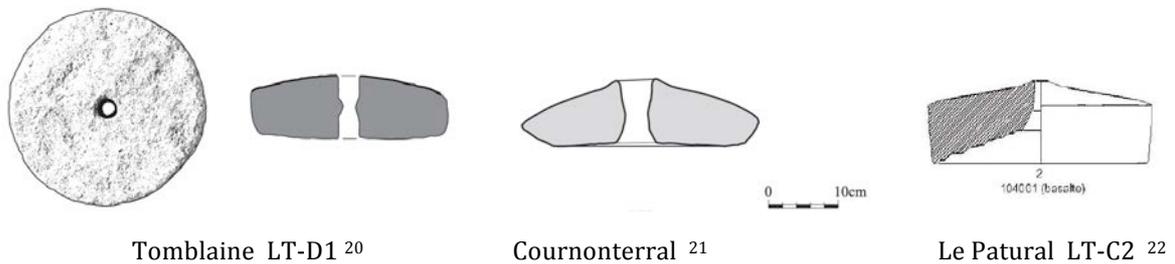
¹⁶ BUCHSENSCHUTZ, BOYER 1999 ;

¹⁷ GUILLIER, COFFINEAU 2012 ;

¹⁸ RELLE 2002 ;

¹⁹ ROBIN in PEYNE *et al.* 2012 ;

FIG. 6 Exemples de *Metae* à Œil Traversant



11. Il est assez curieux de constater que la liaison entre Œil Traversant et entraînement par-dessous soit rarement évoquée dans la littérature archéologique, à l'exception notable de AMOURIC 1997, 40 qui appelle de ses vœux et non sans humour « *une archéologie de l'œil traversant* ». Toutefois cet appel d'il y a 20 ans est resté lettre morte²³ et l'Œil Traversant est parfois mis en rapport avec une fonction de calage de l'axe (CHAUSSAT 2011, 362 et Fig.8A) sans qu'aucune étude ou expérimentation ne semble venir étayer cette lecture. Un tel dispositif, qui offre des parallèles avec certains modèles anciens de tour de potier (cf. **Partie I CHAP.3.3B**) suppose un axe fixe et ne semble cependant pas de nature à éviter l'oscillation du *Catillus* en rotation. En effet l'augmentation de la longueur de l'axe reste sans effet sur celle du segment qui dépasse de la *Meta* et porte le *Catillus*. Cette interprétation archéologique laisse sceptique.

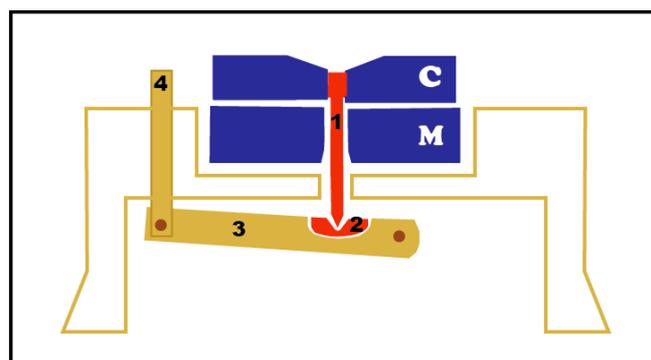
12. Mais le plus souvent l'Œil Traversant, lorsqu'il est abordé, est mis en rapport avec une fonction de réglage d'écartement des meules (par ex. CHAUSSAT 2011, 363 et Fig.8B). On suppose alors que la perforation sert à faire passer un axe qui peut être remonté légèrement à partir de sa base reposant sur un sommier et permet ainsi de hausser le *Catillus*. Ce dispositif est vu comme compatible à la fois avec les 3 modalités de solidarisation entre l'axe et le *Catillus* : le boîtard (Fig.7), l'anille par-dessous (Fig.8) et l'anille par-dessus ou anille crampon (Fig.9).

Figure 7 à 9 : Trois modalités de solidarisation de l'axe tournant avec le *Catillus*

- 1- axe
- 2- crapaudine
- 3- sommier
- 4- hausse
- C *Catillus*
- M *Meta*

Figure7 : Boîtard : axe solidarisé avec un moyeu forcé dans l'œillard du *Catillus*

(le boîtard peut comporter 2 ailettes qui rentrent dans la paroi de l'œillard du *Catillus*)



²⁰ DEFFRESSIGNE, TIKONOFF 2012.

²¹ Inédit, aimable information Fl. Mazière 2019.

²² DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007.

²³ Néanmoins des indications intéressantes sur la relation entre Œil Traversant, Diamètre et mécanisation se trouvent dans SHAFFREY 2015, p. 58, 75 et 77.

Figure 8 : Anille par-dessous : axe solidarisé avec une barre diamétrale portant le *Catillus*

(l'anille correspond à 2 ailettes encastrées dans la base du *Catillus*)

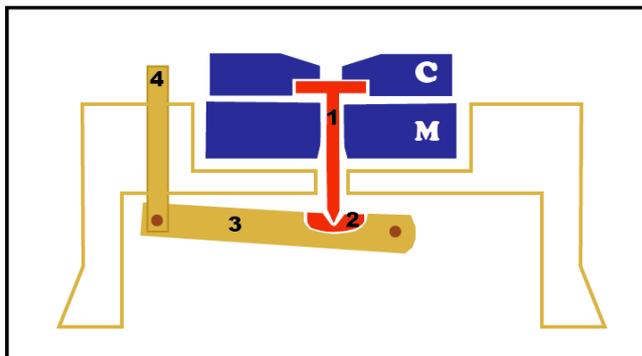
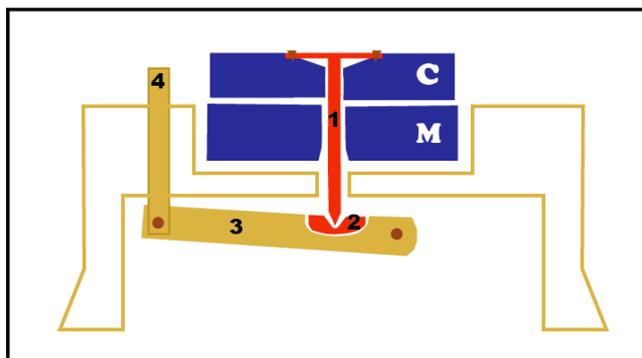


Figure 9 : Anille crampon ou Anille par-dessus : axe solidarisé avec une barre diamétrale cramponnant le *Catillus*

(l'anille par-dessus -Italien « *ponte* »- est constituée d'une fine barre de fer scellée au plomb dans la trémie du *Catillus*, tantôt au bord de l'œillard, tantôt au plus loin de celui-ci)



13. Si tant est que régler l'écartement des meules ait revêtu autant d'importance durant l'Antiquité²⁴, il ne semble pas nécessiter absolument un prolongement de l'axe et moins encore la perforation complète de la meule dormante. La modulation de l'écartement entre les deux meules²⁵ pourrait fort bien en théorie être obtenue soit par la disposition d'un second moulin doté d'un écartement plus important²⁶, soit par un changement de *Catillus* ou de moyeu alors équipés d'un axe légèrement plus long. Toutefois allonger l'axe au-dessus de la *Meta* devait augmenter les tendances à l'oscillation du *Catillus* ou les risques de tordre l'axe.

Ces changements ou ces risques pouvaient être évités par un axe plus long qui traversait la *Meta* de part en part et se trouvait contraint à sa base par une crapaudine l'empêchant de dévier. Ce système (illustré sur les Fig.7 à 9) repose sur le fait que l'axe est contraint en 2 points éloignés (à la base et au niveau du moyeu en sortie de la *Meta*) ce qui permet une rotation axiale tout à fait centrée. On voit donc que l'éventuel souci de régler l'écartement des meules ouvre automatiquement sur la solution des problèmes d'oscillation, selon un agencement déjà courant sur le tour rapide de potier. Au point qu'on peut se demander si ce n'est pas plutôt la solution apportée à l'oscillation qui a rendu possible le réglage d'écartement.

Ces changements ou ces risques pouvaient être évités par un axe plus long qui traversait la *Meta* de part en part et se trouvait contraint à sa base par une crapaudine l'empêchant de dévier. Ce système (illustré sur les Fig.7 à 9) repose sur le fait que l'axe est contraint en 2 points éloignés (à la base et au niveau du moyeu en sortie de la *Meta*) ce qui permet une rotation axiale tout à fait centrée. On voit donc que l'éventuel souci de régler l'écartement des meules ouvre automatiquement sur la solution des problèmes d'oscillation, selon un agencement déjà courant sur le tour rapide de potier. Au point qu'on peut se demander si ce n'est pas plutôt la solution apportée à l'oscillation qui a rendu possible le réglage d'écartement.

14. Il se trouve que l'Œil Traversant permet de résoudre le problème de l'oscillation et autorise le réglage d'écartement, mais qu'en outre il rend possible l'entraînement par-dessous

²⁴ L'archéologie fait peut-être preuve sur ce sujet d'un certain actualisme en projetant sur l'Antiquité *lato sensu* la grande sensibilité des traités modernes de meunerie à la question de la mouture « haute » ou « basse » et aux dispositifs de réglage d'écartement qui la rendent possible, lesquels sont d'autant plus nécessaires qu'on est alors dans le cadre absolu de la meule plate (cf. CHAP.19).

²⁵ Remarquons à ce propos que deux auteurs souvent appelés sur ce sujet, DEMBINSKA 1985 et AMOURIC 1997 (par ex. LONGEPierre 2012, 87), parlent pour la première de moulins médiévaux à anille et pour le second d'œillard traversant dans un développement (p. 40) consacré à l'anille.

²⁶ On soulignera à cet égard la récurrence de l'association dans les assemblages de 2 moulins, un « petit » et un « gros » qui se différencient par leur gabarit (schématiquement de 1 pied ¼ ou un peu moins et de 1 pied ½), association qui a toutes chances de correspondre à 2 fonctions différentes, l'un des 2 moulins pouvant servir à broyer du « gros » et l'autre du « fin » -cf. à ce propos les CHAP.10 points C et D).

dès lors qu'il est couplé avec un dispositif de support du *Catillus*. C'est pourquoi nous inclinons à penser que ces trois aspects techniques sont liés et que le réglage de l'écartement pourrait être plus incidentel que promoteur dans cette évolution technologique du Moulin Rotatif Bas. Il est peut-être à voir plutôt comme une conséquence de la motion par-dessous que comme une étape historique menant à elle.

Cependant nous manquons de documents et notamment d'enregistrements ethnographiques suffisamment précis²⁷ ou d'expérimentations, pour connaître et classer à la fois les dispositifs de réglage d'écartement, les solutions apportées au problème de l'oscillation et même la typologie des moyeux. L'archéologue doit trop souvent se contenter de suppositions à partir de la forme des oeils. Cette insuffisance qui se conjugue avec l'absence de toute approche mécanicienne du moulin rotatif nous réduit à des conjectures sans doute grossières aux yeux de tout ingénieur et nous maintient dans une préhistoire du fait meulier.

En l'état, l'une des voies raisonnables nous paraît quand même de poser l'hypothèse d'un lien probable entre l'Œil Traversant et la motion par le dessous puisque la perforation de la *Meta* rend cette dernière possible.

15. Les recherches à venir devront sans doute opérer une distinction au sein des *Metae* selon la taille de leur Œil Traversant, voire selon sa profondeur. Le tube « œillique » apparaît souvent étroit, voire muni d'un goulot d'étranglement médian lié à son façonnage réalisé successivement depuis les faces inférieure et supérieure. On peut dans ce cas douter qu'un axe ait pu y passer pour transmettre le mouvement à la meule tournante. Cependant on ignore tout de la section d'un axe tournant en fer (ou en bois) pouvant porter et entraîner un *Catillus* de 40 à 60 kg, et un diamètre de 1 cm peut paraître d'une ampleur déjà importante (c'est celle d'un stylo un peu plus gros qu'un bic ordinaire) notamment si cet axe en fer termine un arbre de bois de forte section.

Lorsque l'oeil est large, on peut se demander s'il n'est pas susceptible de mieux accueillir un axe traversant qui prolonge l'arbre moteur de dessous. Cependant on doit noter que l'oeil large est bien connu sur des *Metae* à œil non-traversant : l'oeil de grand diamètre pourrait donc alors avoir servi à caler un coussinet (de bois sans doute) entourant un axe tournant²⁸.

16. A Ensérune, sur des *Metae* de l'intervalle IV-IIè s aC, l'oeil étroit s'exprime à travers 2 pics sur respectivement 3,5 et 4,5 cm de diamètre tandis que l'oeil large s'exprime par un groupe situé sur 7-9 cm. Ces normes peuvent correspondre à 2 voire 3 pieds différents²⁹ et à une scansion relativement régulière en demi-doigts entre 2 et 5 dgt. L'oeil étroit regroupe 10 des 23 *Metae* et l'oeil large 6 d'entre elles. Les Œils Traversants, au nombre de 4, se répartissent en proportion entre œil étroit (3) et œil large (1). L'examen détaillé révèle que le diamètre de l'oeil (DOE) obéit pour les *Metae* d'Ensérune à une règle de proportion en 32è du diamètre de la meule³⁰, sur une séquence allant de 2 à 6 32è. Deux normes se dégagent par leur fréquence : celle de 4/32è (DOE mesurant alors 9 à 12% du diamètre de la *Meta*) qui regroupe 59% des *Metae*, et celle de 6/32è (DOE mesurant 19-20% de D.) qui regroupe 27% des *Metae* soit 2 fois moins. La Norme 1 (4/32è) correspond à l'oeil étroit et s'applique aux petits diamètres, la

²⁷ Il n'entre malheureusement pas dans la formation ou la pratique archéologiques courantes d'accéder aux enregistrements ethnographiques primaires ou thématiques (par ex. sur le moulin), la littérature à laquelle l'archéologue peut accéder de manière standard, parfois des plus passionnante ou instructive (par ex. Comet ou Vignet-Zunz) ne décrit jamais suffisamment et moins encore ne décompose -telle une planche de l'Encyclopédie- un moulin à rodet du Tibet, un moulin manuel d'Inde ou du Maghreb ou encore un moulin à riz du Tonkin toutné par une bielle à main.

²⁸ Il nous semble qu'un axe fixe gagne à être scellé (au goudron ou au plomb) dans un œil étroit, voire à être enfoncé de force (comme un clou) dans la pierre lorsque c'est possible mais des oeils aussi fins ne semblent pas attestés.

²⁹ Pied de 29,25 cm (2/2,5/3/3,5 et 5 dgt) et pied de 28,2 (2/2,5/4/4,5/5 dgt, certaines meules pouvant relever du pied de 27,5 (2 et 4 dgt).

³⁰ En pratique il pourrait s'agir de 16è du rayon, ce qui correspond en effet plus directement au système du Doigt (16è du pied).

Norme 2 (6/32^e) correspond à l'œil large et s'applique aux grands diamètres (> 40 cm soit le gabarit de 1 pied 1/2).

17. On constate ainsi que le diamètre de l'œil des *Metae* répond à des normes de proportion relatives au diamètre (ou au rayon) de la meule. Il est possible que cette proportion recouvre l'implantation d'un axe de section plus forte à mesure que croît le diamètre de la meule (et donc son poids). Mais cela reste à démontrer et n'a peut-être rien d'obligatoire. La proportionnalité de l'œil de la *Meta* répond peut-être uniquement à un souci géométrique (culture de l'homothétie) voire cosmogonique (la proportion comme expression de l'harmonie du monde).

Le caractère traversant de l'œil apparaît indifférent au gabarit puisqu'il existe sur les deux normes, œil étroit et œil large. Le passage à l'Œil Traversant n'a fait que reconduire l'échelle habituelle des diamètres de l'œil.

2. Une Conicité particulière : 31-34°

18. Comme nous venons de le voir, les *Metae* correspondant au moulin de petite hydraulique sont obligatoirement munie d'Œil Traversant mais le diamètre de ce dernier n'a probablement rien de spécifique. Si d'aventure il existe des traits techniques ou morphologiques spécifiques aux meules du moulin à rodet il faut donc les rechercher sur d'autres attributs que le diamètre de l'œil. Or il se trouve justement que la conicité des meules propose une piste.

En effet, la pente des meules étant généralement soit de 0° (Meules Plates) soit comprise entre 7 et 19°, on relève que se détache un petit pic de fréquence centré sur la conicité 31° (Fig.10), originalité également observable à Orvieto (sur les *Catilli* -Fig.11) et sur de nombreux assemblages (Fig.12). On peut alors supposer que ce groupe centré sur 31° correspond à des objets spécifiques car cette angulation des meules est très forte, plus du double de la moyenne générale qui est de 13,13°³¹. Cette pente de 31° vaut 11/32^e de l'Angle Droit (30,93°) et la conicité voisine (34°) qui lui est souvent associée correspond à 12/32^e (33,75°). Métrologiquement il est envisageable que la norme de conicité ayant présidé à la fabrication de ces meules ait été 12/32^e de l'Angle Droit soit 6/16^e dans le système du Doigt.

Un point important vaut d'être noté : la conicité n'augmente réellement la surface active qu'à partir de 45° (+ 40%), donc les Meules Rotatives Basses ne sont pas concernées, en revanche la conicité augmente sensiblement la pression du *Catillus* qui se trouve ainsi accrue de 20% par la conicité 34° (6/16^e de l'Angle droit). Jusqu'à 23°, domaine

Figure 10 : Conicité des Meules Rotatives Basses

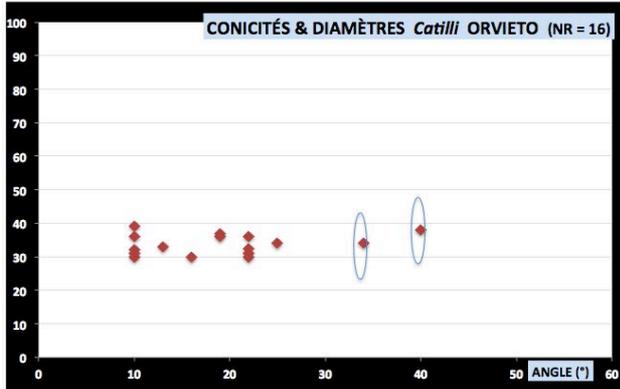


³¹ Soit 7/48^e de l'Angle Droit ; la moyenne générale de notre corpus de meules d'Ateliers est de 15,98° (soit 8,5/48^e), celle des sites d'Utilisation et Rejet est de 13,13° également ; la valeur de 7/48^e est comprise entre 6/48^e (soit 1/8^e, système des 16^e et donc du Doigt) et 8/48^e (soit 1/6^e, système des 12^e et donc du Pouce).

courant de la conicité des MRB, l'augmentation de la pression est négligeable (8%).

19. L'hypothèse que la conicité forte 31-34° puisse renvoyer à des meules hydrauliques et notamment au moulin à roue horizontale est suggérée par la récurrence de cette angulation sur les meules découvertes en contexte de moulin hydraulique (voir **CHAP.20**, en particulier ses **Fig. 24 et 26**). Nous allons procéder à l'examen de ce petit groupe de la Conicité 31-34° qui rassemble au total 5,9% du corpus, soit 98 meules provenant de 19 sites dont 5 ateliers.

Figure 11 : Conicités & Diamètres des *Catilli* à Orvieto



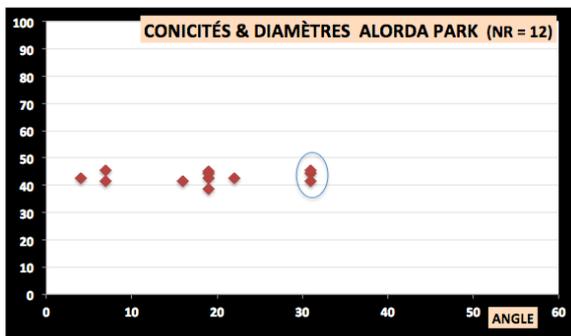
20. Nous discuterons plusieurs arguments qui peuvent s'opposer à l'interprétation hydraulique des MRB de cette catégorie :

- leur découverte en place et posée au sol
- une spécificité chronologique ou géographique de la conicité 31-34°
- le caractère non-perforé de *Metae* de cette conicité
- l'existence d'autres groupes qui apparaissent détachés du corps principal de la

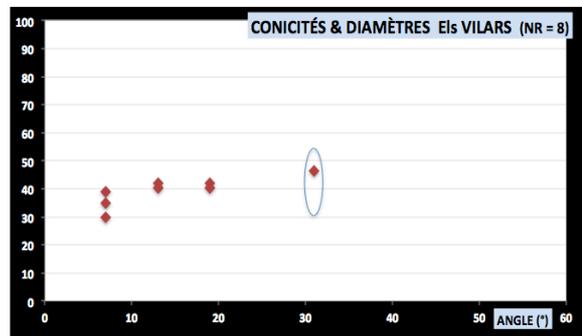
conicité d'un assemblage.

Figure 12 : Conicités 31-34° sur d'autres assemblages de l'Age du Fer ou d'Epoque Romaine

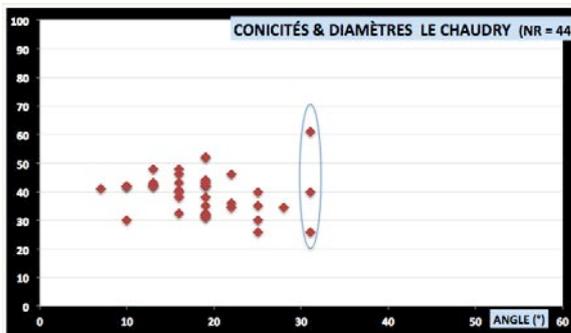
12.A ALORDA PARK (Vè s. aC)



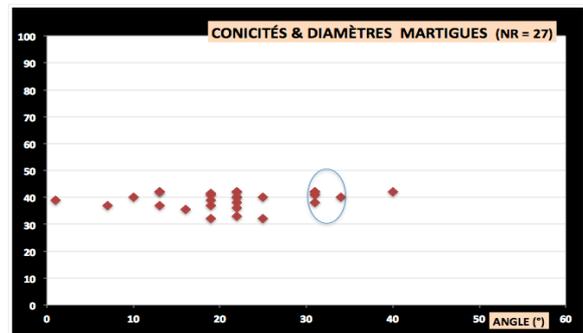
12.B Atelier Els VILARS (V-II s. aC)



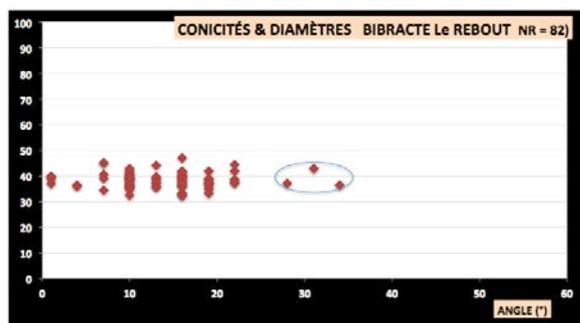
12.C Atelier du CHAUDRY (LT-ROM)



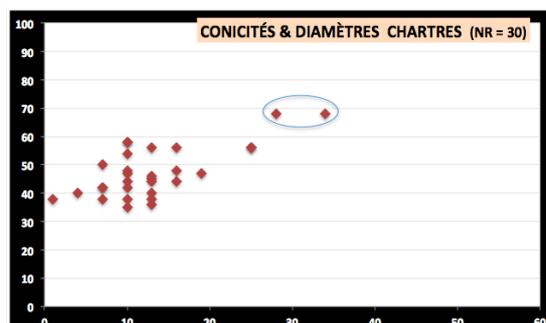
12.D MARTIGUES (II s. aC)



12.E BIBRACTE Le REBOUT (LT-D)



12.F CHARTRES (ROM)



3. La Conicité 31-34° & les Très Fortes Conicités

21. Le pic de conicité situé sur 31° s'insère dans un ensemble de conicités fortes que l'on a avantage à lire associées aux diamètres correspondant (Fig.13). On constate ainsi que le corps principal de la conicité des MRB s'étend de 0 à 25°, valeur au-delà de laquelle les meules deviennent plus rares, ce que l'on perçoit mieux sur la Fig.10 qui expose les seules conicités. A ce registre principal de conicité correspond un éventail plutôt régulier de diamètres qui va de 28 à 60 cm.

Figure 13 : Conicités et Diamètres

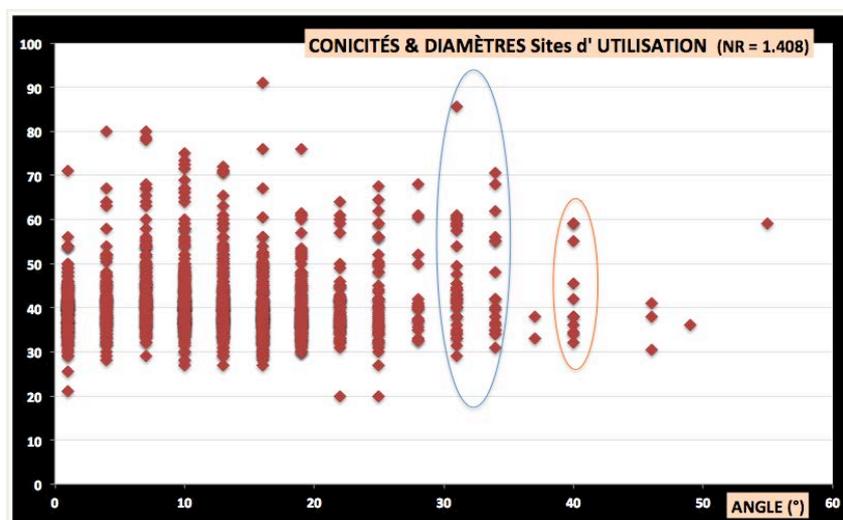


Fig.13) et, nettement plus modérément, la conicité 40° (ovale orangé sur la Fig.13). Ces angulations représentent le double voire le triple de la moyenne, qui est de 13,12° sur les sites d'utilisation (1408 mesures) et de 15,98° sur les sites d'atelier (247 mesures). Elles sont tellement fortes que l'on est en droit de suspecter qu'elles correspondent à des machines particulières. Elles sont représentées en bleu et rougeâtre dans les colonnes de droite de la Fig.14. La Conicité 31-34° (figurée en bleu-roi) apparaît avec les plus anciennes attestations du Moulin Rotatif Bas, dans le foyer originel catalan, sur les sites d'Els Vilars et d'Alorda Park et s'observe également en période Romaine.

Au-delà de 60 cm (soit ca. 2 pieds) les meules se raréfient pour presque disparaître à partir d'un diamètre de 70 cm (soit 2 pieds 1/2), dimension que nous qualifions de Très Grands Formats (voir CHAP. 20).

22. Après le seuil de conicité de 25° (soit 9/32è de l'Angle Droit), ne sont plus guère pratiquées que les pentes de 31-34° (ovale bleu sur la

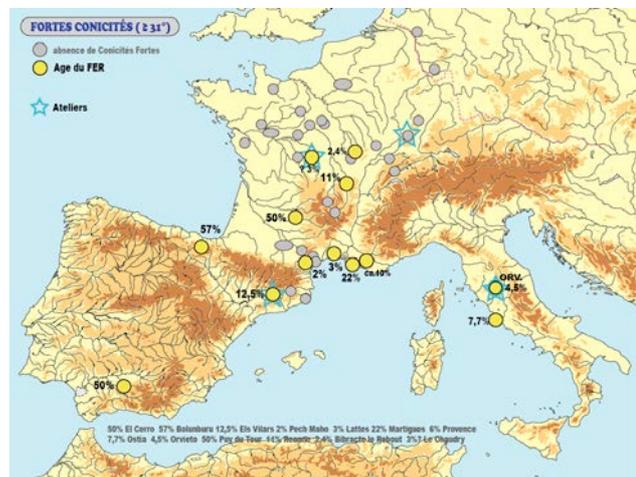
23. Des pentes très fortes (40° et plus – figurées en rosâtre sur la Fig.14) sont souvent associées à la conicité 31-34°. Ces très fortes angulations ne privilégient pas les laves et sont réalisées dans les matériaux locaux. Le classement chronologique³² (Fig.17) montre qu'elles relèvent d'une chronologie ancienne (300 à 100 aC) et du domaine méditerranéen (auquel s'associe l'axe méridien avec Roanne et plus au Nord encore Bibracte). Les Très Fortes Conicités constituent donc un phénomène particulier, peut-être lié aux tâtonnements d'une seconde phase de la période d'invention qui peut correspondre à une stabilisation et à une diffusion de la technologie du moulin rotatif. Comme les *Catilli* espagnols à manchons, restés sans lendemain³³, elles pourraient renvoyer à des essais ou à des machines d'un type finalement abandonné.

Ces Très Fortes Conicités (40° et plus) sont abandonnées au cours de la fin de l'Age du Fer, à l'exception du site (encore indaté à ce jour) de Portus en Charolais qui constitue une particularité non seulement par son registre de conicité mais aussi par l'ampleur de ses diamètres (moyenne 50,5 cm) et de ses épaisseurs (voir CHAP.11 § 2 et 8 et CHAP.18 § 33, 45) : même si la pente des meules peut être exagérée par le statut d'ébauches des meules³⁴, la plupart des produits de ce site sont d'une envergure de 1,75/2 pieds et la conicité y est rarement inférieure à 20° se situant ainsi hors du domaine courant. Portus pourrait correspondre à une fabrique, peut-être tardo-antique, de meules totalement réservées à un entraînement mécanisé ou hydraulique.

24. La répartition spatiale des Meules à Forte Conicité semble esquisser, à travers le caractère limité des données, une évolution géographique depuis une zone initiale méditerranéenne et ligérienne (Fig.15) vers une zone septentrionale en période romaine (Fig.16). Toutefois, la rareté des références méditerranéennes dans notre corpus pour l'époque Romaine rend non fiable cette interprétation cartographique.

Figure 15 : Distribution spatiale des MRB de Forte Conicité (31-34° et plus) à l'Age du Fer

- les sites dépourvus de Fortes Conicités sont figurés en gris sur les cartes Fig.15 et Fig.16 -



³² Nous qualifions ce classement chronologique de « tendanciel » car les assemblages ne sont pas toujours d'une grande homogénéité (en particulier ceux de Lattes ou Argentomagus ainsi que la plupart des sites incluant l'époque romaine) et le plus souvent ne peuvent être subdivisés en groupes phasés (ce que nous avons cependant fait pour Lattes afin d'isoler les meules datées du IV au IIe s. aC ce qui regrettamment ne peut être fait pour Ensérune, Pech Maho ou Agde). Nous avons néanmoins organisé les assemblages selon une succession dont la tendance chronologique est juste quoiqu'imprécise (notamment pour la période du Ier s. aC au Vè s pC), certains ensembles (notamment romains) pourraient être déplacés mais probablement sans remettre en cause l'économie générale du tableau. Notre effort a surtout porté sur la réunion et le traitement d'assemblages de l'Age du Fer comprenant suffisamment de meules datées, ceci afin de pister les traits meuliers présents aux phases anciennes ou leur apparition postérieure.

³³ Modèles où la Conicité 31-34° est rare (1 exemplaire à Lattes) et se situe principalement sur 10-13° et 16-19°.

³⁴ Les conicités 40-46° pourraient ainsi se trouver rabattues vers 31-34° après finition.

Figure 14 : Table des Fortes Conicités (assemblages classés par ordre décroissant de conicité forte et de conicité 0) - les conicités intermédiaires, les plus nombreuses, n'ont pas été représentées -

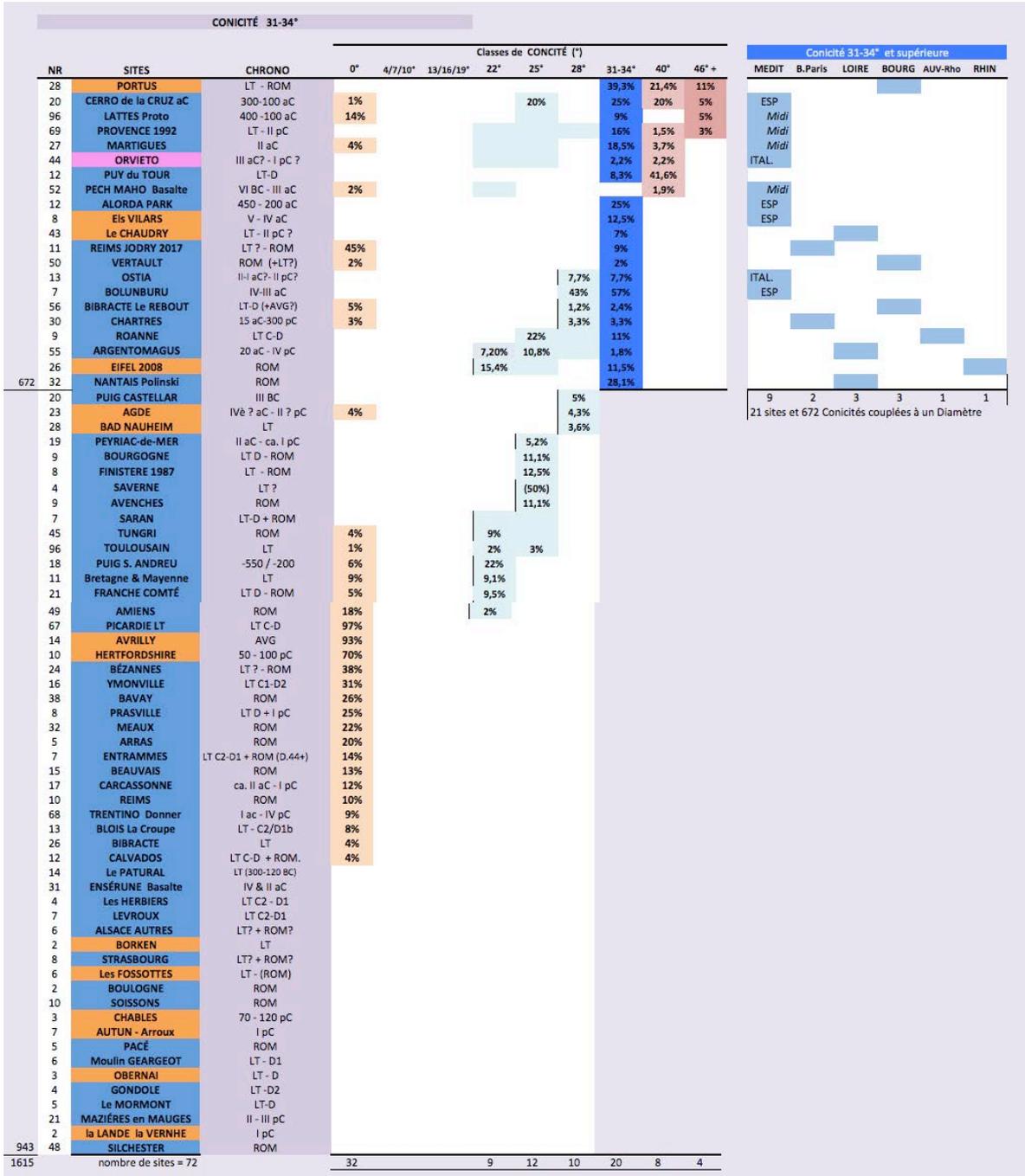
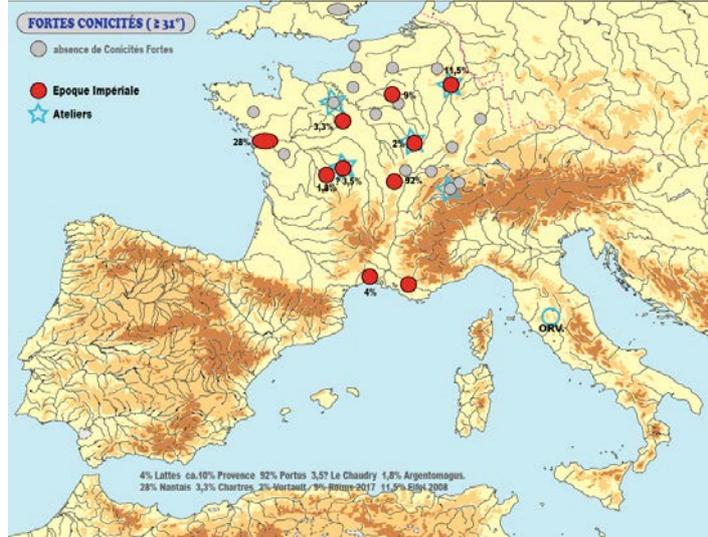


Figure 16 : Distribution spatiale des MRB de Forte Conicité (31-34° et plus) à la Période Romaine



25. Concernant Orvieto, on notera d'abord que son cortège de fortes conicités (31-34° et 40°), bien que faible (2 meules et 4,5%), le place dans une ambiance, presque intégralement méditerranéenne (Fig.17 – très fortes conicités 40° et 46°+), qui apparaît en forte prise sur le foyer originel du moulin rotatif (la Catalogne) et sur le Midi français.

Figure 17 : Fortes Conicités des MRB (classement chronologique tendanciel)

		Classement CHRONOLOGIQUE -2						Quantité			x̄			
		avec ajustement des Périodes pour certains sites									DIAM.			
n°	SITES	CHRONO	NR	31-34°	40°	46° +	31-34°	40°	46° +	31-34°	Période			
Age du FER	9	ALORDA PARK	450 - 200 aC	12	25%		3			43,83	1	V- III aC	Total 53 meules soit 57% du total des Fortes Conicités	
	10	Els VILARS	V - IV aC	8	12,5%		1			46,5	1			
	15	BOLUNBURU	IV-III aC	7	57%		4			39,5	1			
	8	PECH MAHO Basalte	V aC - III aC	52		1,9%		1		45,5	1			
	2	CERRO de la CRUZ aC	300-100 aC	20	25%	20%	5	4	1	55,9	1			
	3	LATTES Proto	400 -100 aC	96			2		1	40,50	1			
	4	PROVENCE 1992	LT - II pC	69	16%	1,5%	3%	11	1	2	33,8			2
	5	MARTIGUES	II aC	27	18,5%	3,7%		5	1		40,8			2
	7	PUY du TOUR	LT-D	12	8,3%	41,6%		1	5		34,8			3.A
	6	ORVIETO	III aC? - I pC ?	44	2,2%	2,2%		1	1		36,0			3.A
ROMAIN	18	ROANNE	LT C-D	9	11%		1			35,0	3.A	LT- D	et 13% des meules des sites concernés	
	16	BIBRACTE Le REBOUT	LT-D (+AVG?)	56	2,4%		2			39,8	3.A			
	11	Le CHAUDRY	LT - II pC ?	43	7%		3			48,3	3.B			
	14	OSTIA	II-I aC? - II pC?	13	7,7%		1			33,0	3.B			
	12	REIMS JODRY 2017	LT ? - ROM	11	9%		1			70,5	4			
	19	ARGENTOMAGUS	20 aC - IV pC	55	1,8%		1			43,0	4			
	17	CHARTRES	15 aC-300 pC	30	3,3%		1			68,0	4			
	20	EIFEL 2008	ROM	26	11,5%		3			94,7	4			
	13	VERTAULT	ROM (+LT?)	50	2%		1			49,5	4			
	21	NANTAIS Polinski	ROM	32	28,1%		9			57,3	4			
	1	PORTUS	LT - ROM	28	39,2%	21,4%	32%	11	6	3	53,2	5	ROM+	Total 40 meules soit 43% du total des Fortes Conicités et 14% des meules des sites concernés
			700				93	67	19	7				

93 Meules de Forte Conicité sur un Total Général de 1.615 Meules = 5,76%
(1.615 Meules = 1.615 couples Conicité/Diamètre)

x̄ DIAI Diamètre moyen des Conicités 31-34° et supérieures

Diamètre des meules de 31-34° supérieur à la moyenne de l'assemblage

Ce dernier constitue une zone productrice chronologiquement directement successive au foyer catalan et comprend deux pôles : d'une part le Complexe volcanique héraultais (au moins à partir du IV^e s. aC), d'autre part les laves provençales (plutôt à partir du III^e ou II^e s. aC). Le premier est représenté à travers les meules basaltiques héraultaises de Pech Maho (NR 1), de Lattes (NR 11) et de Martigues (NR 6) ces dernières incluant des basaltes issus du massif Sud-Auvergnat des Coirons (REILLE 2002). L'assemblage de Provence (COQUEREL 1992) est pour sa part issu des laves de La Courtine et de ses environs, dans le Var.

Une telle répartition semble renvoyer à la navigation de cabotage sur les côtes entre Ebre et Rhône ou Var. Mais surtout elle fait du paramètre conicité un possible traceur de l'origine des productions d'Orvieto, suggérant que ce centre ait pu bénéficier d'un transfert technique depuis la zone ibéro-languedocienne, soit depuis la Catalogne soit depuis le Complexe Volcanique Héraultais. Cette indication devra être confrontée à celles fournies par

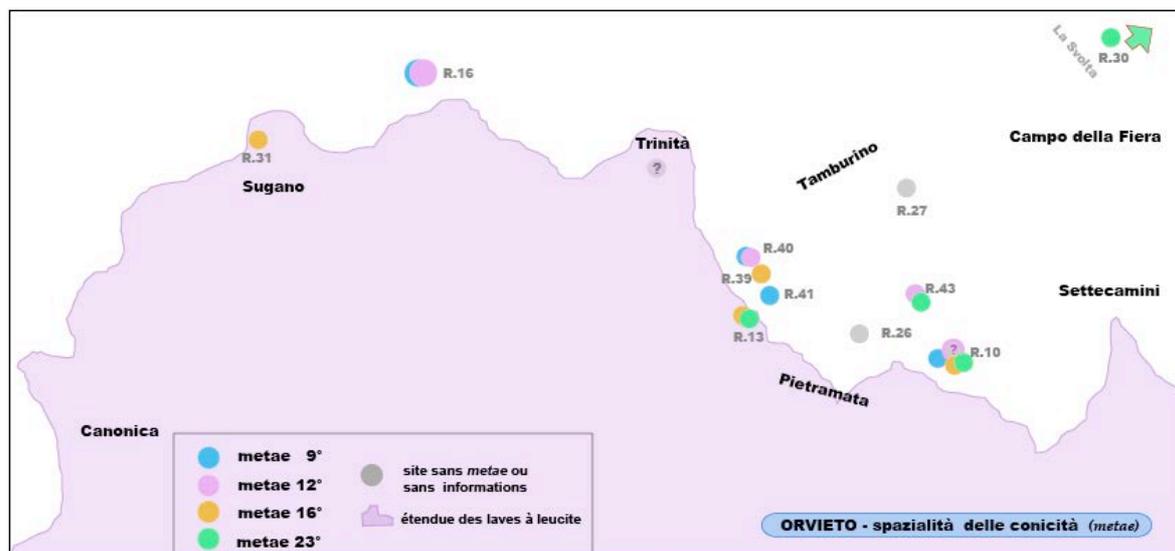
d'autres paramètres tels que la métrologie (pied régissant les productions d'Orvieto), le rapport diamètre sur hauteur, la hauteur etc.

26. Toujours concernant Orvieto, on doit souligner que la production est in datée et que souvent bi-partite, elle n'est pas aisée à situer chronologiquement. Elle pourrait être placée vers la Période ancienne (P.1 de la Fig.17) en raison de ses petits diamètres (\bar{x} 35,4 cm) et de certains traits archaïques (*Metae* piedestal avec IREC³⁵ de type Els Vilars sur 160-180%, probable œil des *Metae* non perforant). Mais dans les tableaux ordonnés chronologiquement, placer Orvieto n'est pas chose aisée : plutôt qu'à la racine de la série 31-34°/40°, ce que sa faible fréquence en conicité 31-34° n'incite pas à faire, nous sommes enclin à situer l'essentiel de sa production de MRB en période Tardo-Républicaine, quand les Très Fortes Conicités (40° et plus) sont en voie de disparition.

Par ailleurs, la faible représentation des Conicités 31-34° à Orvieto (2,2%) éloigne ce centre producteur de l'ensemble Lattes/Martigues/Provence (9/16/18,5%) dont une partie se situe au IV^e-III^e s. aC (Lattes) ou essentiellement au II^e s. aC (Martigues et Provence). Mais, étant donné l'éloignement entre ces deux ensembles et le fait que leurs meules ne proviennent pas du même gisement volcanique, la faible représentation orviétane pourrait relever d'un fait plus géographique que chronologique.

Enfin la répartition spatiale des conicités sur l'ensemble du site d'Orvieto (Fig.17bis) pourrait indiquer, si l'on prend l'exemple des *Metae* où elle est plus souvent parvenue à son état d'achèvement, que la conicité la plus forte du domaine propre au MRB, soit 23° (cercles verts sur la Fig.17bis), a plutôt été fabriquée dans les aires de façonnage Est, à Pietramata. Mais l'échantillon des sites livrant plus de 10 meules reste restreint.

Figure 17 bis : Spatialité des différentes conicités des MRB à Orvieto



27. Une fois cernée la particularité géo-chronologique des Très Fortes Conicités, demeure le fait que 20 des 72 sites du corpus représentant 672 meules soit 41% du total comportent la Conicité 31-34°, couvrant une chronologie allant *grosso modo* de 400 aC à 400 pC. Une telle chronologie apparaît à priori favorable à l'hypothèse que cette conicité corresponde à des moulins hydrauliques, notamment à roue horizontale : ainsi, après un épisode initial où les fortes conicités auraient été testées (V-III^e s. aC), ces dernières auraient alors été réduites à la seule norme 31-34° laquelle serait consacrée aux moulins hydrauliques dont on pourrait ainsi

³⁵ Indice de Rectangularité du profil ou rapport D/H, il est en moyenne de 221% pour les meules neuves (cf. CHAP.18).

tracer le développement à partir de La Tène D aussi bien en domaine méditerranéen qu'entre Loire et Rhin. Le phénomène apparaît parallèle à la montée en fréquence de l'Œil Traversant pour les *Metae*.

Cependant, le croisement entre les sites à Fortes Conicités et ceux à Œil Traversant dément cette hypothèse, près des 2/3 des sites montrant en effet une dissociation entre Fortes Conicités et Œil Traversant (Fig.18). Il faut en conclure que la motion par en-dessous n'est pas nettement associée à la Conicité 31-34° et que si moulins hydrauliques il y a, leur dépistage est plus compliqué que l'établissement d'une équivalence avec la Conicité 31-34°.

Figure 18 : Sites à Œil Traversant et Sites à Forte Conicité

28. Cependant il reste possible que l'association précoce constatée entre Fortes Conicités et Œil Traversant (Alorda Park, Bolunburu, Cerro de la Cruz, Entremont, Martigues, Lattes, Ostia et Le Rebout) puisse indiquer la naissance d'un moulin à eau muni de meules de petit format et de conicité 31-34° en Méditerranée Occidentale autour de 200 aC (Fig.19 et 17).

Les rapports entre cette possible technologie et la zone d'origine du Moulin Rotatif Bas (Catalogne) ne sont pas clairs en l'état des données : 2 des 3 sites espagnols qui la connaissent sont largement distants (Pays Basque et Andalousie) alors que le troisième (Alorda Park) est implanté en pleine zone originelle. Leurs meules de forte conicité à Œil Traversant ne sont pas fabriquées en lave.

Croisement ŒIL TRAVERSANT / FORTES CONICITÉS			
classement par ordre chronologique			
ŒIL TRAVERSANT		FORTES CONICITÉS	
SITE	TRAV / NR	SITE	FC / NR
ALORDA Park	2 / 6	ELS VILARS	1 / 8
PUIG St. ANDREU	1 / 12	ALORDA Park	3 / 12
LATTES Proto	2 / 10	LATTES Proto	3 / 22
CERRO de la CRUZ	1 / 8	CERRO de la CRUZ	10 / 20
BOLUNBURU	1 / 2	BOLUNBURU	4 / 7
ENSÉRUNE	4 / 24	ORVIETO	2 / 44
PUIG CASTELLAR	1 / 12	PECH MAHO	1 / 52
PECH MAHO	2 / 19	MARTIGUES	6 / 27
Le PATURAL	10 / 16	PROVENCE ENTREM.	14 / 69
NAGES	3 / 7	Le REBOUT	2 / 56
MARTIGUES	2 / 6	PUY DU TOUR	6 / 12
PROVENCE ENTREM.	6 / 18	ROANNE	1 / 9
YMONVILLE	1 / 11	OSTIA	1 / 13
Les HERBIERS	1 / 1	LE CHAUDRY	3 / 43
PICARDIE 1999	23 / 23	REIMS 2017	1 / 11
GONDOLE	1 / 3	ARGENTOMAGUS	1 / 55
Le REBOUT	5 / 18	CHARTRES	1 / 30
TOMBLAINE	1 / 1	EIFEL	3 / 26
TOULOUSAIN	8 / 40	VERTAULT	1 / 50
PRASVILLE	1 / 1	NANTAIS	9 / 32
CARCASSONNE	3 / 16	PORTUS	20 / 28
OSTIA	3 / 8		

22 sites 21 sites
8 sites communs (37%)

Figure 19 : Sites associant Forte Conicité et Œil Traversant

Ce possible moulin hydraulique à conicité 31-34° aurait pu en revanche être amplement développé sur les ateliers fabriquant en basalte du Midi³⁶ dont pourraient également provenir les meules d'Ostia. Ces possibles fabrications hydrauliques de petit format sont également attestées considérablement plus au Nord, à La Tène Finale, sur le site de Bibracte (assemblage meulier du Rebout).

29. Cependant une association entre Fortes Conicités et Œil Traversant sur les sites ne veut pas dire que les deux paramètres soient réellement associés, ils peuvent en effet être portés par des meules différentes, ne serait-ce que parce que les Fortes Conicités peuvent être le fait de *Catilli* alors que l'Œil Traversant ne concerne que des *Metae*. Aussi est-il nécessaire d'examiner précisément cette association sur les meules elles-mêmes. On a donc dressé une table comparant pour chaque site les Fortes Conicités, les *Metae* et leur Œil Traversant ou non, on en donnera ici (Fig.20) seulement la partie

Sites à FORTE CONICITÉ & ŒIL TRAVERSANT				
Site	CHRONO	total Meules x̄ DIAM.	Fortes Conicités	
			OE.TRAV	
ALORDA Park	450 - 200 aC	43,0	2 / 6	3 / 12
BOLUNBURU	IV - III aC	39,33	1 / 2	4 / 7
CERRO de la CRUZ	300-100 AC	46,22	1 / 8	10 / 20
PROVENCE ENTREM.	II aC	35,53	6 / 18	14 / 69
MARTIGUES	II aC	37,95	2 / 6	6 / 27
Le REBOUT	LT - D	38,17	5 / 18	2 / 56
OSTIA	I aC ?	35,75	3 / 8	1 / 13
8 LATTES Proto	IV aC / I aC*	38,95	2 / 10	3 / 22
			22/76	43/226
			28,9%	19,0%

* Lattes Fortes Conicités : 2 *Metae* ca.300 aC
1 *Meta* I aC

³⁶ La présence de telles meules sur le site d'Entremont implique la zone productrice de La Courtine en Provence, sur les sites de Lattes et Martigues elle implique les ateliers du Complexe Volcanique Héraultais, voire le Massif auvergnat des Coirons (Martigues).

concernant les 3 premières périodes³⁷ avec, en complément, l'inventaire des *Metæ* de forte conicité (Fig.21).

Figure 20 : Table des Fortes Conicités et Œils Traversants des *Metæ* (ordre tendantiellement chronologique)

FORMATS MOYENS des ASSEMBLAGES MEULIERS - présentation périodisée																		
Classement tendancielle																		
CHRONOLOGIQUE		DIAMÈTRES		CONICITÉ		Metæ & ŒIL TRAVERSANT												
Sites d'UTILISATION & ATELIERS		CHRONO	DIAM. moyen	Filière F.1 / F.2	Conicité 0°	Période	NR total	Angle°	total Metæ	ŒIL TRAV.	associé Forte Co. Q.	Notes	Non-TRAV.	associé Fo. Co.	ŒIL INDET.	TRAV. / N-TRAV.	mini-mum TRAV.	Bilan Période
Méditerranée	Els VILARS	V - IV aC	37,81	F.1	-	8	14,50	9	1	0			4	0	3	0,25	11%	Période 1 136 45% INDET. Metæ 19 13% minimum TRAV. 14% 55 N-TRAV TRAV./ N-TRAV. 40% 0,35 0 TRAV. FoCo, 3,7% N-TRAV.FeCo
	ALORDA PARK	450 - 200 aC	43,00	F.2	-	21	21,14	8	4	(1)	(28*)		4	0	0	1	50%	
	PUIG S. ANDREU	-550 / -200	42,11	F.2	5%	22	13,55	12	4	0			7	0	0	0,57	33%	
	LATTES Proto	IV - II aC	42,54	F.2	38%	18	13,67	10	1	0			6	2	3	0,17	10%	
	CERRO de la CRUZ aC	300-100 aC	46,22	F.2	6%	20	24,85	8	1	0			4	2	3	0,25	13%	
	BOLUNBURU	IV-III aC	39,33	F.1	-	7	30,14	2	1	(1)	(28*)		0	1	1	1,1	-	
	ENSÉRUNE Basalte	IV & II aC	39,65	F.1	2%	32	11,88	24	4	0			2	0	18	2	17%	
	PUIG CASTELLAR	III aC	43,10	F.2	-	21	15,00	12	1	0			11	0	0	0,09	8%	
	PECH MAHO Basalte	VI BC - III aC	41,82	F.2	2%	51	13,88	19	2	0			17	0	0	0,12	11%	
	ORVIETO	III aC2 - I pC ?	35,24	F.1	-	51	14,88	32	-	-			-	0	32	-	-	
M M M	Le PATURAL	LT (900-120 aC)	37,62	F.1	-	41	15,27	16	10	0			0	0	6	10	63%	Période 2 143 9% INDET. Metæ 49 13% minimum TRAV. 34% 10 N-TRAV TRAV./ N-TRAV. 7% 4,9 0 TRAV. FoCo, 0,7% N-TRAV.FeCo
	ILLA PEDROSA	II aC	35,26	F.1	-	140	20,01	70	-	-		-	-	0	3	75%		
	NAGÉS	III - I aC	-	-	-	8	6	-	-			-	2	-	0	3	75%	
	MARTIGUES	II aC	37,95	F.1	-	23	24,74	6	2	(2)	(19* 22*)		3	1	1	0,67	33%	
	ROANNE	LT C-D	34,05	F.1	-	12	17,50	1	0	(1)	(21*) ROM		0	0	0	0	-	
	YMONVILLE	LT C1-D2	35,25	F.1	79%	17	4,18	11	7	0			0	0	4	7	64%	
	BLOIS La Croupe	LT - C2/D1b	36,05	F.1	26%	14	15,07	5	0	0			4	0	1	-4	0%	
	Les HERBIERS	LT C2 - D1	37,60	F.1	-	4	13,75	1	1	0			0	0	0	1,1	100%	
	LEVRoux	LT C2-D1	36,21	F.1	-	7	17,71	2	0	0			1	0	1	-1	0%	
	PICARDIE LT	LT C-D	39,59	F.1	94%	75	10	23	23	0			0	0	0	23	100%	
M	AGDE	IVè ? aC - II ? pC	39,11	F.1	4%	23	15,09	9	0	0			6	0	3	-6	0%	Période 3A 113 Metæ 2% INDET. 11% 33 minimum TRAV. 29% 17 N-TRAV 15% TRAV./ N-TRAV. 1,9 0 TRAV. FoCo, 0% N-TRAV.FeCo
	Moulin GÉARGEOT	LT - D1	31,60	F.1	-	6	5,50	0	-	-		-	0	-	-	-	-	
	OBERNAI	LT - D	37,17	F.1	-	3	17,0	1	0	0			0	0	1	1	0%	
	GONDOLÉ	LT - D2	36,75	F.1	-	4	12,25	3	1	0			0	0	2	1,1	33%	
	BIBRACTE Le REBOUT	LT-D (H+V?)	38,17	F.1	5%	56	14,23	18	6	(2)	(19* 22*)		8	0	4	0,75	33%	
	Le MORMONT	LT-D	39,33	F.1	-	5	14,80	-	-	-			-	-	-	-	-	
	PUY du TOUR	LT-D	34,89	F.1	-	14	23,14	10	-	-			-	-	-	-	-	
	Bretagne & Mayenne	LT	36,09	F.1	9%	11	9,18	2	1	0			1	0	0	1	50%	
	BAD NAUHEIM	LT	36,55	F.1	-	28	11,61	18	13	0			2	0	4	6,50	72%	
	TOULOUSAIN	LT	37,81	F.1	4%	99	14,01	40	10	(2)	(19* 22*)		-	-	-	-	25%	
30 M	BIBRACTE CALVADOS	LT	39,46	F.1	4%	26	12,77	0	-	-		-	-	-	-	-	-	
	SARAVI	LT C-D + ROM.	35,17	F.1	27%	13	8,0	2	1	0			0	0	1	1,1	50%	
	SARAVI	LT-D + ROM	36,0	F.1	-	7	19,43	9	-	-			-	0	5	-	-	
	PRASVILLE	LT D + pC	35,31	F.1	25%	8	6,63	1	1	0			0	0	1,1	100%		

Ces trois périodes sont équivalentes en nombre de sites (une dizaine chacune) et en nombre de *Metæ* (respectivement 136, 143, 113). On constate une fréquence soutenue des Fortes Conicités en Période 1 : présentes sur 6 des 10 sites, elles totalisent 21 attestations soit 1,1% du total des meules mais 23% du total des Fortes Conicités. On observe que ces fortes angulations baissent ensuite : 8 exemplaires sur 3 des 9 sites en période 2 et 7 individus sur 3 des 10 sites de la période 3A. Avec ces deux périodes, la fréquence des Fortes Conicités est passée à 0,4% du total des meules et à 8% du total des Fortes Conicités, autrement dit les meules à forte pente ont diminué d'un facteur 3.

Figure 21 : *Metæ* de forte conicité, Age du Fer & époque Romaine - les ateliers meuliers sont représentés en orange -

Table des METÆ de Forte Conicité - ŒIL TRAVERSANT ou Non						
col.1	col.2	col.3	col.4	col.5	col.6	col.7
n°	sites	Références METÆ	N-TRAV	TRAV	INDET.	Notes
10	Els VILARS	aucune				
15	ALORDA PARK	16 espace1 ; 2-espace Al		2	4	16 = 425/400 aC ; 2 = 300/200 aC
15	BOLUNBURU	MAL- 30 & 34° D.42	1 ?			
8	PECH MAHO Basalte	PORTILLO PEM-23 20 & 40°	1			
3	CERRO de la CRUZ aC	n°6 (30-40°), n°17 (35°)	2			150 aC ; n°6 = type Entelle ; n°17 = piédestal type Els Vilars
2	LATTES Proto	n°102 ; n°103 n°52	2		1	n°102 = Ebauche, indet. 325/300 aC ; n°103 - IIIaC n°52 100-50 aC
4	PROVENCE 1992	ENT22 33°; ENT.24 31°	1	1		ENT M.22 = Non-TRAV
5	MARTIGUES	n°17 ; 20 & 30° ; IIb aC ; n°76 ; 31 ou 37°	1			à 6 sillons radiaux
6	ORVIETO	aucune			1	
18	ROANNE	aucune				
16	BIBRACTE Le REBOUT	n°19 ; D.43 ; 30°			1	
14	Le CHAUDRY	M007 ; M026 ; M038 ; M040		1 ?	3	Ebauches ; M007 = TRAV ?
14	OSTIA	ACH-OST.13 ; 32° ; D.33	1			
12	REIMS JODRY 2017	n°51-015-C146 ; D.70,5 ; 35°		1		
19	ARGENTOMAGUS	ARG.031 ; D.43 ; 33°			1	site Sadi Carnot
17	CHARTRES	Cinéma, Basalte D.08 ; 33°		1		
20	EIFEL 2008	T.13 58 30-35° ; T.13-60 30°		1	2	n°58 = D.93 ; n°60 = D.98
19	VERTAULT	n°37 ; D. 49,5 ; 25 & 30°		1		
21	NANTAIS Polinski	n°43 D.60,5 ; n°45 D.52 n°47 D.62 ; n°48 D.61 n°49 D.59 ; n°50 D.60		6		meules de 2 pieds
1	PORTUS	TRAV n°26 n°34 n°02 INDET. : n°10 - 13 - 17 - 25		3	4	Ebauches
			8	15	17	40
			+ 1 ?	+ 1 ?		Total
			20%	38%	43%	

³⁷ Précisons que le total des Conicités répertoriées (colonne 8) est de 1.886, celui des *Metæ* (col.10) de 1.067, le total des Œils Traversants (col.11) étant de 309 (soit 29%) dont (col.12) 13 associés à des Fortes Conicités (soit 4%), les Œils Non-Traversants (col.14) sont au nombre de 157 (soit 15%) dont 8 associés à de Fortes Conicités (5%), les Œils indéterminés (col.16) étant au nombre de 357 (soit 35% du total).

L'Œil Traversant est associé aux fortes Conicités dans 4,2% des cas sur l'ensemble du corpus, score qui est le même que celui des Œils non-traversants (5,1%). Parallèlement, si les Fortes Conicités ne sont jamais associées à l'Œil Traversant aux périodes 1 à 3A incluse, cette association ne dépasse pas 2,0% en Période 3B et 5,9% en Période romaine 4. En d'autres termes le lien entre Œil Traversant et Fortes Conicités est faible voire inexistant.

Conclusions

30. On peut finalement dégager plusieurs enseignements de ces constats :

.1. L'Œil Traversant est ancien puis qu'il apparaît en Période 1 soit sur l'intervalle Vè-IVè s. aC avec les sites anciens que sont Els Vilars et Alorda Park ; à cette période il est présent sur tous les sites, à hauteur de 10-15% des *Metae* et parfois nettement plus (33% à Puig St. Andreu et 50% à Alorda Park)

.2. la fréquence de l'Œil Traversant reste stable (20-30%) jusqu'en période romaine (Période 4) où se produit une forte hausse (minimum de 41% d'Œil Traversant en moyenne)

.3. le développement de l'Œil Traversant se produit en Période 2 et 3A, soit LT-C/D en parallèle à une diminution par 3 de la fréquence des fortes conicités

.4. on ne peut donc établir un lien d'association systématique entre Fortes Conicités et Œil Traversant, ces deux attributs sont indépendants.

L'Œil Traversant étant une condition indispensable à la motricité hydraulique, les moulins hydrauliques ont par conséquent pu exister dès le IIIè siècle a dans une proportion maximale de 25 à 30%, mais en revanche une Conicité Forte ne leur était pas attachée. On ne peut donc déduire le caractère hydraulique d'une meule du fait qu'elle présente une conicité de 31-34° voire supérieure. On est donc conduit à rechercher au sein des conicités ordinaires, plus faibles, les marqueurs éventuels de ces possibles meules hydrauliques.

Auteurs cités dans ce Chapitre : AD SA'ID, FRANKEL 2005 – AMOURIC 1997 – BRUN 2017 – BRUN, LEGUILLOUX 2014 – BUCHSENSCHUTZ, BOYER 1999 – CHARTRAIN 2015 – CHAUSSAT 2011 – COQUEREL 1992 – DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007 – DEFFRESSIGNE, TIKONOFF 2012 – DEMBINSKA 1985 – FARGET 2006 – FORBES 1993 – GUILLIER, COFFINEAU 2012 – GOUDIE 1886 – LEWIS 1997 – LONGEPIERRE 2012 – MARTINEZ, OLLIVIER 2018 – ORSATELLI 1979 – PUJOL 2010 – PUJOL 2015 – REILLE 2002 – ROJAS-SOLA, LOPEZ GARCIA 2007 – ROBIN in PEYNE *et al.* 2012 – ROUILLARD 1996 – RYNNE 1989 – SHAFFREY 2015 – SIMONIN, JACCOTTEY, GLUHAK 2016 – VIGUERAS GONZALEZ 2001 – VITRUE *De Architectura* –

Table des assemblages : Conicité moyenne, distribution des conicités, fortes conicités - ordre chronologique

FORMATS MOYENS DES ASSEMBLAGES MEULIERS - présentation périodisée																						
Classement tendanciellement CHRONOLOGIQUE																						
Sites d'UTILISATION & ATELIERS	CHRONO	DIAM. moyen	Total DIAM.	Conicité 0°	total couples Diam / Angle	CONICITÉ NR x Angle	SPECTRE de Conicité de l' ASSEMBLAGE											Notes	Périodisation			
						total	1°	4°	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	28°	31-34°	40°	46°+			
Els VILARS	V - IV aC	37,81	26		8	14,50															atelier	Période 1
ALDIRA PARK	450-200 aC	43,00	11		12	21,14	9,5%														aggllo	Filière F.1 = petits Gabarits (34-39 cm)
PUIES S. ANDREU	350-170 aC	42,11	18	5%	18	13,55	4,5%														aggllo	4 sites sur 9 et 54% des Diam.
CERRO de la CRUZ aC	300-100 aC	46,22	16	6%	20	24,85	10%	5%	5%												aggllo	ca. 11%
BOLUNBURU	IV-III aC	39,33	6		7	30,14															aggllo	Filière F.2 Tradition hispanique = meules amples (42-46 cm soit 1,5 pied) F.2 est associée à une fraction de Gds Gabarits (2 pieds)
ENSÉRUNE Basalte	IV & II aC	39,63	33	2%	31	11,88	6,3%	3,1%	12,5%	18,8%	25%	28%	6,3%								aggllo	9 sites = 11%
PUIG CASTELLAR	III aC	43,10	21		20	15,00	4,8%	9,5%													aggllo	231 DIAM = 11%
PECH MAND Basalte	VI BC - III aC	43,82	41	2%	52	13,88	2%	8%	31,4%	25,5%	13,7%	6%	7,8%	4%							aggllo	
ORVIETO	III aC2 - I pC2	35,24	39		44	14,88															aggllo	
La PATURALE	LT 1000-320 aC	37,62	39		14	15,27															rural	Période 2
ILLA PEDROSA	II aC	35,26	96		0	20,01															Epave	disparition de la tradition Hispanique de Grands Gabarits (Filière 2 et 2 pieds)
MARTIGUES	II aC	37,95	19		27	24,74															aggllo	LT C-D / II-ler s. aC
ROANNE	II aC	34,05	10		9	12,150															aggllo	ca. 12%
YMONVILLE	LT C1-D2	35,25	16	29%	16	12,18	29,4%	47,1%	11,8%	11,8%											rural	9 sites = 11%
BLOIS La Croupe	LT-C2/D1b	36,05	11	26%	13	14,07	7,1%	14,3%	28,6%	21,4%	14,3%	21,4%									aggllo	Le taux de meules dont le Gabarit est de 1 Pied est important.
Les HERBIERS	LT C2 - D1	37,60	5		4	13,75															rural	
LEVEROUX	LT C2-D1	36,21	7		7	17,71															aggllo	
PICARDIE LT	LT C-D	39,39	67	95%	67	1,0	100%														territoire	
AGDE	IVe ? aC - III ? pC	39,11	23	4%	23	15,09	4,3%														aggllo	Période 3A
Moulins GEARGOT	LT-D1	31,50	5		6	5,50															rural	continué avec la Période 2 : absence de la Filière 2 et du Gabarit 2 pieds DIAMETRE Moyen inférieur à 40 cm
OSERNAL	LT-D2	37,17	6		3	17,0															aggllo	
GONDOLE	LT-D2	36,75	4		4	12,25															aggllo	
BIBRACTE Le REBOUT	LT-D (AVG?)	38,17	51	5%	56	14,23	5,4%	3,6%	5,4%	25%	7,1%	25%	17,9%	5,4%							aggllo	
Le MORMONT	LT-D	39,33	6		5	14,80															sanctuaire	
PUT de TOUR	LT-D	36,89	19		12	24,14															aggllo	
Bretagne & Mayenne	LT	38,09	11	9%	11	9,18	9%	18,2%	18,2%	17,3%	18,2%										territoire	
BAD NAUHEIM	LT	36,55	30		28	11,61															aggllo	ca. 15%
TOULOUSAIN	LT	37,81	43	4%	96	14,01	2%	6%	8%	12%	20%	34%	11%	2%	3%						territoire	
BIBRACTE	LT	39,48	23	4%	26	12,77	3,8%	7,7%	34,6%	15,4%	27%	3,8%	7,7%								aggllo	14 sites = 18%
CALVADOS	LT C-D + ROM.	35,17	12	27%	12	8,0	46,2%	7,7%	15,4%	23,1%	7,7%	7,7%									territoire	244 DIAM. = 12%
SARAN	LT-D + ROM	35,0	3		7	15,43															rural	
PRASVILLE	LT-D + I pC	35,31	8	25%	8	6,63	25%	13%	37,5%	13%	13%										aggllo	LT-D / Ier aC & Ier pC

Classement tendanciellement CHRONOLOGIQUE																						
Sites d'UTILISATION & ATELIERS	CHRONO	DIAM. moyen	Total DIAM.	Conicité 0°	total couples Diam / Angle	CONICITÉ NR x Angle	SPECTRE de Conicité de l' ASSEMBLAGE											Notes	Périodisation			
						total	1°	4°	7°	10°	13°	16°	19°	22°	25°	28°	31-34°	40°	46°+			
CARCASSONNE	ca. II aC - I pC	39,78	16	12%	17	15,50	12,5%														territoire	Période 3.B
ENTRAMMES	LT C2-D1 + ROM (D.44+)	43,17	11	14%	7	15,7	14,3%	43%													aggllo	ca. 40%
PEYRIAC-de-MER	LT-D - ROM	52,00	11		21	11,43	4,8%	23,8%	26,6%	23,8%	9,5%	4,8%									aggllo	
BOURGOGNE	LT-D - ROM	52,00	11		9	10,15															territoire	
FINISTERE 1987	LT - ROM	45,14	7		8	11,13	25%	12,5%	25%	12,5%	12,5%										territoire	ca. 27%
La MAREZE	LT - ROM	41,67	12		0																aggllo	diminution de 30% des meules de 1 pied et répartition de la Filière F.2
SAVERNE	LT ?	38,13	4		4	17,0	20%														aggllo	
ALSACE AULRES	LT ? - ROM?	40,17	5	6%	6	10,0	16,7%														territoire	
BORSKEN	LT	41,33	12		2	10,0															territoire	36 sites = 46% 777 DIAM = 37%
Le CHAUDRY	LT - II pC ?	40,62	49		43	19,36	4,8%	4,8%	19%	38%	14,3%	4,8%	4,8%	9,5%							aggllo	
FRANCHE COMTE	LT-D - ROM	40,63	19	5%	21	11,0	4,8%	4,8%	19%	38%	14,3%	4,8%	4,8%	9,5%							territoire	le Gabarit 2 pieds, absent des Périodes 2 et 3.A, devient fréquent (10 sites / 22 et 2,6% des Diam.)
STRASBOURG	LT ? - ROM?	42,50	8		8	10,75															aggllo	
BEZANNES	LT - ROM	44,10	26	38%	24	6,13	39,1%	8,7%	28%	21,7%	8,7%										rural	
LATTES Photo	IV - II aC	38,93	73	5%	96	13,97	38,5%	7,7%	7,7%	15,4%	15,4%										aggllo	
LATTES ROM	I aC - II pC	36,54	64		69	20,1	5,3%	10,5%	21,1%	21,1%	15,8%										territoire	
PROVENCE 1992	LT - II pC	36,54	73		31	21,32															aggllo	
OSTIA	II aC? - II pC?	35,75	12		13	17,62	7,7%														territoire	22 sites = 28% 533 DIAM. = 26%
VARIA ITALIA	I aC - IV pC	36,17	6		0																territoire	
TRENTINO Donner	I aC - IV pC	36,29	106	9%	68	14,65	8,7%	1,4%	10%	17,4%	26,1%	33,3%	1,4%	1,4%							territoire	
Les FOSSOTTES	LT - (ROM)	37,51	5	8%	6	12,48	9,5%	4,8%	4,8%	19%	14,3%	33,3%	1,4%	1,4%							territoire	
MAGALAS	II aC - III pC	35,00	5		0																rural	
AVRILLY	AVG	37,50	14	95%	14	1,4	95,5%	4,5%													aggllo	
CHAMPION	ROM	36,0	4		3	8,0	33,3%														villa	
EPEL 2008	ROM	47,75	57		26	15,67															aggllo	Période 4
REIMS JORDY 2017	LT ? - ROM	47,36	11	45%	11	10,0	45,5%	9%	9%	26%	25,9%	3,7%	7,4%	11,1%	3,7%						aggllo	généralisation des grands Diamètres (souvent plus de 44 cm) correspondant à une haute fréquence des Gabarits de 1,5 pieds et plus
VERTAULT	ROM (H.L?)	47,74	40	2%	50	12,35	2%	4%	9,8%	39,2%	13,7%	21,6%	4%	2%	2%						aggllo	
ARGENTOMAGUS	20 aC - IV pC	44,44	59		55	16,44	1,8%	9%	14,5%	5,5%	25,5%	23,6%	7,27%	3,6%	1,8%						aggllo	
PORTUS	LT - ROM	49,48	23		28	31,96															aggllo	
CHARENTES	15 aC - 300 pC	47,88	28	3%	30	13,10	3,3%	3,3%	13,3%	30%	23,3%	10%	3,3%								aggllo	
MEULX	ROM	42,13	35	22%	32	7,38	22%	22%	18,8%	15,6%	9,4%	6,3%	6,3%								aggllo	
BOLLENGE	ROM	42,13	4		4	9,25															aggllo	
AVENCHES	ROM	43,13	128		9	14,0															ville + territ.	
ARRAS	ROM	43,20	5		5	4,0	20%	60%	20%	11,1%	27,8%	5,6%	16,7%								aggllo	
SOISSONS	ROM	44,23	11	10%	10	6,10	30%	30%	20%	20%											aggllo	
AMIENS	ROM	44,78	62	10%	49	6,63	18,4%	18,4%	38,8%	14,3%	8%	2%									aggllo	
HERTFORDSHIRE	50-100 pC	28,85	10																			

SYNTHÈSE



SYNTHÈSE*

*sont indiquées en vert les corrections de forme apportées par rapport à la version de thèse déposée

ORVIETO & la PRODUCTION de MEULES ROTATIVES BASSES

DONNÉES GÉNÉRALES & CORPUS

_____ La connaissance d'Orvieto en tant que centre producteur de meules dans l'Antiquité est récente. Elle est due à la passion de D.S. Peacock pour la thématique meulière et le *large scale trade* alliée à son œil géologique aguerri. Son sens du terrain l'a conduit à arpenter les belles, sauvages et raides pentes du piémont des falaises constituées par les épaisses coulées de leucite entre Sugano et la cascade de Settecimini. Sa découverte à la fin des années 1970 d'une petite dizaine de meules pompéiennes sorties du terrassement réalisé pour la construction d'une maison près du site R.13 donne à Orvieto le statut de zone productrice comme le sont, de façon plus vague et sans corpus publié ni découvertes localisées, la zone du Vésuve ou celle de Mulargia au Nord-Ouest de la Sardaigne.

Aucune fouille n'ayant à ce jour été entreprise dans les secteurs meuliers d'Orvieto, on ne dispose ni d'éléments chronologiques ni de connaissance des aires d'extraction et de façonnage. En revanche l'abondance des restes meuliers dans les jardins situés aux pieds de la falaise et, pour une petite part, en ville à quelques 3 km plus à l'Est, autorise une caractérisation de la production à une échelle globale que les anglais désignent par la locution *site assemblage*. Cette caractérisation conduit à poser les termes de différentes questions qui pourront, nous l'espérons, avantageusement guider de futures enquêtes, à Orvieto mais aussi sur des lots de meules italiennes trouvées sur des sites d'utilisation et pouvant provenir de ce centre producteur comme ce peut être le cas à Fossombrone ou à Monte Bibele.

Nous sommes aujourd'hui persuadé de l'immense avantage que procure le fait de disposer d'une « objectologie » des produits manufacturés avant d'engager la fouille des lieux de leur fabrication. Nous



sommes conscients du fait que si, en 2013 nous avons obtenu des financements, pour un projet de 3 ans, ils auraient été largement gâchés car principalement investis sur les carrières et la collecte hâtive de nouveaux objets, ceci par défaut d'existence d'un premier travail, minutieux et tenace, mené sur les restes meuliers déjà disponibles.

Notre travail de terrain, réalisé en trois années de missions sur place, avec l'aide inestimable de Paolo Binaco, a permis de recenser et d'étudier un corpus de 242 objets lithiques composé notamment de 75 Meules Rotatives Basses (MRB), 129 Meules de Style Pompéien (MSP), au moins 5 cuves à pétrin, 1 meule de type Olynthe ainsi qu'une vingtaine d'objets variés également réalisés en lave (cuves, poids, bornes etc.). Globalement la répartition des vestiges sur les lieux de production est décevante en ce qu'elle ne montre pas de géographies différenciées, en particulier entre MRB et MSP ou au sein de ces familles meulières. Toutefois l'essentiel des restes apparaît concentré dans le piémont Est, entre Trinità et Settecamini, c'est à dire la zone de Tamburino et de Pietramata, le site fluvial de La Svolta ne livrant que des modèles de Style Pompéien.

SÉQUENCE & LIEUX du FAÇONNAGE à ORVIETO

L'analyse des restes meuliers que nous proposons de répartir selon 5 stades de façonnage apporte une première donnée : l'absence du stade I (cylindres bruts) montre que les premières opérations de façonnage (dressage des cylindres, approche de pré-formes circulaires « nettoyées »), celles qui sont par exemple si présentes à Châbles, se déroulaient sur le lieu d'extraction lesquels nous sont actuellement inaccessibles. Cela signifie que les planchers ou les fronts d'extraction, parfois l'exploitation des gigantesques blocs erratiques tombés en piémont depuis la falaise, sont probablement masqués des atterrissements postérieurs et par l'aménagement de terrasses de culture. Toutefois la concentration et l'association au pied des falaises des restes meuliers de stade II, III et IV (réalisation de pré-formes cylindriques à base plane, genrage *Catillus / Meta* puis percement central) montre que l'essentiel de l'élaboration des Meules Rotatives Basses était réalisé à proximité immédiate de l'extraction, à 100-200 m de distance. Au reste les ébauches sont, comme sur le site R.13 et alentour, régulièrement associées à des concentrations d'éclats qui extraits de terrassements récents, sont de ce fait peu susceptibles de correspondre à des extractions médiévales et modernes destinées notamment à la construction du Duomo ou des riches portails des demeures classiques de la ville.

Proximité mais séparation. Il faudra ainsi attendre la réalisation de fouilles pour savoir si les différents stades du façonnage s'organisaient en aires spécialisées au sein de la zone globale de production sise en piémont ou bien si les opérations de stade II à IV y prenaient place sur de mêmes aires. Ces deux types de spatialité, intégrée ou en quelque sorte « taylorisée », peuvent d'ailleurs avoir existé à différentes périodes de la production ou si différentes officines ont existé à Orvieto de manière contemporaine.

Le spectre des stades de façonnage montre également la quasi absence des meules achevées ce qui signifie leur rapide acheminement vers les aires d'embarquement et de diffusion. Ce basculement dans le segment diffusionnel de la chaîne globale production/diffusion/installation/utilisation avait vraisemblablement lieu sur une zone portuaire fluviale distante de 4 km vers l'Est et située sur le Paglia qui, 10 km plus en aval rejoint le Tibre et donc Rome et Ostie. Mais il est logique d'imaginer également qu'une partie des productions ait connu une diffusion par voie terrestre, notamment en direction de Bolsena et de la zone littorale après avoir monté sur le plateau volcanique coiffant les falaises de leucitite.

La QUESTION du PERCEMENT CENTRAL

Une interrogation particulière est soulevée par le fait que le percement central (œil et œillard) montre une situation bien différente entre les *Catilli* et les *Metae*. En effet, sur ces aires de fabrication aucune *Meta* ne présente un œil réalisé ou simplement amorcé comme on l'observe régulièrement sur d'autres ateliers. A l'opposé, 75% des *Catilli* parvenus aux stades finaux de fabrication sont à Orvieto dotés de leur œillard. Il serait à priori curieux, alors que leur percement est plus simple à réaliser, que les *Metae* aient été transférées sur des aires plus distantes voire dans d'autres ateliers tandis que le percement central des *Catilli*, plus délicat, plus ample et perforant, aurait été réalisé sur place et de surcroît sur les aires de façonnage situées à proximité de l'extraction. Cette anomalie présentée par les 32 *Metae* d'Orvieto pourrait indiquer que le percement de leur œil était réalisé ultérieurement, sur les lieux d'utilisation. Toutefois la rareté des *Metae* de stade IV dans le corpus actuel (1 exemplaire) empêche de pleinement assurer ce point.

Connu pour moins de 10 individus, le diamètre de l'œillard des *Catilli* d'Orvieto mesure de 3 à 6,5 cm. Il répond aux 3 proportions les plus fréquemment observées par rapport au diamètre de la meule (10, 14 et 19%). Il appartient à la classe des petits gabarits d'œillard, la plus fréquente sur les ateliers. La comparaison avec les diamètres observables sur les *Catilli* provenant des assemblages d'utilisation montre que l'envergure de l'œillard est plus grande sur ces derniers, voire que l'utilisation tendrait à l'accroître.

DIAMÈTRE & REGISTRE des GABARITS

Le diamètre des MRB d'Orvieto est en moyenne de 34,35 cm ce qui en fait le 5^e plus petit diamètre des 82 assemblages de notre corpus. Il relève de la tradition des meules de petite envergure, caractéristique des Périodes molinologiques 1, 2 et 3 A que nous avons pu définir. Cette moyenne correspond à un gabarit de 20 doigts. Le diamètre des *Metae* varie principalement de 28 à 37 cm avec une moyenne de 35,34 cm soit également 20 dgt. Quelques exemplaires mesurent 48, 56 ou 60,5 cm, atteignant le gabarit de 1,5 à 2 pieds. Ils n'ont pas de correspondant parmi les *Catilli* qui pour l'essentiel mesurent entre 30 et 37 cm pour une moyenne établie sur 33,16 cm soit 19 doigts. Mis à part les quelques grands gabarits de *Metae*, il n'y a donc pas de différences significatives entre les deux genres de meules. L'ensemble correspond à des petites meules inférieures à 1 pied ½ (24 dgt) et à un registre principalement centré sur la dimension de 1 pied ¼ (20 dgt). La gamme globale des diamètres des MRB orviétanes présente un double pic sur 30 et 32 cm d'une part, soit 17 et 18 dgt, et sur 37 cm d'autre part soit 21 dgt.

Cette dualité entre 2 gabarits distants de 4 doigts (1 palme) n'a rien de spécifique à Orvieto, elle est même typique des meules protohistoriques et antiques qui se distribuaient ainsi en deux gabarits : un « petit » et un « gros » moulin. Un travail précis sur la proportion entre ces 2 standards (voisine à Orvieto de 65% vs 35%, rapport qui semble assez fréquent), sur leur distance (régulièrement de 3 ou 4 doigts), sur l'apparition et la chronologie de ce couple comme sur sa réalité sur les sites ou dans des espaces chronologiquement homogènes, permettrait de savoir s'il s'agissait d'une production en 2 standards destinés à répondre à différents pouvoirs d'acquisition ou bien – comme nous aurions tendance à le suspecter – si ces 2 gabarits correspondaient à 2 machines complémentaires, distinctes peut-être par leur écartement ou par les denrées soumises à broyage, et généralement utilisées de concert dans un même espace, notamment en contexte domestique.

HAUTEUR des MRB d'ORVIETO

La hauteur est un paramètre soumis à usure. Dans les ensembles d'utilisation des meules, la hauteur renvoie donc au degré d'usure. La connaissance du registre des hauteurs fabriquées, qui permet de définir la Hauteur Utile et de mesurer le degré d'usure, ne peut procéder que des ateliers qui sont à cet égard une source privilégiée comme le sont en céramologie les ateliers de potier pour la connaissance de la chronologie, de la gamme et de la fréquence des types produits, de la distance de diffusion également.

La hauteur des Meules Rotatives Basses produites à Orvieto est plutôt élevée, ce qui les singularise tout en correspondant à une situation comportant des contrastes. Les MRB orviétanes sont en moyenne hautes de 22,57 cm ce qui correspond à 12 voire 13 doigts. Une telle moyenne est rare (14 dgt pour l'atelier de Portus dans le Charollais, et 16 pour l'atelier secondaire et ancien de Els Vilars en Catalogne). En effet, le plus souvent les Meules Rotatives Basses sont en moyenne épaisses de 8 à 10 dgt, parfois seulement de 6 dgt ce qui tend en ce dernier cas à manifester une tradition de minceur.

A Orvieto la hauteur des *Catilli* varie de 13 à 29 cm (soit de $\frac{1}{2}$ à 1 pied) avec une moyenne de 18,79 cm qui dépasse un peu les 10 doigts. La hauteur des *Metae* varie également de 13 à 29 cm mais en revanche leur moyenne s'établit à 25,3 cm soit un peu plus que 14 dgt (ce qui s'approche du pied : 16 dgt). Cette différence de 4 doigts de moyenne (soit 1 palme) ne s'explique pas seulement par la présence de quelques meules très épaisses (34 à 39 cm) mais par un contraste de composition entre les hauteurs des *Metae* et des *Catilli*. En effet à Orvieto les *Catilli* présentent un pic de hauteur sur 14 cm et un autre sur 23 (respectivement 8 dgt soit $\frac{1}{2}$ pied et 12 dgt soit $\frac{3}{4}$ de pied) ce qui traduit déjà une situation de contraste autour de la valeur générale moyenne de la hauteur des MRB qui est de 8-10 doigts. En revanche les *Metae* d'Orvieto s'éloignent nettement des standards moyens en montrant trois pics de fréquence répartis sur 17, 23 et 29 cm c'est à dire 10, 12 et 16 doigts. A Orvieto, les *Metae* sont donc significativement plus hautes que les *Catilli* qui sont déjà en partie épais. La différence moyenne de hauteur entre les deux genres est à Orvieto de 6,5 cm soit 4 doigts.

Cette situation indique qu'une fraction notable des *Metae* du site se caractérise par une hauteur importante, loin des normes usuelles. En cela, cette fraction se rapproche de certains groupes de meules épaisses observées sur plusieurs sites anciens de Catalogne, en particulier Els Vilars et Puig Castellar. Il semble donc que les *Metae* d'Orvieto se situent dans une tradition ancienne, celle des meules à fonction support, disposition qui semble disparaître au cours de l'intervalle IV-III^e siècle aC. Contrairement à Els Vilars où la grande épaisseur se traduit par une forte hauteur utile (au minimum 12 dgt sur les *Metae*), à Orvieto la fonction support, un peu plus réduite, apparaît confirmée quasi *a contrario* par le fait que la hauteur utile des *Metae* est justement d'une grandeur courante (en moyenne 8 dgt) : autrement dit, leur surépaisseur n'était pas destinée à produire de la hauteur utile.

Ainsi les fabrications d'Orvieto s'inscrivent pour la plupart dans une tradition de massivité due à leur importante épaisseur. Cette dernière leur confère un profil peu rectangulaire qui se situe dans la proportion 1,5 H (IREC 150%) où la hauteur mesure les $\frac{2}{3}$ du diamètre. Mais une petite fraction des *Metae* (ca.20%) semble, s'il ne s'agit pas de ratés complets, relever d'une configuration plus gracile où la hauteur utile est de 6 à 8 dgt pour une hauteur mince située sur 8 à 10 dgt. Si ce groupe était confirmé par des découvertes ultérieures, il indiquerait la perte de la massivité par certaines fabrications et la présence vraisemblable à Orvieto de *Metae* relevant plutôt de ce que nous appelons le modèle classique ou continental, ce dernier se détectant sur les *Catilli*. Les fabrications exprimant ce modèle sont typiques de l'intervalle III^e-I^{er} s. aC.

En définitive la hauteur, assez importante à Orvieto sur la plupart des meules et notamment les *Metae*, constitue le seul attribut qui permette de réellement formuler une hypothèse quant à la datation des productions. Si en effet les faibles diamètres situent clairement Orvieto dans l'Age du Fer, les hauteurs, importantes, rapprochent les fabrications orviétanes de certaines traditions de la période molinologique ancienne qui se manifestent dans le foyer originel catalan, en particulier la fonction support ou de piédestal intégrée par l'essentiel des *Metae*. En contraste, l'absence de *Catilli* à manchons ou à encoches, attributs par exemple présents dans les fabrications languedociennes centrées sur le IV^e s aC (Pech Maho, Ensérune), autant que la présence systématique d'une trémie sur les *Catilli*, éloignent les productions orviétanes de cette chrono-zone et les projettent vers le modèle continental que l'on observe généralisé au II^e s. aC. Aussi peut-on envisager que le gros des MRB d'Orvieto relève de la période IV^e-III^e s. aC. A ce titre, leur production s'est peut-être située en relai dans le temps plutôt que superposée avec celle des Modèles de Style Pompéien dont la chronologie de démarrage à Orvieto n'est pas non plus connue.



Diapositive sur les MRB d'Orvieto présentée au Colloque d'Almería, mars 2014 (A.CH)

Un trait singulier : l'EVIDEMENT de l'ASSISE des *METAE*

Outre l'absence de percement de l'œil ou leur faible rectangularité, l'une des singularités des *Metae* d'Orvieto, également partagée par celle de Style Pompéien et qui constitue une sorte de signature de ce centre producteur, réside dans la présence, probablement systématique, d'un important évidement conique de leur assise. Lorsqu'il a été achevé, cet enlèvement de matière atteint la moitié de la hauteur totale de la meule, tant sur les *Metae* épaisses à fonction support que sur les quelques exemplaires plus minces. La réalisation de cet

aménagement original a pour première conséquence d'alléger la meule en délestant sa partie basse et de faire monter le centre de gravité. Celui-ci va alors migrer vers le haut, sans doute non loin du raccord entre le cône et le sommet de l'évidement). Sauf si la meule était prise dans un massif maçonné, cette montée n'est pas spécialement favorable à la stabilité du moulin et pouvait favoriser l'oscillation. Cet aménagement apparaît ainsi contradictoire avec sa seconde et plus visible conséquence, qui correspond à la création d'un plan de pose annulaire analogue à celui d'une cruche romaine en céramique. Cet anneau de pose étroit (large de 4,5 à 6 cm soit en moyenne 3 dgt et 5 à 6 dgt sur l'ensemble d'un diamètre) a pour effet de presque doubler la pression de la meule sur son support, pression encore augmentée du poids du *Catillus* (en moyenne 33,8 kg à Orvieto). L'un des rôles de l'évidement de l'assise des *Metae* consistait peut-être à augmenter ainsi l'adhérence du moulin sur son support, tel qu'une table ou un châssis charpenté, une banquette de terre crue ou le sol. Or cet effet pouvait être obtenu par un simple creusement de quelques centimètres de profondeur comme dans l'assise 2C ou 2D de la typologie que nous avons proposée. La troisième conséquence due à l'évidement de la base des *Metae* orviétanes ressort de l'analyse de leur hauteur utile qui se trouve réduite de moitié par l'évidement. De fait, la raison de cette pratique de creusement de l'assise des *Metae* à Orvieto tient plus probablement à une volonté de réduire une hauteur utile rendue excessive par leur grande épaisseur. Il est possible que cet aménagement insolite ait visé à limiter le contraste entre la hauteur utile des *Metae* (qui est de l'ordre de 6 à 8 dgt) et la longévité plus limitée des *Catilli* (qui est de 3 à 8 dgt avec une moyenne de 4 doigts).

CONICITÉ à ORVIETO

La pente ou conicité des MRB d'Orvieto varie de 4 à 25°. Cet intervalle est complété par 2 *Catilli* de 32 et 39° dont la forte pente est peut-être due à leur état d'inachèvement (leur stade de façonnage est III.A, genrage achevé). Les Meules Plates (conicité 0°) sont totalement absentes d'Orvieto. Elles sont d'ailleurs rares sur l'arc méditerranéen où elles disparaissent au III^e siècle aC. Les Meules Plates, promises à un grand avenir, caractérisent en revanche toute une aire septentrionale allant, outre le Sud de l'Angleterre, de la Mayenne à l'Oise au cours de La Tène puis de la Seine à la Somme au cours de la période Romaine. D'ailleurs la pente des MRB n'a pas de valeur chronologique dans l'Antiquité. En revanche bien que nous ne leur ayons pas consacré un chapitre dans le présent mémoire, il existe de véritables faciès régionaux de conicité sur de grandes aires comme la Catalogne, le Centre-Loire, l'Est français, le domaine normanno-picard etc.

Les conicités les plus représentées à Orvieto sont 10 et 13° (55% des MRB) ainsi que 19 et 22° (regroupant 22% des meules). La conicité moyenne des *Metae* est de 13,6° et celle des *Catilli* de 18,6° montrant ainsi 5° d'écart soit 2 classes de 3°. Une telle valeur rapproche d'ailleurs Orvieto des sites anciens de Els Vilars et Alorda Park dans le foyer originel catalan (écart de 6,0 et 5,1°) et du Pâtural en Auvergne (III^e s. aC, écart de 4,9°). La distribution des pics de fréquence indique que la composition des deux genres n'est sans doute pas homogène du point de vue de leur angulation. En effet, 30% des *Catilli* sont de conicité 10° contre 62% des *Metae* en conicité 10 et 13° tandis que 25% des *Catilli* montrent une pente de 22° contre seulement 7% chez les *Metae*. La population des *Catilli* apparaît donc enrichie en conicités plus fortes (22° et 32-39°).

Quoiqu'il en soit, les conicités 10-13° et 19° sont les pentes les plus fréquemment observées parmi les 1.655 mesures de notre corpus, aussi bien sur les ateliers que sur les sites d'utilisation. Les MRB d'Orvieto s'intègrent donc parfaitement dans l'éventail des conicités fabriquées et utilisées depuis l'Ebre jusqu'au Rhin. Orvieto apparaît simplement un peu plus

riche en pente de 22° cependant que la présence de quelques meules à forte pente comprise entre 30 et 42° est régulièrement attestée sur de nombreux assemblages, posant la question du caractère spécifique de ces meules en particulier celle de leur mécanisation ou de leur entraînement hydraulique. On notera à cet égard que si l'augmentation de surface active qui résulte de la conicité est négligeable jusqu'à 45°, en revanche la pression gagne 20% avec la conicité 34°.

————— **L'**exemple d'Orvieto montre, ce qui peut parfois être brouillé sur des centres producteurs de longue durée, que chaque atelier travaillait dans un nombre limité de conicités. Il disposait d'un registre d'angulations. L'existence d'une telle gamme s'explique certes par la nécessité d'apparier *Metae* et *Catilli* : les meuliers ne pouvaient produire une infinie variété de conicités et devaient limiter ces dernières à un éventail restreint et mémorisable. Ainsi travailler en « conicité 1 » 2 ou 3 par exemple permettait de catégoriser chaque *Meta* et chaque *Catillus* pour ensuite les apparier afin que leur écartement conserve une régularité et que leurs pentes soient compatibles, quitte à ce qu'il existe un petit différentiel de conicité entre les deux. Remarquons à ce propos que la valeur de 3° qui est souvent évoquée au titre de cette « lumière » correspond d'une part à l'incertitude de mesurage archéologique de la pente de la plupart des meules et d'autre part à ce qui constitue vraisemblablement une (ou deux) unités de manipulation des angles par les meuliers.

En effet, il apparaît que la conicité la plus prise sur l'ensemble du corpus ainsi qu'à Orvieto (10 et 13°) correspond à 11,25° qui n'est autre que 1/8è ou 2/16è de l'Angle Droit. De même, sa valeur double, 22° (théoriquement 22,5° soit la moitié de 45° et le quart de 90°) correspond à 4/16è de l'Angle Droit.

Le choix de certaines conicités par les ateliers semble donc procéder de raisons géométriques propres à une manipulation de l'Angle Droit selon une partition semble-t-il en 16è (unité 5,625°) sinon en 32è (unité 2,8125°). Un tel système, basé sur une partition naturelle consistant à partager une grandeur ou un objet en 2 puis successivement encore en 2 etc., correspond à un monde régi par le système du doigt (le *digitus* étant le 16è du pied). Cela pourrait expliquer que la conicité des Meules Rotatives Basses s'exprime principalement par la séquence des valeurs 0° / 6° / 12° / 17° / 22° / 28° / 34° / 40 puis 45° qui correspondent respectivement à 5,625° (1/16è), à 11,25° (2/16è), à 16,875° (3/16è) ainsi qu'à 22,5° (4/16è) puis plus rarement à 28,125° (5/16è), 33,75° (6/16è) ou 39,375° (7/16è). Parallèlement, les conicités 50-52° / 67,5° / 72° voire 78° apparaissent typiques des Modèles de Style Pompéien et correspondent respectivement à 9/16è (50,625°), à 10/16è (56°) ainsi que tout particulièrement à 11/16è (61,875°) et 12/16è (67,5°) ou encore 13/16è (73,125°) sinon 14/16è (78,75°). Le domaine MRB a privilégié la zone 0 à 4 seizièmes de l'angle Droit tandis que le domaine Pompéien jetait son dévolu sur les conicités fortes allant de 9 à 12 seizièmes. On peut même envisager que l'Antiquité ait partagé le quart de cercle plutôt en 96 qu'en 90 ce qui donnerait une unité de 0,9375° (2 unités faisant 1,875 et 3 donnant 2,8125° soit 1/32è de l'angle droit -soit nos classes de 3°- tandis que 6 unités correspondent à 1/16è et 5,625 de nos degrés).

————— **C**e système possible de partition et de manipulation de l'angle peut expliquer les conicités meulières possibles dans le champ donné d'un type de moulin mais il n'explique pas pourquoi un atelier en choisissait certaines pour en faire le registre propre à sa production. En réalité (Fig.1), le croisement entre les diamètres les plus couramment pratiqués (15 et surtout 17 à 32 doigts) et les hauteurs de cône mesurées en demi-doigt montre que les conicités ainsi produites sont principalement centrées sur 7°, 10°, 13° et 16° pour des cônes hauts de 1 à 4 doigts. Les conicités supérieures se raréfient parce qu'elles correspondent soit à de très forts diamètres, peu pratiqués, soit à des cônes très hauts pour de petits diamètres tels que 16 à 20

dgt. Ainsi, pour chaque diamètre les meuliers disposaient de 3 à 5 conicités possibles, écartées de 3° et réalisables avec une hauteur de cône seulement comprise entre 1 et 3 doigts.

Figure 1 : Conicités produites pour chaque Diamètre par les différentes Hauteurs de Cône

TAB.4		Conicité approchée à 1°																
		HAUTEUR du CÔNE HCo (en DGT)																
DIAM.	rayon	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12
1 pied	16 DGT 8	7°	10-11°	14°	17°	20-21°	22-23°	26-27°	29°	32°	34-35°	37°	41°	45°	48-49°	51°	54°	56°
	17 DGT 8,5	7°	10°	13°	16-17°	19-20°	22°	25°	28°	30-31°	33°	35°	39-40°	43°				
	18 DGT 9	6°	9-10°	12-13°	15-16°	18-19°	21°	24°	26-27°	29°	31-32°	33-34°	38°	41-42°	45°	48°	51°	53°
	19 DGT 9,5	6°	9°	12°	15°	17-18°	20°	23°	25°	28°	30°	32°	36-37°	40°	43-44°			
1,25	20 DGT 10	6°	8-9°	11°	14°	17°	19°	22°	24°	26-27°	29°	31°	35°		45°	48°	50°	
	21 DGT 10,5	5-6°	8°	11°	13-14°	16°	18-19°	21°	23°	25-26°	27-28°	30°	33-34°	37°	40-41°	43-44°		
	22 DGT 11	5°	8°	10°	13°	15°	17-18°	20°	22°	24-25°	26-27°	28-29°	32-33°	36°	39°	42°	45°	47-48°
	23 DGT 11,5	5°	7-8°	10°	12°	14-15°	17°	19°	21-22°	23-24°	25-26°	27-28°	31°	35°	38°	41°	44°	
1,5	24 DGT 12	5°	7°	10°	12°	14°	16°	18-19°	20-21°	22-23°	24-25°	26-27°	30°	33-34°	37°	40°	42-43°	45°
	25 DGT 12,5	4-5°	7°	9°	11°	13-14°	15-16°	18°	20°	22°	24°	25-26°	29°	32-33°	36°	38-39°	41°	44°
	26 DGT 13	4-5°	6-7°	9°	11°	13°	15°	17°	19°	21°	23°	25°	28°	31-32°	35°	37-38°	40°	43°
	27 DGT 13,5	4°	6°	8-9°	10-11°	12-13°	14-15°	16-17°	18-19°	20°	22°	24°	27-28°	30-31°	34°	36-37°	39°	41-42°
1,75	28 DGT 14	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	19-20°	21-22°	23°	26-27°	30°	33°	35-36°	38°	40-41°
			Rang.1	Rang.2	Rang.3	Rang.4	Rang.5	Rang.6	Rang.7	Rang.9	Rang.10							

6-7-8° Rang.1 Travail avec HCO 1 DGT si DIAM. 16 à D.21 DGT
puis travail avec HCO 1,5 DGT pour DIAM. 21 à 24 DGT

Fortes Conicités

Le tableau ci-dessus permet de comprendre la faveur dont jouissaient les conicités 10 et 13° ainsi que 19° : les deux premières (représentées en bleu moyen et bleu foncé sur la Fig.1) permettaient en effet de réaliser tous les diamètres avec un cône mesurant 1,5 à 3 doigts, la seconde conicité (19°, représentée en orangé) permettait de faire de même avec un cône haut de 3 à 4 ou 4,5 doigts. Il fallait donc une raison particulière pour pratiquer une conicité plus élevée, de même qu'il devait y avoir des causes à la faible fréquence de l'angulation 7° (insuffisance de l'écoulement gravitaire des broyats ou de l'encapsulation du *Catillus* sur la *Meta* ?).

BLOC CAPABLE, PERTE de VOLUME, POIDS

Les *Catilli* d'Orvieto correspondent à un bloc capable (cylindre initial) d'un volume moyen de 17.160 cm³ (0,017 m³) soit 1,96 *modius* et d'un poids de 39,98 kg¹. A l'état achevé, ils pèsent 33,8 kg ce qui montre une perte de matière au façonnage égale à 15%, due à la réalisation du cône, de la trémie et de l'œillard. Les *Metae* montrent un volume moyen de 26.467 cm³ (0,026 m³) soit 3 *modius* et un poids de 61,67 kg. A l'état achevé, elles pèsent en moyenne 41,7 kg ce qui montre une perte de matière au façonnage égale à 32% et double de celle des *Catilli*. Cette importante différence (50%) s'explique par l'évidement intérieur des *Metae*. Mais en définitive malgré cet important délestage ces dernières, initialement 33% plus volumineuses que les *Catilli*, restent 23% plus lourdes ce qui confirme qu'elles portent l'essentiel de la massivité propre aux MRB d'Orvieto.

LONGÉVITÉ MAÎTRISÉE et OFFRE LIMITÉE

Orvieto apparaît, au sein de la demi-douzaine de références dont on dispose, comme un site montrant un net contraste entre la hauteur utile des *Metae*, importante (en

¹ Après avoir effectué quelques mesures, notre calcul du poids à Orvieto est établi sur la base de 2,33 g/cm³.

moyenne 8 dgt) et celle des *Catilli*, plutôt réduite (en moyenne 4 dgt) alors-même que les meuliers de ce centre ont volontairement limité de plusieurs doigts la hauteur utile excessive de leurs *Metae*. Ce contraste, s'il devait être ultérieurement confirmé sur la base d'un échantillon de *Catilli* plus nombreux, reste mal explicable à nos yeux. Il pourrait avoir posé un problème à la production d'Orvieto, problème que l'abandon du modèle de *Metae* trop hautes aurait résolu. Cette évolution s'est-elle produite ou bien les fabrications de MRB à Orvieto se sont-elles arrêtées et par exemple reportées sur la production de modèles de Style Pompéien ?

Malgré cette question en suspens, notre proposition de la notion de hauteur utile et son application à une petite série d'ateliers tend à montrer que ce paramètre était maîtrisé et même pré-calculé par les meuliers. Il ne résulte pas des aléas du jeu de paramètres qui seraient prépondérants tels que le diamètre, la hauteur et la hauteur du cône. En réalité ces paramètres, tout comme celui de la hauteur utile, sont configurés par un système géométrique qui les lie et qui permettait aux officines de fabriquer des meules dont ils connaissaient le gabarit, la conicité et la longévité.

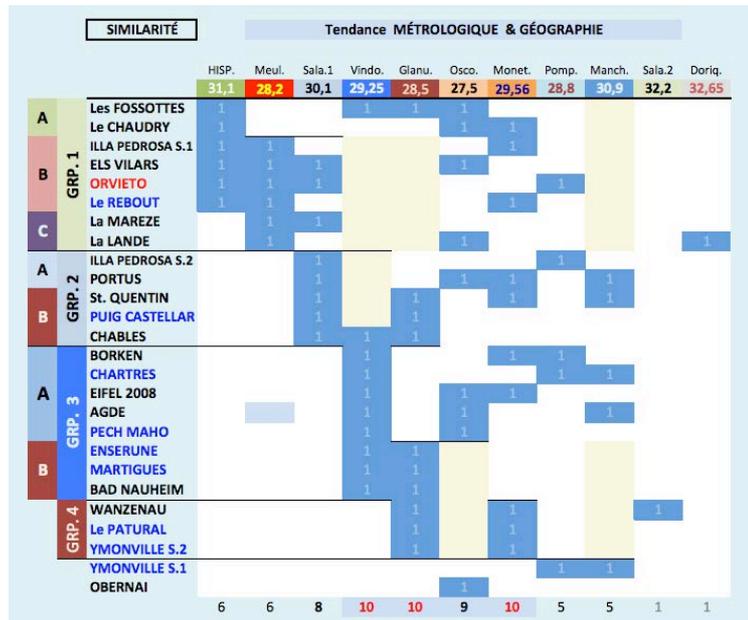
Il n'est pas certain que la conicité ait été un attribut important pour l'utilisateur puisqu'elle tendait à être la même partout (dominance de 10-13° et de 19° sauf en domaine du Moulin Plat). L'offre de diamètres était plus diversifiée mais semble principalement avoir proposé un duo comprenant un « petit » moulin et un « gros ». La longévité ne semble pas avoir été déclinée en plus de 1 ou 2 valeurs. Dans ce sens les fabrications meulières ne paraissent pas s'être adaptées à une certaine variété du pouvoir d'acquisition des utilisateurs qui appellerait une gamme quelque peu diversifiée. Il est possible que l'objet technique ait été prépondérant sur l'objet commercial ou d'échange, les préoccupations de production l'emportant sur l'utilisation. Un possible faible prix des Meules Rotatives Basses a pu favoriser la monotonie et l'uniformité des meules proposées. Cette série d'interrogations demanderait à être discutée sur la base d'un plus grand nombre d'études.

PIEDS MEULIERS PRÉFÉRENTIELS & INDICES de L'ORIGINE des MRB d'ORVIETO

_____ **S**i l'on considère, sans restreindre les éventualités, les pieds qui sont les plus susceptibles d'avoir régi les diamètres de meules pour chaque atelier ou assemblage, on constate en premier lieu (Fig.2) que la dimension des meules procède d'un nombre limité de pieds, environ 6. Il s'agit du pied de 27,5 cm dit Osco-italique, d'un pied que nous appelons « meulier » de 28,2 cm, du pied de 29,25 cm dit de Vindonissa, du pied de 30,1 que nous désignons sous le terme Salamis -1 et du pied de 31,1 courant dans l'Age du Fer ibérique. Ce dernier s'y observe régulièrement en association ou en concurrence avec le pied de 29,56 cm dit *Pes monetalis* ou également Pied Impérial mais dont l'existence est fortement susceptible d'être antérieure à la période Impériale. Enfin il est également possible que le pied de 28,5 cm dit Pied de Glanum ait été utilisé. Les pieds courts (de 27 à 29 cm) sont les plus représentés. La fabrication des meules pourrait s'être opérée à travers un choix limité de pieds générateurs de leurs dimensions.

Figure 2 : Matrice ordonnée des Pieds probables de 16 ateliers et 8 assemblages d'utilisation (en caractères bleus)

- on a considéré sans restriction les pieds fortement susceptibles de régir les diamètres des meules – ils sont en général au nombre d'au moins 2, parfois 3 et plus si l'assemblage est constitué de plusieurs approvisionnements ou si un couple de pieds représente une alternative par rapport à un autre – quand cela est possible on les a alors divisés en deux séries – les plages de couleur crème signalent les exclusions par rapport aux principaux pieds définissant chaque groupe – les pieds de 30,1 et surtout 31,1 n'ayant pas été systématiquement testés pourraient être sous-représentés -



Cet éventail de pieds générateurs a peu de chances à priori de correspondre à la situation de diversité métrologique que l'on peut attendre sur une aire aussi vaste, entre Ebre et Rhin. Toutefois cette diversité supposée pourrait être une attente archéologique sans fondement et en réalité les pieds de l'Antiquité pré-romaine et romaine être, pour tous objets ou réalisations urbanistiques, en nombre restreint et de diffusion large.

Les études que nous avons pu réaliser sur plusieurs dizaines de séries d'objets manufacturés, de pierre de taille ou d'architecture de bois et terre tendent à valider une assez large diversité de pieds qui irait dans le sens de l'existence d'un substrat de pieds régionaux. Dans le même temps, les deux pics de fréquence de la population totale des diamètres étudiés (2.084 mesures) correspondent à 20 et 24 doigts du pied de 27,5 qui en effet se rencontre très régulièrement sur les assemblages meuliers. Cette configuration pourrait traduire la prépondérance de ce pied.

En définitive il semble probable que les fabrications meulières aient utilisé un registre limité de pieds, sans transcrire dans leur domaine le ou les pieds locaux. Il existerait ainsi un cortège de pieds non pas spécifiquement meuliers mais préférentiellement utilisés. L'éventail apparemment assez ample de ces pieds pourrait en réalité être plus restreint si certaines situations de pluri-métrologie, notamment sur les ateliers, dériveraient de problèmes liés à l'imprécision du mesurage ou aux difficultés méthodologiques de détermination de l'étalon.

Ce recours de la fabrication meulière à des pieds préférentiels pourrait dériver du fait que la diffusion des modèles de meules se soit opérée à partir du foyer originel catalan puis de foyers-relai secondaires probables (tels que le complexe volcanique héraultais au IV^e voire V^e s. aC, l'Auvergne sans doute, au III^e s. aC, peut-être la zone rhénane Vosges/Eifel à LT-D). Le foyer originel situé dans le Nord-Est de l'Espagne actuelle (V^e s. aC) tend à montrer une prépondérance pour les pieds de 30,1 (Salamis -1), de 31,1 (ibérique) et de 28,2 (meulier) mais le pied de

27,5 semble également présent voire celui de 29,25 (Puig St. Andreu). Toutefois nous avons pu étudier seulement un nombre restreint de sites dont 3 figurent au tableau ci-dessus.

Le recours à un registre restreint de pieds pour la fabrication des meules apparaît donc possible mais reste en attente du développement d'études métrologiques à la fois sur les assemblages meuliers et sur les objets manufacturés antiques.

_____ **M**éanmoins le tableau ci-dessus fait ressortir la similarité indéniable entre la métrologie probable d'Orvieto (où le pied de 28,2 semble dominer) et celle du foyer originel catalan en particulier Els Vilars. Elle pourrait même se renforcer si le pied osco-italique de 27,5 qui régit une partie des Modèles de Style Pompéien d'Orvieto y était confirmé sur certains Modèles Rotatifs Bas. Orvieto partage ainsi avec l'aire catalane, la plus ancienne, une forte susceptibilité aux pieds de Salamis-1 (30,1), de 31,1 et de 28,2. Il est donc envisageable, sinon probable que les fabrications meulières d'Orvieto correspondent à un transfert de modèles et de savoir-faire depuis le foyer originel catalan.

Sur la base de la hauteur des meules, de leur faible Indice de rectangularité, de leur situation entre les modèles massifs anciens et le modèle classique continental, sinon également sur une communauté du registre des gabarits avec Els Vilars², nous avons proposé une datation des MRB fabriquées à Orvieto sur l'intervalle IV-III^e s. aC³. Cette chronologie est parfaitement compatible avec un transfert depuis le foyer catalan. Un indice supplémentaire réside dans la sensibilité des diamètres orviétans au pied ibérique de 31,1 cm. Si une provenance à partir des fabrications héraultaises du IV^e siècle n'est pas chronologiquement impossible elle ne trouve cependant aucun écho, les pieds les plus probables à Orvieto étant absents en Languedoc sur les sites approvisionnés en meules à partir du Complexe Volcanique Héraultais (qui relèvent principalement du pied de Vindonissa – Bolsena).



² Avec notamment ce qui pourrait constituer une série 2 de Els Vilars : voir **CHAP.10** métrologie des diamètres.

³ Cette chronologie pourrait éclairer la mention Plinienne des *molae inventas* à Orvieto (PLINE *Hist. Nat.* XXXVI, 29) que la plurisémié du mot *inventas* rend d'interprétation difficile : meules *inventées* ou *trouvées* ou même *découvertes* à Orvieto : Pline pourrait par cette expression avoir voulu indiquer que le ou l'un des foyers d'introduction des meules rotatives en Italie était Orvieto tout en faisant montre de propagande chauvine, ou de méconnaissance, en passant sous silence ou en ignorant l'origine catalane de ces meules que seule l'archéologie documente. Par ailleurs la chronologie ancienne et l'origine géographique des Meules rotatives Basses pourraient éclairer l'expression de Caton cette fois qui, dans la première moitié du II^e s. aC, désigne une certaine catégorie de meules par l'expression *molae hispanienses* (CATON, *Re Rustica*, X) souvent traduite par *à l'espagnole*.

Figure 3 : Distribution spatiale des métrologies meulières présentes dans le foyer originel catalan & à Orvieto

- Les 3 sites du foyer catalan qui partagent un même pied avec Orvieto sont :
 - . Els VILARS (V-IIIè s. aC)
 - . PUIG CASTELLAR (IIIè s. aC)
 - . ILLA PEDROSA (épave du IIè s. aC)
- Les 3 pieds communs sont :
 - . le pied de 30,1 cm (Salamis -1)
 - . le pied ibérique de 31,1 cm
 - . le pied meulier de 28,2 cm

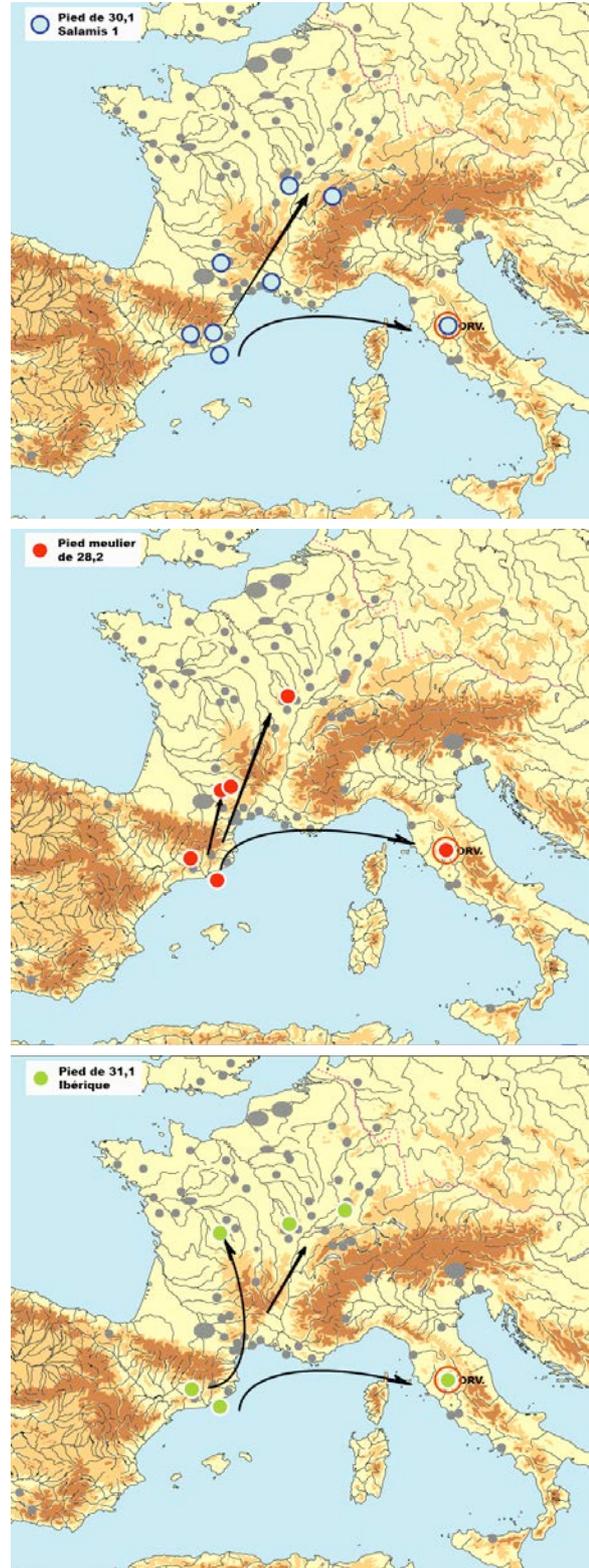
Par ailleurs la chronologie de diffusion des meules sur le littoral français entre les Pyrénées et le Rhône, assez lente, rend difficile un transfert côtier ou par route entre la Catalogne ibérique et Orvieto. Il apparaît ainsi probable que ce transfert technique soit intervenu par route maritime.

Dans cette hypothèse il faut alors envisager une arrivée sur Rome et sa zone portuaire puis une remontée vers les laves de l'appareil volcanique vulsinien à environ 100 km au Nord. Ce transfert a pu suivre des lignes de force représentées par le Tibre ou les voies Cassia et Clodia.

Mais le transfert a pu emprunter, depuis Rome la voie maritime côtière vers un port à l'Ouest de la zone volcanique et ensuite une voie terrestre vers Orvieto ou bien arriver directement sur le littoral à l'Ouest d'Orvieto.

En ce cas il a pu s'agir du pôle côtier d'Orbetello et de l'axe terrestre rejoignant Orvieto par le Nord du lac de Bolsena (Pitigliano puis Bolsena) ou bien d'un itinéraire méridional, depuis la côte à hauteur de Tarquinia et le Sud du lac par la zone de Tuscania ou Viterbo. Une autre voie est envisageable depuis la côte, entre Tarquinia et Orbetello, par Vulci puis une diagonale terrestre par l'Ouest du lac de Bolsena.

Le choix d'Orvieto comme centre producteur soulève, dans une perspective romaine, une question : pourquoi être allé



chercher de la pierre meulière aussi loin au Nord avec nécessité de remonter le Tibre puis son affluent le Paglia alors que l'on disposait à proximité immédiate de Rome, des mêmes laves (leucitites)⁴ ? Trois indices pourraient diriger vers une réponse.

Le premier réside dans la chronologie : si les fabrications orviétanes de Meules Rotatives Basses datent du IV-III^e s. aC comme nous le proposons, il est possible qu'elles aient alors relevé de l'économie et des échanges étrusques et non des initiatives de Rome qui conquiert et bannit Orvieto en 264 aC. En second lieu, les différences de typologie ou de dimensions sinon d'épigraphie entre les modèles de Style Pompéien en leucitite fabriqués à Orvieto et ceux trouvés en zone vésuvienne, à Ostie et Rome ou en Narbonnaise et attribués à Orvieto sur la seule base qu'il s'agit de leucitite, nous portent à formuler l'hypothèse de l'existence d'un centre producteur non répertorié situé près de Rome et d'Ostie, probablement en zone Sabatinienne⁵. Le troisième indice réside dans l'absence de toute épigraphie de familles sénatoriales, équestre ou impériale sur les modèles de Style Pompéien⁶ y compris ceux fabriqués au Haut Empire tels que les modèles géants (*Metae* de 1,20 à 1,50 m de hauteur). Certes les MRB ne sont jamais marquées⁷, mais l'insertion des productions meulières d'Orvieto dans l'orbite de Rome et de ses grandes familles par ailleurs si présentes sur les briques, se serait très probablement transcrite dans l'épigraphie.

Une autre élément de réponse pourrait à terme être fourni par la géographie de distribution des MRB d'Orvieto : se montrera-t-elle essentiellement locale (rayon de 30 à 50 km) ? correspondra-t-elle principalement au territoire étrusque ainsi qu'à une partie du versant oriental, comme les découvertes de Fossombrone (peu avant Pesaro depuis Arezzo) et Monte Bibele (un peu avant Bologne depuis Florence) pourraient l'indiquer ? ou s'étendra-t-elle notablement au Sud vers le pôle Rome/Ostie⁸.

ORIENTATIONS PRIVILÉGIÉES, ACQUIS et PERSPECTIVES

_____ L'étude détaillée des meules rotatives conduite dans le cadre du présent mémoire a porté sur 55 exemplaires attribuables au genre *Catillus* (tournante) ou *Meta* (fixe) parmi quelques 75 Meules Rotatives Basses recensées et enregistrées à Orvieto par nos soins. Nous avons choisi de développer une approche sensible à la géométrie génératrice des meules. Elle cherche à saisir les éléments essentiels qui déterminent leur forme et quels éléments de forme sont significatifs. Si diamètre et pente des meules ainsi que forme de l'œil et trous d'emmanchement mobilisent généralement l'attention de l'archéologie, nous nous sommes d'abord intéressés à ces paramètres configurants de l'objet meule que sont en effet diamètre,

⁴ D'après certaines analyses géochimiques, les leucitites des Colli Albani au Sud de Rome, toujours au sein de la *Roman Magmatic Province*, seraient moins propres à des réalisations meulières. Ces appréciations demanderaient à être vérifiées sur la base des qualités de la pierre à la taille et par l'inexistence de meules en lave dei Colli Albani.

⁵ Ce point n'a pu être développé dans le cadre du présent mémoire et fera l'objet d'un article ultérieur. Il appelle une étude d'ensemble (dont ACP/AFC) des analyses géochimiques et la collaboration avec un pétrographe.

⁶ A Orvieto même seule la meule R.30-15 de format moyen porte une inscription, de belle facture, C. IVL.VES qu'Alfredo Buonopane attribue au I^{er} s. pC et à un affranchi impérial ou descendant de (voir BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI à *paraître*), cette *Meta* provenant du site fluvial de La Svolta, il n'est pas certain qu'elle ait été produite à Orvieto même.

⁷ Sauf sur quelques rares exemplaires en lave de l'Eifel et de contexte militaire rhénan (JODRY 2011).

⁸ Il y a 2 meules en leucitite, plutôt foncée comme celle du *Museo alle Terme* de Rome (CHARTRAIN inédit), dans les 12 meules MRB d'Ostie que nous avons étudiées et qui datent vraisemblablement du II^e-I^{er} s. aC).

hauteur et conicité. Les meuliers antiques ne manipulaient vraisemblablement pas des angles qui, en taille de pierre, ne peuvent être mesurés qu'après achèvement. La conicité était en réalité définie par une longueur qui était tracée sur le flanc du cylindre : pour façonner le cône, l'outil abaissait progressivement l'épaisseur depuis le centre jusqu'à la base de ce repère noté sur le périmètre. Il est probable que les officines disposaient de tables qui faisaient correspondre diamètre et conicité pour donner la hauteur de cône à réaliser.

Dans notre approche de la géométrie meulière, nous avons défini les plans, fixes ou mobiles, d'une meule et statué sur les paramètres constants ou au contraire variables car soumis à usure. Au rang de ces derniers figurent notamment la hauteur de la meule, celle de l'œil ou encore celle d'une mortaise mesurée depuis la base de la pierre. Ces paramètres, sensibles à l'usure et diminuant à mesure de l'utilisation d'une meule ne sauraient être retenus pour définir une meule, son module et son type.

Mais nous avons également cherché à déterminer des paramètres qui pour être moins visibles car définis par les autres, n'en sont pas moins essentiels. C'est ainsi que nous avons défini et proposé deux paramètres « indirects » nouveaux : la notion de Hauteur Utile qui représente l'épaisseur de pierre consommable, et celle, corollaire, de Hauteur Passive qui correspond à l'épaisseur incompressible qui ne sera jamais usée. Sur un *Catillus* de modèle courant, celle-ci est constituée par la hauteur du cône de travail cumulée avec la profondeur de la trémie.

Ces outils ouvrent deux champs nouveaux d'analyse et de compréhension des meules antiques. Le premier domaine est celui de l'usure. Le second est celui des règles de conception et de réalisation pratique des objets manufacturés et normés que sont les meules.

Il devient en effet possible de mesurer le degré d'usure d'une meule en opérant la différence entre d'une part sa Hauteur Utile à neuf, (appréhendable à partir des exemplaires d'atelier) et d'autre part sa Hauteur Utile restante (qui est observable sur son état archéologique). A défaut de connaissance des ateliers de provenance ou des standards de hauteurs qu'ils ont pratiqué, il reste possible, de manière plus grossière, d'estimer le degré d'usure d'une Meule Rotative Basse, ce qui sera le cas le plus fréquent.

Cet « âgeage » des meules permet par exemple de définir le profil d'usure d'un assemblage en répartissant les meules de manière graduée entre un état neuf (taux d'usure 0%) et un état d'usure total (100% voire plus) sinon dépassé. Une analyse de ce type permet de statuer sur la présence et le taux de meules neuves ou récentes sur un site, dans une phase ou un espace donnés. Ainsi, le site LT-C/D de Blois La Croupe (PEYNE *et al.* 2019) comprend 40% de meules neuves ou peu usées⁹, le site péri-urbain des Courattes à Argentomagus comporte un lot de meules neuves ou sub-neuves¹⁰, quant aux meules du site rural du Pâtural au III^e-II^e s. aC en Auvergne (DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007) elles ont été rejetées à un stade d'usure moyen et sont dépourvues d'éléments neufs ou très usés. Généralement, et c'est logique, un assemblage d'utilisation comporte des meules assez récentes, un grand nombre de meules d'usure moyenne et une fraction d'exemplaires très usés. C'est ainsi le cas de sites tels que Pech Maho (IV^e-III^e s aC), de l'Île à Martigues (II^e s. aC) ou de l'assemblage de site de la ville romaine d'Argentomagus. En revanche certains sites, tels qu'Ensérune (IV^e-II^e s. aC) ou Chartres-Cinéma (I^{er}-III^e s. pC) attirent l'attention par l'importante quantité de meules usées voire archi-usées.

Des réflexions sont ainsi possibles sur le taux de renouvellement du matériel de broyage ou sur sa surexploitation éventuelle, indicatrice par exemple de difficultés d'approvisionnement ou d'une grande intensité d'activité. Les interrogations peuvent aussi porter sur la nature des activités meulières en différents points d'un site. La mesure ou l'estimation de l'usure permet

⁹ Etude inédite CHARTRAIN Mars 2020 remise à N. Peyne.

¹⁰ Note inédite CHARTRAIN Janvier 2019 remise à Fr. Dumasy.

également de réexaminer ou de fractionner la composition des chargements meuliers des épaves, telles celles d'Illa Pedrosa (toutes neuves) ou de la Wantzenau (probablement usées).

_____ Cette démarche d'appréhension et de mesure des paramètres qui définissent une meule, nous a amené à distinguer systématiquement entre assemblages d'atelier (qui livrent les valeurs à neuf) et ensembles meuliers issus des sites de consommation et de rejet (qui fournissent les valeurs d'usure). Une importance de premier plan a donc été accordée aux ateliers qui ont été particulièrement recherchés et étudiés plus en détail. Avec les épaves, ils forment un corpus de 18 sites, dont 15 convoqués régulièrement, et de près de 600 meules. Nous avons donné la priorité aux ateliers de l'Age du Fer afin de retracer la mise en place des attributs et des modèles, et de pouvoir saisir les évolutions jusqu'à l'aube de la période Romaine Impériale. Cet accent pré-romain était d'autant plus indispensable que l'on pouvait penser, Pliny ou pas, que les Meules Rotatives Basses d'Orvieto étaient assez anciennes, ne serait-ce qu'en raison du rayon probablement limité de leur diffusion et surtout en raison de la petitesse de leur envergure (diamètre moyen 34,35 cm soit 20 dgt) qui d'après les données françaises les situaient dans l'Age du Fer.

L'appréhension des caractéristiques des fabrications orviétanes dans le contexte plus global formé par les ateliers a permis, en dégagant les traits communs et les originalités de la production d'Orvieto, de cerner des proximités ou similarités qui ouvrent sur une proposition de chronologie et d'origine d'un probable transfert technique depuis le foyer catalan.

_____ La comparabilité meulière, non seulement pour pister les éventuels transferts techniques ou les voies et relais de diffusion, a gagné notablement en performance grâce à la lecture métrologique que nous avons souhaité introduire.

Cette approche particulière, quelque peu ardue et qui nécessiterait une réelle mathématisation, permet en effet de s'affranchir des fausses pistes engendrées par la manipulation des dimensions en cm, puisqu'en effet une meule de 42,5 cm d'envergure n'est pas forcément différente d'une meule d'un diamètre de 46,5 : toutes deux sont d'un gabarit de 24 doigts, la première étant réalisée dans un pied de 28,2 tandis que la seconde l'est dans un pied de 31,1 cm. Quitter le diamètre au profit du gabarit permet également de comparer le profil des modules fabriqués par chaque atelier ou présents dans un assemblage.

L'examen de la fréquence de ces gabarits montre ensuite que les meules antiques étaient produites, systématiquement et selon une répartition de type 65 / 35%, en deux modules. Les ateliers meuliers et les assemblages d'utilisation présentent ainsi un duo inégal entre un « petit » moulin et un « gros ». Les termes de cette association devront être posés et analysés par les recherches ultérieures : tous les ateliers ont-ils produit du « gros » et du « petit » ? ce duo apparaît-il rapidement ou se met-il en place après plusieurs phases d'expansion et d'évolution des fabrications meulières ? est-il présent dans le foyer originel catalan ? (cela semblerait le cas à Els Vilars mais pas à Alorda Park ni à Puig Castellar, c'est le cas à Orvieto, au Pâtural et à Martigues¹¹). Par ailleurs il faudra examiner si ce duo correspond à deux machines à usage différent et s'il s'observe dans de mêmes espaces.

La métrologie s'est par ailleurs révélée constituer une clé de lecture de la conicité en permettant de définir quelle pente des meules correspondait à une hauteur de cône comprise entre par exemple 1 et 8 doigts. Elle montre de plus que les hauteurs de cône étaient mesurées en demi-doigt et que par conséquent les meuliers travaillaient leur pierre avec une résolution de 1 cm. L'approche métrologique consent également de définir les standards des dimensions telles

¹¹ Il est préférable de séparer les histogrammes des *Metae* et des *Catilli*, la fusion des deux genres ayant tendance à faire disparaître ou élargir les pics de fréquence en raison des décalages fréquents de 1 ou 2 cm entre les deux types de meules.

que les diamètres et les hauteurs et de définir leur degré de standardisation par écart à une norme exprimée en doigts (études partielles non exposées dans le présent mémoire).

Last but not least, la métrologie garantit la comparabilité de la Hauteur Utile entre *Metae* et *Catilli*, ce qui ne serait pas possible avec les cm pour la même raison que la non-différence entre les diamètres 42,5 et 46,5 évoquée ci-dessus.

L'une des découvertes intervenues au cours de ce travail, mais malheureusement documentée sur trop peu d'assemblages, réside dans la surprise de constater que la Hauteur Utile n'est pas toujours identique entre *Metae* et *Catilli*, celle de ces derniers étant inférieure de 2 à 4 doigts. Pourtant la hauteur Utile apparaît comme un paramètre maîtrisé : la Hauteur Passive est calculée en demi-doigts car composée de 2 segments (Hauteur du Cône et Hauteur Passive incompressible pour les *Metae* ou Hauteur de la Trémie pour les *Catilli*) pour être déduite d'une Hauteur totale (préférentiellement mesurée en doigts entiers) afin former une Hauteur Utile calibrée, semble-t-il en nombre entier de doigts et probablement le plus souvent en multiple de 2 dgt.

Il apparaît ainsi probable que la Hauteur Utile, autrement dit la longévité de la meule, ait déterminé la Hauteur totale de la meule ainsi que sa Hauteur Passive. Le calibrage de la Hauteur en fonction du Diamètre (2H ou 2,5 H) était peut-être même choisi en fonction de la Hauteur Utile visée par la fabrication. La divisibilité d'un Diamètre compris entre 17 et 32 doigt explique la fortune du ratio 2H qui offrait la possibilité de réaliser Hauteur et Cône en demi-doigts et Hauteur Utile en doigts entiers pour presque tous les diamètres, suivi à un moindre degré possibiliste par la proportion 3H et 1,5 H.

De même que la scansion des Hauteurs de Cône en demi-doigts croisée avec le registre des diamètres d'un atelier déterminait la gamme de ses conicités, les Hauteurs Utiles qu'il avait décidé de produire déterminaient son choix de diamètres et de proportions (2H ou autres) entre Diamètre et Hauteur. Dans le domaine des meules antiques tout n'est que divisibilité, palme et doigts ainsi que proportions, si possible métrologiquement canoniques (comme le montre la prévalence des gabarits de 20 et 24 dgt, c'est à dire 1 pied $\frac{1}{4}$ ou 5 palmes et 1 pied $\frac{1}{2}$ ou 6 palmes).

_____ **A**insi, l'analyse de la géométrie des Meules Rotatives Basses que nous avons entreprise, et qui gagnerait sans nul doute beaucoup à être développée avec un géométricien, a permis, couplée avec la lecture métrologique, d'entrevoir quels paramètres étaient maîtrisés par les meuliers antiques.

Il est ainsi probable que le diamètre constituait une donnée *princeps* de laquelle découlaient les autres par l'intermédiaire d'un minimum de règles notamment de proportion. C'était le cas de la hauteur qui était réglée le plus souvent par la règle des 2H (Diamètre mesurant 2 Hauteurs, soit un indice de rectangularité de 200%). Parfois la hauteur obéissait à la proportion de 1,5H si les meules étaient de modèle trapu comme à Els Vilars et Orvieto, plus souvent la hauteur correspondait à l'application de la proportion 2,5 H si intervenait la règle, probablement empirique, de l'Amincissement relatif destiné à freiner l'augmentation du poids.

A cet égard les pratiques antiques de partition selon des fractions « naturelles » telles que $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{2}$ ou $\frac{7}{4}$ et $\frac{5}{8}$ etc. permettaient probablement aux techniciens antiques d'approcher les valeurs réelles des paramètres techniques à travers des approximations d'un degré de finesse sans doute variable.

Prenons l'exemple de l'anille qui porte la meule tournante. Il est clair qu'une anille trop longue est inefficace et ployable tandis qu'une anille trop courte va rompre ou tendre à produire de l'oscillation. Il existe donc une longueur optimale de l'anille compte tenu du diamètre et du poids. Les techniciens antiques connaissaient forcément cette zone optimale. Imaginons que diamètre et du poids d'une meule imposent, à une ingénierie qui sait en faire le calcul, une anille longue de 40% du diamètre. Le savoir empirique qui a appris par expérience à cerner la

longueur optimale et son seuil de rupture, l'approchera par l'une de ses proportions habituelles, en y ajoutant une marge de sûreté. Il retiendra ainsi la proportion de 7/16è qui pour nous vaut 43,75% ou 0,4375 en notation décimale.

Ainsi les grandeurs optimales étaient dans l'Antiquité recouvertes par des proportions ou partages-type (ici « 7 parts de 16 » en notation antique). De ce fait elles nous apparaissent masquées. Il est alors probable que des changements de proportions, tel celui intervenant dans un diamètre de meule valant 2H et un diamètre mesurant 3 H, correspondent dans l'Antiquité à l'expression de grandeurs techniques qu'il nous convient d'identifier.

Pour reprendre l'exemple de l'Anille on constate que dès son apparition vers le IIè s. aC, cette barrette de fer liée à l'axe et transmettant la rotation observe 3 proportions : 25%, 31% et 45% du diamètre. Ces trois proportions apparaissent à nos yeux d'aujourd'hui claires pour l'une (25% soit 1/4) et pour les deux autres comme des approximations pour 1/3 et 1/2 soit des fractions « naturelles » et tout à fait canoniques dans l'Antiquité. Toutefois il est étonnant que l'approximation résiste statistiquement à l'accumulation des mesures. En réalité ces pourcentages n'ont rien d'approximations : l'anille antique était en fait mesurée à 4/16è du diamètre (25%) ou bien à 5/16è (31,25%) ainsi qu'à 7/16è (43,75%), ce que la familiarité avec le système 16 (celui du doigt) permet de décrypter¹².

MEULES de l'ANTIQUITÉ & vraie RÉVOLUTION MOLINOLOGIQUE du MOYEN AGE

Le Moulin Rotatif apparaît en Catalogne aux environs de 500 aC. L'existence d'autres foyers d'invention, régulièrement évoquée pour l'Angleterre ou l'Allemagne, n'est pas démontrée. La communauté avec les techniques rotatives de la roue (plutôt Europe centrale) et du tour de potier (Méditerranée) doit être soulignée. Il est par ailleurs possible à nos yeux que le moulin rotatif ait été mis au point dans des contextes productifs, peut-être miniers, et qu'il se soit ensuite étendu à la sphère domestique en raison de sa performance. Le moulin à sel est une constante dans l'histoire domestique et a maintenu jusque dans les années 1950 (celles de l'électroménager) l'existence du MRB dans plusieurs zones rurales comme en témoignent de nombreux exemples de *mulino a tazza* ou de *moulin à ange* trônant dans la maisonnée et réservé au sel. Par ailleurs nous nous demandons si la coïncidence entre le foyer de naissance du moulin rotatif et l'existence de la mine de sel gemme de Cardona au nord de Barcelone est un hasard : la raison première de l'invention du moulin pourrait résider dans la mouture des cristaux de sel, voire dans une certaine industrialisation du traitement du sel. Il est souhaitable que les recherches futures documentent précisément et développent la problématique de la liaison entre moulin rotatif et sel.

¹² La mise en évidence de cette séquence de proportions conduit d'abord à se demander si la valeur de 6/16è (soit 37,5%) n'a pas échappé à notre lecture, et si oui quelle serait la cause de ce saut dans la séquence. Il est ensuite nécessaire, avec un ingénieur mécanicien pour qui cela doit relever de cours de mécanique générale de 1ère année, de déterminer quels sont les seuils techniques recouverts par ces 3 (ou 4) proportions.

Le Moulin Rotatif Bas diffuse ensuite globalement de l'Ebre vers le Rhin, assez rapidement, au cours des IV^e et III^e s. aC période à laquelle il est par exemple attesté en Auvergne. Vers 250-200 aC (LT-C) il est assez régulièrement présent dans les contextes ruraux en Beauce et en Picardie après être apparu par exemple en Champagne à LT-B2/C autour de 300 aC¹³. Cette expansion s'opère en l'absence de meules exportées et concerne donc la diffusion de modèles et de savoir-faire sans doute appuyés sur des meuliers itinérants ou sur des apprentissages ayant lieu sur certaines meulières pro-actives voire dotées de droits particuliers.

Au II^e s. aC, dans sa forme rotative basse, le Moulin Rotatif Bas apparaît quasi généralisé de l'Espagne au Rhin et à la Grande Bretagne et devient avant la période Romaine la première machine à équiper la plupart des foyers y compris en contexte rural. En revanche l'Est méditerranéen, comme une partie du Sud de la France (Provence) reste le domaine de la meule à va-et-vient de modèle Olynthe dont au moins 1 exemplaire de fabrication locale est attesté à Orvieto. La présence, peut-être ancienne, de Meules Rotatives Basses en Italie centrale constitue un précieux jalon dans cette zonation et sa chronologie.

Un autre type de moulin rotatif, le Modèle Quasi-Pompéien (non symétrique) et le Modèle de Style Pompéien (biconique et réversible) se développe parallèlement, semble-t-il à partir du IV^e siècle et à partir de la Sardaigne (Mulgaria) d'après les 2 moulins MQP trouvés dans l'épave d'El Sec (Majorque). Il n'est pas du tout certain que la production de Meules de Style Pompéien à Orvieto soit aussi ancienne, si l'on admet notre proposition de datation des MRB orviétanes (IV-III^e s aC) et leur antériorité sur les MSP du même centre producteur.

Bien que la contemporanéité des MQP et MSP avec le Moulin rotatif Bas ne soit pas documentée à ce jour en Espagne, Sicile et Sardaigne, elle nous semble probable. On voit mal en effet ces deux machines s'exclure et aucune documentation ne permet d'orienter vers une géographie opposant d'un côté une zone à MRB et de l'autre une zone MSP/MQP. Cela pourrait néanmoins être possible dans des aires restreintes ou foyère : si la Sicile semble associer MRB et MSP (MQP pour les périodes anciennes), en revanche la Sardaigne pourrait s'avérer dénué de MRB notamment avant l'époque Impériale. L'Afrique du Nord et le Levant semblent avoir peu connu voir pas du tout le Moulin Rotatif Bas, le Levant, domaine exclusif du moulin à va-et-vient de type Olynthe, ayant développé à partir de la période Romaine de nombreuses formes de MQP et de MSP¹⁴. Il apparaît vraisemblable que le Moulin Rotatif Bas et le Modèle de Style Pompéien n'aient pas constitué des machines comparables. Comme nous l'avons montré, le MSP travaille à haute pression et atteignait sur ce point les standards médiévaux et modernes. Par ailleurs sa très forte conicité (52 à 67,5°) augmentait de manière importante une surface de mouture déjà énorme en raison d'un gabarit fréquemment de l'ordre de 2 pieds. Il nous semble également possible à l'examen de sa disposition spatiale dans les *pistrina* de Pompéi, que ce moulin ait fonctionné en batterie de 2 ou 3 unités tournées à partir d'une roue commune située à l'étage supérieur et mue par un équidé.

Enfin le Modèle de Style Pompéien est de diffusion très restreinte et en petites quantités. En dehors de son clonage levantin, très en prise sur les laves régionales telles celles du Golan où existait une tradition millénaire du travail de la pierre dure volcanique, le MSP s'observe principalement dans l'Ouest de la Méditerranée. Il est ainsi présent dans certaines zones limitées de l'Espagne, parfois très en profondeur, et principalement en Narbonnaise et sur l'axe Rhône/Saône et *Limes* Rhénan ou Rhône/Saône puis Seine/Somme. Mis à part la Narbonnaise, il a donné lieu à des imitations, peu nombreuses, en pierre régionale attestée en Espagne méridionale, en Angleterre, en région Parisienne et en Allemagne à Mayen. Nous y verrions volontiers un moulin exporté, à vocation peut-être même particulière, une machine liée à des

¹³ JACOTTEY *et al.* 2017, p. 75.

¹⁴ Voir sur ce point les pages 92-97 de PEACOCK 2013.

populations restreintes, probablement italiques, ou associée à une diète latio-campanienne particulière comme le suggère l'importance des MSP à Pompéi et à Ostie sinon à Rome.

_____ **A**près un siècle ou un peu plus d'existence, le Moulin Rotatif Bas connaît une mutation, qui intervient globalement au IV^e s. aC. Jusque là réalisé selon les ateliers en 2 gabarits, tantôt plutôt 20 dgt (ca. 37 cm) et tantôt 24 dgt (42 à 45 cm), le MRB abandonne le fort gabarit. Les moulins sont désormais exclusivement de petite taille. Cet abandon s'accompagne de celui des formes à manchons débordants ou à encoches supérieures, aménagements sans doute liés à un système particulier d'entraînement, par suspension du *Catillus* (peut-être de type *suspensa mola* comme l'évoque Columelle pour les broyeurs à olives¹⁵). Ces attributs disparaissent également du Languedoc où les productions du Complexe Volcanique Héraultais ont, au IV^e s. aC sinon avant, largement emprunté aux modèles catalans. La mutation s'accompagne également de la disparition des *Catilli* sans trémie, dont le plan supérieur est plat et que l'on trouve aussi bien en Catalogne qu'en Languedoc¹⁶ voire en direction de Toulouse.

Au cours de cette mutation prend forme un modèle nouveau, associant cône de travail et trémie, dont le flanc est souvent incliné mais devient rapidement droit. Nous l'appelons « modèle gaulois » ou « continental » tant il est typique des Gaules. Il se généralise au cours de la période III^e-II^e s. au point de devenir exclusif et de former auprès des archéologues l'image-même du moulin rotatif dit « manuel ». Le périmètre de la trémie comporte le plus souvent une bordure annulaire et généralement la moitié de la hauteur est occupée par la trémie plus le cône tandis que la hauteur initiale, indiquée par les exemplaires d'ateliers, mesure la moitié du diamètre (modèle 2H). Dans le bassin Parisien, ce modèle « gaulois » fait régresser celui des meules en dôme (*beehive quern*) typique du domaine anglo-normand et qui est en période LT-B/C présent, en matériau local, jusqu'en Beauce et au niveau Paris/Marne. Le modèle en dôme devient progressivement cantonné à une frange littorale mais vaste allant du Cotentin à Calais.

Le modèle continental est présent dans le foyer catalan mais son éventuelle mise au point au sein du Complexe Volcanique Héraultais mériterait d'être examinée. S'il est absent de Lattes au IV^e s. il y est ensuite très présent de même qu'à Pech Maho avant 200 aC. Quelques exemplaires font partie de l'assemblage d'Ensérune sans qu'on puisse les dater plutôt de la phase IV^e s. aC ou de la phase II^e s. aC.

Lors de ses phases anciennes, avant le II^e s. aC, le Moulin Rotatif Bas a pu constituer un équipement plutôt propre aux habitats ou sites agglomérés notamment ibériques (tels qu'Els Vilars) puis languedociens (tels que Pech Maho, Ensérune, Peyriac, La Lagaste, Lattes). Après sa généralisation constatée au II^e s. aC, il sera présent dans tous les milieux mais continuera à montrer une densité apparemment élevée dans certaines agglomérations de La Tène D (par exemple Bibracte avec plus de 200 MRB) voire sur certains établissements ruraux (39 meules au Pâtural, plusieurs dizaines à Acy Romance), ainsi que dans des agglomérations ou villes de l'époque Romaine (ainsi Amiens avec 62 meules, Argentomagus avec 59, Silchester 48, Bavay 44, Vertault 40, Meaux 35).

_____ **N**ous avons déjà signalé l'existence durable, à partir des environs de 250 aC, d'une zone septentrionale caractérisée par la prépondérance ou l'abondance du Moulin Plat. Au cours de l'époque Romaine celle-ci régresse par l'Ouest jusqu'à la Seine et s'étend au Nord-Est (sur la Somme). Cette particularité et sa relative ancienneté pourraient correspondre à une seconde invention du Moulin Rotatif, avec ou sans rapport avec son homologue méridional. Partout ailleurs règne le Moulin Conique. Nous avons vu que la conicité, d'origine géométrique, n'est

¹⁵ Voir SAEZ 2013.

¹⁶ Voir ANNEXE 25.

pas un critère chronologique. En revanche de grandes zones se font jour sous la forme de faciès régionaux de conicité : certaines zones montreront toujours une certaine fréquence de meules plates, d'autres seront centrées sur une faible conicité de type 7-10° tandis que d'autres privilégieront des angulations élevées de type 13 ou 16° voire plus.

Les pieds générateurs des dimensions des Meules Rotatives Basses semblent répondre à un choix relativement restreint d'étalons privilégiés par les fabrications meulières. Si un certain essor du *Pes monetalis* (29,56) semble possible avec la période impériale, la métrologie meulière reste globalement stable. Un seul contraste semble apparaître bien qu'il reste à valider par un développement des études. En effet le pied de 28,2 cm, qui ne semble pas attesté sur d'autres objets ou en urbanisme et pourrait de ce fait constituer un pied assez spécifiquement meulier, est attesté dès l'origine sur le foyer catalan. Il est en revanche absent de France du centre et de l'Est comme de la zone rhénane. A l'opposé, le pied de 29,25 cm, dit de Vindonissa, est absent ou rare dans le foyer originel catalan mais largement présent sur les sites approvisionnés par le Complexe Volcanique Héraultais et plus tard en Rhénanie. Il pourrait être absent de la zone Auvergne-Loire mais est attesté en Beauce à La Tène.

_____ **U**n autre aspect des Meules Rotatives Basses mérite d'être signalé dans ce panorama synthétique, il s'agit de l'anille. Nous n'avons pas développé ce sujet dans le présent mémoire car ce dispositif n'est pas connu à ce jour à Orvieto, ce qui constitue un indice supplémentaire d'ancienneté, au moins celle d'une antériorité au Ier s. aC. Toutefois au plan technique il s'agit d'un aménagement majeur qu'il faut sans doute considérer comme la seconde mutation, proprement technique cette fois, intervenue sur le Moulin Rotatif Bas.

L'anille correspond à un fer plat solidarisé avec l'axe et encastré dans deux mortaises diamétrales aménagées en sous-face de la meule tournante. Elle transmet au *Catillus* le mouvement qu'elle reçoit de l'axe ou au contraire elle transmet à l'axe la rotation qu'elle reçoit de la meule alors lancée latéralement à la main ou par une bielle. L'anille implique le plus souvent l'existence d'un Œil Traversant sur la meule fixe, lorsqu'elle est entraînée par l'axe ou lorsqu'existe un dispositif de réglage d'écartement qui prolonge l'axe vers le bas et le cale dans une crapaudine. L'anille présente donc un lien avec le développement de l'axe mobile ainsi qu'avec l'entraînement par dessous et donc la motricité hydraulique. Mais elle n'implique pas automatiquement le caractère moteur de l'axe et l'entraînement par-dessous. Bien que l'Œil Traversant soit connu dès la période ancienne à Lattes et en Espagne, cette perforation se développe au cours de La Tène D et devient rapidement généralisée. L'allongement de l'axe lié à l'anille et à l'œil traversant, résolvait probablement l'essentiel des tendances du *Catillus* à osciller durant la rotation. L'anille non seulement ouvrait la voie à la motion par en-dessous (si tant est qu'elle n'en procédait pas directement) mais réduisait notablement le problème de l'oscillation. Ce progrès majeur est attribuable à l'Age du Fer et se généralisera en période romaine.

L'anille semble en effet apparaître au II^e s. aC, voire un peu avant, peut-être en zone méridionale, notamment sous la forme de l'anille par-dessus comme à Lattes, Ostie ou Puig Castellar. Elle apparaît généralisée en période Romaine sous la forme de l'anille par-dessous. Son développement semble relativement synchrone de l'affaiblissement et de la disparition de la plupart des mortaises d'emmanchement (sauf peut-être celles de type insertion d'anneau qui débouchent en surface du *Catillus*). L'anille sera, tout comme la Meule Plate, élue par le Moyen Age comme dispositif définitif et exclusif de l'entraînement de la meule tournante, ce qu'elle restera jusqu'à nos jours. Mais ce dispositif est en définitive très mal connu, fait l'objet d'une rare littérature et l'anille reste non tracée spatialement et chronologiquement.

_____ **L'**une des grandes questions posée à l'archéologie dans le domaine des moulins est celle de l'identification des meules à entraînement hydraulique et tout particulièrement celle de

l'apparition de la petite hydraulique, celle du moulin à rodet ou roue horizontale dépourvue d'engrenage contrairement à la grande hydraulique vitruvienne. La question se pose pour les meules d'Orvieto¹⁷ dans la mesure où 3 *Metae* détonnent par leur gabarit exceptionnel (1 pied ½, 2 pieds ainsi que 2 pieds ¼ ce dernier à forte conicité : 25°) tandis que 2 *Catilli* se font remarquer par leur forte conicité (32 et 39°). Bien que celle-ci ne soit peut-être pas définitive elle devait au moins atteindre les 25 ou 28° ce qui se détache du registre pratiqué à Orvieto (principalement 10-13° ainsi qu'un groupe sur 22°).

La question peut si l'on veut se poser en ces termes : si l'archéologie n'identifie pas les meules de la petite hydraulique c'est soit qu'elles n'existaient pas, soit qu'elles se confondent dans la masse des Meules Rotatives Basses dites manuelles (et en ce cas abusivement dites ainsi). L'existence du petit moulin paysan à roue horizontale est plus que probable à l'époque Romaine puisque cette technologie est simple, que la turbine est attestée et que le moulin de grand hydraulique existe au moins à l'époque augustéenne (Vitruve). L'interrogation porte donc plutôt sur l'ancienneté du moulin de petite hydraulique et sur son repérage archéologique soit à partir de vestiges immobiliers, sans doute largement en bois, soit à partir des meules. Notre contribution à cette problématique est modeste. Néanmoins nous avons attiré l'attention sur l'existence d'un gabarit 3 des œillards, celui de grande taille (12 à 16 cm soit ca. 8 dgt), qui semble présenter une association avec les meules hydrauliques <revoir>. Par ailleurs le petit groupe de fortes conicités, situées sur 31-34° voire 40-45° et repérées de manière régulière dans les assemblages ne peut-être associé à la motion hydraulique car il n'est pas lié à des *Metae* comportant un œil traversant. De plus il décroît fortement à partir du Ier s. aC, à rebours d'un développement attendu pour l'hydraulique. Si la forte conicité comme marqueur de l'entraînement hydraulique fonctionne plutôt pour le grand moulin hydraulique dont en effet les meules sont souvent de pente élevée, cette piste est en revanche décevante pour tracer le moulin paysan de petite hydraulique. Il faut donc chercher d'autres marqueurs pour le moulin à rodet.

L'œil traversant apparaît sur les *Metae* dès la période molinologique ancienne (Vè-IVè s aC). S'il peut traduire l'existence d'un simple système de hausse, il peut aussi correspondre à une motion hydraulique (axe tournant arrivant par en-dessous). Potentiellement le moulin hydraulique doté de MRB pourrait donc être ancien mais cependant l'œil traversant n'est pas un indicateur univoque. Même s'il est associé à des *Catilli* dotés d'une anille, cela ne suffit à apporter la preuve d'une motion hydraulique puisqu'il peut toujours s'agir d'un système de hausse. Cela dit à un moment donné il faut peut-être s'interroger sur le fait de toujours lire une association œil traversant/anille en terme de hausse et non de motion par en-dessous qu'elle soit mécanique ou hydraulique. Il y a là un risque de biais idéologique consistant à refuser systématiquement l'éventualité hydraulique pour privilégier un système de hausse dont au reste ni l'existence ni la nécessité en dehors d'une motion par le dessous ne sont prouvées. De prochaines recherches devront découvrir des indicateurs complémentaires susceptibles de trancher cette alternative gordienne.

Parmi les possibilités nous signalerons la piste que semble constituer la proportion de l'anille par rapport au diamètre. En effet, l'anille large de 31% de l'envergure de la meule (soit 5/16è) semble être la proportion préférentielle des meules modernes. Or ce standard se développe au cours de la période romaine (accompagné d'une seconde norme à 45% du diamètre soit 7/16è) au détriment du standard de l'anille à 25% qui caractérisait la période laténienne notamment dans un large triangle allant de la Seine à l'Alsace et la Suisse romande. L'anille à 25% n'est par ailleurs jamais présente sur les meules hydrauliques avérées. Le standard à 31% apparaît sur les plus anciennes anilles (Puig Castellar, Martigues) et totalise 27% en période laténienne contre 70% à l'anille large de 25%. Enfin il faudra bien considérer à un

¹⁷ Elle fait l'objet d'un développement de plusieurs pages dans BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI à paraître.

moment donné que l'anille ait pu naître des nécessités de l'entraînement hydraulique et en tirer toutes les conséquences en termes d'enquête à mener sur les meules rotatives.

_____ **A**près ces mutations et la mise au point du modèle continental qui va s'avérer durable, puis sa forte association avec l'anille au cours de La Tène D et au tournant de l'ère, la technologie des MRB va demeurer stable. A l'exception de la forte réduction des emmanchements, signe de modifications intervenant dans les modalités d'entraînement, le seul changement notable sera la croissance de l'envergure des meules amorcée au cours de l'Age du Fer mais surtout développée à la période Romaine. Cette augmentation est probablement en partie, et de manière limitée, due au passage de certaines fabrications d'un pied court (de type 27,5 ou 28,2) vers le pied impérial, le *Monetalis* de 29,56. Mais l'essentiel concerne le glissement des dimensions des Meules rotatives Basses depuis les gabarits centrés sur 20 doigts (34 à 37 cm) vers des gabarits de 24 doigts (1 pied ½) sinon vers 2 pieds (32 dgt). De fait, la moyenne, relativement stable (de 37 à 39 cm) sur les périodes 1 à 3B (soit du Vè au Ier s. aC) gagne 1,65 cm soit 1 dgt en période 3B (Ier aC.) puis grimpe de 6,53 cm (soit 3,5 dgt) en période romaine pour atteindre une moyenne de 45,55 cm soit le gabarit moyen de 1 pied ½. Sur 27 sites de notre corpus, 10 ont alors un diamètre moyen compris entre 47 et 59 cm situé ainsi au-delà de 1 pied ½ et atteignant parfois 2 pieds de ...moyenne. Or l'augmentation de surface de travail d'une meule entre 20 et 24 dgt est de 35% pendant que de 20 à 32 doigts elle est multipliée par 1 fois et demie.

L'époque romaine apparaît donc comme une période de stabilité technique au cours de laquelle les efforts ont principalement portés sur un important développement de la surface de travail des meules. De fait des Meules Rotatives Basses de fort gabarit, parfois jusqu'à 2 pieds ½ (ca. 70-72 cm) équipent régulièrement certains sites urbains ou ruraux à caractère « industriel » et les meules de 2 pieds deviennent fréquentes dans un nombre non négligeable de villes. Mais l'un des progrès encore invisible de la période Romaine pourrait également résider dans le développement, notamment en milieu rural, du moulin de petite hydraulique, en parallèle de la multiplication des moulins de grande hydraulique que l'on constate sur de grandes *villae*.

En définitive, la période Impériale est surtout celle des continuités techniques. On développe les héritages de l'Age du Fer que sont l'invention des Meules Rotatives Basses (Catalogne Vè s. aC), puis celle du modèle continental de *Catillus*, généralise aux deux derniers siècles avant notre ère, le rhabillage des meules naît aussi durant l'Age du Fer, enfin le moulin de Style Pompéien est défini au IVè s. aC. Au cours de la même période apparaissent deux inventions décisives et promises à un long avenir : le Moulin Plat dans l'aire Picarde, l'anille plus probablement dans le Midi. On voit mal les innovations romaines. Peut-être une certaine mécanisation de l'entraînement (bielle, roue actionnant plusieurs moulins), peut-être un essor ou un maintien du moulin à rodet. Assurément celui du moulin vitruvien et le développement du grand modèle de Style Pompéien (2 ou 3 pieds) qui atteint les standards de pression du Moyen Age. Par ailleurs si les ateliers meuliers de la période romaine ont potentialisé l'envergure des meules en réponse probable à une demande des utilisateurs, leurs meules ne dépasseront en revanche que très rarement le gabarit de 2 pieds et demi. Au cours de la période Impériale, aucune suprématie ni zone particulière de technicité meulière ne semble perceptible entre de grandes unités telles que la Gaule lyonnaise ou Belgique, la zone rhénane ou l'Ouest méditerranéen. Seule peut-être l'antériorité méditerranéenne dans l'invention du Moulin Rotatif Bas a pu, en créant une sorte de monopole culturel historique, jouer un rôle dans le maintien à long terme d'une culture de la conicité alors que la zone Belgique avait, vers 250 aC, inventé le Moulin Plat. Tapi entre Seine et Somme, ce moulin attendra pendant plus de mille ans son heure de gloire définitive.

_____ L'Antiquité paraît ainsi avoir buté sur un « mur de verre » technique représenté par l'antagonisme entre conicité et croissance du diamètre. En effet, dans l'Antiquité la croissance du diamètre entraîne celle de la hauteur, du simple fait de la conicité. Phénomène semble-t-il généralisé à l'époque carolingienne mais sans doute entrepris au cours de l'Antiquité Tardive ou Mérovingienne, l'abandon de la conicité a seul permis de libérer le diamètre. La voie a ainsi été ouverte pour une croissance à priori illimitée de l'envergure des meules, qui pèseront chacune plusieurs tonnes et atteindront couramment 1,50 m (5 pieds) au XVIII^e siècle et plus de 2 m (7 pieds) avant 1800 (BRUGGEMAN 2003).

Il fallait pour mouvoir ces monstres dont l'achat jusqu'au XIX^e siècle représentait un investissement très important¹⁸, des moteurs capables de développer une puissance énorme. Cette dernière a monté progressivement pour les moulins à vent mais il est vraisemblable que les moteurs hydrauliques étaient déjà en mesure depuis le Moyen Age de développer des puissances importantes. L'apparente prépondérance quantitative des moulins à eau par-dessous (roue entraînée par le bas par un fil d'eau), qui récupèrent une faible partie de l'énergie de l'eau courante et sont donc de faible rendement mécanique (ca. 30%), pourrait même indiquer que la puissance qui pouvait être obtenue a été bridée ou sous-exploitée. En effet, les techniques d'alimentation de la roue motrice par le haut (*overshot*) ou de poitrine étaient connues et pratiquées dans l'Antiquité Romaine comme le montre le niveau (ca. 1,50 m au dessus du sol) des roues hydrauliques de moulins comme Vareilles dans l'Hérault¹⁹. Étaient de même connues les techniques de la roue à augets ou caissons qui augmentent fortement le rendement. Une forte puissance était vraisemblablement développée dans les moulins en série de Barbegal²⁰ ou pour mouvoir les quelques meules de très grand format de l'Antiquité ou de l'Antiquité Tardive (2,5 à 3 pieds).



On peut ainsi envisager que ce qui a manqué à l'Antiquité n'est pas tant la capacité de puissance mécanique mais plutôt les meules pouvant aller avec de fortes puissances. La production meulière romaine ne pouvait pas atteindre le gabarit de 3 pieds car en raison de la conicité les meules montaient alors en épaisseur et plus vite encore en poids.

Aucune réitération de tâtonnements empiriques n'était en mesure de briser cette limitation technique et la relative stabilité de l'aire du Moulin Plat, de même que sa régression dans l'Ouest de la Gaule à la période Romaine, indique que le lien n'a pas alors été fait entre absence de conicité et potentiel de croissance du diamètre. La conicité élevée des meules hydrauliques (de type Barbegal ou Avenches) et le développement des *Catilli* à faces parallèles sont des réalisations qui tendent à nos yeux à prouver l'impasse technique liée à la conicité. Il n'est pas même certain à ce jour que des meules de très grand format (3 pieds) dépourvues de conicité aient réellement existé dans l'Antiquité²¹.

¹⁸ Voir par exemple les prix des meules de Quaix dans le Vercors aux XVI-XVIII^e s. (BELMONT 2001).

¹⁹ Fouilles autoroute A.75 1999-2000, conception A. Chartrain (SRA), direction St. Mauné (CNRS puis Inrap) : MAUNE, PAILLET, 2003.

²⁰ A cet égard les études entreprises par Ph. Leveau sur les roues de Barbegal et leur rapport avec les meules devraient apporter une très intéressante contribution.

²¹ Voir CHAP.14-2 notamment Fig.21 ainsi que ANNEXE.15. Notre corpus inventorie 2 exemplaires de conicité 2° (l'un à Bavay et l'autre à l'Agora d'Athènes tous deux de 71 cm de diamètre soit 2,5 pieds), suivent quelques meules de conicité 5° telles qu'à Beauvais et chez les Tongres (D.80 soit 2,75 pieds) enfin au Palatin à Rome (D.88 soit 3 pieds).

Aussi nous semble-t-il probable que le domaine des meules rotatives ait constitué dans l'Antiquité ce que B. Gilles appelait une « technique saturée »²², c'est-à-dire arrivée à ses limites et désormais sans espoir de développement en dehors d'une révolution ou d'un remplacement.

A partir de La Tène D, le recours antique à la proportion 2,5 ou 3H pour régler le rapport entre Diamètre et Hauteur, constitue une pratique d'Amincissement Relatif de l'épaisseur et donc du poids des meules. Il traduit une certaine sensibilité à la contradiction entre croissance du diamètre et conicité. Mais cette pratique demeure dans les limites indépassables de la conicité.

_____ **L'**abandon de la conicité et le choix exclusif des Meules Plates avant l'An Mil constitue un nouveau paradigme technique qui va porter tout le développement et l'histoire technique du moulin jusqu'à leur abandon dans la seconde moitié du XIX^e siècle en raison de leur remplacement par les cylindres. Il est nécessaire que l'archéologie entreprenne l'histoire de ce passage entre la technique molinologique de l'Antiquité et celle du Moyen Age.

A cet égard il serait par exemple intéressant de chercher à voir si la pratique empirique des meuliers n'a pas à un moment donné et dans quelques zones particulières opéré la relation entre meules plates et possibilité de croissance du diamètre. Cela pourrait être retracé à partir de l'identification d'un ou plusieurs foyers qui se marqueraient par une association entre des diamètres régulièrement de l'ordre de 2,5-3 pieds et une conicité 0°, puis par la diffusion spatiale de ce nouveau modèle dans le temps (entre 500-600 et 900 pC)²³ et sa vitesse de propagation. Il nous semble possible que le caractère tendanciellement constant de la pression des meules médiévales puisse traduire l'intervention du calcul. Dans ce sens on peut penser à la mise au point de la nouvelle technologie médiévale des meules dans des cabinets de calcul ou d'ingénierie mécanicienne intégrés peut-être dans certaines cours princières ou abbayes plutôt que dans des milieux urbains. Qu'elle procède de progrès du calcul ou d'une mise au point empirique progressive, la véritable révolution médiévale dans le domaine du moulin nous paraît être la libération du diamètre bien plus que la généralisation du moulin ou celle de la motorisation hydraulique, la première étant acquise dès le II^e siècle aC, et la seconde au plus tard en période Romaine.

_____ **L'**a question de la pression potentielle des meules que nous n'avons fait qu'effleurer mérite sans doute d'ultérieurs développements. Nous avons montré que les Meules Rotatives Basses sont indifférentes à la pression, voire la méconnaissent : celle-ci est basse (2.500 à 6.000 N/m²) et chute rapidement avec l'usure. La règle du Diamètre valant 2H n'opère pas un réel resserrement de la pression autour d'une valeur donnée, elle semble plus destinée à maîtriser la Hauteur Utile que la pression qu'elle tend d'ailleurs à faire augmenter vertigineusement. En revanche, le fait que les meules médiévales et modernes soient réglées sur une valeur centrale de la pression montre que ce paramètre était devenu déterminant dans le domaine de la technique molinologique et la fabrication des meules. L'adoption de la Meule Plate correspond probablement à la nécessité de maîtriser cette pression de 9.000 N/m² par une géométrie simple comme l'est celle du cylindre par rapport à celle de la meule conique (le calcul des surfaces et volumes d'un tronc de cône est complexe). Ce fait traduit vraisemblablement l'intervention du calcul dans la définition du nouveau modèle de meules, la géométrie se pliant désormais à un critère majeur, la pression. Atteindre cette pression standard restait toutefois réalisé comme dans l'Antiquité, à travers une pratique par approximation géométrique. En effet, comme le montrent autant les meules de Rhénanie en 1828 que celles des Flandres du XVIII^e s., hauteurs

²² GILLES 1975, p. 275.

²³ La zone Austrasie-Neustrie nous paraît un bon terrain pour une telle enquête.

et diamètres des meules n'observent pas strictement les valeurs que donnerait le calcul : ces paramètres et la pression qu'ils engendrent sont approchés à travers des longueurs (en pieds et pouces) qui contiennent la valeur réelle de calcul, tout comme dans notre exemple de l'Anille précédemment.

Toutefois l'Antiquité romaine n'a pas complètement ignoré la question de la pression. Il apparaît en effet, et cela est remarquable, que les Meules de Style Pompéien s'approchaient sensiblement de la norme de pression médiévale et moderne de 9.000 N/m^2 . L'Antiquité a donc mis au point un type de moulin qui contrairement aux MRB était réglé sur la pression, et ceci largement avant la période impériale puisque ce moulin apparaît dès le IV^e s. aC (exemplaires de l'épave d'El Sec). Il est difficile en l'état d'estimer si cette « médiévalité » du MSP a été atteinte par le calcul ou par ajustements empirique. La comparaison entre Modèles de Style Pompéien classique et Modèles Quasi-Pompéiens à travers le diagramme Diamètres / Pression n'apporte pas d'argument sur ce point et montre au contraire que les MQP cernent mieux encore la valeur centrale de 9.000 N/m^2 . Un argument en faveur d'une réalisation empirique se trouve sans doute dans le fait que cette pression est atteinte à travers des modèles coniques pour lesquels le calcul est nettement plus complexe que pour les Meules Plates. Toutefois peut-on écarter le fait que l'Antiquité aurait été capable de ce calcul complexe (qui au reste n'était peut-être pas parmi les plus compliqués auxquels elle avait à faire face) mais qu'elle aurait été intellectuellement enfermée dans la conicité ? Le domaine des meules antiques manifeste largement la prégnance d'une culture de la conicité, au point que l'aire du moulin plat n'a pas vraiment connu d'expansion en période Romaine et que ce type de moulin n'a jamais pénétré la zone méditerranéenne (sa présence nous paraît peu probable en Italie, y compris padane). Le Moulin Plat est pour l'essentiel resté cantonné dans sa zone d'invention gauloise d'entre Seine et Oise. La question demeure du pourquoi : servait-il à broyer des denrées radicalement différentes de celles introduites dans les MRB coniques de la zone méditerranéenne et du Sud de la Loire ? Toujours est-il que le Moulin Plat prendra, en quelques siècles, une revanche définitive sur son équivalent conique.

La mutation carolingienne qui introduit le Modèle Médiéval et Moderne (Meule Plate à Amincissement Relatif) s'opère à partir d'un substrat technique (le Moulin Plat) qui existait depuis 250/200 aC dans le Bassin Parisien entre Mayenne et Oise. Les données chronologiques et cartographiques montrent que cette technologie alors avant-gardiste a dû faire face aux progrès spatiaux du moulin conique d'essence méditerranéenne qui lui a fait perdre la zone Loire/Seine tout en ayant verrouillé solidement la zone Champagne/Alsace/Bourgogne restée sourde aux Meules Plates voisines. Cependant, en période Romaine, le Moulin Plat antique a pu se développer vers le Nord-Est en direction de l'Artois et des Flandres. Après avoir éliminé le modèle ancien en Dôme (présent de la Beauce à la Picardie à La Tène C) il a pu s'exporter en Grande Bretagne. Il est cependant resté inconnu des productions antiques de l'Eifel (où il apparaît au HMA sous la forme classique à collier que nous appelons le « modèle Dorestad »).

L'association entre la zone-cœur du MPL antique et celle de sa généralisation carolingienne semble donner raison à l'approche d'auteurs comme G. Raepsaet ou Fr. Sigaut qui ont régulièrement souligné le rôle moteur et innovant de la zone Belge (Oise/Escaut) dans le développement technique antique (notamment agriculture, attelages et véhicules). En l'état, les plus anciens exemplaires de Moulin Plat alto-médiéval sont représentés par le type Dorestad à anneau péri-oculaire et se localisent sur les bordures de la Mer du Nord (peut-être dès le Bas Empire si le *Catillus* de Chesters est réellement daté).

A travers ce mouvement alto-médiéval de passage au modèle plat du Moyen Age, dans une ambiance semble-t-il de raréfaction des meules²⁴, la disparition assez rapide (du Moulin de Style Pompéien globalement peut-être largement avancée vers le IV^e s. pC) pourrait correspondre au choix intervenu alors en faveur du Moulin Plat. Ce phénomène d'abandon de la conicité aurait surtout affecté le domaine des meules de grand gabarit et à entraînement hydraulique, celles qui justement en raison de leur fort diamètre portaient à son paroxysme la contradiction entre pression constante à 9.000 N/m² et conicité. A Rome, au Museo alle Terme, plusieurs exemples de *Metae* de Style Pompéien au cône évidé et percé d'un œil perforant destiné au passage d'un « gros fer » témoignent d'une adaptation hydraulique des grands modules de MSP peut-être au Bas Empire ou à l'époque Tardive. Parallèlement, à Rome également, des exemples comme les meules sub-plates du Janicule attribuables aux environs du V^e s. pC (BRUN 2007, WILSON 2003) pourraient attester de l'abandon de la conicité et de premiers exemples du futur modèle médiéval.



Diapositive sur les MRB d'Orvieto présentée au Colloque d'Almería, mars 2014 (A.CH)

Auteurs cités dans ce Chapitre : BELMONT 2001 – BRUGGEMAN 2003 – BRUN 2007 – BUONOPANE, CHARTRAIN, GUALTIERI *à paraître* – DEBERGE, COLLIS, DUNKLEY 2007 – GILLES 1975 – JACCOTTEY *et al.* 2017 – JODRY 2011 – MAUNE, PAILLET, 2003 – PEACOCK 2013 – PEYNE *et al.* 2019 – SAEZ 2013 – WILSON 2003 – CATON, *Re Rustica* – PLINE, *Hist. Nat.* –

²⁴ Elles sont en effet bien rares sur les nombreux établissements ruraux du Haut Moyen Age fouillés en France depuis les années 90.

BIBLIOGRAPHIE citée

ont été ajoutés en vert 39 titres correspondant à un fichier oublié lors de l'établissement de la bibliographie citée, ils renvoient principalement à des ensembles meuliers traités dans le corpus de comparaison

Ad, Sa'id, Frankel 2005 : AD (A.), AD (U.), SA'ID (A.A), FRANKEL (R.) – Water-mills with pompeian-type Millstones at Nahal Tanninim, *Israel Exploration Journal*, 55, 2, 2005, p. 156-171.

Alonso Martinez 1995 : ALONSO MARTINEZ (N.). – Les premières meules rotatives manuelles dans le Nord-Est de la péninsule ibérique. In : AMOURETTI, COMET 1995, p. 15-23

Alonso Martinez 1996 : ALONSO MARTINEZ (N.). – Els molins rotatius : origen i expansió al Mediterrani Occidental, *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 6, p. 183-198.

Alonso Martinez 1997 : ALONSO MARTINEZ (N.). – Origen y expansión del molino rotativo bajo en el Mediterráneo occidental. In : MEEKS, GARCIA 1997, p. 15-19.

Alonso Martinez 1999 : ALONSO MARTINEZ (N.). – *De la llavor a la Farina. Els processos agrícoles protohistòrics a la Catalunya occidental*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, 4, Lattes.

Alonso Martinez 2002 : ALONSO MARTINEZ (N.). – Le moulin rotatif manuel au nord-est de la Péninsule ibérique : une innovation technique dans le contexte domestique de la mouture des céréales. In: PROCOPIOU, TREUIL 2002a - Moudre & Broyer II, p. 111-127.

Alonso, Frankel 2017 : ALONSO (N.), FRANKEL (R.) – A survey of Ancient Milling Systems in the Mediterranean. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), FRONTEAU (G.), LEPAREUX-COUTURIER (S.) eds. – *Les meules à grain du Néolithique à l'époque médiévale : technique, culture et diffusion*. Actes du colloque international de Reims, p. 461-478.

Alonso, Pérez 2014 : ALONSO MARTINEZ (N.), PEREZ JORDA (G.) – Molins rotatius de petit format, de gran format i espais de producció en la cultura ibèrica de l'est peninsular. Small rotary querns, large rotatory querns and areas of production in the Iberian Culture of the east of the Iberian Peninsula, *Rev. Arq. Ponent*, 24, 2014, p. 239-255.

Alonso Martinez, Pérez, Lopez 2016 : ALONSO MARTINEZ (N.), LOPEZ (D.), PEREZ (G.) – Les moulins rotatifs sur support dans le monde ibérique : caractéristiques et utilisation. In : JACCOTTEY, ROLLIER 2016, p. 597-617.

Alonso Martìnez et al. 2011 : ALONSO MARTINEZ (N.). *et al.* – Le passage des meules va-et-vient aux meules rotatives en France. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), JACCOTTEY (L.), JODRY (Fl.), BLANCHARD (J.-L.) eds. p. 405-419.

Alonso Martìnez et al. 2011 : ALONSO MARTINEZ (N.), AULINAS (M.), GARCIA (M.-T.) – Manufacturing rotary querns in the 4th century fortified settlement of Els Vilars (Arbeca, Catalonia, Spain). In : WILLIAMS (D.), PEACOCK (D.) eds., p. 55 - 65.

Alonso et al. 2014 : ALONSO (N.), CANTERE (F. J.), JORNET (R.), LOPEZ (D.), MONTES (E.), PRATS (G.) VALENZUELA (S.) – Milling wheat and barley with rotary querns : the *Ouarten* women (Dahmani, Kef, Tunisia). In : SELSING (L.) ed. - *Seen through a millstone*, AmS-Skrifter, 24, p. 11-30.

Altinbilek et al. 2001 : ALTINBILEK (C.), COSKUNSU (G.), DEDE (Y.), IOINO (M. R.), LEMORINI (C.), ÖZDOGAN (A.) – drills from 9ayönü. A combination of ethnographic, experimental and use-wear analysis. In : Caneva (I.), Lemirini (C.), Zampetti (D), Biaggi (P.) eds. – beyond tools. SENEPSE, 9, 2001, Berlin, p. 137-143.

Amouretti 1986 : AMOURETTI (M.-Cl.). – *Le pain et l'huile dans la Grèce ancienne, de l'aire au moulin*. Paris, Les Belles Lettres, 1986. 322 p., 57 pl.

Amouretti, Comet 1993 : AMOURETTI (M.-Cl.), COMET (G.) – *Hommes et techniques de l'Antiquité à la Renaissance*. Paris, Colin, 1993, 186 p.

Amouretti, Comet 1995 : AMOURETTI (M.-Cl.), COMET (G.) – *La transmission des connaissances techniques* : tables rondes Aix-en-Provence, avril-mai 1994, (Cahier d'histoire des techniques, 3) Aix-en-Provence, 1995, p. 99-109.

Amouric 1984 : AMOURIC (H.) – *Les moulins et meuneries en Basse-provence occidentale du Moyen Age à l'ère industrielle*. Thèse 3^e cycle, Université d'Aix-en-Provence, 1984, 400 p.

Amouric 1991 : AMOURIC (H.) – Carrières de meules et approvisionnement de la Provence, au Moyen Âge et à l'époque moderne. In : BENOIT (P.), LORENZ (J.) eds. – *Carrières et Constructions en France et dans les pays limitrophes*. Actes du 115^e congrès national des Sociétés Savantes, Section d'Histoire des sciences et techniques, Avignon, 1990, Paris, éditions du CTHS, 1991, 490 p., p. 443-464.

Amouric 1997 : AMOURIC (H.) – L'anille et les meules. In : Garcia (D.), Meeks (D.) eds. *Techniques et économie antiques et médiévales. Le temps de l'Innovation*, Paris, Errance, p. 39-47.

Amouric et al. 2000 : AMOURIC (H.), THERNOT (R.), VACCA-GOUTOULI (M.), BRUNETON (H.) – Un moulin à turbine de la fin de l'Antiquité : La Calade du Castellet (Fontvieille, B. du-Rhône). In : P. LEVEAU, J.-P. SAQUET(eds) - Milieu et sociétés dans la vallée des Baux. Études présentées au colloque de Mouriès. *Revue Archéologique de la Narbonnaise*, supplément 31, p. 261-73. Montpellier, Éditions RAN.

Amraoui 2013 : AMRAOUI (T.). – L'artisanat dans les cités antiques de l'Algérie. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon II

Anderson 2013 : ANDERSON (T. J.) – *Les carrières de meules du sud de la péninsule ibérique, de la protohistoire à l'époque moderne*. Thèse Université de Grenoble, dir. A. Belmont, soutenue 11. Dec. 2013.

Anderson, Villet, Serneels 1999 : ANDERSON (T. J.), VILLET (D.), SERNEELS (V.) – La fabrication des meules en grès coquillier sur le site gallo-romain de Châbles)Les Saux (FR), *Archéologie Suisse*, 22, 4, 1999, p. 182-189.

Anderson et al. 2002 : ANDERSON (T. J.), VILLET (D.), DOSWALD (C.) – Production and distribution of Iron Age and Roman hand-mills in Switzerland. In : LAZZARINI (L.) ED. – *ASMOSIA VI, Interdisciplinary studies on ancient stone, Proceedings of the sixth international conference of the Association for the study of marble and other stones in Antiquity*, Venice, June 15-18, 2000, Padova, p. 79-84.

Anderson et al. 2004 : ANDERSON (T. J.), CASTELLA (D.), DOSWALD (C.), VILLET (D.) – Meules à bras et meules hydrauliques en Suisse romaine : répartition et pétrographie. *Minaria Helvetica*, 24, 2004, p. 3 -16.

Anderson et al. 2016 : ANDERSON (T.), JACCOTTEY (L.), SCARROW (J. H.), CAMBESES (AITOR.) – Premier bilan sur les moulins pompéiens dans la Péninsule Ibérique. In : JACCOTTEY, ROLLIER 2016, p. 619-632.

Anderson et al. 2003 : ANDERSON (T.), AGUSTONI (C.), DUVAUCHELLE (A.), SERNEELS (V.), CASTELLA (D.) – *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie gallo-romaine à Châbles (FR)*. Fribourg, 2003. 391 p. (Archéologie fribourgeoise ; 19).

Andreau 1995 : ANDREAU (J.) – 20 ans après *L'Economie Antique* de Moses I. Finley, *Annales HSS*, 5, 1995, p. 947-960.

Andreau 2005 : ANDREAU (J.) – Remarques sur les intérêts patrimoniaux de l'élite romaine, in : Les patrimoines sénatoriaux (dossier), *Cah. Centre G. Glotz*, XVI, p. 57-77.

Andreau 2010 : ANDREAU (J.) – *L'économie du monde romain*. Paris, Ellipses, 281 p.

Antoine 2002 : ANTOINE (P.) – Les loess en France et dans le Nord-Ouest Européen, *Revue Française de Géotechnique*, 99, Dec. 2002, p. 3-21.

Antonelli, Lazzarini 2010 : ANTONELLI (F.), LAZZARINI (L.). – Mediterranean trade of the most widespread Roman volcanic millstones from Italy and petrochemical markers of their raw materials. *Journal of Archaeological Science*, 37, 2010, p. 2081-2092.

Antonelli, Lazzarini 2012 : ANTONELLI (F.), LAZZARINI (L.). – The first archaeometric Characterization of roman Millstones found in the Aquileia archaeological site (Udine, Italy). *Archaeometry*, 54, 1, 2012, p. 1-17.

Antonelli et al. 2001 : ANTONELLI (F.), NAPPI (G.), LAZZARINI (L.). – Roman millstones from Orvieto (Italy) : petrographic and geochemical data for a new archaeometric contribution. *Archaeometry*, t. 43-2. 2001, p. 167-189.

Antonelli et al. 2014 : ANTONELLI (F.), COLUMBU (St.), DE VOS RAAIJMAKERS (M.), ANDREOLI (M.) –An archaeometric contribution to the study of ancient millstones from the Mulargia area (Sardinia, Italy) through new analytical data on volcanic raw material and archaeological items from hellenistic and Roman North Africa, *Journal of Archaeological Sciences*, 50, 2014, p. 243-261.

Antonelli, Santi et al. 2003 : SANTI (P.), ANTONELLI (F.), RENZULLI (A.), PENSABENE (P.)– Leucite phonolite millstones from the Orvieto production centre: new data and insights into the Roman trade, *Per. Mineral.*, 73, 2003, p. 57-69.

Archetti 2015 : ARCHETTI (G.) ed. – *La Civiltà del Pane. Storia, tecniche e simboli dal Mediterraneo all'Atlantico*. Atti del convegno internazionale di Brescia (MilanExpo Dicembre 2014), Milano, 2015, Centro Studi Longobardi, suppl. *Brixia*, 3 vol.

Aris 1963 : ARIS (R.) – L'industrie du basalte dans l'Antiquité à Agde, les fabriques de meules, les carrières et la ville légendaire d'Embonne. In : *Actes des XXXVIè congrès de la Fédération Historique du Languedoc méditerranéen et du Roussillon* (Lodève, 1963), s.D. p. 129-135.

Aris 1974 : ARIS (R.) – Le site pré-romain d'Embonne : une antique fabrique de meules sous la nouvelle ville du Cap d'Agde, *Etudes sur Pézenas et sa région*, V,1, 1974, p. 3-18.

Arnaud 1993 : ARNAUD (P.) – De la durée à la distance : l'évaluation des distances maritimes dans le monde gréco-romain, *Histoire & Mesure*, 1993, 8, 3, p. 225-247.

Arribas 1987 : ARRIBAS (A.) – El Sec : ceràmica comùn, bronces, molinos, varia. In : Grecs et Ibères au IVè siècle avant J.-C. Commerce et iconographie. Actes de la Table Ronde de Bordeaux (16-18 décembre 1986), *Revue des Etudes Anciennes*, 89, 3-4, 1987, p. 93-116.

Arribas et al. 1987 : ARRIBAS (A.), TRIAS (G.), CERDÀ (D.), DE HOZ (J.) – *El barco de El Sec (Calvià, Mallorca). Estudio de los materiales*. Ajuntament de Calvià, Universitat de les illes Balears. 655 p. (moulins p. 563-588).

Arseguel, Petitjean 1995 : ARSEGUEL (A.), PETITJEAN (A.) - *Étude théorique et pratique de meules antiques*. Rapport de stage de l'École Centrale de Paris, dir. P. Evesque, dactylographié.

Asensio et al. 2001 : ASENSIO (D.), BELARTE (M. C.), SANMARTI (J.), SANTACANA (J.) – Les meules rotatives du site ibérique d'Alorda Park (Calafell, Baix Penedès, Tarragona), *Pyrenae*, 31-32, 2000-2001, p. 57-73.

Augier et al. 2013 : AUGIER (L.), BALZER (I.), BARDEL (D.), DEFFRESSIGNE (S.), BERTRAND (E.), FLEISCHER (F.), HOPERT-HAGMANN (S.), LANDOLT (M.), MENNESSIER-JOUANNET (CHR.), MEGE (CL.), ROTH-ZEHNER (M.), SAUREL (M.), TAPPERT (CL.), THIERRIN-MICHAEL (G.), TIKONOFF (N.) – La céramique façonnée au tour : témoin privilégié de la diffusion des techniques au Hallstatt D2-D3 et à La Tène A-B1. In : COLIN (A.), VERDIN (FL.) eds. – *L'Age du fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'Age du Fer*, Actes du 35è Colloque international de l'AFEAF (Bordeaux, 2-5 Juin 2011), p. 563-594.

Àvila 2013 : ÀVILA (J. J.) – En torno a los tornos. a propòsito de una piedra de torno de alfarero de la I Edad del Hierro conservada en la Colección de prehistoria de la Comarca de Mérida (Badajoz). In : BERNAL (D.), JUAN (L. C.), BUSTAMANTE (M.), DÍAZ (J. J.), SÀEZ (A. M.) eds. – *Hornos, talleres y focos de producción alfarera en Hispania*. Tomo I, Univ. de Cádiz, 2013, p. 187-198.

Baatz 1995 : BAATZ (D.) – Die Wassermühle bei Vitruv X, 5, 2. *Saalburg Jahrbuch*, 48, p. 5-18.

Baatz 2010 : BAATZ (D.) – Ein Handmühlenläufer aus dem Limeskastell Mainhardt (Kreis Schwäbisch Hall). *Fundberichte aus Baden-Württemberg*, 31, 2010, p. 607-614.

Baatz 2015 : BAATZ (D.) – Mühlsteine. In : BECKER (A.), RASBACH (G.) eds. – *Waldgirmes. Die Ausgrabungen in der spätaugusteischen Siedlung von Lahnau-Waldgirmes (1993 -2009). I Befunde und Funde*. Darmstadt, 2015, p. 297-308.

Baratta 2016 : BARATTA (GIULIA.) – Sulle pubbliche misure di *TVFICVM*, *Picus*, XXXII, 2016, p. 67-78.

Barboff et al. 2003 : BARBOFF (M.), SIGAUT (FR.), GRIFFIN (C.), KREMER (R.) eds. – *Meules à grains*, Actes du colloque international de la Ferté-sous-Jouarre 16-19 Mai 2002, Paris, Ibis, 2003, 472 p.

Barthélémy, Dubois 2007 : BARTHELEMY (D.), DUBOIS (ST.) – Métrologie antique : une tige métallique graduée découverte à Mâcon (Saône-et-Loire), *R.A.E*, 56, p. 371-379.

Baug, Oystein Jansen 2014 : BAUG (I.), ØYSTEIN JANSEN (J.) – Did the North Atlantic region constitute a market for quernstones from Norway during the Viking Age and the Middle Ages ? In : SELSING 2014 - *Seen through a millstone*, proceedings of the Bergen Colloquium, *AmS-Skrifter* 24, p. 245-255.

Bauvais 2008 : BAUVAIS (S.) – Du prestige à la proto-industrie : évolution de spratiques sidérurgiques au Second Age du Fer dans le Nord du Bassin Parisien, *The Arkeotek Journal*, 2, 4, p. (online www.thearkeotekjournal.org)

Belmont 2001 : BELMONT (A.) – La pierre et le pain. Les carrières de meules de moulin de Quaix-en-Chartreuse (XVIe-XVIIIe siècle), *Histoire & Sociétés Rurales*, 2/2001, Vol. 16, p. 45-79.

Beltrame, Boetto 1997 : BELTRAME (C.), BOETTO (G.) – Macine da relitti, *Arch. Subacq.*, 2, p. 167 - 196.

Benoît 1863 : BENOIT (PHILIPPE. MARTIN. NARCISSE.) – *Le guide du meunier et du constructeur de moulins*. Paris, Mallet-Bachelier, 1863, 2 vol., 918 p. XXII Pl.

- Tome 1 *Construction des moulins*, 585 p., p. 1-586.

- Tome 2 *Meunerie*, 333p. (p. 587-891), XXII PL.

Benoît 1998 : BENOIT (P.) – Au four et au moulin : innovation et conjoncture. In : *L'innovation technique au Moyen Age*. Actes du VIè congrès international d'archéologie médiévale (1-5 Octobre 1996, Dijon - Mont Beuvray - Chenôve - Le Creusot-Montbard), Caen, S.A.M., 1998, actes des congrès S.A.M, 6, p. 293-301.

Benoît 2013 : BENOIT (P.) – *Remarques sur les fouilles de moulins à eau médiévaux en Europe*. 2013, 33 p.

Bernal Casasola, Sàez Romero 2018 : BÉRNAL CASOSOLA (D.), SAEZ ROMERO (A. M.) – Capítulo 21 : Molinos rotatorios en las fábricas de *Tradvcta*. Estudio arqueológico y consideraciones sobre la producción de derivados piscícolas, p. 399-424. In : BÉRNAL CASOSOLA (DARÌO), JIMÉNEZ-CAMINO ALVAREZ (Rafael.) eds. – *Las cetariae de Ivlia Tradvcta. Resultados de las excavaciones arqueológicas en la calle Sans Nicolàs de Algeciras (2001-2006)*. Univesidad de Cadiz, Monografias Historia y Arte n.48, 2018, 795 p.

Bernard 2014 : BERNARD (S. G.) – Ballast, Mining, and Stone Cargoes in *The Lex Portorii Asiae*, *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, 191, 2014, p. 182–184.

Bernon 1987 : BERNON (A.) – Les ateliers de taille de meules à bras de Saint-Christophe-Le-Chaudry et d'Ardenais. *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, 91, 1987, p. 8 -14.

Bertrandy 1987 : BERTRANDY (FRANÇOIS.) – Remarques sur le commerce des bêtes sauvages entre l'Afrique du Nord et l'Italie (II^e siècle av. J.-C., IV^e siècle apr. J.-C.), *MEFRA*, 1987, 99-1, P. 211-241.

Bessac 1996 : BESSAC (J.-C.) – *La Pierre en Gaule Narbonnaise et les carrières du Bois des Lens (Nîmes) : Histoire, Archéologie, ethnographie et techniques*. Suppl. 16 Journal of Roman Archaeology (JRA), Ann Arbor (Michigan), 1996, 333 p.

Bessac 2002 : BESSAC (J.-C.) – Les carrières du Bois des Lens (Gard), *Gallia*, 59, 2002, p. 29-51

Binaco 2010 : BINACO (P.) – Nuove acquisizioni dall'area sud-occidentale del territorio orvietano, *Archaeologiae*, V, 1-2 2007, Pisa – Roma 2010, p. 11-41.

Bizzarri 2005 : BIZZARRI (CL.) – Da emergenza a risorsa : il caso di Orvieto. In : **Riera 2005** : RIERA (I.) – “*In binos actvs lvmīna*”. *Rivista di studi e ricerche sull'idraulica storica e la storia della tecnica*. Atti del Convegno Internazionale di Studi. Archeologia e Società. L'Idraulica degli Antichi fra passato e futuro (Narni, Rocca dell'Albornoz, 18-20 Ottobre 2001), La Spezia, Agorà Edizioni, 2005, 255 p.

Bizzarri, Binaco 2015 : BIZZARRI (CL.), BINACO (P.) – Lo scavo nella cavità n. 254 in Via Ripa Medici, Orvieto. In : DELLA FINA (G.) ed. – *La delimitazione dello spazio funerario in Italia dalla protostoria all'età arcaica. Recinti, circoli, tumuli*. Atti del XXII Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria, Orvieto, Quasar, 2015, Annali della Fondazione per il Museo “Claudio Faina”, XXII, p. 515-534

Bloch 1935 : BLOCH (M.) - Avènement et conquêtes du moulin à eau, *Annales*, VII, 1935, p. 538-563.

Bloch 1947 : BLOCH (R.) – Volsinies étrusque. Essai historique et topographique, *Mélanges d'archéologie et d'histoire*, 59, 1947, p. 9-39.

Bockmeyer 2016 : BOCKMEYER (S.) – The earliest evidence of wheels and wagons in Neolithic Central Europe and the Early Bronze Age of the northern Pontic areas (3500 - 2200 BC). In : SABA '16 wird von den Archäologielehrstühlen der Otto-Friedrich-Universität unterstützt und durch Spendent finanziert, p. 5-10, M.A thesis.

Boissinot 2003 : BOISSINOT (PH.) – Métrologie de l'arboriculture antique dans le Midi de la France. In : FAVORY (Fr.) ed. – *Métrologie agraire antique et médiévale*. Actes de la Table ronde d'Avignon (Sept. 1998), PUFC, Besançon, 2003, p. 37-57.

Bombardieri 2010 : BOMBARDIERI (L.) – *Pietre da macina, macine per mulini. Definizione e sviluppo delle tecniche per la macinazione nell'area del Vicino Oriente e del Mediterraneo orientale antico*. Oxford, archeopress, BAR IS. 2055), 2010, 571 p.

Bonaventure, Féliu 2012 : BONAVENTURE (B.), FELIU (CL.) – Quelques ensembles de mobilier de l'oppidum du Fossé des Pandours (Col de Saverne, Bas-Rhin). Contribution à la chronologie du site. In : BARRAL, FICHTL eds. – *Regards sur la chronologie de la fin de l'Age du Fer (III^e-ier siècle av. J.-C.) en gaule non méditerranéenne*. Actes de la table-ronde tenue les 15-17 Octobre 2007 à Bibracte « Chronologie de la fin de l'Age du Fer dans l'Est de la France et les régions voisines », coll. Bibracte, 22, Bibracte, 2012, Annexe 14 p.

Boyer, Buchsenschutz 2001 : BOYER (FR.), BUCHSENSCHUTZ (O.) – Les meules rotatives manuelles, in BERTHAUD, G. (dir.), *Mazières-en-Mauges gallo-romain (Maine-et-Loire), Un quartier à vocation artisanale et domestique*, Angers, ARDA-AFAN, p. 171-185.

Boyer, Jouin 2001 : BOYER (FR.), JOUIN (MARTINE.) – Les meules rotatives antiques du vicus de Vertault. Morphologie, lithologie et tracéologie du corpus conservé au Musée de Châtillon-sur-Seine. Bilan des mentions dans les fouilles anciennes et confrontation avec la corpus étudié, *Bull. Arch. et Hist. du Châtillonnais*, 6^e série, n° 4, p. 27-50.

Boyer et al. 2006 : BOYER (FR.), BUCHSENSCHUTZ (O.), HAMON (C.), JACCOTTEY (L.), LAGADEC (J.-P.), MILLEVILLE (A.), THOMAS (E.), TRIBOULOT (B.) JOUIN – Production et diffusion des meules du Néolithique à L'Antiquité : quelques exemples français. In : BELMONT A., MANGARTZ Fr. (eds.) 2006 – *Les meulières.*, p. 5-13 (+ pl. p. 229).

- Brahem 2011:** BRAHEM (J.-L.) – *Histoires de géomètres et de géométrie*. Paris, Le Pommier, 286 p.
- Bridger 1984 :** BRIDGER (C. J.) – The *Pes monetalis* and the *Pes Drusianus* in Xanten, *Britannia*, 15, p. 85-98.
- Bruggeman 2003 :** BRUGGEMAN (J.) – Les meules en Flandres d’après les comptes et prisées du Moyen Age à la Révolution, p. 231-238. In : BARBOFF (M.), SIGAUT (FR.), GRIFFIN (C.), KREMER (R.) eds. – *Meules à grains*, Actes du colloque international de la Ferté-sous-Jouarre 16-19 Mai 2002, Paris, Ibis, 2003, 472 p.
- Brun 2005 :** BRUN (J.-P.) – *Archéologie du vin et de l’huile en Gaule romaine*. Paris, Errance, 271 p.
- Brun, Fiches 2007 :** BRUN (J.-P.), FICHES (J.-L.), dir. – *Énergie hydraulique et machines élévatrices d’eau durant l’Antiquité* : actes du colloque international du Pont-du-Gard, 2006. Naples, 2007, (Collection du Centre Jean Bérard ; 27).
- Brun 2007 :** BRUN (J.-P.) – Les moulins hydrauliques en Italie romaine. In : BRUN (J.-P.), FICHES (J.-L.), dir. – *Énergie hydraulique et machines élévatrices d’eau durant l’Antiquité* : actes du colloque international du Pont-du-Gard, 2006. Naples, 2007, (Collection du Centre Jean Bérard ; 27), p. 201-214.
- Brun 2007 :** BRUN (P.) – Une période de transition majeure en Europe : de la fin du IV^e au début du II^e s. av. J.-C. (La Tène B2 et C). In : MENNESSIER-JOUANNET (Chr.), ADAM (A.-M.), MILCENT (P.-Y.) – La Gaule dans son contexte européen aux IV^e et III^e siècles avant notre ère, Actes du XXVII^e colloque international de l’AFAEF (Clermont-Ferrand, 29 Mai-1er Juin 2003), Lattes, ADAL, M.A.M n°..., p. 377-384.
- Brun 2012:** BRUN (J.-P.) – Los usos antiguos de los productos de la vinya y el olivo y sus implicaciones arqueològicas. In: NOGUERA CELDRÀN, ANTOLINOS MARÌN 2012, p. 19-35.
- Brun 2016 :** BRUN (J.-P.) – Les moulins hydrauliques dans l’Antiquité. In : JACCOTTEY, ROLLIER eds. - *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l’époque médiévale*, Actes du colloque de Lons-le-Saunier (2-5 novembre 2011), Besançon, PUFC, 2016, p. 21-50.
- Brun et al. 1993 :** BRUN (J.-P.), CONGES (G.), PASQUALINI (M.) (dir.) – *Les fouilles de Taradeau (Var) : Le Fort et L’Ormeau, Supplément à la Revue archéologique de Narbonnaise*, Paris, CNRS, 1993, 283 p.
- Brun 1998 :** BRUN (J.-P.) — Une parfumerie romaine sur le forum de Paestum, *MEFRA*, 110, 1, 1998, p. 419-472.
- Brun, Borréani 1998 :** BRUN (J.-P.), - Deux moulins hydrauliques du Haut Empire romain dans le département du Var (*villae* des Mesclans à la Crau et des Laurons / St. Pierre-aux-Arceaux-sur-Argens), *Gallia*, 55, 1998, p. 279-326.
- Brun, Leguilloux 2014 :** BRUN (J.-P.), LEGUILLOUX (M.) – Les installations artisanales romaines de *Saepinum*. Tannerie et moulin hydraulique. Naples, Collection Centre J. Bérard n° 34, 2014, 182 p.
- Brunetière 2016 :** BRUNETIERE (N.) – *Introduction à la Tribologie*. Institut Pprime, Futuroscope, 2016, cours de l’Université de Poitiers, 118 p.
- Bruschetti 1999a :** BRUSCHETTI (P.), FERUGLIO (A.E.) (a cura di) – *Todi-Orvieto*, Quattroemme Editore, Perugia, 1999.
- Bruschetti 1999b :** BRUSCHETTI (P.) – *Castel Giorgio. Il territorio dell’Alfina tra Orvieto e Bolsena*. Perugia, 1999.
- Bruschetti 1999c :** BRUSCHETTI (P.) – Indagini di scavo a Campo della Fiera presso Orvieto. *Ann. Fauna*, 6, 1999, P. 159-181.
- Buchsenschutz 1994 :** BUCHSENSCHUTZ (O.) – *Le village celtique des Arènes à Leroux (Indre). Description du Mobilier. Levroux 3. Supplément à la RACF n° 10, Tours, 1994.*

Buchsenschutz 2014 : BUCHSENSCHUTZ (O.) – Une enquête sur la production et la diffusion des meules de l'Age du Fer en France : méthodologie et premiers résultats. In : HORNING (Sabine.) ed. – *Produktion - Distribution - Ökonomie. Siedlungs- und Wirtschaftsmuster der Latènezeit*. Akten des internationalen Kolloquiums in Otzenhausen (28-30 Oktober 2011), Bonn, 2014, p. 107-115.

Buchsenschutz, Boyer 1999 : BUCHSENSCHUTZ (O.), BOYER (FR.) – Les meules. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), GUILLAUMET (J.-P.), RALSTON (I.) eds. – Les remparts de Bibracte. Recherches récentes sur la Porte du Rebut et le tracé des fortifications. Glux-en-Glenne, Centre archéologique Européen du Mont Beuvray, 1999, p. 212-216.

Buchsenschutz et al. 2011 : BUCHSENSCHUTZ (O.), JACCOTTEY (L.), JODRY (FL.), BLANCHARD (J.-L.) eds. – *Évolution typologique et technique des meules du Néolithique à l'an mille*. Actes des IIIèmes rencontres archéologiques de l'Archéosite gaulois, Table ronde de Saint-Julien-sur-Garonne (Fr.) du 2 au 4 octobre 2009, Aquitania, Fédération Aquitania, Archéosite gaulois, Groupe Meules, Bordeaux, 2011, 481 p.

Buchsenschutz et al. 2011 : BUCHSENSCHUTZ (O.), MILLEVILLE (A.), TRIBOULOT (B.) – Méthodes et objectifs de la base de données sur les meules. In : BUCHSENSCHUTZ et al. 2011, p. 69 - 80.

Buffone et al. 1999 : BUFFONE (L.), LORENZONI (S.), PALLARA (M.), ZANETTIN (E.) – *Le macine rotatorie in rocce vulcaniche di Pompei*, Roma, Riv.Stud. Pomp, 10, 1999, p. 117-130

Buisson, Olive 2009 : BUISSON (A.), OLIVE (G.) – L'exploitation des meules de rhyolite de l'Estérel, problèmes et méthodes, CTHS,

Buonopane 2015 : BUONOPANE (A.) – I cereali nel mondo romano. Le fonti letterarie. In : ARCHETTI (G.) ed. 2015, p. 67-82.

Buonopane, Chartrain, Gualtieri (à paraître) : BUONOPANE (A.) , CHARTRAIN (A.) , GUALTIERI (M.) – Orvieto, centre producteur de meules dans l'Antiquité : premières données issues du programme ORViAMM. à paraître, éditions Mergoïl, volume d'hommages, 42 p.

Buxo, Pons 1998 : BUXO (R. I.), PONS (E.) – *Els productes alimentaris d'origen vegetal a l'edat del ferro a l'Europa occidental : de la producció al consum*. séri monografica del museu d'arqueologia de Catalunya-Girona, Comptes-rendus du XXIIè colloqui international pour l'étude de l'Age du Fer, Girona, 21-24 mai 1998

Buxo et al. 2010 : BUXÒ (R.), Principal (J.), ALONSO (N.), BELARTE (M.-C.), COLOMINAS (L.), LÒPEZ (D.), PONS (E.), ROVIRA (M.-C.), SANA (M.), VALENZUELA (S.) – Pràcticas alimentarias en la Edad del Hierro en Catalunya. In : MATA PARRENO (C.), PÉREZ JORDÀ (G.), VIVES-FERRÀNDIZ SÀANCHEZ (J.) eds. – *De la cuina a la taula*. IV Reunió d'economia en el primer Mil·lenni aC., Saguntum extra, 9, Univestitat de Valencia, 2010, p. 81-98.

Cabezuelo 2006 : CABEZUELO (U.) – Le site de la ZAC des « Meules » à Vic-le-Comte (Puy-de-Dôme). In : BELMONT, MANGARTZ 2006, p. 109-114.

Cabezuelo et al. 2000 : CABEZUELO (U.), CONNIER (Y.), GAUTHIER (F.) – Les carrières de meules de moulins dans la région de Vic-le-Comte : premier état de la recherche, Revue d'Auvergne, 114, (554-555), 2000, p. 184-200.

Camporeale 1985 : CAMPOREALE (G.) – *Volsinii e la dodecapoli etrusca. Storia del problema*, in *VOLSINII* 1985, p. 11-36.

Camporeale 2014 : CAMPOREALE (St.) – Le unità di misura nella progettazione architettonica in *Mauretania Tingitana*, DHA, suppl.12, 2014, p. 79-100.

Camporeale, Mascione 2010 : CAMPOREALE (St.), MASCIONE (C.) – Dalle cave ai cantieri: estrazione e impiego della calcarenite a Populonia tra periodo etrusco e romano. In : CAMPOREALE (St.), DESSALES (H.), PIZZO (A.) eds – *Arqueologia de la construcció II – Los procesos constructivos en el mundo romano: Italia*

y provincias orientales, colloq. Certosa di Pontignano, Siena 13-15 de Novembre de 2008, *Anejos de AEspA*, LVII, p. 153- 172, bibliografia p. 595-643.

Carelli, Kresten 1997 : CARELLI (P.), KRESTEN (P.) – Give us this Day our daily Bread, *Acta Arcaeologica*, 68, 1997, 109-137.

Castella, Anderson 2004 : CASTELLA (D.), ANDERSON (TH.) – Les meules du musée Romain d’Avenches. *Bull. Association Pro Aventico*, 46, 2004, p. 115-170.

Castello 2018 : CASTELLO (P.) – Le cave di pietre da macina in cloritoscisto granatifero di St. Marcel (Valle d’Aosta – Italia), *Rev.aldotaine d’Hist. Nat.*, 72, 2018, p. 17-44.

Castellvi et al. 2011 : CASTELLVI (G.), NANTET (E.), DESCAMPS (C.), SALVAT (M.) – La corniche romaine, le lest des épaves de la Redoute Béar à Port-Vendres (Pyrénées Orientales). In : WATTEAU (F.) ed. – *Profils d’objets. Approches d’anthropologues et d’archéologues*. VII^e colloque annuel, international et interdisciplinaires de la Maison René Ginouvès (16-18 juin 2010), Paris, M.A.E., 2011, p. 201-207.

Canzanella 1997 : CANZANELLA (M. G.) – Per uno studio della cultura materiale : le macine di Entella. In : *Seconde giornate internazionali di studi sull’area elima*, Gibellina 22-26 Ottobre 1994, Scuola Normale Superiore di Pisa, Atti vol. I, p. 251-290, Tav. XLI-XLV.

Cepeda Ocampo, Moreno-Larrazabal, Alonso-Eguiluz 2014 : CEPEDA OCAMPO (J.), MORENO-LARRAZABAL (A.), ALONSO-EGUIZUL (M.) – Los molinos de El Cerco de Bolunburu (Zalla, Bizkaia). Una primera aproximación. Rotary querns from Bolunburu hillfort (Zalla, Biscay). A first Approach, *Revista d’Arqueologia de Ponent*, 21, 2014, p. 323-330.

Chapotat 1970 : CHAPOTAT (G.) – *Vienne gauloise. Le matériel de la Tène III trouvé sur la colline de Ste Blandine*. Audin, Lyon, 1979, 2 vol.

Chartrain 2007 : CHARTRAIN (A.) – *A proper study of mankind is dot, and dash. Parcelaires fossiles et faits funéraires sur le territoire rural de Montpellier* », congrès « *Medieval Europe* » (6-8 Sept. Paris), session d’archéogéographie, publié dans les pré-actes sur <http://www.archeogeographie.org> et dans les actes en ligne sur <http://medieval-europe-paris-2007.univ-paris1.fr/A.Chartrain.pdf>.

Chartrain 2015 : CHARTRAIN (A.), Il mulino, una macchina dell’Antichità. p. 433-467. In : G. ARCHETTI 2015, p.433-468.

Chartrain, De Labriffe 2008 : CHARTRAIN (A.), DE LABRIFFE (P.-A.) –Vers une archéologie du sel en Languedoc-Roussillon. In : WELLER (O.) ed. – *Sel, eau et forêt*, actes du colloque d’Arc-et-Senans, MSH Besançon, 2008, p. 401-431.

Chartrain, Flotté, Henry 2015 : CHARTRAIN (A.), FLOTTE (P.), HENRY (E.) - Tempo, tecniche, approvvigionamenti : un tentativo di analisi archeologica dell’uso dei materiali lapidei nella cittadina galloromana di *Argentomagus* (Francia), *Archeologia dell’Architettura*, XVIII, 2013, Firenze 2015, p. 173-191.

Chaussat 2011 : CHAUSSAT (A.-G.) –Les oeils des meta à partir de la base de données du « groupe Meule ». In : **Buchsenschutz et al. 2011**, p. 359-366.

Chausserie-Laprée 1998 : CHAUSSERIE-LAPREE (J.)– Les meules des habitats protohistoriques de Martigues, *D.A.M*, 21, 1998, p. 211-235.

Childe 1943 : CHILDE (G.) – Rotary Querns on the Continent and in the Mediterranean Basin, *Antiquity*, 17, 1943, p. 19-26.

Clarke 1998 : CLARKE (D. L.) – *Archeologia analitica*. Milano, Electa, 371 p. (traduction italienne de l’édition revue de 1978, édition originale London, Methuen,1968).

Coquerel 1992 : COQUEREL (G.) – Les moulins rotatifs de Provence à travers trois sites : Entremont, La Courtine, le terrain Coq à Aix-en-Provence. Mémoire de maîtrise d'archéologie, Univ. de la Sorbonne, Paris, 1992, inédit, 60 p, 70 pl.

Conophagos 1980 : CONOPHAGOS (C.) - *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent*, Athènes, 1980, 458 p.

Conticelli et al. 1997 : CONTICELLI (S.), FRANCALANCI (L.), MANETTI (P.), CIONI (R.), SBRANA (A.) – Petrology and geochemistry of the ultrapotassic rocks from the Sabatini Volcanic District, central Italy : the role of evolutionary processes in the genesis of variably enriched alkaline magmas, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 75, p. 107-136.

Conticelli et al. 2013 : CONTICELLI (S.), AVANZINELLI (R.), POLI (G.), BRASCHI (E.), GIORDANO (G.) – Shift from lamproite-like to leucitic rocks : Sr-Nd-Pb isotope data from the Monte Cimino volcanic complex vs the Vico stratovolcano, Central Italy, *Chemical Geology*, 353, 2013, p. 246-266.

Cortelazzo 2015 : CORTELAZZO (M.) – *St. Marcel, un pays, une communauté, une histoire*. Aosta, 370 p.

Cortelazzo 2016 : CORTELAZZO (M.) – La pietra ollare della Valle d'Aosta. Cave, laboratori e commercio, *Bull. Et. Préhistorique et Archéologiques Alpines*, p. 91-110.

Corti 2001 : CORTI (C.) – Le misure di capacità nel modenese. In : C. CORTI , N. GIORDANI a cura di – *Pondera. Pesi e Misure nell' Antichità*, Modena, 2001, .. p.

Corti 2001 : CORTI (C.) – Pesi e misure nei commerci, arti, mestieri e professioni. In : CORTI (C.), GIORDANI (N.) 2001 – *Pondera*. p. 143-166.

Corti 2001 : CORTI (C.) – Pesi e contrappesi. In : CORTI (C.), GIORDANI (N.) 2001 – *Pondera*. p. 191-212.

Costin 2020 : COSTIN (C. L.) – What is a Workshop ? p. 177-197 In : HODGKINSON (A. K.), TVETMARKEN (C. L.) eds.– *Approaches to the Analysis of Production Activity at Archaeological Sites*. Oxford, Archeopress, 2020, 197 p.

Coutant 1990 : COUTANT (Y.) – *Lexique et technique du moulin à vent destiné à la mouture du blé selon les comptes flamands des quatorzième et quinzième siècles*. Thèse de doctorat, université de Lille 3, dir. G. Sivéry (microfiches 420 images).

Couderc, Kildéa 2017 : COUDERC (A.), KILDEA (F.) – *Le site « marchais des Sables » à Descartes (37) : les vestiges préhistoriques et les établissements ruraux de La tène finale et du haut Empire*. Comm. Journées Arch. de la région Centre-Val de Loire, Chartres, 24-25 mars 2017, 1 p.

Crisafulli 1996 : CRISAFULLI (M.) – *Le macine a tramoggia biconica nel sito di Morgantina*. Tesi di Laurea, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Palermo, 1995-96.

Cundari 1979 : CUNDARI (A.) – Petrogenesis of Leucite-Bearing Lavas in the Roman Volcanic Region, Italy. The Sabatini Lavas, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 70, 9, 1979, p. 9-21.

Curwen 1937 : CURWEN (E. C.) – Querns, *Antiquity*, 11, 1937, p. 133-151.

Curwen 1941 : CURWEN (E. C.) – Querns, *Antiquity*, 15, 1941, p. 15-32.

Curwen 1944 : CURWEN (E. C.) – The problem of early water mills, *Antiquity*, 71, 1944, p. 130.

Czys 2019 : CZYSZ (W.) – Die römischen Töpferscheiben von Speicher, Eifelkreis Birburg-Prüm. Ergologische Studien zur Konstruktion und Rekonstruktion einer antiken Maschine. *Trierer Zeitschrift*, 82, 2019, p. 9-55

Dal Ri 1994 : DAL RI (L.) — Le macine come problema archeologico. alcune considerazioni. In : *Il grano e le macine. La macinazione delle cereali in Alto-Adige dall'Antichità al Medioevo*. Catalogo della mostra, Castel Tirolo (BZ), p. 51-72

Danielisová, Mangel, Drnovsky 2011 : DANIELISOVÁ (A.), MANGEL (T.), DRNOVSKY (V.) – Kamenné rotační mlýny a jejich význam v době laténské, *Živá Archeologie – Rea*, 12, 2011, p. 67-71.

Dark 2001 : DARK (K.) – Proto-industrialization and the Economy. In : M. POLFER (dir.), *L'artisanat romain : évolutions, continuités et ruptures (Italie et provinces occidentales)*. Actes du 2e Colloque d'Erpeldange, 26-28 octobre 2001 (Monogr. Instrumentum, 20), Montagnac 2001, p. 19-29.

Daveau et al. 2007 : DAVEAU (I.) – *Lattes, Port Ariane*. Lattes, ARALO, 2007, Lattara 20, 634 p.

De Vos et al. 2011: DE VOS RAAJMAKERS (M.), ANDREOLI (M.), ATTOUI (R.) — Hand and 'donkey' mills in North African farms : ubi lapis lapidem terit (Plaut. *Asin.* 32). In : PEACOCK et al. 2011 — *Bread for the People : The Archaeology of Mills and Milling*. Proceedings of a Colloquium held in the british School at Rome, 4th-7th November 2009, Oxford, Archaeopress, (Southampton university Series in Archaeology, 3), 2011, p. 131-150 - ISBN: 9781905739424.

Deberge, Collis, Dunkley 2007 : DEBERGE (Y.), COLLIS (J.), DUNKLEY (J.) — Le Pâtural, Clermont-Ferrand, Puy de Dôme. Un établissement agricole Gaulois en Limagne d'Auvergne. Lyon, D.A.R.A., 30, 2007.

DEDET 1996 –

Dedet 1999 :, DEDET (B.) – La maison de l'oppidum languedocien durant la Protohistoire, *Gallia*, 56, 1999, p.313-355.

Dedet, Py 1976 : DEDET (B.), PY (M.) – *Introduction à l'étude de la Protohistoire en Languedoc oriental*. ARALO, cahier n°5, Caveirac, 1976, 146 p.

Deffressigne, Tikonoff 2012 : DEFFRESSIGNE (S.), TIKONOFF (N.) – Quelques repères chronologiques de la Tène en Lorraine à partir de quatre ensembles mobiliers d'habitats. In : BARRAL, FICHTL eds. – *Regards sur la chronologie de la fin de l'Age du Fer (IIIè-ier siècle av. J.-C.) en gaule non méditerranéenne*. Actes de la table-ronde tenue les 15-17 Octobre 2007 à Bibracte « Chronologie de la fin de l'Age du Fer dans l'Est de la France et les régions voisines », coll. Bibracte, 22, Bibracte, 2012, Annexe 26 p.

Déjean, Gourdiolle, Landes 1985 : DEJEAN (L.), GOURDIOLE (R.), LANDES (CHR.) — Les sites miniers et métallurgiques du Mont-Faulat (Haute vallée de l'Orb, Hérault). In : Actes du 110è Congrès National des Sociétés Savantes, archéologie (Montpellier 1-5 avril 1985), Paris, CTHS, 482 p., p. 115-132.

Dekoulakou-Sideris 1990 : DEKOULAKOU-SIDERIS (I.) – A Metrological Relief from Salamis, *Am. Journ. Arch.*, 94, 3, 1990, p. 445-451.

Dembinska 1985 : DEMBINSKA (M.)— Différents systèmes de mouture en Europe de l'Est au Moyen-Age. In : *Les techniques de conservation des grains à long terme*, 3, 1, CNRS, Paris, 1985, p. 109-118.

Desbat 2014 : DESBAT (A.) – La cuisson des céramiques antiques : bilan de 30 années d'expérimentations (1983-2013). In : LIPOVAC VRKLJAN (G.), SILJEG (B.), OZANIC ROGULJIC (I.), KONESTRA (A.) eds.– *Rimske keramcarske i staklarske Radionice (Produzione di ceramica e vetro in epoca romana)*. Zbornik II. Medunarodnog Archeoloskog Kolokvija, Crikvenica, 28-29 Oct. 2011, Crikvenica, 2014, p. 3-40.

Di Giorgio (1482/1501) 1967 : DI GIORGIO (Fr.) – *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*. Milano, Il Polifilo, 1967, 2 vol.

Di Pasquale 1992 : DI PASQUALE (G.) – Unità di misura in ambiente greco e romano, *Bolletino Ingegneri*, IV, 1992, pp. 8-12.

Di Pasquale 1994 : DI PASQUALE (G.) – Studio su un gruppo di compassi romani provenienti da Pompei, *Nuncius*, 9, 2, 1994, p. 635-644.

Di Pasquale 2012 : DI PASQUALE (G.) – Le strade della tecnica. Tecnologia e pratica della scienza nel mondo antico. Firenze, Di, 2012, 97 p.

Di Pasquale, Marchis 1996 : DI PASQUALE (G.) , MARCHIS (V.) – Alcune considerazioni sul *pes romanus*, *Nuncius Annali di storia della scienza*, XI, 2, 1996, pp. 669-675.

Dinsmoor 1961 : DINSMOOR (W. B.) – The basis of greek temple design: Asia minor, Greece, Italy, In : *Atti del Settimo Congresso Internazionale di Archeologia classica*, I, Roma, pp. 355-368.

Djindjian 1991 : DJINDJIAN (Fr.) – *Méthodes pour l'archéologie*. Paris, A. Colin, 405 p.

Domergue 2008 : DOMERGUE (Cl.) – *Les mines antiques : la production des métaux aux époques grecque et romaine*. Paris: Picard, 2008 , 240 p.

Domergue, Bordes 2006 : DOMERGUE (Cl.), BORDES (J.-L.) – Quelques nouveautés techniques dans les mines et la métallurgie à l'époque romaine : leur efficacité et leurs effets sur la production. In : LO CASCIO (E.) 2006, p. 197-223.

Domergue et al. 1997 : DOMERGUE (Cl.), BEZIAT (D.), (CAUUE (B.), JARRIER (C.), LANDES (C.), MORASZ (J.-G.), OLIVA (P.), PULOU (R.), TOLLON (F.) – Les moulins rotatifs dans les mines et les centres métallurgiques antiques. In : GARCIA, MEEKS ed. 1997, p. 48-61.

Donner 1992 : DONNER (M.) – *Macine per cereali nel Veneto di età romana*. Tesi di laurea, dir. Prof. G. Rosada, Univ. Padova, 2 vol., 842 p.

Donner 1996 : DONNER (M.) – Elementi in pietra, in MALNATI (L.), CROCE DA VILLA (P.), DI FILIPPO BALESTRAZZI (E.) – *La protostoria tra Sila e Tagliamento, Antiche genti tra Veneto e Friuli*, Catalogo mostra, Padova, 1996, p. 441.

Doswald 1994 : DOSWALD (C.) – Herkunft und Verbreitung der römerzeitlichen Mühlsteine im Kanton Aargau. praktische Geologie in römischer Zeit, *Minaria helvetica*, 14a, 1994, p. 22-33.

Ducrest 1777 : DUCREST (Ch. L.) – *Essai sur les machines hydrauliques, contenant des recherches sur la manière de les calculer & de perfectionner en général leur construction*. Paris, Librairie Esprit, impr. de Stoupe. 296 p.

Duncan-Jones 1980 : DUNCAN-JONES (R. P.) – Length-Units in Roman Town Planning: The *Pes Monetalis* and the *Pes Drusianus*, *Britannia*, 11, p. 127-133.

Dupuy 2001 : DUPUY (F.) - *Anthropologie économique*. A. Colin, Paris, (coll. Coursus), 192 p.

Encyclopédie Méthodique 1788 : – *Encyclopédie Méthodique des Arts & Métiers Mécaniques. t.V.* Paris, Panckoucke - Liège, Plomteux, 1788, (article Meunier (Art du), p. 8-107.

Erdkamp 2016 : ERDKAMP (P.) – Economic growth in the roman mediterranean world : An early good-bye to Malthus ?, *Explorations in Economic History*, 60, 2016, p. 1-20.

Etchart-Salas 2017 : ETCHART-SALAS (M.) – Le matériel de mouture de Bezannes (Marne) du Néolithique à la période gallo-romaine : synthèse d'une quinzaine d'années d'archéologie préventive. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), LEPAREUX-COUTURIER (St.), FRONTEAU (G.) eds., 2017, p. 103-116.

Fabre 1783 : FABRE (J.-A.) – *Essai sur la manière la plus avantageuse de construire les machines hydrauliques et en particulier les moulins à bled*. Paris, 1783.

Fabre et al. 2016 : FABRE (J.-M.), DOMERGUE (Cl.), DABOSI (Fr.) eds. – *Le fer de la Montagne Noire. Les Martyrs 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*, Montpellier, R.A.N, Suppl. 43, 2016, 526 p.

Facchinetti et al. 2016 : GROppo (CHIARA.), FERRANDO (SIMONA.), CASTELLI (DANIELE.), ELIA (DIEGO.), MEIRANO (VALERIA.), FACCHINETTI (LUCA.) – A possible UHP unit in the Western alps as revealed by ancient Roman quern-stones from Costigliole Saluzzo, Italy, *European Journal of Mineralogy*, 2016, 18 p. (prepub, paper pres. to the XI Eclogite Conf. Feb. 2015).

Fajon, Lepert 2000 : FAJON (Ph.), LEPERT (Th.) – Une mutation agricole à la fin de l'Age du Fer . In : MARION (St.) BLANQUAERT (G.) eds – *Les Installations Agricoles de l'Age du Fer en France septentrionale*. Actes du colloque ENS (paris, 28-29 Nov. 1997), Paris, ENS, 2000, p. 427-433.

Fantini 1968 : FANTINI (L.) – Macine romane dal greto dell'Idice, *Strenna storica bolognese*, 18, 1968, p. 187-207.

Farget 2006 : FARGET (V.) – Carrières, matériau et façonnage des productions en rhyolite de La Salle (Vosges) entre le VIè s ; av. J.-C. et le IVè s. ap. J.-C.. Mémoire de maîtrise, Université de Paris I, inédit, 2 vol., 327 p.

Farget 2007 : FARGET (V.) – Les carrières des « Fossottes » (La Salle, 88). rapport de prospection thématique. inédit, SRA Lorraine, 2007, 91 p.

Farget 2011 : FARGET (V.), FRONTEAU (G.) – Les carrières de meules des Fossottes, La Salle (Vosges). In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* eds. 2011, p. 1137-145.

Faucher, Redon 2015 : FAUCHER (T.), REDON (B.) – Samut North : « heavy mineral processing plants » are mills, *Egyptian Archaeology*, 2015, p. 20-22.

Favory 2003 : FAVORY (Fr.) ed. – *Métrologie agraire antique et médiévale*. Actes de la Table ronde d'Avignon (Sept. 1998), PUFC, Besançon, 2003, 190 p.

Féliu, Jodry 2017 : FELIU (Cl.), JODRY (Fl.) – Un atelier de production de meules rotatives de la Tène Finale à Obernai (67). Réflexions sur l'organisation de la fabrication et du commerce des moulins à la fin de l'Âge du Fer, 605-618. In : MARION (St.) *et al.* eds. – *Production et proto-industrialisation aux Ages du Fer. Perspectives sociales & Environnementale*. Actes du 39è colloque international AFEAF (Nancy 14-17 mai 2015), Bordeaux, Ausonius, 2017, Mem. 47, 730 p.

Ferrière 2007 : FERDIERE (A.) – La place de l'artisanat en Gaule romaine du Centre, Nord-Ouest et Centre-Ouest (province de Lyonnaise et cités d'Aquitaine septentrionale), RACF, 45-46.

Ferla et al. 1984 : FERLA (P.), ALAIMO (R.), FALSONE (G.), SPATAFORA (F.) – Studio petrografico delle macine di età arcaica e classica da Monte Castellazzo di Poggioreale (Sicilia occidentale), *Sicilia Archeologica*, anno XVII, 56, 1984, Trapani, p. 25-52.

Feugère 1983 : FEUGERE (M.) – Les mesures pliantes du pied romain en bronze et en os : à propos d'un exemplaire conservé à Roanne, *Cah. Arch. Loire*, 3, 1983, p. 39-43.

Feugère 1995 : FEUGERE (M.) – Une mesure d'un demi-pied romain à Chalon-sur-Saône (Saône et Loire), RAE, 46, 1995, p. 151-153.

Feugère, Gérold 2004 : FEUGERE, GEROLD (ed.) – *Le tournage, des origines à l'an Mil*. Actes du colloque de Niederbronn, octobre 2003 (Monogr. Instrumentum, 27), Montagnac 2004, 238 p.

Feveile 2010 : FITZGERALD (Claus.) – Mayen Lava Quern Stones from the Ribe Excavations 1970-1976, p.133-156. In : BENCARD (Mogens.), MADSEN (Helge Brinch.) eds. – *Ribe Excavations 1970-1976. Vol.6*, Jutland Archaeological Society –Sydvestjyske Museer (DK), 2010, 253 p.

Fichtl 2002 : FICHTL (St.) – Un puits gaulois au sommet du Barbarakopf (*oppidum* du Fossé des Pandours, Bas-Rhin) : Etudes préliminaires, *Pays d'Alsace*, Archéologie, Soc. Hist.Arch. de Saverne et Environs, 2002.

Fillot 2004 : FILLOT (N.) – Etude mécanique de l'Usure – Modélisation par éléments discrets des débits de troisième corps solide. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 2004, 197 p.

Finley 1978 : FINLEY (M.) – *L'économie antique*, Paris, Ed ; Minuit, 1978, 243 p. (trad. ed. originale FINLEY (M.) - *The Ancient Economy*. Londres, Chatto & Windus, 1973).

Flohr 2012 : FLOHR (M.) - *Demand, Scale and rationalization. The fulling factories of Ostia and Rome*. conf. inédite prononcée au AIA Annual Meeting 2012, inédit.

Flohr 2012 : FLOHR (M.) – *The World of the Fullo. Work, economy and society in Roman Italy*. Oxford University Press, Oxford, 424 p.

Flohr 2012 : FLOHR (M.) — *Archaeology and the Pompeian labour Market*. (on line : Blog M. Flohr : working papers), 20 p.

Forbes 1993 : FORBES (R. J.) — The Greek or Norse mill and the water-turbine. In : FORBES (R. J.) — *Studies in ancient technology, II*, Leiden, 1993 (1955), p. 88-130.

Forrer 1912 : FORRER (R.) – Ein versunkener spätantiker Mühlsteintransport in Wanzenau bei Strassburg, *Anzeiger für Elsässische Altertümer*, 7/8, 1912, p. 131-143.

Forrer 1927 : FORRER (R.) – *Strasbourg - Argentorate. Préhistorique, gallo-romain et mérovingien. Volume II*. Istra, Strasbourg, 1927. VIII- Römische Mühlen

Francisci 2011 : FRANCISCI (D.) – *Macine per cereali dalla Val di Non*. Roma, Quasar, 185 p.

Francovich 1993 : FRANCOVICH (R.) (a cura di) – *Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche. V Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia* (Certosa di Pontignano 1991), Firenze, All'Insegna del Giglio, 1993, 654 p.

Frankel 2003 : FRANKEL (R.) – The Olynthus Mill, its Origins, and Diffusion : Typology and Distribution, *Americal Journal of Archaeology*, 107, 1, 2003, p. 1-21.

Frankel 2007 : FRANKEL (R.) – Water Mills in Israel. In : BRUN, FICHES, 2007, colloque Pont du Gard, p. 215-224.

Freshwater 1996 : FRESHWATER (T.) – A lava quern workshop in late Saxon London, *London Archaeologist*, 8, 2, 1996, p. 39-45.

Frey 1989 : FREY (L.) – Besançon, la Porte noire. Carrés et diagonales, *Mathématiques et Sciences Humaines*, 105, 1989, p. 27-67.

Frey 2001 : FREY (L.) – Genèse d'une théorie, *Mathématiques & Sciences Humaines*, 156, 2001, p. 5-32.

Gailledrat, Curé et al. 2012 : GAILLEDRAT (E.), ANWAR (N.), BEYLIER (A.), CURE (A.-M.), DUDAY (H.), MUNOS (S.), PIQUÈS (G.), VACHERET (A.) – Pech Maho, comptoir lagunaire de l'Age du Fe (VIè-IIIè s. av. n. ère). [Rapport de fouille programmée, 2012, CNRS/SRA, inédit, online HAL, 118 p.](#)

Garcia 1995 : GARCIA (D.) – Les carrières de meules d'Agde grecque (Hérault) et la diffusion du type rotatif en Gaule méridionale. In : AMOURETTI (M.-Cl.) éd., COMET (G.) éd. – *La transmission des connaissances techniques*. Aix-en-Provence : Publication de l'Université de Provence, 1995, (Cahier d'histoire des techniques ; 3), p. 25-32.

Garcia 2019 : GARCIA (Chr.) – *Les ateliers de carriers et de meuliers de la vallée de l'Ysieux*. *Revue Archéologique de Picardie*, Supplément 34, 2019, 206 p.

Gaultier 2009 : GAULTIER (A.) – *Le matériel de mouture rotatif gallo-romain d'Argentomagus (Indre) : formes, temps, espaces et usures*. Mémoire de master 2, Université de Paris 1, dir. O. de Cazenove.

Gaultier 2011 : GAULTIER (A.) – La carrière de St. Christophe-le-Chaudry (Cher). In : BUCHSENSCHUTZ *et al. eds.*, 2011, p. 263-267.

Gaultier 2013 : GAULTIER (A.) – Etude du matériel macrolithique du site de la Cossonnière, les Herbiers (85), collab. K. Donnart, J-F. Nauleau, T. Vigneau, inédit, online Academia.edu, 24 p.

Gélinas et al. 2004 : GELINAS (P.), DESSUREAULT (K.), BEAUCHEMIN (R.) – Stones adjustment and the quality of stone-ground wheat flour, *Int. Journ. Food Sci. Technol.*, 39, 2004, p. 459-463.

Gentili 2008 : GENTILI (Fr.) – L’habitat du Haut Moyen Age de « La Chapelle, La Croix Verte » au Mesnil-Aubry (Val d’Oise), RAIF, 1, 2008, p. 265-308.

Georges, Jaccotey 2017 : GEORGES (V.), JACCOTTEY (L.) – Un fragment de meule rotative en contexte précoce à Lijay dans les Monts du Forez (fin IV^e – début III^e s. av. J.-C.). In : BUCHSENSCHUTZ (O.), LEPAREUX-COUTURIER (St.), FRONTEAU (G.) eds. – *Les meules du Néolithique à l’époque médiévale : technique, culture, diffusion*. Actes du 2^e colloque du Groupe Meule, Reims (15-17 mai 2014), Dijon, 2017, Suppl. RAE 43, p. 383-385.

Gifford 2014 : GIFFORD (M. J.) — *Everything is ballast : an examination of ballast related practices and ballast stones from the Emmanuel Point shipwrecks*. Thesis for Master of Anthropology, University of West Florida (USA), 2008,(2014), 157 p.

Gille 1975 : GILLE (B.) – Histoire des techniques. Annuaire de l’EPHE, 1977, rapport sur les conférences 1975, p. 723-786.

Ginouvez 2017 : GINOUEZ (O.) – *Sanctuaire et atelier de potier. Magalas, les Terrasses de Montfo (Hérault)*. Rapport inédit, SRA/INRAP, 2017, 451 p.

Gluhak 2010 : GLUHAK (T. M.) – Mühlen für das römische Militär, *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 40, 2010, p. 273-284.

Gluhak 2010 : GLUHAK (T.) – *Petrologisch-geochemische charakterisierung quartärer laven der Eifel als Grundlage zur archäometrischen herkunftbestimmung Römischer Mühlsteine*. Doctorat de Sciences, Univ. Mainz, 2010, 253 p.

Gluhak, Hofmeister 2008 : GLUHAK (T.), HOFMEISTER (W.) – Provenance analysis of Roman Millstones : mapping of trade areas in Roman Europe. In : KOSTOV (R. I.), GAYDARSKA (B.), GUROVA (M.) – *Geoarchaeology and Archaeomineralogy*. Sofia, 2008, p. 111-115.

Gluhak, Hofmeister 2009 : GLUHAK (T.), HOFMEISTER (W.) – Roman lava Quarries in the Eifel region (Germany) : geochemical data for millstone provenance studies, *Journal of Archaeological Science*, 36, 2009, p. 1774-1782.

Gluhak, Hofmeister 2011 : GLUHAK (T.), HOFMEISTER (W.) – Geochemical provenance analyses of Roman lava millstones north of the Alps : a study of their distribution and implications for the beginning of Roman lava quarrying in the Eifel region (Germany), *Journal of Archaeological Science*, 38, 2011, p. 1603-1620.

Gluhak, Schwall 2015 : GLUHAK (T.), SCHWALL (C.) – Provenance Analyses of the Volcanic rock Grinding stones from the Greek colony of Selinunte, Sicily (Italy) - Constraints and possibilities, *Archaeometry*, 57, 2, 2015, p. 246-268.

Gluhak, Jaccotey, Longepierre 2016 : GLUHAK (T.), JACCOTTEY (L.), LONGEPIERRE (S.). – Étude typologique et pétrographique des meules de type Pompéi découvertes en France. In : JACCOTTEY, ROLLIER 2016, p. 633-654.

Godet 1984 : GODET (M.) – The third body approach : a mechanical view of wear, *Wear*, 1984, 1000, p. 437-452.

Gonzalez Villaescusa 2010 : GONZALEZ VILLAESCUSA (R.) - Problématique archéologique sur la production de laine et d’étoffes en Gaule Belgique. In : PONS PUJOL (L.) dir. - *Hispania et Gallia: dos provincias del*

occidente romano, *Instrumenta*, 38, Barcelona, 2010, p. 125-143.

Goudie 1886 : GOUDIE (G.) – On the horizontal water-mills of Shetland, *Proc. Soc. Antiq. Scot*, 8, 1885-86, p. 257-297.

Green 2011 : GREEN (Chr.) – Hertfordshire Puddingstone querns - working with a difficult rock. In : WILLIAMS, PEACOCK 2011 *Bread for*, p. 123-130.

Green 2016 : GREEN (Chris.) – The exploitation of silcretes (sarsen and puddingstone) in England and Normandy since Stonehenge, *Proceedings of the Geologists' Association*, 127, 3, 2016, p. 349-358.

Guillier, Biard, Cherel 2005 : GUILLIER (G.) BIARD (M.), CHEREL (A.-Fr.) – Un atelier augustéen de taille de meules en poudingue au "Clos des Forges" à Avrilly (Eure). *Revue Archéologique de l'Ouest*, 22, 2005. p. 199-220.

Guillier et al. 2012 : GUILLIER (G.), COFFINEAU (E.), DELAGE (R.), DELOZE (V.) VALAIS (A.), LEMAITRE (S.) PILON (F.), SIMON (L.) – Le site gaulois et antique de « La Carie », entre oppidum et ville romaine à Entrammes (Mayenne), *Revue Archéologique de l'Ouest* [En ligne], 29 | 2012, mis en ligne le 30 décembre 2014, consulté le 31 janvier 2015. URL : <http://rao.revues.org/1761>

Hairy 2004 : HAIRY (I.) – Métrologie interprétative sur la statuaire de Qaitbay, *Ktéma*, 29, 2004, p. 67-77.

Hairy 2006 : HAIRY (I.) – Le Phare d'Alexandrie, concentré de géométrie, *La Recherche*, 394, Février 2006, p. 44-50.

Halama, Zeman 2009 : HALAMA (J.), ZEMAN (T.) – Nález žernovů z kontextů doby římské v Čechách a na Moravě. In : M. Karwowski, E. Droberjar (eds.) - *Archeologia Barbarzyńców 2008 : powiązania i kontakty w świecie barbarzyńskim*. Collectio Archaeologica Resoviensis XIII, Rzesz.w 2009, p.479–530.

Hallier 1971 : HALLIER (G.) in *Bolsena II*, Roma, EFR, 1971, p. 152-169

Hallier 1986 : HALLIER (G.) – Pierre de taille et mesures normalisées : les enceintes hellénistiques d'Apollonia de Cyrénaïque et de Massalia. In : GARLAN (Y.), GAWLIKOWSKI (M.), DUCREY (P.) – *La fortification dans l'histoire du monde grec*. Actes du colloque international (Valbonne, décembre 1982), Paris, CNRS, p. 251-271.

Hallier 1996 : HALLIER (G.) – Coudée punique. In : CAMPS (G.) ed. – *L'Encyclopédie Berbère*, T.XIV, Aix-en-Provence, p. 211-2120.

Hamon 2006 : HAMON (C.) – *Broyage et abrasion au Néolithique Ancien : caractérisation technique et fonctionnelle des outillages en grès du Bassin Parisien*. Archaeopress, Oxford, 2006.

Hamon, Le Gall 2011 : HAMON (C.), LE GALL (V.) – Les meules en pays Minyanka (Mali) : étude des carrières et techniques de production actuelles . In : WILLIAMS, PEACOCK (eds.) 2011, p.19-28.

Hamon et al. 2012 : HAMON (C.), ROBIN (B.), DONNART (K.), BRISOTTO (V.) – Produire des meules du Néolithique à l'âge du Fer. Économie des matières premières et évolution technologique des meules dans le massif armoricain. In : MARCHAND (G.), QUERRE (G.) dir. – *Roches et sociétés de la Préhistoire entre Massifs cristallins et Bassins sédimentaires : le Nord-Ouest de la France dans son contexte européen*. Presses Universitaires de Rennes, 2012, p. 223-237.

Hartoch et al. 2015 : HARTOCH (E.), DOPERÉ (F.), DREESEN (R.), GLUHAK (T.), GOEMAERE (E.), MANTELLEERS (I.), VAN CAMP (L.), WEFERS (ST.) – *Moudre au Pays des Tungri*. Atuatuca 7, Publications of the Gallo-Roman Museum of Tongeren, Tongeren. 416 p.

Heinz 1991 : HEINZ (W.) – Der Vindonissa-Fuss. Zu den römischen Fussmassen des Vindonissa-Museums, *Jber.ProVindonissa*, 1991, p.65-79.

Hill, Rowsome 2011 : HILL (J.), ROWSOME (P.) – *Roman London and the Walbrook Stream Crossing : Excavations at 1 Poultry and vicinity, City of London*. London, MoLA, 2011, Monograph 37, 2 vol. 597 p.

Hubert et al. 2013 : HUBERT (A.) – *Sous les meules, le grain. Nourrir la ville de l'Antiquité à nos jours*. Catalogue exposition Archéa (du 18 avril 2013 au 19 Janvier 2014), Val d'Oise, 168 p.

Hugoniot, Gourvest 1961 : HUGONIOT (E.), GOURVEST (J.) – L'oppidum de Mediolanum, Chateaufort (Cher). Campagne de fouilles 1956-1960, *Celticum I*, suppl. à OGAM 73-75, p. 193-204.

Hultsch 1882 : HULTSCH (FR. O.) – Griechische und römische Metrologie. Berlin, 743 p., réed. Graz 1991

Ioppolo 1967 : IOPPOLO (G.) – La tavola delle unità di misura nel mercato augusteo di *Leptis Magna*, *Quaderni di Archeologia della Lybia*, 5, 1967, p. 89-98.

Jaccottey 2011 : JACCOTTEY (L.) – Cerclages métalliques et entraînement des moulins à bras rotatifs. In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* eds., 2011, p. 335-350.

Jaccottey, Anderson et al. 2016 : ANDERSON (T.), JACCOTTEY (L.), SCARROW (J. H.), CAMBESES (A.) – Premier bilan sur les moulins pompéiens dans la Péninsule Ibérique. In : JACCOTTEY, ROLLIER 2016, p. 619-632.

Jaccottey, Rollier 2016 : JACCOTTEY (L.), ROLLIER (GILLES.) eds. – *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale*. Actes du colloque de Lons-le-Saunier (2-5 Novembre 2011), Besançon, PUFC, 2 vol., 833 p.

Jacobi 1974 : JACOBI (G.) - *Werkzeug und Gerät aus dem Oppidum von Manching*. Franz Steiner Verlag, Wiesbaden, Die Ausgrabungen in Manching vol. 5, Römisch–Germanisch Kommission, 1974, 368 pages, 107 plates, 4 folding plans.

Jaccottey et al. 2017 : JACCOTTEY (L.), BOYER (F.), ALIX (S.) – L'ateleir antique de façonnage de meules rotatives d'Autun (Saône-et-Loire). In : BUCHSENSCHUTZ (O.), FRONTEAU (G.), LEPAREUX-COUTURIER (S.) eds. – *Les meules à grain du Néolithique à l'époque médiévale : technique, culture et diffusion*. Actes du colloque international de Reims, p. 175-185.

Jaccottey et al. 2017 : JACCOTTEY (L.), FRONTEAU (G.), BUCHSENSCHUTZ (O.), JODRY (FL.), SAUREL (M.) ET COLLAB. – Les meules de l'Age du Fer en Champagne-Ardenne. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), FRONTEAU (G.), LEPAREUX-COUTURIER (S.) eds. – *Les meules à grain du Néolithique à l'époque médiévale : technique, culture et diffusion*. Actes du colloque international de Reims, p. 71-86.

Jaccottey, Farget 2011 : JACCOTTEY (L.), FARGET (V.) – Les normes de dessin des meules rotatives. In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* 2011, p. 51-68.

Jaccottey, Rollier 2016 : JACCOTTEY (L.), ROLLIER (G.) eds. – *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent, des origines à l'époque médiévale*. Actes du colloque de Lons-le-Saunier (2-5 Novembre 2011), Besançon, PUFC, 2 vol., 833 p.

Jaccottey, Longepierre 2011 : JACCOTTEY (L.), LONGEPIERRE (S.) – Pompeian millstones in France. In : WILLIAMS, PEACOCK eds. 2011, p.97-122.

Gluhak, Jaccottey, Longepierre 2016 : GLUHAK (T.), JACCOTTEY (L.), LONGEPIERRE (S.) – Etude typologique et pétrographique des meules de type pompéien découvertes en France. In : JACCOTTEY (L.), ROLLIER (G.) eds. – *Archéologie des moulins hydrauliques, à traction animale et à vent des origines à l'époque médiévale et moderne en Europe et dans le monde méditerranéen*. Actes du colloque international de Lons-le-Saunier (2-5 novembre 2011), Besançon, Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté, 959, 2 vol., p. 633-654.

Jaccottey, Boyer, Alix 2017 : JACCOTTEY (L.), BOYER (F.), ALIX (S.) – L’atelier antique de façonnage de meules rotatives d’Autun (Saône-et-Loire). In : BUCHSENSCHUTZ (O.), FRONTEAU (G.), LEPAREUX-COUTURIER (S.) eds. – *Les meules à grain du Néolithique à l’époque médiévale : technique, culture et diffusion*. Actes du colloque international de Reims, p. 175-185.

Jaccottey et al. 2009 : JACCOTTEY (L.), MARMIER (TH.), GLUHAK (T.) – Etude des meules en roche volcanique de Bibracte. Rapport annuel d’activité scientifique 2008 de Bibracte, Centre archéologique européen du Mont-Beuvray, Glux-en-Glenne, 2009, p. 377-388.

Jaccottey et al. 2011 : JACCOTTEY (L.), BOYER (FR.), BUCHSENSCHUTZ (O.), JODRY (FL.), ROBIN (B.) – La position du (des) trou(s) de manchon par rapport à l’axe de l’œil des catillus. In : BUCHSENSCHUTZ et al. 2011 p. 319-334.

Jaccottey et al. 2011 : JACCOTTEY (L.), JODRY (FL.), LONGEPIERRE (S.), ROBIN (B.) – Chronologie et diamètres des meules à bras à la fin de la Tène et à l’époque antique. In : BUCHSENSCHUTZ et al. 2011, p. 291-298.

Jaccottey et al. 2011 : JACCOTTEY (L.), T (V.), MAERTEN (M.), FRONTEAU (G.), BEUCHOT (S.) – Le site du Portus à Collonge-en-Charollais (Saône-et-Loire), exemple d’une chaîne opératoire de fabrication de moulins rotatifs antiques. In : BUCHSENSCHUTZ et al. 2011, p. 163-197.

Jaccottey et al. 2011: JACCOTTEY (L.), LABAUNE-JEAN (FR.) ROBIN (B.), JEAN (ST.), PAEZ-REZENDE (L.) – Les meules des bâtiments agricoles de l’établissement antique de la ZAC des Touches) Pacé (Ille-et-Vilaine). In : BUCHSENSCHUTZ et al. 2011., p. 459-467.

Jaccottey, Alonso Martínez et al. 2011 : JACCOTTEY (L.), ALONSO MARTINEZ (N.). et al. – Le passage des meules va-et-vient aux meules rotatives en France. BUCHSENSCHUTZ et al. 2011, p. 405-419.

Jaccottey et al. 2013 : JACCOTTEY (L.), ALONSO (N.), DEFREISSIGNE (S.), HAMON (C.), LEPAREUX-COUTURIER (ST.), BRISOTTO (V.), GALLAND-CRETY (S.), JODRY (FL.), LAGADEC (J.-P.), LEPAUMIER (H.), LONGEPIERRE (S.), ROBIN (B.), ZAOUR (N.) – Le passage des meules à va-et-vient aux meules rotatives en France, p. 405-419. In : KRAUSZ (S.), COLIN (A.), GRUEL (C.), RALSTON (I.), DECHEZLEPRETRE (TH.) eds. – *L’Age du Fer en Europe. Mélanges offerts à Olivier Buchenschutz*. Bordeaux, Ausonius, 688 p.

Jaccottey et al. 2017 : JACCOTTEY (L.), FRONTEAU (G.), BUCHSENSCHUTZ (O.), JODRY (FL.), SAUREL (M.) ET COLLAB. – Les meules de l’Age du Fer en Champagne-Ardenne. In : BUCHSENSCHUTZ (O.), FRONTEAU (G.), LEPAREUX-COUTURIER (S.) eds. 2017, p. 71-86.

Jacobacci et al. 1970 : JACOBACCI (L.) – *Note illustrative della carta geologica d’Italia. Fogli 115 Città di Castello, 122 Perugia e 130 Orvieto*. Ercolano, Poligrafica & Cartevalori, 1970, 151 p.

Jeffra 2011 : JEFFRA (C.) – The Archaeological Study of Innovation : An Experimental Approache to the Pottery Wheel in Bronze Age Crete and Cyprus. PhD Univ. Exeter (UK), July 2011, 329 p.

Jeffra 2013 : JEFFRA (C.) – A re-examination or early Wheel Potting in Crete, *Annual of the British School at Athens*, FirstView Article, August 2013, p 1-19.

Jodin 1975 : JODIN (ANDRE.) – *Recherches sur la métrologie du Maroc punique et hellénistique*. ed. Marocaines et Internationales, 1975.

Jodry 2006 : JODRY (FL.) – Les meules rotatives en Alsace (La Tène finale - III^e siècle apr. J.-C.), *Cahiers Alsaciens d’Archéologie, d’Art et d’Histoire*, XLIX, 2006, p. 19-29.

Jodry 2000 : JODRY (F.) – Les meules de la Wanzenau. In FLOTTE (P.), FUCHS (M.) – *Carte Archéologique de la Gaule. Strasbourg (Bas-Rhin), 67/1*, Paris, MSH, 2000, p. 631-632.

Jodry 1997 : JODRY (FL.) – *Etude fonctionnelle des meules circulaires par l’analyse des traces et micro-traces d’utilisation*. DEA INA Paris-Grignon, dir O. Buchenschutz et Fr. Boyer, inédit, 1997, 73 p.

Jodry 2011 : JODRY (FL.) – Des carrières antiques largement exploitées. Les apports de l'archéologie à la connaissance du camp une intense activité de construction. Chapitre 3, p. 74-76.

Jodry 2016 : JODRY (FL.) – Les meules rotatives en Alsace (La Tène finale - III^e siècle apr. J.-C.), *Cahiers Alsaciens d'Archéologie, d'Art et d'Histoire*, XLIX, 2006, p. 19-29.

Jodry, Thomann 2014 : JODRY (FL.), THOMANN (E.) – “Around the mill”. Building an experimental late Iron Age rotary manual mill, results of the first version. inédit, poster présenté aux XII^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 2012, 4 p.

Jodry, Holderbach 2017 : JODRY (FL.), HOLDERBACH (J.-M.) – La carrière d'extraction de meules en grès vosgien du Purpurkopf à Rosheil (Bas-Rhin). In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* – *Les meules à grain du Néolithique à l'époque médiévale : technique, culture, diffusion*. p. 187-190.

Jodry et al. 2017 : JODRY (FL.), ROLLET (P.), PICAVET (P.), MOIRET (FR.), FRONTEAU (G.) – Meules antiques de Reims. In : BUCHSENSCHUTZ ed. 2017, p. 135-145.

Joineau 2011 : JOINEAU (VINCENT.) – *Etude technique et économique d'une activité industrielle rurale : les moulins de l'Entre-deux-mers bordelais de la fin du XI^e siècle à la Révolution française*. Université de Bordeaux 3, Dir. Ph. Araguas, soutenue en 2011, 3 vol., 1297 p.

Kamash 2006 : KAMASH (Z.) – *Water Supply and Management in the Near East. 63 BC-AD 636*. PhD, University of Oxford, 2006.

Kars 1980 : KARS (H.) – Early medieval Dorestad, an Archeo-Petrological Study, Part.I : General Introduction. The Tephrite Querns, *BROB*, 30, 1980, p.

Kelly 1984 : KELLY (EAMONN P.) – Two quernstones from Co. Meath, *Riocht na Midhe*, VII, 3, 1984, p. 105-110.

King 1986 : KING (D.) – Petrology, Dating and distribution of querns and millstones in Bedfordshire, Buckinghamshire, Hertfordshire and Middlesex, *Bull. Inst. Arch., Univ. London*, 23, 1986, p. 65-126.

Klotz 2013 : KLOTZ (D.) – The Earliest Representation of a Potter's Kick-Wheel in Egypt, *ENiM*, 6, 2013, Montpellier, p. 169-176.

Lagadec 2008 : LAGADEC (J.-P.) – Les meules en rhyolite de La Salle (Vosges) : typologie et diffusion, *Antiquités nationales*, 39, 2008, p. 129-139.

Lancel 1982 : LANCEL (S.) – L'îlot D. In : LANCEL (S.), MOREL (J.-P.), THUILLIER (J.-P.). – *Byrsa II. Rapports préliminaires sur les fouilles 1977-1978 : niveaux et vestiges puniques*. Rome, 1982, p. 85-103 (Collection de l'École Française de Rome ; 41).

Lanos, Jumel 1992 : LANOS (PH.), JUMEL (G.) – La méthode du quantogramme dans la recherche d'unités de mesure inconnues. Application à la recherche de métriques anciennes dans les paysages, *Revue d'Archéométrie*, 16, 1992, p. 121-144.

Lavendhomme, Guichard 1993 : LAVENDHOMME (M.-O.), GUICHARD (V.), – *Rodumna (Roanne, Loire), le village gaulois*. Paris, MSH, 1993, DAF n°62, 278 p.

Laville 1963 : LAVILLE (L.) – Découverte d'une carrière gallo-romaine spécialisée dans la fabrication de meules à grains domestiques à Saint Christophe le Chaudry. *Revue Archéologique du Centre*, 1963, vol. 2, p. 146-151.

Lefebvre des Noëttes 1924 : LEFEBVRE DES NOËTTES (CT.) – *La force motrice animale à travers les âges*. Paris, 1924.

Lepareux-Couturier et al. 2017 : LEPAREUX-COUTURIER (St.), HARTOCH (E.), PICAVET (P.), JODRY (Fl.) – le rayonnage des meules rotatives antiques dans le Nord-Est de la Gaule. In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* eds., 2017, p. 337-348.

Lepareux-Couturier 2011 : LEPAREUX-COUTURIER (St.) – Les meules gallo-romaines du chef-lieu de la cité des Meldes (Meaux, Seine-et-Marne), première approche. In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* eds., 2011, p. 409-433.

Leroi-Gourhan 1971 : LEROI-GOURHAN (A.) – *Milieu et techniques*. Paris, Albin Michel, 1943, 1971, 348 p.

Leroi-Gourhan 1973 : LEROI-GOURHAN (A.) – *L'homme et la matière*. Paris, Albin Michel, 1945, 1971, 474 p.

Leveau 2006 : LEVEAU (PH.) – *Les moulins de Barbegal (1986 – 2006)*. online sur Traianus, 2006, 21 p.

Leveau 2007 : LEVEAU (PH.) – Les moulins de Barbegal 1986-2006 In : Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité [en ligne]. In : BRUN (J.-P.), FICHES (J.-L.) EDS. – *Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau dans l'Antiquité*. Nîmes : Publications du Centre Jean Bérard, 2007, (online 42 p.).

Leveau et al. 2019 : LEVEAU (PH.), SURMELIHINDI (GÜL.), PASSCHIER (CESS.) – Les moulins de Barbegal, 80 ans après les fouilles de F. Benoit. L'apport de la géoarchéologie des carbonates. In : DJAOUI (D.), HEIJMANS (M.) eds. – *Archéologie & Histoire en territoire arlésien. Mélanges offert à J. Piton*. Dijon, Mergoïl, 2019, p. 111-139.

Lewis 1997 : LEWIS (M. J. T.) – *Millstone and Hammer : the Origins of Water Power*. University of Hull, 1997, 181 p.

Longepierre 2007 : LONGEPIERRE (S.) – L'apport des meules dans la connaissance des moulins hydrauliques romains en Languedoc. In : BRUN, FICHES dir. 2007, p. 167-183.

Longepierre 2011 : LONGEPIERRE (S.) – Meules manuelles, à sang et hydrauliques dans le Sud-Est de la France : essai de définition. In : Buchsenschutz *et al.* 2011 - *Évolution typologique et technique des meules du Néolithique à l'an Mille*. p. 81-94.

Longepierre 2012 : LONGEPIERRE (S.) – Les meules : types et provenance. In : POMAREDES (H.) et al. dir. – *La villa de Saint-André de Codols (Nîmes, Gard) du Ier au XIIIe s. de n. è.*, Lattes, 2012 (Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 32), p. 330-334.

Longepierre 2012 : LONGEPIERRE (S.) – *Meules, moulins et meulrières en Gaule méridionale, du IIè s. av. J.-C. au VIIè s. ap. J.-C.*, Mergoïl, Montagnac, 659 p.

Longepierre 2014 : LONGEPIERRE (S.) – Les moulins de la Gaule méridionale (450-1 av. J.-C.) : types, origines et fonctionnement. Mills in southern Gaul (450-1 BC) : types, origins and operation, *Rev. Arq. Ponent*, 24, 2014, p. 289-309.

Gluhak, Jaccottey, Longepierre 2016 : GLUHAK (T.), JACCOTTEY (L.), LONGEPIERRE (S.) – Étude typologique et pétrographique des meules de type Pompéi découvertes en France. In : JACCOTTEY, ROLLIER 2016, p. 633-654.

Lorenzoni et al. 2000 : LORENZONI (S.), PALLARA (M.), VENTURO (D.), ZANETTIN (E.) – Studio archeometrico delle macine in rocce vulcaniche della Puglia e zone limitrofe dall'età arcaica all'età romana. *Rassegna di Archeologia*, 17, 2000, p. 225-252.

Lorenzoni et al. 2000 : LORENZONI (S.), PALLARA (M.), VENTURO (D.), ZANETTIN (E.) – Volcanic rock Bronze Age millstones of Apulia, Southern Italia : lithology and provenance. *Eur. J. Mineral.*, t. 12. 2000, p. 877-882.

Lucas 1953 : LUCAS (A. T.) – The Horizontal Mill in Ireland, *J. R. Soc. Ant. Ireland*, LXXXIII,1, 1953, 1-36.

Magnanti 1970 : MAGNANTI (F.) – Nomenclatura dei mulini ad acqua del Po, *Lingua Nostra*, XXXI, 3, 1970,

p. 93-96.

Mangartz 2008 : MANGARTZ (F.) – *Römischer Basaltlava-Abbau zwischen Eifel und Rhein*. Mainz, 2008 (Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseums ; 75), 335 p.

Mannoni 1994 : MANNONI (T.) - *Materiali e tecniche di lavorazione*. In : RATTI (M.) a cura di. - *Antenati di pietra. Statue-stele della Lunigiana e archeologia del territorio*. Catalogo della mostra, Genova 1994, p. 61-68.

Mannoni 1994 : MANNONI (T.) – *Archeologia delle tecniche produttive*. In : *Venticinque anni di archeologia globale*, 4, Genova 1994, p. 3-290.

Mannoni 1994 : MANNONI (T.) - *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*. In : *Venticinque anni di archeologia globale*, 3, Genova 1994, p. 3-270.

Marion 2014 : MARION (St.) – *De la consommation à la production : une mutation économique au III^e siècle av. J.-C. dans le bassin Parisien ?* In : HORNING (Sabine.) ed. – *Produktion - Distribution - Ökonomie. Siedlungs- und Wirtschaftsmuster der Latènezeit*. Akten des internationalen Kolloquiums in Otzenhausen (28-30 Oktober 2011), Bonn, 2014, p. 189-203.

Marion 2016 : MARION (St.) – *Facteurs internes, Facteurs externes de l'économie de la fin de l'Age du Fer : la mutation du III^e s. av. J.-C. à l'origine du développement économique du II^e s. av. J.-C. ?*, R.A.P, n° spécial 30, 2016, Actes du 38^e colloque de l'AFEAF -2volution des sociétés gauloises du Second Age du Fer, enre mutations internes e tinfluences externes, p. 553-561.

Marion et al. 2017 : MARION (St.), DEFFRESSIGNE (S.), KAURIN (J.), BATAILLE (G.) eds. – *Production et Proto-Industrialisation aux Ages du Fer. Perspectives sociales et environnementales*. Actes du 39^e Colloque International de l'AFEAF, Nancy 2015. aFEAF-Ausonius, Bordeaux 2017, 729 p.

Martinez, Ollivier 2018 : MARTINEZ (D.), OLLIVIER (J.) – *Des moulins hydrauliques en périphérie d'Augustonemetum/Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme (II^e-III^e s. ap.J.-C.)*, *RACF*, 57, 2018, en ligne, 52 p.

Mathérat 1945 : MATHERAT (G.) – *Le pied d'Augustomagus (Senlis)*, *Bulletin de la Société nationale des Antiquaires de France*, 1945, p. 59-72.

Mauné, Paillet 2003 : MAUNE (St.), PAILLET (J.-L.) – *Stockage et transformation des céréales au sein d'un grand domaine rural de Gaule Narbonnaise (I^{er}-II^e s. ap. J.-C.) : l'exemple des moulins hydrauliques de Vareilles et de L'Auribelle-Basse (Hérault)*. In : ANDERSON (P. C.), CUMMINGS (L. S.), SCHIPPERS (T. K.), B. SIMONEL (B.) eds. – *Le Traitement des récoltes : un regard sur la diversité du Néolithique au présent*, Actes des XXIII^e Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 17-19 octobre 2002, Antibes 2003, p. 295-326.

Mauné, Bourgaud, Paillet 2007 : MAUNE (St.), BOURGAUD (R.), PAILLET (J.-L.) – *Un moulin hydraulique du II^e s. apr. J.-C. dans l'établissement de l'Auribelle-Basse (Pézenas, Hérault)*. In : BRUN (J.-P.), FICHES (J.-L.), dir. – *Énergie hydraulique et machines élévatrices d'eau durant l'Antiquité : actes du colloque international du Pont-du-Gard*, 2006. Naples, 2007, (Collection du Centre Jean Bérard ; 27), p. 115-148

Maussion 1994 : MAUSSION (A.) – *Les meules rotatives gallo-romaines de la cité des Bituriges Cubi (Indre et Cher)*. Mémoire de maîtrise de l'Université de Paris 1, 2 vol., dactyl., dir. Fr. Dumasy.

Mees 2007 : MEES (A.) – *Diffusion et datation des sigillées signées et décorées de la Graufesenque en Europe. L'influence de l'armée sur l'évolution du pouvoir d'achat et du commerce dans les provinces romaines*. SFECAG, Actes du congrès de Langres, Marseille, SFECAG, 2007, p. 145-208.

Miallier et al. 2010 : MIALLIER (D.), BOIVIN (P.), CUZEL (N.), AUZANNEAU (E.), BESSON (J.-CL.) – *Rapport de sondages et d'analyses, Le Kilian et les carrières anciennes de trachyte dans la Chaîne des Puys (Puy de Dôme)*. Clermont-Ferrand, 2010.

Millett 1982 : MILLETT (M.) – *Distinguishing between the Pes Monetalis and the Pes Drusianus : some problems*, *Britannia*, 13, p. 315-320.

Milleville 2007 : MILLEVILLE (A.) – *De la pierre à la meule durant le Néolithique, circulation et gestion des matières premières entre Rhin et Rhône*. Thèse en Sciences de l'Homme et Société, Université de Franche-Comté, 2007.

Monteix 2013 : MONTEIX (N.) – The apple of discord : fleece-washing in Pompeii's textile economy. A response to Miko Flohr, *JRA*, 26, 1, 2013, p. 79-88.

Monteix 2016 : MONTEIX (N.) – 7- Contextualizing the Operational Sequence : Pompeian Bakeries as a Case Study. In : WILSON, FLOHR 2016.

Morasz, Pulou 1997 : MORASZ (J-G.), PULOU (R.) – Les meules rotatives des mines romaines de Villefranche-de-Rouergue (Aveyron) : la preuve chimique de leur usage « industriel », *Revue d'Archéométrie*, 21, 1997, p. 141-144.

Morel 1985 : MOREL (J.-P.) – La manufacture, moyen d'enrichissement dans l'Italie romaine. In : LEVEAU (Ph.) dir. – *L'origine des richesses dépensées dans les villes*. Actes du colloque (Aix-en-Provence, 11-12 mai 1984), P. Université de Provence, Aix-en-Provence, p. 87-111.

Morel 2001 : MOREL (J.-P.) – Aux origines du moulin rotatif ? Une meule circulaire de la fin du VI^e siècle avant notre ère à Carthage. In : BRUN (J.-P.), JOCKEY (PH.) EDS. – *Technai : Techniques et sociétés en Méditerranée*. Paris, p. 241-250.

Morelli 1957 : MORELLI (C.) – *Gli avanzi romani di Pagliano presso Orvieto*, in *Bollettino ISAO XIII*, 1957, p. 3-60.

Morero 2015 : MORERO (E.) – Mycenaean lapidary craftsmanship : the manufacturing process of stone vases, *The Annual of the British School at Athens*, April 2015, p. 1-26. (doi:10.1017/S0068245415000039).

Morero 2016 : MORERO (E.) – *Méthodes d'analyse des techniques lapidaires. Les vases en pierre en Crète à l'âge du Bronze (IIIe-IIe millénaire av. J.-C.)*. Cahiers Archéologiques de Paris 1. Paris, *Publications de la Sorbonne*, 2016, 311 p.

Morero, Prevalet 2015 : MORERO (E.), PREVALET (R.) – Technological transfer of luxury craftsmanship between Crete and the Orient during the Bronze Age. In : MYNAROVA(JANA.), ONDERKA (PAVEL.), PAVÛK (PETER.) eds. – *There and Back Again - the Crossroads II*. Proceedings of an International Conference held in Prague (September 15-18, 2014), 2015, Charles University, Prague, p. 59-84.

Moret 2009 : MORET (P.) – *Recherches historiques et archéologiques sur l'Ibérie antique. Vol.2 : Architecture, urbanisme et organisation du territoire dans l'Ibérie de l'Age du Fer et de l'époque républicaine (VII - ier s. av. J.-C.)*. Mémoire d'habilitation HDR, Université de Toulouse, 2008, HAL 2009, 402 P.

Moret, Badie 1998 : MORET (P.), BADIE (A.) – Metrología y arquitectura modular en el puerto de la Picola (Santa Pola, Alicante) al final del siglo V a.C., *A.Esp.A*, 71, 1998, p. 53-61.

Moritz 1956 : MORITZ (L. A.) – Vitruvius' Water-Mill, *The Classical review, New Series*, 6, 3-4, 1956, p. 193-196.

Moritz 1958 : MORITZ (L. A.) – *Grain-mills and flour in Classical Antiquity*. Clarendon Press, Oxford, 1958, 230 p.

Mornand 1987 : MORNAND (J.) – Meules antiques du Finistère, *Revue Archéologique*, 1987, 33, p. 11-19.

Morrison 1991 : MORRISON (J.) – Ancient Greek measures of length in nautical contexts, *Antiquity*, 65, 247.

Morley 2007 : MORLEY (N.) – *Trade in Classical Antiquity*. Cambridge, C.U.Press, 118 p.

Nardò 2017 : NARDÒ (L.) – *Il commercio etrusco arcaico nel Tirreno settentrionale : l'evidenza archeologica dei relitti navali, dall'Isola del Giglio alla Francia meridionale*. Tesi di Laurea, Università Tor Vergata, Roma, Italia, 80 p.

Nejrótti 2009 : NEJRÓTTI (L.) – *L'uomo, l'acqua e la montagna. Protoindustria in Alta Val Susa*. Ecomuseo Colombano Romean, Torino, Cahier Ecomuseo n.7, 97 p.

Nowotny 1931 : NOWOTNY (E.) – *Metrologische Nova, Klio*, 24, 1931, p. 247-294.

Olmos Benloch 2008 : OLMOS BENLLOCH (P.) – *Adaptació metrològica grega en l'arquitectura ibèrica de Catalunya* : Puig de Sant Andreu d'Ullastret i Mas Castellar de Pontòs, *CYPSELA*, 17, 2008, p. 273-285.

Olmos Benloch 2009 : OLMOS BENLLOCH (P.) – *Aproximació a la metrologia ibèrica a Catalunya (segles V-II aC)*, *Rev. Arq. Ponent*, 19, 2009, p. 51-74.

Olmos Benloch 2010 : OLMOS BENLLOCH (P.) – *Estudi dels patrons mètrics arquitectònics i urbanístics del món ibèric (segles V-II aC)*. PhD Univ. Universidad Rovira I Virgili, Tarragona, 2010, 453 p.

Orsatelli 1979 : ORSATELLI (J.) - *Les moulins, les moulins à vents, les moulins à eau*. Marseille, Jeanne Laffitte, 1979, 1999, 196 p.

Orsi 1918 – Gli scavi intorno a l'Athenaion di Siracusa, *Monumenti Antichi*, XXV, p. 568 et Fig.

Ouzoulias 2010 : OUZOULIAS (P.) – 13. Les campagnes gallo-romaines : quelle place pour la villa ? p. 189-211. In : OUZOULIAS (P.) , TRANOY (L.) – *Comment les Gaules devinrent romaines*. Paris, La Découverte, 2010, 320 p.

Parkhouse 1976 : PARKHOUSE (J.) - The Dorestad quernstones, *BROB (Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek)*, 26, 1976, p.181-188.

Parkhouse 1997 : PARKHOUSE (J.) – The Distribution and Exchange of Mayen Quernstones in Early medieval Northwestern Europe. In : DE BOE (G.) VERHAEGHE (F) eds. – *Exchange and Trade in Medieval Europe*. Papers of the Medieval Europe Brugge 1997 Conference, Zelik, p. 97-106.

Parkhouse 2014 : PARKHOUSE (J.) – Putting Lava on the Map. p. 19-25. In : OWEN-CROCKER (G. R.), THOMPSON (S. D.) eds. – *Towns and Toography. Essays in Memory of David H. Hill*. Oxford, Oxbowbooks, 2014, 198 p.

Peacock 1977 : PEACOCK (D.P.S.) ed. – *Pottery and Early Commerce. Characterization and Trade in Roman and Later Ceramics*. London, Academic Press, 340 p.

Peacock 1980 : PEACOCK (D.P.S.) – The roman Millstone Trade : a Petrological Sketch, *World Archaeology*, 12, 1, 1980, p. 43-53.

Peacock 1986 : PEACOCK (D.P.S.) – The production of Roman Millstones near Orvieto (Italy). *The Antiquaries Journal*, 66, 1986, p. 45- 51

Peacock 1987 : PEACOCK (D.P.S.) – Iron Age and Roman querns at Lodworth, West Sussex, *Antiquaries Journal*, 67, p. 61-85.

Peacock 1989 : PEACOCK (D.P.S.) – The mills of Pompeii. *Antiquity*, t. 63. 1989, p. 205-214.

Peacock 2013 : PEACOCK (D.P.S.) – *The Stone of Life. Querns, mills and flour production in Europe up to c. AD 500*. Southampton, H.Press, 220 p.

Peacock, Cutler 2011 : PEACOCK (D.P.S.), CUTLER (L.) – *The earliest rotary querns in southern England*. In : WILLIAMS, PEACOCK 2011 eds. – *Bread for The People*, p. 77-80.

Peccerillo 2005 : PECCERILLO (A.) – *Plio-Quaternary Volcanism in Italy: Petrology, Geochemistry, Geodynamics*, Springer, Heidelberg, 2005, 365 p.

Peccerillo 2008 : PECCERILLO (A.) – *Geologia e origini dei vulcani vulsini, Italia centrale*

Peccerillo, Poli, Tolomeo 1984 : PECCERILLO (A.), POLI (G.), TOLOMEO (L.) – genesis, evolution and tectonic significance of K-rich volcanics from the Alban Hills (Roman comagmatic region) as inferred from trace element geochemistry, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 86, 1984, p. 230-240.

Pesteil 2007 : PESTEIL (Fr.) – *Le Puy du Tour, oppidum gaulois*. Ed. Mille Sources, 2007,

Peterse 1984 : PETERSE (C.) – Der oskische Fuss in pompejanischen Atrien, *BAbesch*, 59, 1984, p. 9-30

Petersen 2003 : PETERSEN (L. H.) – The Baker, his Tomb, his Wife and her Breadbasket : the monument of Eurysaces in Rome, *The Art Bulletin*, 85,2, 2003, p. 230-257.

Pétrequin et al. 2006 : PETREQUIN (P.), ARBOGAST (R.-M.), PETREQUIN (A.-M.), VAN VILLIGEN (S.), BAILLY (M.) eds. – *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*. Paris, CNRS éditions, monographies CRA 29, 407 p.

Peyne 2019 : PEYNE (N.) – Une agglomération artisanale gauloise à Blois (Loir-et-Cher). Le site de La Croupe. 73^e supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France, Tours, FERACF, 2019, 321 p.

Peyne 2012 : PEYNE (N.) – La Croupe, rue de la Motte, Blois (FR, 41). Rapport final d'opération archéologique préventive, Eveha/SRA Centre, inédit, 2012.

Philippon 2004 : PHILIPPON (S.) – Etude expérimentale du frottement sec à grande vitesses de glissement. Thèse Université de Metz, 2004, 154 p.

Picavet 2011 : PICAVET (P.), FRONTEAU (G.), BOYER FR.) – Les meules romaines de sept chefs-lieux de cité de Gaule Belgique occidentale, étude du matériel et synthèse bibliographique, *Revue du Nord*, 2011-5 (n° 393), p. 167-226.

Picavet 2019 : PICAVET (P.) – *Les meules rotatives de la fin de l'Age du Fer au Haut Moyen Age entre Seine et Rhin*. Université de Lille 3, Dir. W. Van Andringa

Pichon 1995 : PICHON (M.) – *Le canal gallo-romain et les carrières du Pont de Tendu à Tendu (Indre)*. DFS de fouille archéologique de sauvetage, 15/09/1994 - 31/03/1995, site 360219.028 H, inédit, SRA Centre, 120 p.

Pline l'Ancien 1981 : PLINE L'ANCIEN – *Histoire Naturelle. Livre XXXVI*. Texte établi par J. André, traduit par R. Bloch, commenté par A. Rouveret. Paris, Les Belles Lettres, 1981, 267 p.

Pohl 2010 : POHL (M.) – Quern-stones and Tuff as Indicators of Medieval European Trade Patterns, *Papers from the Institute of Archaeology*, 20, 2010, p. 148 -153.

Poletti Ecclesia, Clerici 2016 : POLETTI ECCLESIA (E.), CLERICI (E.) – Candoglia, luogo di ristoro, di culto, di sepoltura. Dati noti e inediti di un sito pluristratificato, p. 111-142. In : GARANZINI (F.), POLETTI ECCLESIA (E.) – *Fana, Aedes, Ecclesiae. Forme e luoghi del culto nell'arco alpino occidentale dalla preistoria al medioevo*. Atti del convegno in occasione del decennale del Civico Museo Archeologico di Mergozzo (Sabato 18 Ottobre 2014). Mergozzo, 2016, 380 p.

Polinski 2009 : POLINSKI (A.) – Notes sur des meules en trachy-andésite d'époque romaine découvertes en Loire-Atlantique. *Revue Archéologique de l'Ouest*, 26, 2009, p. 189-204.

Pomey, Tchernia 2006 : POMEY (P.), TCHERNIA (A.) – Les inventions entre l'aninymat et l'exploit : le pressoir à vis et la Syracusia. In : LO CASCIO (E.) ed. – *Innovazione tecnica e progresso economico nel mondo romano*. Bari, Edipuglia, 2006, p. 81-99.

Pommepuy 1999 : POMMEPUY (Cl.) – Le matériel de mouture, un marqueur territorial : les meules rèmes et suessiones. In : *Habitats, mobiliers et groupes régionaux à l'Age du Fer*. Actes du XX^e colloque AFEAF, Colmar-Mittelwihr, 16-19 mai 1996, R.A.E, 20^e suppl., 1999, p. 375-385.

Pommepuy 1999 : POMMEPUY (Cl.) – Le matériel de mouture de la vallée de l'Aisne de l'âge du bronze à La Tène finale : formes et matériaux, *Revue archéologique de Picardie*, n° 3/4, 1999, p. 115-141.

Portillo 2006 : PORTILLO RAMIRÈZ (M.) – *La mòlta i triturat d'aliments vegetals durant la Protohistòria a la Catalunya oriental*. Doctoral dissertation. Departament de Prehistoria, Història Antiga i Arqueologia. Universitat de Barcelona. 521 p. + 1.162 p. catalogue et Annexes.

Powell 1995 : POWELL (C.) – The nature and use of Ancient Egyptian Potter's Wheels, *Amarna reports*, 6, Chap. 10, 1995, p. 309-335.

Prévot 2005 : PREVOT (Ph.) – Les éléments de charnières en os et la question de l'excentration des goupilles, *Instrumentum*, Bulletin du Groupe de travail européen sur l'artisanat et les productions manufacturées dans l'Antiquité, 22, déc. 2005, p.19-21.

Procopiou 1998 : PROCOPIOU (H.) – L'outillage de mouture et broyage en Crète minoenne. Thèse de doctorat, université de Paris I, 1998, 2 vol. (261 + 56 p.).

Procopiou, Treuil 2002a : PROCOPIOU (H.), TREUIL (R.) eds. – *Moudre et broyer I - L'interprétation fonctionnelle de l'outillage de mouture et du broyage dans la Préhistoire et l'Antiquité, vol.1 : Méthodes. Pétrographie, chimie, tracéologie, expérimentation, ethnoarchéologie*, Paris, CTHS, 2002, 238 p.

Procopiou, Treuil 2002b : PROCOPIOU (H.), TREUIL (R.) eds. – *Moudre et broyer II - L'interprétation fonctionnelle de l'outillage de mouture et du broyage dans la Préhistoire et l'Antiquité, vol.2 : Archéologie et Histoire: du Paléolithique au Moyen Âge*, Paris, CTHS, 2002, 238 p.

Pujol et al. 2010 : PUJOL (T.), SOLÀ (J.), MONTORO (L.), PELEGRÌ (M.) – Hydraulic performance of an ancient Spanish watermill, *Renewable Energy*, 35, 2010, p. 387-396.

Pujol et al. 2015 : PUJOL (T.), VASHISHT (A. K.), RICART (J.), CULUBRET (D.), VELAYOS (J.) – Hydraulic efficiency of horizontal waterwheels : laboratory data and CFD study for upgrading a western Humalayan watermill, *Renewable Energy*, 83, 2015, p. 576-586.

Py 1978 : PY (M.) – *L'oppidum des Castells à Nages (Gard)*. Paris, CNRS, 35^e suppl. Gallia.

Py 1992 : PY (M.) – Meules d'époque protohistorique et romaine provenant de Lattes. In : PY (M.) dir. – *Recherches sur l'économie vivrière des Lattarenses*. Lattes, ARALO, 1992, Lattara 5, p. 183-232.

Py 2015 : PY (M.) – *Anagia. Les oppida de la Vaunage et la cité gauloise des Castels à Nages (Gard)*. P.U.Méditerranée, Montpellier, 2015, 351 p.

Py 2016 : PY (M.) – *Dictionnaire des objets protohistoriques de Gaule Méditerranéenne*. Lattes, ARALO, 2016, Lattara 23, p. 320-326.

Quesada, Kavanagh, Lanz 2014 : QUESADA SANZ (F.), KAVANAGH DE PRADO (E.), LANZ DOMÍNGUEZ (M.) – Los molinos del yacimiento del Cerro de la Cruz (Almedinilla, Córdoba) : clasificación y análisis de los ejemplares de época ibérica y emiral, *SPAL*, 23, 2014, Universidad de Sevilla, p. 83-118.

Raepsaet 1995 : RAEPSAET (G.) – Les prémices de la mécanisation agricole entre Seine et Rhin de l'Antiquité au 13^e siècle, *Annales HSS*, 4, 1995, p. 911-942.

Raepsaet 2014 : RAEPSAET (G.) – Economie et socio-économie de l'Antiquité, entre théories et pragmatismes. Quelques réflexions, *L'Antiquité Classique*, 83, 2014, p. 181-218.

Ramelli 1588 : RAMELLI (A.) – *Le diverse e artificiose machine*. Paris, casa de l'autore. 195 PL., 690 p.

Raux 1999 : RAUX (ST.) – Les objets de la vie quotidienne à Lattes au IV^e siècle avant notre ère. In : PY (M.) – *Recherches sur le quatrième siècle avant notre ère à Lattes*. Lattes, ARALO, Lattara 12, p. 439-518

Reille 1995 : REILLE (J.-L.) – La diffusion des meules dans la vallée de l'Hérault à l'époque protohistorique et l'identification micro-texturale des basaltes. *Doc. Arch. Mérid*, 18, 1995, pp. 197-205.

Reille 2000 : REILLE (J.-L.) – Détermination pétrographique de l'origine des meules du site d'Ambrussum à Villetelle, Hérault (III^e s. av. - Ier s. ap. J.-C.), *R.A.N*, 33, Montpellier, p. 381-386.

Reille 2000 : REILLE (J.-L.) – L'importation des meules à grains en Languedoc occidental au deuxième Age du Fer sur les sites de Pech-Maho (III^e s. av. J.-C.) et du Cayla de Mailhac (V^e au II^e s. av. J.-C.), *D.A.M.*, 23, p. 273-278.

Reille 2000 : REILLE (J.-L.) – L'origine et l'importation des meules à grains dans un village de la chôra marseillaise aux II^e et Ier s. av. J.-C. (oppidum de La Cloche, Les Pennes-Mirabeau, B.-du-Rhône), *D.A.M.*, 23, p. 279-282.

Reille 2000 : REILLE (J.-L.) – L'apparition des meules rotatives en Languedoc oriental (IV^e s. avant J.-C.) d'après l'étude du site de Lattes. *Gallia*, 57, 2000, p. 261-272.

Reille 2001 : REILLE (J.-L.) – L'origine des meules à grains dans l'oppidum protohistorique de Montlaurès (Narbonne, Aude) du VI^e au Ier s. av. n. 7., *D.A.M*, 24, p. 201-206.

Reille 2001 : REILLE (J.-L.) – L'importation des meules domestiques dans la forteresse d'Olbia (Hyères, Var) entre le II^e s. av. n.è. et le Haut Empire, *DAM*, 21, 2001, p. 207-211

Reille 2002 : REILLE (J. L.)– Meules à grain de provenance septentrionale (Coirons, Massif central) sur deux sites protohistoriques du Languedoc oriental ; Le Marduel (IV^e-Ier s.) et Nages (III^e-Ier s.). *D.A.M.* n° 22, 2002, p. 225-232.

Rénière 2018 : RÉNIÈRE (S.) – Sourcing the stone in Roman Northern Gaul : on the provenance, use, and socio-economics of stone tools in a stoneless landscape, the case of the northern *civitas Menapiorum*. Thèse Université de Ghent, Belgique, Dir. W. De Clercq et V. Cnudde, 2018, 514 p.

Rénière et al. 2016 : RÉNIÈRE (S.), DREESEN (R.), FRONTEAU (G.), GLUHAK (T.), GOEMAERE (E.), HARTOCH (E.), PICAUVET (P.), DE CLERCQ (W.) – Querns and mills during Roman times at the northern frontier of the Roman Empire (Belgium, northern France, southern netherlands, western germany) : Unravelling geological and geographical provenances, a multidisciplinary research project. In : ROSENBERG (D.), GLUHAK (T.) eds. – Proceedings of the Haifa Ist International Conference on ground Stones Artifacts, *Journal Lithic Studies*, 2016, 3, 3, p. 403-428.

Renzulli et al. 2002 : RENZULLI (A.), SANTI (P.), NAPPI (G.), VITALI (D.) – Provenance and trade of volcanic rock millstones from Etruscan-Celtic and Roman archaeological sites in Central Italy. *European Journal of Mineralogy*, 14, 2002, p. 175-183.

Robin 2009 : ROBIN (B.) – Étude des meules. Vol.2, p. 554-556. In : FENCKE (E.) – *Voves « Le Moulin Gergeot » : Une occupation rurale de la Tène Finale- Projet de déviation routière*. DFS de fouille archéologique préventive, Chartres, Conseil Général d'Eure & Loir, service de l'Archéologie. Rapport inédit remis à la DRAC Centre, SRA, 2008, Vol.1, 505 p.

Robin 2010 : ROBIN (B.) – Prasville : Vers Chesnay : étude des meules gauloises et gallo-romaines. Vol.2, P. 443-460. In : BAILLEUX (Grégoire.) – *Prasville, vers Chesnay, Les fontenelles. Un établissement rural de La Tène B.2 au début du III^e siècle*. Rapport final d'opération archéologique préventive. SRA/INRAP, 2010, 2 vol., inédit

Robin 2012 : ROBIN (B.) – Etude des meules. In : PEYNE (N.) et al. 2012 – *Le site de la Croupe, Rue de la Motte à Blois (FR. 41)*. Rapport Final d'Opération. Archéologique, Eveha, 2012, inédit SRA Centre.

Robin 2012 : ROBIN (B.) – Étude des meules. In : JOSSET (D.) – *Les occupations celtiques du VIe au Ier avant J-C. : Ymonville, Eure-et-Loir, Les Hyèbles, Secteur 2 nord, secteur sud. : rapport de fouille*. Inrap CIF , 2012, 4 vol. (606, 311, 392, 324 p.), ill. coul., 424 pl.

Robin 2014 : ROBIN (B.) – Les meules rotatives en territoire carnute : provenances et consommation. In : DERU (X.), GONZALEZ-VILLAESCUSA (R.) – *Consommer dans les campagnes de la Gaule romaine*. Actes du Xè congrès AGER, Lille, Revue du Nord, HS. 21, p. 85-91.

Robin 2014 : ROBIN (B.) – Saran “Champ Rouge” (45). Etude du mobilier de mouture. Rapport inédit, juin 2014, p. 10.

Robin, Ben Kaddour, Joly 2011 : ROBIN (B.), BEN KADDOUR (C.), JOLY (D.) – Les meules de Chartres : fouille du Cinéma et de Clos Vert. In : BUCHSENSCHUTZ *et al.* eds. 2011, p. 385-399.

Rojas-Solà, Lòpez-García 2007 : ROJAS-SOLÀ (J.), LÒPEZ-GARCÍA (R.) – Engineering graphics and watermills : Ancient technology in Spain, *Renewable Energy*, 32, 2007, p. 2019-2033.

Romeuf 1978 : ROMEUF (A.-M.) – Un moulin à eau gallo-romain aux Martres-de-Veyre (Puy-de-Dôme), *Revue d’Auvergne*, 92 (2), p. 23-41.

Rostovtzeff 1937 : ROSTOVTZEFF (M. I.) – Two Homeric Bowls in the Louvre, *American Journal of Archaeology*, 41,1, 1937, p. 86-96.

Roth-Congès 1985 : ROTH-CONGES (A.) – Glanum préromaine : recherche sur la métrologie et ses applications dans l’urbanisme et l’architecture, *R.A.N.*, 18, 1985, p. 189-220.

Rottländer 1967 : ROTTLÄNDER (C. A.) – Is Provincial-Roman Pottery Standardized ? *Archaeometry*, 9, 1967, p. 76-91.

Rottländer 1991 : ROTTLÄNDER (C. A.) – Gibt es den dorich-pheidonischen Fuß ? In : ROTTLÄNDER (C. A.), AHRENS (D.), eds. – *Ordo et Mensura*. St. Katharinen 1991, p. 145-151

Rottländer 1993 : ROTTLÄNDER (C. A.) – Ancient units of length: Their accuracy and development. *Archaeology and natural Science*, 1, 1993, p. 117-126.

Rottländer 1994 : ROTTLÄNDER (C. A.) – Der Vindonissa-Fuß und andere vormetrische Längenmaße in Bern, *Öster. Jahreshefte*, 64, 1994, p. 146-155.

Rottländer 1996a : ROTTLÄNDER (C. A.) – New ideas about old units of length, *Interdisciplinary Science Reviews*, 21, 3, 1996, p. 235-242.

Rottländer 1996b : ROTTLÄNDER (C. A.) – Studien zur Verwendung des rasters in der Antike, 2, *ÖJh*, 65, p. 1-86.

Rottländer 1999 : ROTTLÄNDER (C. A.) – Measurment units of the Linear pottery culture and ancient metrology, *Archäologisches Korrenzpodensblatt*, 1999, 29, 2, p. 189-20.

Rouillard 1996 : ROUILLARD (J.) – *Moulins hydrauliques du Moyen Age : l’apport des comptes des chanoines de Sens, XVè siècle*. AEDEH- Vulcain, collection Histoire et Patrimoine, 96 p.

Roux, Corbetta 1990 : ROUX (V.), CORBETTA (D.) – *Le tour du potier : spécialisation artisanale et compétences techniques*. Editions du CNRS, Paris, Monographie du CRA n°4.

Roux, Courty 2005 : ROUX (V.), COURTY (M.-A.) – Identifying social entities at a macro-regional level : Chalcolithic ceramics of South Levant as a case study. In : LIVINGSTONE SMITH (A.), BOSQUET (D.), MARTINEAU (R.) eds. – *Pottery Manufacturing Processes : Reconstitution and Interpretation*, Actes du XIVè Congrès UISPP, Université de Liège (Belgique), 2-8 septembre 2001, Oxford, BAR International Series 1349, 2005, p. 201-214.

Roux, Jeffra 2015 : ROUX (V.), JEFFRA (C.) – The Spreading of the Potter's Wheel in the Ancient Mediterranean. A social context-dependent phenomenon. In : GAUSS (W.), KLEBINDER-GAUSS (G.), VON RÜDEN (C.) eds. – *The Transmission of technical Knowledge in the Production of Ancient Mediterranean Pottery*. Proceedings of the International Conference at the Austrian Archaeological Institute of Athens (23d-25th November 2012), Österreichische Archäologische Institut, 2015, p. 165-182.

Roux, De Miroschedji 2009 : ROUX (V.), DE MIROSCHEDJI (P.) – Revisiting the History of the Potter's Wheel in the Southern Levant, *Levant*, 41, 2, p.155-173.

Runnels 1981 : RUNNELS (C.) – *A Diachronic Study and Economic Analysis of Millstones from the Argolid, Greece*. PHD dissertation, Indiana University, Bloomington, Ann Arbor, 2 vol. 402 p.

Rutter et al. 2003 : RUTTER (G. P.), PEARSON (D. G.), PHILIP (G.), DAY (J. M. D.), OTTLEY (C. J.) – *The use of ICP-MS in Provenancing igneous Stone Artefacts : examples from the southern Levant*. In : HOLLAND (G.), TANNER (S.D.) eds. – *Plasma Source Mass Spectrometry : Applications and Emerging Technologies* eds. Royal Soc. Chem. Publications, 2003.

Rynne 1989 : RYNNE (C.) – Archaeology and the Early Irish Watermill, *Archaeology Ireland*, 3, 3, 1989, p. 110-114.

Rynne 1989 : RYNNE (C.) – The Introduction of the Vertical Watermill into Ireland: Some Recent Archaeological Evidence, *Medieval Archaeology*, 33, 1989, p. 21-31.

Rynne 2011 : RYNNE (C.) – Technological Continuity, Technological « Survival » : the Use of Horizontal Mills in Western Ireland, c. 1632-1940, *Industrial Archaeology Review*, 33, 2, 2011, p. 85-95

Sàez 2013 : SAEZ FERNÁNDEZ (P.) – *La suspensa mola de Columela y las molaes oleariae*. In : NOGUERA CELDRÁN (J. M.), ANTOLINOS MARÍN (J. A.) eds. – *De vino et oleo Hispaniae. Areas de producción y procesos tecnológicos del vino y el aceite en la Hispania romana*. Coloquio Internacional, Museo Arqueológico de Murcia (5-7 de mayo de 2010), Univ ; Murcia, *Anales de Prehistoria y Arqueología*, 27-28, 2011-2012, 2013 , p. 59-75.

Salac 2013 : SALAC (V.) – De la vitesse des transports à l'Age du Fer. In : COLIN (A.), VERDIN (FL.) eds. – *L'Age du fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulations des biens dans l'espace européen à l'Age du Fer*. Actes du 35^e colloque AFEAF (Bordeaux mai 2011), Bordeaux, suppl. Aquitania 30, 2013, p. 489-511.

Salac 2013 : SALAC (V.) – Bohemia as a Model territory for research on Transport and Trade in Prehistory. In : KERIG (T.), ZIMMERMANN (A.) eds. – *Economic archaeology : from structure to performance*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 237, Bonn, Habelt, 2013, 337 p., p. 223-240.

Salač 2017 : SALAČ (V.) – Zmetky na export? K domnělým laténským mlýnským kamenům z Loub. u Děčína, *Archeologie ve středních Čechách*, 21, 2017, p.335-345.

Santi et al. 2000 : SANTI (P.), RENZULLI (A.), NAPPI (G.), VITALI (D.), LUNI (M.) – Studio archeometrico delle macine del sito etrusco celtico (IV-III sec. a.C.) di Monte Bibele (Emilia Romagna) e del sito romano (II sec. a.C. – VI sec. d.C.) di Fossombrone (Marche). In: *Atti del I° Congresso Nazionale di Archeometria*, Patron, p. 209-223.

Santi, Renzulli 2006 : SANTI (P.), RENZULLI (A.) – Italian volcanoes as landmarks for the spreading of trade networks during the Etruscan and Roman periods : the millstones and flagstones case study, *Acta Vulcanologica*, 18, (1-2), 2006, p. 133-140.

Satta, Lopez 2010 : SATTÀ (M. C.), LOPEZ (G.) – Macine granarie dal mare di Bosa (Sardegna). Produzione, diffusione e commercio, p. 1325-1356. In : MILANESE (M.), RUGGERI (P.), VISMARA (C.) a cura di. – *L'Africa romana. I luoghi e le forme dei mestieri e della produzione nelle province africane. Volume II*. Atti del XVIII convegno di studio, Olbia, 11-14 Dicembre 2008, Roma, Carocci, p. 1325-1356.

Schon 1995 : SCHON (V.) – *Die Mühlsteine von Haitabu und Schleswig*. Berichte über die Ausgrabungen in Haitabu, 31, Neumünster, Wachholtz, 1995, 156 p.

Schrambach 2009 : SCHRAMBACH (A.) – *Roues hydrauliques*. Editions FFAM, 2009, n° spécial 22, 160 p.

Schubert, Schubert 1993 : SCHUBERT (F.), SCHUBERT (M.) – Metrological research into the foot measurement found in the celtic oppidum of Manching, *Complutum*, 4, p. 227-236.

Servelle Thomas 2011 : SERVELLE (CHR.), THOMAS (E.) – Les meulières protohistoriques et antiques de La Marèze (Saint-Martin-Laguépies et Le Riols, Tarn) : matières premières, modalités d'exploitation et de façonnage, diffusion de la production. In : GRUAT (PH.), PAILLER (J.-M.), SCHAAD (D.) – *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain. 150 a.C - 100 p.C*. Actes du colloque de Rodez & Millau (15-17 Novembre 2007), suppl. 25 à Aquitania, Bordeaux, 699 p., 2011, p. 461-474.

Shaffrey 2003 : SHAFFREY (R.) – The rotary querns from the Society of Antiquaries' excavations at Silchester, 1890-1909, *Britannia*, 34, p. 143-174.

Shaffrey 2015 : SHAFFREY (R.) – Intensive Milling practices in the Romano-British Landscape of Southern England : Using Newly Established Criteria for Distinguishing Millstones from rotary Querns, *Britannia*, 46, 2015, p. 55-92.

Sigaut 1988 : SIGAUT (FR.) – L'évolution technique des agricultures européennes avant l'époque industrielle. *RACF*, 27, 1, p. 7-41.

Sievers 2003 : SIEVERS (S.) – *Die Keltenstadt Führer zu archäologischen Denkmälern*. Oberbayern 3, Stuttgart, Theiss, 2003, 158 p. 143 abb.

Solier, Fabre 1969 : SOLIER (Y.), FABRE (H.) – L'oppidum du moulin à Peyriac de Mer : fouilles 1966-1967-1968, *Bull. Soc. Etud. Hist. Aude*, LXIX, p. 69-106.

Spagnolo Garzoli 2009 : SPAGNOLO GARZOLI (Giuseppina.) ed. – *I Celti di Dormelletto*. Aligraphis, 2009, 259 p.

Spain 1984 : SPAIN (R. J.) – The second century Romano-British watermill at Ickham, Kent. *The History of Technology* 9, 1984, p.143-80.

Sposito 2008 : SPOSITO (A.) – Le macine nell'Antichità. In : SPOSITO (A.) – *Tecnologia Antica. Storie di procedimenti, tecniche e arte fatti*. Palermo, Flaccovio, 2008, 342 p., p. 193-220.

Stark 1995 : STARK (B. L.) – Problems in Analysis of Standardization and Specialization in Pottery. In : MILLS (B. J.), CROWN (P. L.) eds. – *Ceramic Production in the American Southwest*, University of Arizona Press, Tucson, p.231-267.

Stieglitz 2006 : STIEGLITZ (R. R.) – Classical Greek Measures and the Builder's Instruments from Ma'agan Mikael Shipwreck, *Am. Journ. Arch.*, 10, 2, 2006, p. 195-203.

Stopponi 2009a : STOPPONI (S.) – Campo della Fiera di Orvieto: nuove acquisizioni. *Ann. Faina*, 16, 2009, p. 425-478.

Stopponi 2011 : STOPPONI (S.)– Campo della Fiera at Orvieto : new discoveries. In : DE GRUMMOND (N.T.), EDLUND BERRY (I.) eds. – *The Archaeology of Sanctuaries and Ritual in Etruria*, Journal of Roman Archaeology, Supplement 81, 2011, p. 16-44.

Tabaczynski 1980 : TABACZYNSKI (St.) – Sur l'archéologie théorique dans les pays de l'Europe centrale et orientale, *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 3, 1980, p. 29-40.

Tendron 2009 : TENDRON (G.) – Un témoignage inédit de découpe à l'aide d'un foret parmi les décors d'applique du sanctuaire du Gué-de-Sciaux, Antigny (Vienne, F), *Instrumentum*, 29, 2009, p. 29-30.

Thomas 2005 : THOMAS (E.) – *Les meules rotatives du second Age du Fer sur la bordure Sud-ouest du Massif Central*. inédit, mémoire de Master en Archéologie (M1), dir. Fr. Perrin Univ. Lyon II, 104 p.

Thomas 2006 : THOMAS (E.) – *Les meules rotatives du second Age du Fer sur la bordure Sud-ouest du Massif Central*. inédit, mémoire de Master en Archéologie, dir. P.-Y. Milcent, Univ.Toulouse (M2 2006), 96 p.

Ugolini 2010 : UGOLINI (D.) – Présences étrangères méditerranéennes sur la côte du Languedoc-Roussillon durant l'âge du Fer : de la fréquentation aux implantations durables, *Pallas*, 84, 2010, p. 83-110. (en ligne: <https://www.academia.edu/3725919/>).

Ugolini 2012 : UGOLINI (D.) – D'Agde à Béziers : les Grecs en Languedoc occidental (de 600 à 300 av. J.-C.). In : HERMARY (A.), TSETSKHLADZE (G. R.) eds. – *From the Pillars of Hercules to the Footsteps of the Argonauts*, Leuven/Paris, 2012, p. 163-203.

Ugolini, Pardies 2018 : UGOLINI (D.), PARDIES (C.) – L'évolution topographique de l'habitat d'Agathè (Agde, FR. . VIè av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C., *Archeologia Classica* , LXIX, 2018, Roma, p. 167-196.

Ulrix 1971 : ULRIX (Fl.) – Propos sur la métrologie du Moyen Age en architecture, *Annales de la Fédération archéologique et historique de Belgique*, 40è session, 1971,p. 683-696.

Vanmoerkerke 2018 : VANMOERKERKE (J.) – Quelle archéologie préventive face à un aménagement du territoire en évolution permanente ? analyse structurale des terrassements effectués annuellement en France, perspectives pour une archéologie préventive raisonnée et durable, p.59-174. In : BRUN (P.), MARCIGNY (C.), VANMOERKERKE (J.) eds. – *L'archéologie préventive post-Grands Travaux. Traiter de grandes surfaces fractionnées et discontinues : de l'instruction des dossiers d'aménagement aux modèles spatiaux*. Actes de la Table Ronde de Chalons-en-Champagne, 31 mai – 1er Juin 2012, Bull. Soc. Arch. Champenoise, 110, 2017-4, 2018, 262 p.

Van Ossel, Defgnée 2001 : VAN OSSEL (P.), DEFGNÉE (A.) – *Champion, Hamois. Une villa romaine chez les Condruses. Archéologie, environnement et économie d'une exploitation agricole antique de la Moyenne Belgique*. Namur, Institut du Patrimoine Wallon, Etudes et d'ocuments d'archéologie, 7, 2001, 272 p.

Vashisht 2012 : VASHISHT (A. K.) – Current status of the traditional watermills of the Himalayan region and the need of technical improvements for increasing their energy efficiency, *Applied Energy*, 98, 2012, p. 307-315.

Véron 2015: VERON (C.) – *Les moulins hdrauliques et leur approvisionnement en meules : technique, espace et société en Vivarais du Moyen Age au XIXè siècle*. Université de Grenoble Alpes, Histoire, Dir. A. Belmont.

Vignet-Zunz 2014 : VIGNET-ZUNZ (J.) – *Les Jbala du Rif. Des lettrés en montagne*. Casablanca, Croisée des Chemins, 409 p.

Vigueras González 2001 : VIGUERAS GONZÀLEZ (M.) – La Tecnología de los Molinos de Rodezno en la Epoca de Felipe II. Los molinos de rodezno descritos en el Manuscrito de Janelo Turriano y en el de Francisco Lobato y los existentes en el alto Guadalimar (Sierra Segura) segùn las relaciones de Felipe I en 1575. *Actas III Jornadas Nacionales de Molinología* (Cartagena, Murcia, espana), 2001, p. 623-642.

Vivar Lombarte 2013 : VIVAR LOMBARTE (G.) – *El derelictè d'Illa Pedrosa. Comerç marítim I xarxes de redistribució en època tardorepublicana al mediterrani centre-occidental*. Thèse soutenue à l'Université de Barcelone (Roca Roumens (M.) et Nieto (X.)). inédit, 408 p.

Wahl-Clerici et al. 2015 : WAHL-CLERICI (R.), WIECHOWSKI (A.), HELFERT (M.), RAMMINGER (B.), SCHIERL (Th.) – Die Mühlsteinproduktion im Steinbruch von Fonte da Ribeira. Zum Römischen bergwerkdistrikt von Três Minas, Gralheira und Campo de Jales (Distr. Vila Real, Portugal), *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 2015, 45, 3, RGZM, p. 379-393.

Waldhauser 1981 : WALDHAUSER (J.) – Keltské rotační mlýny v Čechách, Památky archeologické - Keltische Drehmühlen in Böhmen. *Památky Archeologické*, 72, 1981, p. 153-221.

Watts 2002 : WATTS (M.) – *The archaeology of mills and milling*. Stroud, Tempus Publications, 160 p.

Wefers 2009 : WEFERS (S.) – Studien zu vorgeschichtlichen Drehmühlen in dem Gebiet zwischen den Produktionsstätten Mayen und Lovosice, *Archäologisches Nachrichtenblatt*, 14, 3, 2009, p. 232-240.

Wefers 2011 : WEFERS (S.) – Still using your saddle quern ? A compilation of the oldest known rotary querns in western Europe. In : WILLIAMS, PEACOCK eds. 2011, p. 67-76.

Wefers 2012 : WEFERS (S.) – *Latènezeitliche Mühlen aus dem Gebiet zwischen den Steinbruchrevieren Mayen und Lovosice*. Monographien des RGZM, Band 95, 2012, 371 p.

Wefers, Mangartz 2014 : WEFERS (ST.), MANGARTZ (F.) – Millstones of Aswan red granite found on the island of Elephantine, Egypt. In : SELSING 2014 - *Seen through a millstone*, proceedings of the Bergen Colloquium, 2011, AmS-Skrifter 24, p. 83-96.

Wenzel 2020 : WENZEL (St.) – Lava rotary querns of „Iron Age type“ in Roman times, *Journal of Lithic Studies*, 2020, 7, 3, 40 p.

Whitaker 1921 : WHITAKER (J. I.) – *Motya, a Phoenician Colony in Sicily*. London, Bells & Sons, 1921, 357 p.

White 1963 : WHITE (D.) – A survey of millstones from Morgantina. *American Journal of Archaeology*, 67, 1963, p. 199-206.

Wikander 1979 : WIKANDER (Ö.) – Water-mills in Ancient Rome, *Opuscula Romana*, 12, 1979, p.13-36.

Wikander 1981 : WIKANDER (Ö.) – The use of water-power in classical Antiquity, *Opuscula romana*, 13, 1981, p. 91-104.

Wikander 1984 : WIKANDER (Ö.) – *Exploitation of water-power or technological stagnation? A reappraisal of the productive forces in the Roman Empire*. Lund, 1984, Scripta minora Regiae Societatis humaniorum litterarum Lundensis, 1983-1984, 3, 47 p.

Wilson 2003 : WILSON (A.). – Late Antique water-mills on the Palatine. *Papers of the British School at Rome*, t. LXXI. 2003, p. 85-109.

Wilson 2003 : WILSON (A.). – The water-mills on the Janiculum, *Memoirs of the American Academy at Rome*, 45, 2001, p. 219-246.

Williams, Peacock 2011 : WILLIAMS (D.F), PEACOCK (D.P.S.) - A group of early Roman quernstones from 1 Poultry, London, EC4'. In : HILL (J.), ROWSOME (P.) – *Roman London and the Walbrook stream crossing. Excavations at 1 Poultry and vicinity, City of London, Part II*. Museum of London, Archaeology Monograph 37, 2011.

Williams, Peacock 2011 : WILLIAMS (D.), PEACOCK (D.) eds. – *Bread for the people : The Archaeology of Mills and Milling* : Proceedings of a colloquium held in the British School at Rome, 2009. University of Southampton, 2011, (International Series BAR 2274).

Williams, Peacock 2011 : WILLIAMS (D.), PEACOCK (D.) – Pompeian style mills in Britain. In : WILLIAMS, PEACOCK eds. 2011, p. 117-122.

Williams, Peacock s.d. : WILLIAMS (D.), PEACOCK (D.) – Poultry 2011/s.d.

Williams-Thorpe 1987 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – Els orígens geològics dels molins romans de pedra del Nord-Est de Catalunya, I l'ús de les laves de la regió volcànica d'Olot, *Vitrina*, 2, 1987, p. 49-58

Williams-Thorpe 1988b : WILLIAMS-THORPE (O.) – Provenancing and archaeology of Roman millstones from the Mediterranean area, *Journal of Archaeological Science*, t. 15. 1988, p. 253-305.

Williams-Thorpe 1990 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – Millstone provenancing used in tracing the route of a fourth-century BC Greek merchant ship. *Archaeometry*, 32, 1990, 115-37.

Williams-Thorpe 1991 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – The import or millstones to Roman Mallorca, *JRA*, 4, 1991, p.152-159

Williams-Thorpe 1991 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.), ELLIOTT (C.), XENOPHONTOS (C.) – Archaeology, Geochemistry, and Trade of Igneous Rock Millstones in Cyprus During the Late Bronze Age to Roman Periods, *Geoarchaeology*, 6, 1, 1991, p. 27-60.

Williams-Thorpe 1993 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – Geochemistry and Trade of Eastern Mediterranean Millstones from the Neolithic to Roman Periods, *J. Arch. Sc.*, 1993, 20, p. 263-320

Williams-Thorpe, Thorpe 1988a : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – The provenance of donkey mills from Roman Britain. *Archaeometry*, t. 30, fasc. 2. 1988, p. 275-289.

Williams-Thorpe, Thorpe 1989 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – Provenancing and Archaeology Of Roman Millstones From Sardinia (Italy), *Oxford Journal Of Archaeology*, 8(1), p.89-113.

Williams-Thorpe, Thorpe 1990 : WILLIAMS-THORPE (O.), THORPE (R. S.) – Millstone provenancing used in tracing the route of a fourth-century BC Greek merchant ship. *Archaeometry*, 32, 1990, 115-37.

Wilson 2009 : WILSON (A. I.) – Indicators for Roman economic growth: a response to Walter Scheidel, *Journal of Roman Archaeology*, 22.1: 71–82.

Wilson 2011 : WILSON (A.) – Developments in Mediterranean shipping and maritime trade from the Hellenistic period to AD 1000. In : ROBINSON (D.), WILSON (A.) eds. – *Maritime Archaeology and Ancient Trade in the Mediterranean*. Proceedings of the International Conference held in Madrid, 2011, Oxford, Oxford Centre for Maritime Archaeology Monographs, Chap.2, p. 33-59.

Xanthoudidès 1927 : XANTHOUDIDÈS (S.) – Some Minoan Potter's-Wheel Discs. In : CASSON (S.) ed. – *Essays in Aegean Archaeology Presented to Sir Arthur EVANS*. Oxford, Clarendon Press, 1927, p. 111-131.

Zachrisson 2014 : ZACHRISSON (T.) – Rotary querns and bread : a social history of Iron Age Sweden. In : SELSING (L.) - *Seen through a millstone*, AmS-Skrifter, 24, p. 181-191.

Zannol 2016 : ZANNOL (L.) – *Le macine tra Antichità e Medioevo : Evoluzione tecnologica, produzioni e commercio*. Tesi di Laurea, corso di specializzazione, Archeologia cristiana e medievale, Università di Pisa, dir. Prof. F. Cantini, 2016, 225 p.

Zaour et al. 2011 : ZAOUR (N.), JAHIER (I.), LEPAUMIER (H.), VAUTERIN-BESNARD (C.-C.) – Les meules dans l'habitat enclos du second Age du Fer en Basse-Normandie : première approche. In : BUCHSENSCHUTZ et al. eds. 2011, p. 447-458.

Zara 2018 : ZARA (A.) – *La trachite euganea : archeologia e storia di una risorsa lapidea del Veneto antico*. Roma, Quasar edizioni, 2018, Antenor Quaderni, 2 vol., 809 p.

Zelener 2006 : ZELENER (Y.) – Between technology and productivity. In : LO CASCIO ed., 2006, p. 303-318.

CATON *Re Rustica*, CXXXV
DIGESTE –
EDIT DU MAXIMUM –
VITRUVIUS – *De Architectura*

GLOSSAIRE.

Figurent en vert les corrections typographiques et orthographiques, et parfois quelques retouches rédactionnelles, apportées à la version officiellement déposée de la thèse.

Bloc Capable

Volume de pierre dégrossi ou équarri dans lequel s'inscrit géométriquement la forme finale (ABDUL MASSIH, BESSAC 2009, p. 21).

Il n'est pas inintéressant d'appréhender le volume de ce bloc, notamment dans l'examen des démarches de calibrage des Anciens, pour apprécier les poids initiaux manipulés par les opérants meuliers ou encore pour calculer le volume perdu au Façonnage. Les Blocs Capables que nous considérons sont alors *a minima* puisque définis par le Diamètre et la Hauteur Maximaux observés à partir d'une meule ou d'une Ebauche, cependant que le Bloc Capable réel, inatteignable par l'archéologie, pouvait comporter un « gras de taille » le rendant un peu plus ample (de quelques *Digitus*).

Calibration (voir également Standard, Norme, Gabarit)

La **calibration** consiste, lors de la production en série d'objets manufacturés, à configurer les objets fabriqués au plus près de la valeur-cible recherchée (par ex. 6 Doigts pour l'embouchure d'un vase). Cette calibration peut être plus ou moins lâche (on parlera alors de **Standard**) ou resserrée autour de la valeur (on parlera alors plutôt de **Norme**). Elle peut être obtenue au moyen d'outils (tels qu'un cadre, un moule, un **gabarit**) ou par la répétition apprise d'un geste calibré (cas du tournage céramique).

L'expression de la **calibration** se mesure par l'indice de standardisation (σ / μ)

Capital Horaire (CH)

Nombre total d'heures renfermé dans la Hauteur Utile (**HU**) d'une meule.

Le CH est en fait le produit de la division de HU (cm) par la hauteur usée en 1 H de fonctionnement de la meule (Taux d'Usure Horaire meulier ou **TUHml**). Le Capital Horaire d'une meule dépend donc essentiellement de la dureté de la pierre ; certains matériaux s'usant plus vite que d'autres une HU de 10 cm ne représente donc pas la même durée pour une lave, un conglomérat ou un grès. La non-connaissance de ce paramètre empêche de transcrire une HU en une durabilité. L'archéologie aurait par conséquent grand avantage à calculer, par expérimentation modélisée, le taux d'usure horaire d'une douzaine de matériaux de base.

La notion de Capital Horaire est synonyme de Durabilité. En revanche, la **Longévité** d'une meule est différente, car elle dépend des conditions d'utilisation qui vont plus ou moins rapidement consommer le Capital Horaire.

Conicité

Angulation, Pente ou **Conicité** sont des termes équivalents.

Angle Latéral Angle formé entre l'horizontale et le sommet du Cône d'une meule. Il correspond à la Conicité. Nous le codons parfois (Tableaux) °L ou Angle°L.

Angle Sommital Angle formé par la pointe du Cône d'une *Meta*. Il s'agit le plus souvent d'un angle théorique car cette pointe, initialement formée lors de la taille et observable sur certaines ébauches des stades II et III, est ensuite détruite par le façonnage de l'œil. Géométriquement l'Angle Sommital est complémentaire de l'Angle Latéral.

Angle Général Angle formé par la droite tangente à la fois au Diamètre de la Base (DB) et au Diamètre (DS) de la tête d'une *meta*. Il configure l'aspect tronconique général de la *Meta*. On peut le noter DB-DS. Cet angle apparaît constant pour l'ensemble des *Metae* d'une production, sinon tendancielle pour toutes les *Metae* de Style Pompéien. A Orvieto il est centré sur 78°. Nous le codons parfois (sur les Tableaux) °G ou Angle°G.

La Conicité d'une meule est définie par 2 paramètres configurants : la Hauteur du Cône (HCo) et le Diamètre de la base du Cône (DEp). La fonction qui la définit est Tangente de HCo/Rayon de DEp.

Pour déterminer la Pente ou Conicité d'une meule le meulier devait, pour l'Angle qu'il devait réaliser, connaître la Hauteur de Cône correspondant au Diamètre de son Ebauche puis reporter cette HCo sur le flanc du tambour, vers le bas à partir de la bordure et du plan supérieur, auparavant soigneusement aplani et dont il avait préalablement marqué le centre.

Fabriquant régulièrement en 2 ou 3 conicités pour toute une batterie de diamètres, un atelier devait très probablement disposer d'une table indiquant, à la croisée de chaque angle et de chaque diamètre, la Hauteur de Cône à réaliser. Il est possible qu'avec la pratique, les meuliers aient rapidement connu par cœur les 15 ou 20 valeurs de HCo correspondant à chaque Diamètre et Angle.

Diamètre

D. Diamètre observé et, sauf précision contraire, Diamètre Maximal (aussi **DM.**)

DB. Diamètre de la Base d'une meule (souvent = DM)

DS. Diamètre Supérieur d'une meule

DM. Diamètre Maximal

DMExt. Diamètre Maximal Extérieur : pour un *Catillus* Pompéien, diamètre externe à l'étranglement entre les 2 cônes

Dm. Diamètre minimal

DO. Diamètre de l'Ouverture (= Diamètre Intérieur d'un Cône ou d'un Creusement)

DCo. Diamètre d'un Cône (plus souvent codé D.INT.Inf ou D. INT. Sup.)

D.INT.Inf. Diamètre Intérieur Inférieur d'un Cône (= DO. Inférieur)

D.INT.Sup. Diamètre Intérieur Supérieur d'un Cône (= DO. Supérieur)

DC. Diamètre de l'Evidement Inférieur d'une meule (*Meta*)

DNf. Diamètre à Neuf (valeur à neuf du Diamètre à l'issue de l'atelier)

DUs Diamètre à l'état d'Usure ou d'Utilisation

Dr. Indicateur parfois utilisé pour indiquer un Diamètre dans son état conservé (restant) ou sa valeur observée (quand il est nécessaire de la distinguer de D.)

Durabilité

d'une meule : voir à [Capital Horaire](#)

Emmanchement (EMM.)

Logement, Mortaise ou Trou pratiqués dans le flanc ou la surface d'une meule (*Catillus*) afin d'y placer ce que l'on suppose être un manche (en général en bois) pour actionner la meule. Ce logement peut réunir un perçement supérieur et un perçement pratiqué dans le flanc. Ce dispositif peut correspondre à l'engagement d'un anneau destiné à fixer un manche vertical ou une bielle.

Il est parfois difficile de déterminer le type de dispositif accueilli par ces encoches, logements ou perforation dite d'Emmanchement et leur rôle dans l'actionnement de la meule ou dans des actions connexes, telles que notamment la vibration du grain ou de la poche à blé ou bien des avertisseurs, dispositifs entraînés par la rotation. La recherche nécessite d'être fortement développée dans ce secteur. Certaines meules de l'Antiquité Tardive voire du HMAge portent fréquemment plusieurs trous verticaux (voir CZYSZ 2019).

Gabarit

Ce terme recouvre deux réalités : le **Gabarit** est l'équivalent du terme « taille » ou « mesure », en particulier au sein d'une **Gamme**. Par exemple le gabarit d'une meule (de préférence donné en Dgt ou en Pouce) peut-être 1 Pied $\frac{1}{4}$ (son Diamètre en cm).

Mais le terme de **Gabarit** désigne également un outil (par exemple en bois ou métal utilisé en céramique) pour, en cours de fabrication, configurer un objet selon le juste profil ou la bonne taille, correspondant au **standard** ou à la norme **recherchés**. Il s'agit d'un outil de **calibration**. Il élimine alors les valeurs supérieures et ne permet que les objets égaux ou inférieurs à la norme.

Hauteur

H. Hauteur maximale observée

HCo. Hauteur du Cône

HTr. Hauteur de la trémie (*Catilli*)

HNf. Hauteur à Neuf

HU. Hauteur utile ($HU = HNf - HP$)

HUr. Hauteur utile restante

HP. Hauteur Passive ($HP = H - HU$)
pour *Catilli* : $HP = HCo + HTr$
pour *Metae* : $HP = HCo$ ou HPb (si Hc ou $HPS > HCo$)

HPi. Hauteur Passive incompressible : Hauteur de pierre qui ne peut être usée, toujours observable sur les meules usées en totalité. Elle complète HCo, HP répondant en général à la formule $HP = HCo + Hpi$ (voir notamment p. 162, 243 et 332)

HPe. Hauteur Passive ajoutée par une mortaise d'Emmanchement (cf. p. 425 et 475)

HPb. Hauteur Passive de la Base d'une *Meta*. HPb correspond à Hc si la base est évidée et à HPS si la base de la *Meta* est pleine

HPs. Hauteur Passive de Support : Epaisseur incompressible située à la base d'une *Meta*. Non-usable, cette épaisseur correspond à une fonction de support de la Surface Active. HPs peut éventuellement compléter Hc (Hauteur d'évidement de la base) mais généralement HPs et Hc s'excluent. Lorsque HPs ou Hc sont supérieures à HCo, elles correspondent à la totalité de HP.

Hc. Hauteur de l'Evidement ou du Creusement inférieur à la base d'une *Meta*

Hus. Hauteur utilisée ou Hauteur d'usure

Hr. Hauteur restante ou résiduelle

IMM. ou **Intensité en Mobilier Meulier**

(voir également **NR**, **EM**)

L'**Intensité en Mobiliers Meuliers** est un indice consistant à mesurer la richesse en restes meuliers d'une structure (fosse, four, tranchée d'ancrage etc.), d'une Séquence, d'une Phase ou d'un Horizon d'occupation.

L' **IMM** peut être mesuré en **NR**, en **Poids** ou en **EM**. (Nombre de Restes, grammes ou Equivalent-Meule) par Structure ou pour 1000 tessons céramiques. On peut aussi envisager, si l'on calcule le volume de chaque structure ou couche, de le calculer en Densité au m³.

Longévité d'une Meule

Voir **Taux d'Usure Horaire meulier** (TUHml)

La longévité d'une meule correspond à l'épaisseur de pierre consommable au long de l'utilisation. Elle est égale à la Hauteur totale moins la Hauteur Passive ($HU = H - HP$).

Meule

Meule. Latin *Mola* (qui généralement désigne un couple de pierre)

Catillus. Terme antique (Digeste) désignant la Meule Mobile. Les termes

Meule Courante et **Meule Tournante** sont équivalents
mais consacrés aux meules médiévales et modernes (Engl. *Upper Stone*
ou *Runner Stone*)

Meta. Terme antique (Digeste) désignant la Meule fixe, placée en position inférieure.

Les termes **Meule Dormante** et **Meule Gisante** sont équivalents
mais consacrés aux meules médiévales et modernes (Engl. *Lower Stone* ou
Bedstone)

Meulier. Qui a trait aux meules. Ouvrier meulier, atelier meulier, district meulier,
pierre meulière

Meulière (une). Carrière d'où l'on extrayait des meules

Molinologie. Etude des moulins

Archéomolinologie. Etude archéologique des meules et moulins

Modèle

Par le terme de Modèle nous entendons une Morphologie correspondant à une Association de valeurs pour chaque Paramètre configurant, un même Modèle pouvant se décliner en plusieurs tailles ou Gabarits différents (réplication homothétique en augmentation ou en diminution).

L'articulation entre Type, Gabarit et Modèle n'est pas toujours claire ou explicite en archéologie. Suivant les choix ou les nécessités de l'analyse, ou suivant que l'on sache qu'ils constituaient des objets différents (éventuellement avec des noms ou prix distincts dans l'Antiquité) les différents Gabarits d'un même Modèle peuvent être institués en autant de Types ou bien en un seul.

Deux objets relèvent du même modèle si le passage de l'un à l'autre s'opère par homothétie (la dimension des paramètres varie mais les fonctions les articulant ou paramètres indirects restent identiques de l'un à l'autre).

NEM. ou Nombre Equivalent-Meule

(voir également IMM et Taux de Conservation)

Le **Nombre Equivalent-Meule** est une unité de comptage des Restes Meuliers inspirée, d'une méthode anglo-saxonne de dénombrement des restes céramiques. A côté des comptages en NR ou en Poids, il a en effet été développé dans les années 70-80 et s'agissant de solides de révolution, une méthode consistant à **mesurer la portion de cercle conservée**. Pour les céramiques on utilise le NEV (Nombre Équivalent Vase) : ainsi si un vase est conservé à travers 36° sur les 360° d'une circonférence (bord ou fond ou combinaison des deux : NEBord et NEFond) son NEV sera de 10% (ou 10).

Ce type de comptage permet, contrairement au calcul en NR, **de ne pas considérer de manière égale une meule entière, un quart de meule ou un fragment** représentant par exemple seulement 10% de l'objet initial (ou de sa masse ou volume). Si le dénombrement en Nombre de Restes est rapide et fournit de premières indications, le comptage en NEM est plus pertinent et permet de faire apparaître entre structures, phases ou horizons des différences souvent éloquents du point de vue interprétatif (proportion et localisation de meules entières, de meules brisées mais en gros morceaux, de résidus très fractionnés etc.).

Dans le domaine des meules, le Poids des Meules (mesuré individuellement) est intéressant pour des calculs relatifs à la pression ou à l'énergie cinétique sinon pour l'appréciation des différentes qualités de lave, de grès ou de conglomérats et granites. Mais le Poids n'est pas une bonne unité de comptage car le poids spécifique des roches meulières est très variable (quasiment du simple au double) et un fragment de meule en granite ou basalte peut vite équivaloir à une meule entière en grès.

Un bon substitut du NEM, plus empirique mais plus rapide de mise en œuvre, consiste à **mesurer la part du disque conservée**, il s'agit donc d'une **surface** et non d'un arc de cercle. En pratique **on évalue visuellement** (l'apposition d'une grille sur le dessin ou la photo du fragment serait meilleure) le % conservé en demi-cercle (50%), en tiers ou quart de cercle (33 ou 25%) ou demi-quart (12 %) et avec une familiarité rapidement acquise on minore ou majore de 5 ou 10%. Les petits fragments sont classés dans une catégorie 0-9%. Ainsi apprécié, le **Taux de Conservation** des Meules permet d'établir le spectre de Conservation de tout assemblage meulier et de le comparer.

Norme

Par **Norme** on entend un **Standard** qui est étroitement défini ou réalisé.

Ainsi, si un atelier fabrique des meules de 1 pied et demi de Diamètre, la Norme ciblée est de 24 Doigts. Si celle-ci est réalisée à plus ou moins 1 DGT près (soit sur l'intervalle 23-25 DGT) et que la distribution des diamètres mesurés donne un pic très net, on parlera de Norme et d'une réalisation standardisée.

Si en revanche la réalisation est plus lâche, par exemple de 22 à 27 DGT, on parlera plutôt d'un Standard.

Cette approche empirique du degré de standardisation qui bien souvent suffit sur les échantillons fréquemment petits de l'archéologie, peut être approchée statistiquement en divisant la hauteur du pic et la largeur de sa base (soit en statistique (σ / μ)) - pour un exemple sur des collections céramiques : ROUX 2003).

La **Norme** peut être une **valeur de fait**, obtenue (comme les potiers) par la répétition d'un geste calibré, ou bien une **valeur calculée** par des raisonnements **trigono-**

métriques, géométriques ou métrologiques. En ce cas elle est bien entendu quand même réalisée à travers la répétition d'un geste calibré.

La calibration peut être (comme dans le cas de briques, de tuiles ou de céramiques ou de bronzes moulés) obtenue à travers l'emploi d'un cadre, d'un moule ou d'un gabarit. Dans ce cas les valeurs supérieures à cette borne, expression de la Norme, ne peuvent exister et le pic (amputé de la moitié supérieure des valeurs par rapport à l'allure gaussienne attendue) devient asymétrique à gauche.

Œil & Œillard

Œ. Abbréviation pour Œil ou Œillard (Engl. Œil : Eye, et Œillard : Eye, Feed pipe, Feed pole, Hopper orifice). Percement généralement de section circulaire pratiqué au centre de la meule.

Œil. Terme réservé au percement central de la meule fixe (*Meta*). Il peut présenter une section en V ou en U. Aveugle sur les *Metae* les plus anciennes, il devient Perforant notamment semble-t-il à l'époque Augustéenne sinon avant. Il accueille un axe fixe ou tournant. Au pluriel : *des œils*.

Œillard. Terme réservé au percement central de la meule tournante (*Catillus*). La section est tubulaire, une section en anneau, avec un bord fin sinon irrégulier, renvoie généralement à une usure prononcée. L'Œillard est généralement large et plus large que l'œil de la *Meta* correspondante. Il accueille à la fois le grain, l'axe et le dispositif de solidarisation de l'axe avec le *Catillus*. Selon ce dispositif, que l'archéologie retrouve rarement et dont elle ignore presque tout (preuve de sa réalisation fréquente en os, bois, tendon, voire bronze), l'Œillard peut présenter des formes largement diversifiées, y compris quadrangulaires. Le « moyeu » ou dispositif de raccordement entre la meule tournante et l'axe cesse parfois d'être confiné à l'Œillard et se projette alors à l'extérieur, en particulier lorsqu'il s'agit d'une anille (un « pont » en italien) qui est une barette solidarisée avec l'axe et placée soit sous le *Catillus* soit dessus, et alors scellée au plomb.

DOE. Diamètre de l'Œil ou Œillard

HOE. Hauteur de l'Œil ou Œillard. Pour un *Catillus* MRB elle correspond à la durée de vie de la meule (HU), sauf perforation d'Emmanchement venant limiter la hauteur de pierre consommable.

Paramètres Configurants

Ce terme désigne les attributs dimensionnels qui configurent une meule. Il s'agit des dimensions que manipulaient les meuliers en pratique.

Par exemple pour une *meta* de style pompéien il s'agit de 3 Diamètres (DSup. / DEpaule / DBase) et 3 Hauteurs (H / HCône / HEpaule). On peut y ajouter le Diamètre et la Hauteur de l'Evidement interne de la base de la meule (DC et Hc) car ces deux

paramètres semblent configurer des attributs importants (largeur de l'Anneau de pose et pression au sol, position du Centre de Gravité de la meule) ou typologiquement discriminants (*metae* de Style Pompéien à Evidement Haut qui remonte dans le Cône ou *Metae* SP à évidement bas).

On peut distinguer les **Paramètres linéaires** des **Paramètres angulaires**. Différentes valeurs des paramètres linéaires peuvent donner un même paramètre angulaire (par ex. une *Meta de Style Pompéien* d'une conicité 16° haute de 45 cm et une de conicité également 18° mais haute de 62 cm : les paramètres linéaires HCo et DEp sont en ce cas les mêmes mais la différence se fait sur HEp, la Hauteur de l'Epaule (Hauteur de DEp).

Paramètres Déduits ou Indirects

Il existe par ailleurs des **paramètres indirects** (ou **déduits** ou **secondaires**) qui résultent des paramètres configurants et que le meulier ne manipule qu'à travers ces derniers : il s'agit en fait de différences entre 2 longueurs, de rapports entre 2 paramètres ou de liaisons souvent complexes.

Ainsi la Hauteur **Utile** (HU) d'une meule n'est pas mesurée ou taillée par le meulier, elle résulte de la **différence** entre la Hauteur et la Hauteur **Passive** (HP). La Hauteur **Utile** HU ne peut être en effet fabriquée par le meulier, elle résulte de la différence entre H et HCo (**Hauteur du Cône**) pour une *Meta* et, pour un *Catillus*, de la différence entre H et le cumul de la Hauteur de Cône et de la Hauteur de la Trémie ($HU = H - (HCo + HTr)$).

Certains paramètres indirects sont donnés par un **rapport** simple, ainsi la largeur de l'anneau de pose (a) peut mesurer 1/16^e du Diamètre de la Base (DB) d'une *meta*, ou le Diamètre (DB) valoir 2,5 fois la Hauteur H, ou encore la Hauteur d'un *Catillus* de Style Pompéien mesurer 110% du Diamètre (soit 11 parts de 10).

En revanche, d'autres paramètres indirects –parfois très importants y compris pour saisir la typologie, comme par exemple à propos des *Catilli* de Style Pompéien ou Quasi-Pompéiens- sont très complexes et constituent de véritables **fonctions**. Ainsi la conicité est donnée par un rapport trigonométrique constant (Tangente) entre la Hauteur du Cône (HCo) et le Diamètre du Cône (DEp). Ainsi également de la relation entre le sommet plat d'une *meta* de style pompéien (DS) et le Diamètre de sa base (DB) sachant que l'angle est constant (autour de 78°) : il s'agit d'un tronc de cône et DB, DS ainsi que la Hauteur vont varier de manière liée, en fonction de la valeur 78°. Les cas de telles fonctions sont nombreux pour la forme complexe qu'est le *Catillus* de Style Pompéien, entre par exemple les paramètres linéaires ou les rapports liant le Diamètre des Oreilles, leur Rentrance ou leur Protrusion, le Diamètre et la Hauteur du trou de Clavage et sa distance à l'axe ou son rapport au Diamètre de l'Œillard etc. Traiter ces paramètres secondaires à travers leur simple rapport (par ex. Diamètre de l'Œillard sur Diamètre des Oreilles D.OE/D.OR = 69%) est souvent inefficace mais permet en première approche de repérer des constantes, des valeurs récurrentes ou un *continuum* de valeurs.

Les meuliers ne manipulaient très probablement que des paramètres linéaires simples qui leur permettaient de définir le volume et la géométrie d'une meule. Les Angles en découlaient. Tout au plus devaient-ils manipuler des paramètres Angulaires à posteriori, au stade du contrôle. Mais une équerre graduée et munie d'un niveau suffit, comme nous le faisons lors de nos relevés, à définir et calculer l'Angle. Il est clair que les ateliers meuliers devaient disposer de tables mettant en correspondance les différents paramètres linéaires configurant qu'ils utilisaient. Pour diviser en 16^e nul besoin en revanche de règle ou de table, puisqu'il suffisait de diviser par 2 n'importe quelle longueur

donnée 4 fois de suite (la division par 12 qui procède par tiers nécessite en revanche une table ou une règle).

Certains paramètres indirects, tels que le Rendement d'une meule en Hauteur Utile, sont fondamentaux. Ils permettent à l'archéologue de déterminer si la HU était un paramètre contrôlé par les meuliers, aléatoire ou relativement standardisé. Ces derniers ne le mesuraient jamais (il peut seulement être calculé), en revanche il devait être connu sinon des meuliers du moins du contre-maître ou gérant technique de l'atelier. C'est en effet au niveau d'une telle fonction, réunie sur une même personne (propriétaire de l'officine, fermier, technicien, chef d'atelier) ou distribuée sur plusieurs, que se trouvait la nécessaire maîtrise de la géométrie des meules et de la capacité de réplique homothétique, la maîtrise aussi des tables liant paramètres linéaires et angles à produire, la maîtrise enfin de la panoplie des modèles, sinon la capacité de les changer ou de les adapter. A défaut d'une telle maîtrise géométrique une officine était limitée à la pure reproduction d'objets dont elle devait conserver des exemplaires et se trouvait sans capacité de transposer son stock de formes en d'autres conicités ou d'autres configurations, par conséquent incapable de modifier et de proposer des adaptations ou innovations (il n'est pas exclu que certaines fabriques aient pu être de cette nature).

Plans d'une meule

Plan Fixe. Plan non affecté par l'usure, son niveau ou sa dimension restent fixes que la meule soit neuve ou usée

Plan Mobile. Plan affecté par l'usure, son niveau ou sa dimension vont varier selon l'usure (en général ils diminuent)

Plan de Référence. Plans indispensables à la définition de la géométrie d'une meule. Il s'agit en général du Plan A (plan supérieur), du Plan B (plan inférieur) et des Plans A' et B' définis par l'orifice supérieur et inférieur de l'œil. Sur un *Catillus* dépourvu de Trémie le Plan A' se confond avec le Plan A. Le Plan B' est celui du diamètre du Cône de mouture. Sur une *Meta*, il va descendre. Sur un *Catillus* il correspond à la base de l'Éillard et il va monter au fur et à mesure de l'Usure.

Quotient Meulier

(voir également **Taux d'Équipement Meulier**, **Nombre Équivalent-Meule**, **Total Conservé des Meules**)

Standard

Par **Standard** on entend ici une valeur privilégiée, volontairement ou non, dans la réalisation de produits antiques de masse manufacturés en série. Un standard correspond à une valeur-cible de la fabrication, réalisée de manière plus ou moins lâche ou précise, approchant de façon plus ou moins serrée de la **Norme** de fait ou calculée.

On emploiera le terme Standard lorsque le pic d'effectifs centrés sur la valeur-cible est large, le terme Norme lorsque le pic est haut et étroit, ou pour désigner la valeur-cible elle-même.

Support

(voir également **Piédestal** , **Hauteur Passive**, **Hauteur Utile à Neuf**)

La Hauteur du Flanc des *Metae* (HFL) atteint rarement la valeur 0, y compris dans le cas des meules plates médiévales et modernes. Certaines *Metae* sinon la plupart s'avèrent ainsi présenter une Hauteur Passive qu'on dira de Support (**HPs**) ou **incompressible (HPi)**.

La **Hauteur Passive de Support (HPs)** est constituée par une Epaisseur incompressible et non-usable située à la base de la *Meta*.

L'existence de **HPi** est montrée par les *Metae* parvenues à leur maximum d'usure et présentant une forme de disque extra-plat. Elle est démontrée statistiquement par le fait qu'aucune *Meta* ne parvient à 0 cm de Hauteur finale du Flanc (HFL = 0), celle-ci est toujours de quelques cm.

Enfin la **HPs** peut se déduire d'une éventuelle différence entre la Hauteur Utile à Neuf (**HUNf**) d'une *Meta* et celle du *Catillus* correspondant, les deux devant a priori être similaires si l'on veut éviter une désynchronisation entre la durée de vie des deux meules appariées et donc des moments de renouvellement devenant différents.

La **Hauteur HPs** correspond à une fonction de support de la Surface Active, ne serait-ce peut-être pour en éviter le bris. Lorsqu'elle est particulièrement développée, comme à Els Vilars ou à Orvieto on peut même parler de piédestal. Une **Hauteur Passive de Support** très développée peut éventuellement répondre à la nécessité de disposer la surface active à une certaine hauteur au-dessus du sol ou du plan de travail. Comme le montrent certains exemples espagnols de moulins trouvés *in situ* (par ex. ALONSO, PEREZ 2014 ou Age du Fer : Cerro de la Cruz en Andalousie), cette épaisseur de support peut très bien être assurée par ou remplacée par une base maçonnée ou réalisée en adobes, par une banquette ou une table.

Taux d'Usure Horaire (TUHml)

Le Taux d'Usure Horaire meulier (TUHml) est le nombre de mm usés en une heure de fonctionnement normal (vitesse, écartement, denrée) d'une meule. Il s'agit d'une vitesse (mm/h). La division de la Hauteur Utile d'une meule par le TUHml permet de calculer la durée d'une meule (par ex. une HU de 9 cm dans un matériau dont le TUHml est de 0,1 mm /h possède un Capital Horaire de 900 h).

La Longévité de la meule sera fonction des périodes, plus ou moins régulières, plus ou moins intenses, de sollicitation de la meule. Ainsi notre meule au CH de 900 h durera 900 jours si elle est sollicitée en fonctionnement 1 H par jour mais durera 300 jours soit 1 an si elle est sollicitée 3 h par jour).

Le TUHml est un paramètre physique, la sollicitation en fonctionnement et donc la Longévité d'une meule sont des paramètres socio-culturels.

Taux d'Équipement Meulier

(voir également [Quotient Meulier](#), [Nombre Equivalent-Meule](#), [Total Conservé des Meules](#))

Le **Taux d'Équipement Meulier (TEM)** exprime le niveau d'équipement en moulins d'une unité d'occupation quelle qu'en soit la définition (bâtiment, espace archéologique, unité familiale, unité de production, phase d'occupation, site). Le **TEM** est obtenu en divisant le nombre de moulins (i.e. Nombre d'Equivalent-Meule /2) par le nombre d'unités.

Ainsi sur le site de Blois La Croupe, le **Total Conservé des Meules** est de 418% soit 4,18 Equivalents-Meule soit 2,09 Moulins. Si le site présente 4 unités spatiales, le **Taux d'Équipement Meulier** est de 0,52 Moulin par Unité. Ce taux peut-être manipulé en fonction de la durée de l'occupation (ca. 120 ans pour Blois La Croupe soit un taux de 0,043 M par décennie) ainsi qu'en fonction du taux de recouvrement. Dans l'exemple précédent si l'on retrouve 1 exemplaire archéologique pour 100 meules originelles (taux de Recouvrement de 1%) le nombre de meules s'établit finalement à 418 soit 209 moulins soit un **Taux d'Équipement Meulier** de 52,25 par Unité, soit en définitive sur 120 ans un **TEM** de 4,3 moulins par décennie. Si un moulin dure 5 ans le niveau d'Équipement est de 2,1 moulins par Unité, si la durée de la machine est de 3 ans le taux d'Équipement est de 1,4 M/U. soit plus de 1 moulin par famille ou par unité de production artisanale. Plusieurs simulations peuvent être ainsi réalisées sur la base du **TEM** en faisant varier le nombre d'unités, la durée de l'occupation ou la durée (ou Longévité) d'une meule.

L'intérêt du **TEM** est de permettre une comparaison entre phases d'un site ou entre sites notamment dans le but d'évaluer le degré qu'équipement des établissements ruraux, des agglomérations ou des sites urbains.

La mise en évidence d'unités ou de sites présentant un fort Taux d'Équipement Meulier permet soit de mettre en relief des inégalités d'accès à la technologie meulière soit d'identifier des sites de production (souvent dite « artisanale »). Le calcul du Taux d'Équipement Meulier rend également possible, à travers une notion d'intensité, de tracer la diffusion du moulin et sa pénétration dans les milieux, notamment ruraux.

Usure

Us. Index indiquant l'Usure. S'applique à une longueur de pierre consommée par l'utilisation de la meule ; il s'agit en général d'une Hauteur ou épaisseur. Ainsi la Hauteur H d'une meule correspond en réalité à une Hus ou Hr, indexations qui désignent la Hauteur restante observable sur une meule utilisée. Hors dle cas d'une meule sortant d'un atelier et dont

la Hauteur H correspond en réalité à une Hauteur à Neuf (HNf), la Hauteur H d'une meule constitue toujours en réalité une Hauteur utilisée qui devrait être notée Hus ou Hr. La notation H correspond à une commodité, simplifiant la notation lorsqu'il ne s'agit d'évidence pas d'une HNf, ce qui est généralement le cas des meules provenant de sites archéologiques (contextes d'utilisation et de rejet). En revanche toute Hauteur de meule provenant d'un atelier devra être notée HNf

Préciser la nature d'une Hauteur au moyen d'une indexation complémentaire telle que us ou r peut s'avérer régulièrement utile. Ainsi HUs. désigne la Hauteur Utile qui reste après qu'une meule ait été utilisée. Elle correspond à la formule $HUs = H - HP$ où H (en réalité Hus ou Hr) est la Hauteur totale observable et HP la Hauteur Passive (paramètre invariable).

TABLE des MATIÈRES

Dedicace, Remerciements

Résumés FR., IT., EN.

Note Technique

Sommaire

INTRODUCTION p. 1

PARTIE I : ETAT DE LA QUESTION, PROBLÉMATIQUES, CORPUS

CHAPITRE 1. Historiographie	34 p.
Aperçu historiographique : l'archéologie des meules et des moulins : p. 15 origines – essor des études – archéométrie – primauté de l'hydraulique – contribution italienne – fouilles et publication des meules et des ateliers –	
Thèses et Colloques : chronologie – orientations et thématiques p.26 – intensification - volume et rythmes –	
Traités anciens	p.44
CHAPITRE 2. Problématiques des meules et du moulin	9 p.
1. Problématiques attachées aux Moulins Rotatifs Bas (MRB)	p. 49
2. Problématiques attachées aux Moulins de Style Pompéien (MSP)	p. 52
3. Problématiques attachées aux Moulins Hydrauliques	p. 55
4. Problématiques orviétanes	p. 56
CHAPITRE 3. Contexte technique et social de développement de la technologie du moulin rotatif	28 p.
1. Apparition du Moulin Rotaif et mouvement de diffusion p. 58 - vers 500/400aC une nouveauté, 3 moulins pour 3 régions de la Méditerranée - la Trémie d'Olynthe – le modèle vertical pompéien – le Moulin Rotatif Bas – ENCART : les plus anciens MRB	p. 67
2. La question de l'Origine Punique du moulin rotatif	p. 68
3. Concomitances	p. 72
A- maîtrise maritime – essor des échanges – métallurgie – hiérarchisation sociale - développement des appareils rotatifs - une partition culturelle : le domaine du moulin rotatif et celui des meules à va-et-vient	
B- communauté technique entre moulin rotatif et tour de potier	p. 79
Conclusion	p. 83

CHAPITRE 4. ORVIETO : un centre producteur pluriel ? une large diffusion ?	23 p.
1. Situation d'Orvieto & cadre volcanique	p. 86
2. La Ville	p. 86
3. Présentation de la production meulière	p. 89
- matériau - substrat technique et culturel - diffusion	p. 93
4. Les Meules volcaniques : des produits vraiment <i>large scale</i> ?	p. 98
- les laves, de bons traceurs	
- diffusion locale ou à long rayon : quelles productions ?	p. 103
- Orvieto : quelle échelle de diffusion ?	p. 104
5. Orvieto, une production massive ?	p. 106

CHAPITRE 5. Le matériau : la Leucite et la Province Magmatique Romaine	15 p.
1. La Roman Magmatic Province, les Districts Volcaniques italiens et le complexe vulsinien	p. 109
2. Type de volcanisme et de dépôts, aspects du gisement	p. 111
3. Caractérisation et Provenance : pétrographie et géochimie	p. 113
	p. 118

CHAPITRE 6. Corpus meulier d'Orvieto et Corpus de comparaison	34 p.
1. Le Corpus des Meules d'Orvieto	p. 124
. Conditions d'acquisition	p. 125
. Structure du Corpus	p. 129
. Géographie globale des restes meuliers	p. 131
. Principales catégories de produits et dominances	p. 136
. Enregistrement	p. 139
. Taux de conservation à Orvieto	p. 141
. Corpus épigraphique	p. 144
. Association Pétrins / Meules de Style Pompéien	p. 145
2. Le Corpus de Comparaison	
. Conditions d'acquisition	p. 146
. Composition, géographie, chronologie, lacunes	p. 147
. Bibliographie et enregistrement de terrain	p. 148
. Corpus de comparaison des Meules de Style Pompéien	p. 149
. Corpus de comparaison des Meules Rotatives Basses	p. 151
. Exploitation du Corpus de Comparaison des MRB et création de nouvelles notions	p. 154

PARTIE II : GÉOMÉTRIE, COMPARAISONS, USURE des MEULES ROTATIVES BASSES

INTRODUCTION : sur les Meules, sur la Métrologie	p.159 20 p.
1. sur les Meules : Notions Illustrées	
. Couple de Meules	p.160
. Axe et Rotation	p.161
. Motorisation	p.163
. Entraînement de la Meule	p.164
2. sur la Métrologie	

. Une métrologie régionale, importée ou spécifique aux meules ?	p.168
. Quelle Gamme de gabarits pour les Meules ?	p.168
. Identifier le pied d'une série meulière, entre idéal mathématique et méthodes empiriques	p.169
. Tester les dimensions par une liste de Pieds	p.172
. Amorce d'un référentiel de Métrologies régionales	p.175
. Application de la démarche empirique	p.177

CHAPITRE 7. FAÇONNAGE des Meules, Orvieto et les Ateliers Primaires ou Secondaires 31 p.

Introduction	p.179
1. Etapes de Façonnage d'une Meule	
A. Méthodologie	p.180
B. 5 Stades	
I. Cylindres d'extraction	p.182
II. Préformes non générées	p.183
III. Angulation & Genrage des Meules	p.184
IV. Percement central	p.185
V. Finition & Emmanchements	p.186
2. Profil des Ateliers	
A. Objectifs, Méthodologie, Corpus	p.187
B. Classement des Ateliers selon leur Profil de Stades	p.188
1- Méthode	p.189
2- Profil de façonnage de 13 assemblages d'Atelier	p.190
3- 5 Types d'Ateliers	p.199
4- Ateliers Primaires & Secondaires	p.201
3. Orvieto : Atelier Primaire avec spatialisation des étapes de fabrication	p.205

CHAPITRE 8. Le FORAGE des Meules 23 p.

Introduction	p.210
1. Le Forage sur les Meules Rotatives Basses entre Ebre & Rhin	p.211
A. Quelques témoignages du Forage meulier	
. meules du Chaudry, d'Els Vilars ou de la zone Rhénane	p.212
. meules de Bourgogne, meules du Hertfordshire	
B. Fréquence du forage des Meules	p.219
C. Indications de chronologie et de spatialité du forage	p.220
D. Diamètres : 2 modules, 2 phases de forage ?	p.222
E. Derrière le forage, un équipement en machines rotatives ?	p.224
2. Un Forage des Meules Rotatives Basses à Orvieto ?	p.225

CHAPITRE 9. GÉOMÉTRIE et PARAMÈTRES des Meules 50 p.

Introduction	p.233
--------------	-------

A. Les PLANS d'une Meule	p.234
- Plans fixes, Plans modile, Plans de Référence	
- Plans d'une <i>Meta</i> et questions spécifiques	p.235
B. Les 3 PARAMÈTRES fondamentaux d'une Meule	
1. Le Diamètre	p.236
2. La Hauteur	p.238
3. Dimension en carrière & Norme métrologique	p.239
4. La Conicité ou Pente	p.241
C. Le Temps paramètre caché : Hauteur Passive, Hauteur Utile & Longévité	
1. Composantes de la Hauteur des <i>Metae</i>	p.243
A- HU et HP	
B- Cas particulier des <i>Metae</i> à base évidée	p.245
ENCART : la <i>Meta</i> R.27-1 d'Orvieto	p.247
2. HU et HP des 3 types de <i>Catilli</i>	p.254
3. La notion de Rendement en Hauteur Utile d'une meule	p.258
D. Vers une Géométrie du Calcul de la Hauteur Utile :	p.262
P'exemple d'un <i>Catillus</i> du Chaudry	
1. Géométrie du <i>Catillus</i> du Chaudry & HU	p.264
2. Géométrie du Modèle 24 x 12 x 3 DGT & HU	p.268
A- Modèle à 14° et Emmanchement B2 médian	p.270
B- Modèle à 19° et Emmanchement B2 médian	p.274
ENCART : Trous d'Emmanchement sur les Ateliers	p.279
C- un calibrage de DOE et de dHOE pour le calcul de HU ?	p.280
Conclusion	p.282

CHAPITRE 10. Le DIAMÈTRE

29 p.

Introduction	p.283
A. Corpus des DIAMÈTRES & Notations générales	p.284
B. L'ensemble des Diamètres : PIEDS & GABARITS	p.285
C. Les DEUX FILIÈRES de Gabarit	p.288
D. Les Diamètres à ORVIETO	p.291
1. Etendue, Moyenne et Gabarits	p.292
2. Métrologie et Gamme de Gabarits : démarche	p.293
3. Méthode Métrologique	
. Estimation du pied par 41-48 cm	p.297
. Transcription des diamètres en dgt	p.298
. Sélection des pieds	p.299
. Meilleure association de pieds	p.299
. Etablir le Profil des Gabarits	p.300
4. Métrologie des Diamètres & Gamme des Gabarits à Orvieto	p.302
E. Croissance des Diamètres & Chronologie	p.305
Conclusion	p.307
Tables	p.311

CHAPITRE 11. La HAUTEUR	22 p.
Introduction	p.337
1. Les HAUTEURS sur les Ateliers meuliers	
A. Un standard majoritaire : 8-10 doigts	p.338
B. Des Hauteurs sans signification chronologique ni spatialité	p.340
C. Des Hauteurs relativement indifférentes à la Conicité	p.342
D. 2 ou 3 standards d'épaisseur propres à chaque Atelier	p.343
2. Les HAUTEURS sur les sites d'Utilisation des meules	p.344
A. La Hauteur Passive Incompressible	p.345
B. Le Profil spécifiques des assemblages d'Utilisation	p.346
C. Comparaison entre le Profil des Hauteurs en Atelier et sur les sites d'Utilisation correspondant	p.347
. Les Fossottes & l'Alsace	p.347
. Le Chaudry & Argentomagus	p.348
. Agde & Pech Maho, Ensérune, Peyriac, Lattes	p.349
D. Schémas comparés des hauteurs Neuves et Usées	p.352
Conclusion	p.356

CHAPITRE 12. La CONICITÉ	11 p.
Introduction	p.359
1. La CONICITÉ des MRB	p.359
2. CONICITÉ des MRB à ORVIETO	p.361
- 2 Normes de Conicité	p.361
- production duale	p.361
- détermination géométrique des normes de Conicité ?	p.361
- réalisation approchée des normes ?	p.363
- Conicités Distantes à Orvieto	p.364
3. CONICITÉ & DIAMÈTRE	p.364
4. CONICITÉ, DIAMÈTRE & HAUTEUR du CÔNE	p.368

CHAPITRE 13. L'ŒIL & L'ŒILLARD	27 p.
Introduction	p.370
A. L'ŒILLARD des <i>Catilli</i> : Orvieto & ATELIERS	p.373
1. Données & spectre de 4 Ateliers	p.374
2. Diamètres de l'Œillard & du <i>Catillus</i>	p.375
B. L'ŒILLARD des <i>Catilli</i> : contextes d'UTILISATION	p.378
1. Données & spectre des 13 sites d'Utilisation	p.378
2. Proportionnement de l'Œillard	p.380
3. Augmentation de l'Œillard en contexte d'Utilisation	p.381
C. Les 3 GABARITS d'ŒILLARD	p.383
1. Présentation des 3 Gabarits	p.385
2. Spécificité du Gabarit 3 ?	p.386
3. Dominance du Gabarit 1 ou 2 : une dualité géographique ?	p.390

D. Un système cohérent de rapports entre ŒILLARD & Diamètre du <i>Catillus</i>	p.391
1. La moyenne du rapport DOE/D	p.392
2. Un DOE dimensionné en dgt entiers	p.393
3. Dominance des Gabarits canoniques	p.397
4. Rareté des Diamètres de Gabarit de 16 dgt	p.399
5. Œillard & Surface du <i>Catillus</i>	p.401
Conclusion	p.401
TABLES	p.404

CHAPITRE 14. La LONGÉVITÉ : Réduction & Potentialisation 33 p.

Introduction	p.407
1. Dispositions (6) Minorant la Longévité d'une MRB	p.409
2. Dispositions (3) Majorant la Longévité d'une MRB	p.412
3. Majoration de la Longévité des <i>Catilli</i> hydrauliques	p.415
4. Proposition de Classement des MRB selon leur Type de Hauteur Utile	p.420
A- Types de <i>Catilli</i>	p.420
Tableau Typologique des <i>Catilli</i>	p.426
B- Types de <i>Metae</i>	p.427
Tableau Typologique des <i>Metae</i>	p.431
5. Incidence des EMMANCHEMENTS & Typologie de Position	
A- problématiques liées aux Mortaises d'Emmancement	p.431
B- les Mortaises d'Emmancement dans les Ateliers	p.435
C- Typologie de Position des Mortaises d'Emmancement	p.436

CHAPITRE 15. L'ASSISE des *Metae* & la Typologie des Bases 15 p.

Introduction	p.440
1. TYPOLOGIE	p.440
présentation des types, fréquence, spatialité, chronologie	
2. Des ASSISES façonnées en ATELIER ou en dehors ?	p.450
comparaison du spectre typologique de 45 sites	

CHAPITRE 16. L'EVIDEMENT interne des *Metae* à ORVIETO 6 p.

Introduction	p.455
1. Dimensions & Distribution de Hc	p.455
2. Etat Final & Etat Intermédiaire de Hc : la Norme Hc = ½ H	p.457
Conclusions	p.459
Table	p.460

CHAPITRE 17. La HAUTEUR UTILE des MRB d'ORVIETO

74 p.

Introduction	p.461
1. La Hauteur Utile des <i>Metae</i> d'Orvieto :	p.461
. Hauteur Utile des <i>Metae</i> achevées	p.462
. Minoration de la Hauteur Utile par l'Evidement de la base	p.463
. Hauteur Utile hors normes de quelques <i>Metae</i>	p.466
. Hauteur Utile : Normes ou continuum ?	p.466
. Métrologie des Hauteurs Utiles observées	p.467
. Hauteur et Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.471
2. La Hauteur Utile des <i>Catilli</i> d'Orvieto	p.474
3. Simulations de Rendements en HU des <i>Catilli</i>	p.477
4. Une Différence de Hauteur Utile entre <i>Metae</i> & <i>Catilli</i> à Orvieto	p.484
3. Comparaison entre la H. UTILE d'Orvieto et d'autres Ateliers	p.486
5.A Hauteur Utile en zone Ibérique : Els Vilars	p.488
5.B Hauteur Utile en France centrale :	
Le Chaudry et le différentiel de HU entre <i>Metae</i> & <i>Catilli</i>	p.490
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.490
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.491
. simulation de Hauteur initiale	p.493
. des <i>Catilli</i> neufs ?	p.496
5.C Hauteur Utile en zone Rhénane :	
productions de Bad Nauheim	p.500
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.500
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.505
5.D Hauteur Utile en zone Rhénane :	
productions des Fossottes	p.509
. Hauteur Utile des <i>Catilli</i>	p.510
. Hauteur Utile des <i>Metae</i>	p.512
4. SYNTHÈSE	p.514
. méthode par les couples HU et H	p.514
. méthode par les moyennes	p.519
. Hauteur Utile des <i>Metae</i> et des <i>Catilli</i>	p.524
. Pourquoi une réduction de la Hauteur Utile des <i>Metae</i> à Orvieto ?	p.529
Conclusions	p.532

CHAPITRE 18. Le DEGRÉ d'USURE, l'Indice de Rectangularité & le passage au Modèle Médiéval des meules

35 p.

Introduction	p.536
1. Calcul du Degré d'Usure par la Hauteur Utile	p.537
2. Estimation du Degré d'Usure par l'IREC (Indice de Rectangularité du Profil)	p.538
3. Exemples d'IREC sur Ateliers et assemblages d'Utilisation : Orvieto, le Chaudry, La Lande	p.542
4. La question des Meules Minces dans l'Antiquité : - Meules de Rhénanie (1828) et des Flandres (1600-1700)	p.546 p.547

- Meules Trapues	p.550
- Meules Amincies	p.550
- Meules Minces altomédiévales : le modèle Dorestad	p.552
- L'Amincissement Relatif	p.553
5. Des meules Antiques aux meules Médiévales & Modernes : Meules Plates, Amincissement Relatif et Pression stabilisée	p.555
A- le standard Antique 2H et la divisibilité	p.557
B- du standard 2 H au standard 5 H et la question de la Pression	p.561
Conclusions	p.569

CHAPITRE 19. Origine & Déploiement du MOULIN PLAT 24 p.

Introduction	p.573
1. Moulin plat : deux aires vers le III ^e s. aC	p.574
2. Aire Nord et Sud du Moulin Plat et question de l'origine	p.578
3. Evolution zonale du Moulin Plat en période Romaine	p.583
4. Evolution de la Fréquence du MPL en période Romaine	p.589
5. Provenance Britannique ou Continentale du Moulin Plat ?	p.590
6. Orvieto et le Moulin Plat	p.591
7. Meules Plates, Villes, Grand gabarits	p.592
Conclusions : une fabrication de rupture	p. 595

CHAPITRE 20. Les Meules de Très GRAND FORMAT 30 p.

Introduction	p.597
1. Remarques préliminaires : définition, rareté, hydraulique, datation	p.598
2. Les Très Grands Formats à Orvieto	p.602
3. Métrologie des Très Grands Formats	p.607
4. Conicité des Très Grands Formats	p.618
5. Des meules hydrauliques ?	p.621
Conclusions : grande rareté & culture de la conicité	p.624

CHAPITRE 21. Quelles Meules pour le Moulin de Petite Hydraulique ? 19 p.

Introduction	p.626
1. L'Œil Traversant condition de la motion hydraulique	p.630
2. Une Conicité particulière : 31-34°	p.634
3. La Conicité 31-34° et les Fortes Conicités	p.636
Conclusions	p.643

SYNTHÈSE p.645 27 p.

ORVIETO et la production de Meules Rotatives Basses	p.646
Orientations privilégiées, Acquis et Perspectives	p.658
Meules de l'Antiquité et vraie Révolution du Moyen Age	p.662

BIBLIOGRAPHIE	p.672
GLOSSAIRE	11 p.
ANNEXES (Vol. 2)	187 p.

Index des NOMS de LIEU

Place-names list

A

- Abbey Craig** : p. 563
Acy-Romance : p. 423, 578, 590, 591, 664
Aegina : p. 118,
Afrique du Nord : p. 21, 29, 39, 40, 60, 61, 78, 104, 105, 146, 161, 171, 294, 408, 663
Agde, Agathè : p. 10, 26, 63, 64, 102, 106, 148, 149, 166, 176, 187, 194, 291, 296, 298, 299, 300, 305, 308, 316, 340, 349, 350, 367, 400, 435, 445, 447, 451, 527, 577, 580, 637
Aisne : p. 421, 423, 590,
Aix-en-Provence : p. 30, 556,
Albani : *voir Colli*
Alberta : p. 97
Algérie : p. 23, 40, 96, 105, 150,
Allemagne : p. 10 30, 38, 65, 66, 67, 68, 99, 106, 150, 169, 199, 218, 459, 500, 513, 628, 662
Almeria : p. 36, 97, 136, 552, 582
Alorda Park : p. 62, 67, 200, 252, 290, 291, 308, 421, 422, 446, 448, 575, 579, 635, 641, 643, 651, 660
Alpes : p. 66, 547,
Alsace : p.13, 99, 155, 219, 224, 279, 296, 301, 305, 307, 347, 348, 446, 448, 449, 509, 552, 556, 581, 583, 589, 670
Ambrussum : p. 349
Amiata : p. 87, 100, 111,
Amiens : p. 163, 415, 430, 447, 450, 589, 664
Anatolie : p. 60, 61, 99, 408,
Andalousie : p. 28, 579, 582, 641
Andes (les) : p. 99
Angers, l'Anjou : p. 448, 582, 587
Angleterre : p. 36, 47, 65, 68, 342, 450, 553, 554, 578, 583, 586, 590, 591, 617, 618, 619, 621, 625, 626, 662, 663
Announa / Thibliis : p. 171, 294,
Appenins : p. 87, 99, 101, 118,
L'Aquila : p. 553
Aquileia : p. 23, 105,
Aquitaine : p. 147, 618
Ardenais : p. 154, 544,
Ardennes : p. 63, 67, 423,
Arezzo : p. 658
Arles : p. 101, 105, 147, 415, 416, 419, 581, 582,
Argentomagus : p. 12, 25, 56, 124, 146, 148, 191, 348, 349, 544, 637, 659, 664
Argolide : p. 28,
Armorique : p. 586
Arras : p. 427,
Artois : p. 670
Art-sur-Meuse : p. 600
Artois : p. 587
Asie : p. 161
Assouan : p. 60, 150,
Astorga : p. 105
Athènes : p. 17, 60, 169, 612, 668
Atlas : p. 65,
Aube : p. 575

Aude : p. 575, 576, 582
Augusta raurica : p. 552
Auribelle Basse : p. 21, 599, 626
Autriche : p. 105
Autun, Autun Faubourg d'Arroux : p. 184, 187, 188, 196, 197, 198, 220, 238, 316, 338, 344, 367, 445, 446, 531, 554, 557, 621
Auvergne : p. 20, 25, 63, 66, 67, 156, 350, 355, 429, 444, 445, 446, 448, 449, 578, 617, 618, 625, 639, 641, 651, 655, 659, 663, 665
Avenches : p. 126, 186, 237, 285, 346, 347, 416, 418, 419, 445, 446, 513, 560, 561, 599,
Aveyron : p. 219, 545, 551,
Avrilly : p. 180, 181, 182, 188, 191, 200, 203, 212, 220, 307, 319, 343, 449, 450, 451, 589,

B

Bad Nauheim : p. 12, 65, 67, 176, 198, 199, 200, 203, 214, 215, 220, 221, 296, 301, 317, 338, 367, 368, 384, 408, 435, 445, 447, 448, 449, 469, 48è, 488, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 512, 515, 517, 521, 523, 524, 533, 534, 556,
Bagnoreggio : p. 113
Baléares : p. 69,
Barbegal : p. 20, 23, 311, 415, 599, 621, 668
Barcelone : p. 662
le Basacle : p. 47,
Basque (Pays), Viscaye : p. 366, 641
Basse Normandie : p. 155,
Bassin Parisien : p. 25, 28, 423, 579, 582, 583, 585, 587, 590, 591, 622, 664, 670
Bassou : p. 434
Bavay : p. 430, 448, 583, 589, 621, 664, 668
Beauce : p. 63, 67, 447, 448, 449, 578, 586, 590, 663, 664, 670
Beaune : p. 417
Beaune-la-Rolande : p. 426
Beauvais : p. 311, 419, 424, 584, 589, 668
Belgique : p. 25, 30, 31, 56, 106, 156, 422, 447, 587, 614, 617, 625, 667, 670
Bergen : p. 36, 37, 38,
Berry, Bituriges : p. 103, 149, 181, 305, 430, 448, 586
Besançon : p. 169, 171,
Bessan : p. 194, 349,
Bézannes : p. 142, 345, 384, 446, 589, 593,
Béziers : p. 556
Bibracte, Beuvray : p. 27, 126, 291, 414, 630, 637, 641, 664,
Blois : p. 13
Blois La Croupe : p. 291, 357, 400, 409, 423, 445, 451, 556, 578, 579, 586, 590, 630, 659
Bohême : p. 19, 39, 65, 290, 424,
Bois des Lens : p. 27,
Bologne, Bologna : p. 97, 572, 658
Bolsena : p. 56, 86, 87, 88, 93, 95, 96, 110, 112, 114, 117, 127, 134, 136, 171, 292, 469, 477, 647, 656
Bolsena La Pescara : p. 296,
Bolunburu : p. 366, 579, 641
Bordeaux : p. 147, 578, 582, 618, 625
Bourges, Avaricum : p. 156, 544,
Borken : p. 176, 199, 200, 203, 296, 317, 338, 340, 408, 459, 556,
Boulogne : p. 621,
Bourgogne : p. 29, 220, 240, 357, 444, 446, 449, 451, 531, 589, 612, 614, 625, 670
Bracciano (lac de) : p. 112
Bram : p. 582
Brescia : p. 20, 22, 629
Bretagne : p. 107, 108,

Brie : p. 579, 585
Bruges : p. 551
Burgille : p. 614, 627
Byrsa : p. 65, 67, 70,

C

Cabo de Gata : p. 552
Cadira del Bisbe : p. 290, 291,
Cadix : p. 28
Calais : p. 664
Calvados : p. 400,
Ca n'Olivè : p. 62, 63, 67,
Can Bartomeu : p. 290,
Can Xercavins : p. 290,
Campanie, Campania : p. 73, 77, 105, 106,
Campo della Fiera : p. 135, 208,
Canonica : p. 115,
Capharnaüm, Capernanon : p. 40, 150,
Carcassonne : p. 148, 160, 388, 415, 576, 593,
Cardona : p. 662
Carnuntum : p. 105,
Carpathes : p. 79,
Carthage : p. 10, 40, 53, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 98, 101, 123, 146,
Castelgandolfo : p. 112
Catalgirone : p. 82
Catalogne : p. 10, 12, 27, 30, 50, 58, 62, 64, 66, 68, 69, 119, 148, 156, 290, 305, 308, 350, 422, 487, 576, 580, 592, 621, 639, 641, 649, 651, 655, 657, 660, 662, 664, 665, 667
Centre (Région) : p. 12, 25, 103, 346, 446, 651
Centre-Est (de la France) : p. 448,
Cerro dela Cruz : p. 152, 579, 582, 641
Châbles : p. 27, 126, 143, 176, 181, 182, 183, 187, 189, 190, 191, 195, 196, 200, 285, 315, 316, 340, 443, 445, 520, 551, 647
Châlons sur Saône : p. 581
Chalon en Champagne :
Champagne-Ardenne (région) : p. 67, 585, 586, 587, 663, 670
Champillet : p. 154, 544
Champion : p. 25,
Chartres : p. 56, 149, 426, 430, 439, 446, 448, 523, 589, 617, 621, 636, 659
Chassenon : p. 175
Chateaufort : p. 12, 148, 154, 544,
le Châtelet : p. 154, 544
le Chaudry : p. 12, 25, 26, 27, 146, 148, 154, 176, 177, 181, 184, 187, 191, 192, 202, 212, 219, 220, 221, 223, 258, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 268, 270, 276, 305, 314, 338, 339, 348, 349, 367, 368, 369, 383, 386, 387, 388, 444, 447, 448, 488, 490, 491, 492, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 506, 512, 517, 522, 523, 525, 526, 531, 534, 542, 543, 544, 565, 586, 635
Chemtou : p. 20, 621
le Cher : p. 26, 148, 258, 544, 617
Chesters : p. 670
il Chiani : p. 88,
Chine : P. 219,
la Chiusetta : p. 91, 116, 117, 135, 136, 137, 518,
Chiusi : p. 86, 87,
Choisey : p. 206,
Cicogna : p. 88,
Clermont-Ferrand : p. 36, 38, 149, 627
la Cloche (oppidum) : p. 194, 349

les Coirons : p. 23, 99, 639, 641
Colli Albani : p. 110, 111, 118, 121, 658
Collonges-en-Charollais : p. 216,
Comminges : p. 618
Corent : p. 581
Corrèze : p. 400, 578
Corse : p. 20, 60, 628
Cotentin : p. 664
Cournonterral : p. 161, 631
la Courtine : p. 31, 99, 389, 639
Crète : p. 80,
Crocifisso del Tufo : p. 90, 126,
Cyrénaïque, Cyrène : p. 61, 71, 105, 122, 408,

D

Danebury : p. 65, 67,
Danube : p. 39, 65, 67, 487,
Désert Oriental : p. 73
Djemila : p. 121,
Dordogne : p. 617
Dorestad : p. 203, 527, 551, 552, 553, 670
Dortmund : p. 199,
Dresde : p. 424
Dreux : p. 584
Drevant : 154, 544,
Doubs : p. 419, 614, 627
Dun-le-Poëlier : p. 586,

E

Ebre : p.10, 13, 30, 105, 147, 152, 187, 359, 504, 617, 621, 639, 651, 655, 663
Ecosse : p. 38, 65, 591, 628
Egée : p. 23, 28, 39, 40, 79, 99, 100, 118, 219,
Egypte : p. 40, 61, 74, 75, 79, 80, 82, 99, 150, 169, 219, 408,
Eifel : p.19, 23, 26, 31, 39, 60, 84, 96, 99, 100, 103, 150, 155, 176, 195, 203, 296, 299, 317, 367, 368, 407, 408, 409, 448, 524, 551, 614, 617, 625, 655, 670
El Sec : p. 25, 60, 61, 69, 71, 120, 150, 566, 663, 670
Els Vilars d'Arbeca : p.12, 26, 36, 61, 62, 67, 176, 181, 188, 190, 198, 200, 203, 204, 212, 213, 220, 221, 223, 252, 291, 296, 299, 300, 301, 305, 306, 314, 338, 340, 341, 343, 344, 357, 358, 367, 387, 388, 445, 449, 459, 487, 488, 489, 501, 506, 512, 521, 522, 525, 529, 530, 531, 550, 555, 556, 575, 579, 635, 643, 649, 651, 653, 656, 657, 660, 664
Embonne (Agde) : p. 26, 194, 349, 351, 447,
Emilie Romagne : p. 97, 347,
Ensérune : p. 62, 63, 66, 67, 70, 126, 148, 234, 283, 291, 308, 339, 349, 350, 351, 370, 389, 414, 422, 431, 432, 434, 435, 436, 444, 4445, 448, 449, 577, 593, 633, 637, 650, 659, 664
Enns : p.174,
Entrammes : p. 25, 425, 556, 630
Entremont : p. 556, 641
Eoliennes, Eolie : p. 23, 69, 99, 100, 118,
Ernici (monti) : p. 95, 118, 120,
Escaut : p. 583
la Escudilla : p. 67

Espagne, Hispania : p.19, 24, 27, 31, 38, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 78, 79, 80, 96, 104, 105, 122, 147, 150, 152, 169, 174, 176, 290, 295, 296, 302, 309, 350, 366, 385, 386, 432, 460, 488, 517, 520, 552, 554, 564, 579, 580, 582, 628, 635, 637, 650, 654, 655, 663, 665
Espagne Nord : p.10
Espagne Nord-Est : p.19, 26, 252,
Espagne Sud, méridionale, Sud-Est : p.19, 59, 119, 409,
Essex : p. 551
Est du Rhin : p.12
Est de la France : p. 651
Etna : p. 23, 69, 98, 100, 118, 121, 122,
Etrurie : p. 56, 69, 73, 89, 469,
Euganei (Colli) : p. 99, 100, 118, 122,
Eure : p. 449, 574, 583, 586, 587, 591,
Eure & Loir : p. 400
Europe : p. 20, 27, 38, 39, 40, 41, 48, 58, 60, 64, 79, 124, 517, 579, 662

F

Fanum Voltumnae : p. 93, 113, 135,
la Ferté-sous-Jouarre : p. 26, 36, 38, 39, 40, 43,
Figueras : p. 152
Finistère : p. 25,
Flandres : p. 547, 548, 549, 563, 564, 669, 670
Flora (il) : p. 111
Florence, Firenze : p. 86,, 658
Fontvieille : p. 617
Fosses-Belleu : p. 101, 102, 150, 586, 589,
les Fossottes : p. 12, 27, 146, 176, 181, 183, 184, 185, 193, 198, 201, 215, 216, 220, 221, 223, 279, 301, 305, 307, 314, 315, 338, 339, 347, 367, 433, 435, 487, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 517, 521, 524, 533, 534, 556, 583,
France : p.19, p. 24, 25, 27, 29, 30, 31, 36, 41, 44, 67, 97, 99, 106, 124, 126, 150, 152, 258, 368, 544, 554, 583, 592, 598, 614, 651
Francofort : p. 65,
Franche Comté : p.29, 307,
Frascati : p. 112
Fribourg : p. 443

G

Gaddesden Row : p. 218,
Gard : p. 152,
Garonne : p.10, 578, 582, 617
Garhyan : p. 71,
Gassac : p. 160
Gaule : p.10, 47, 50, 56, 59, 61, 63, 68, 73, 78, 83, 101, 103, 107, 108, 147, 149, 219, 291, 305, 350, 372, 408, 422, 424, 447, 518, 580, 581, 586, 591, 592, 600, 602, 613, 614, 617, 618, 625, 630, 654, 664, 667, 668
Germanies : p. 107, 147, 424, 500, 618
Ghent, Gand : p. 30,
Gien : p. 582
Girona, Gironne : p. 62, 579
Gironde : p. 578
Glanum : p. 286, 295, 374, 477, 505, 654
Golan : p. 23, 61, 99, 102, 663
Golfe du Lion : p. 575, 591
Gondole (oppidum) : p. 155, 578, 581
Grande Bretagne : p.10, 30, 38, 60, 67, 106, 150, 402, 423, 551, 588, 591, 616, 628, 663, 670

la Graufesenque : p. 78,
Grèce : p. 17, 60, 68, 69, 75, 82, 99, 171, 408, 628
Grenoble : p. 37, 38,
Guadalquivir : p. 68,
Gué-de-Sciaux : p. 219,
Gussage-all-Saints : p. 65, 67,

H

Hagendorn : p. 415, 419, 599, **620**
Haïfa : p. 36, 37, 40, 41,
Haïtabu (Hedeby) : p. 527, 552,
Harting : p. 65,
Hérault, Héraultais : p. 10, 26, 31, 56, 63, 64, 70, 78, 102, 148, 291, 308, 349, 350, 351, 556, 576, 577, 580, 626, 639, 655, 656, 664, 665, 668
Hertfordshire : P. 210, 212, 217, 218, 219, 220, 223, 279, 293, 319, 343, 367, 450, 589, 591, 593,
Hérisson (oppidum) : p. 154, 544
Herculanum, Ercolano : p. 77,
Hybléens Monts, Iblei : p. 23, 69, 98, 118,
Hyllestad : p. 102, 244,

I

Ickham : p. 21, 616, 626
Idice : p. 552, 572
Ila Pedrosa : p. 126, 152, 153, 155, 293, 317, 318, 338, 579, 657
Ile de France : p. 147, 553, 579, 585, 586,
Inde : p. 20, 75, 79, 161, 628
l'Indre : p. 27,
Ipswich : p. 553
Iran : p. 79
Irlande : p. 20, 38, 628
Islande : p. 244,
Israël : p. 36, 40, 173,
Istria : p. 122
Italie : p.10, 13, 21, 23, 30, 38, 43, 44, 48, 53, 60, 61, 66, 73, 95, 97, 100, 104, 106, 112, 118, 119, 126, 147, 149, 171, 307, 553, 580, 591, 592, 616, 663, 670

J

Janicule : p. 21, 671
Jura : p. 63, 67, 206, 625

K

Kent : p. 21, 616, 626

L

Lac Trasinéne, Trasimeno : p. 86,
la Lagaste : p. 308, 576, 664
la Lande- la Vernhe : p. 219, 291, 318, 338, 435, 524, 545, 546, 551, 557, 621,
Languedoc : p.10, 23, 31, 60, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 77, 79, 87, 104, 105, 291, 305, 349, 422, 451, 576,
577, 580, 592, 599, 617, 639, 650, 656, 664
Lascours : p. 61, 96,
Lattes, Lattara : p. 25, 60, 67, 291, 339, 349, 350, 351, 426, 427, 429, 445, 556, 576, 577, 578, 579, 580, 597,
602, 620, 637, 639, 640, 641, 664, 665
Latium, Lazio : p. 56, 73, 77, 86, 88, 106, 347,
Laurion : p. 73,
Leptis Magna : p. 71, 171,
Lerida, LLeida : p. 30,
Levant : p. 23, 40, 54, 59, 61, 79, 99, 118, 146, 150, 408, 663
Levroux : p. 22, p. 25, 346,
Libye : p. 60, 65, 71,
Lijay : p. 67,
Lille : p. 30,
Limpsfield : p. 553
Lipari : p. 118,
Lodsworth : p. 60,
Loire, domaine ligérien : p. 66, 100, 220, 400, 446, 448, 544, 574, 578, 582, 587, 588, 641, 651, 665, 670
Loiret : p. 574
Londres : p. 126, 142, 551, 553, 557, 589,
Lons-le-Saunier : p.16, 21, 36, 37, 43, 96, 156, 599, 600, 627
Longvic : p. 234,
Lorraine : p. 153, 296, 347, 509,
Lovosice (Oparno) : p. 19, 39, 65, 408, 424,
Lyon, Lugdunum, Lyonnais : p.10, 40, 105, 107, 311, 419, 581, 600, 613, 617, 625, 667

M

Mâcon : p. 173
Magalas : p. 556, 557
Magdalensberg : p. 174,
Maghreb : p. 40,
Mailhac : p. 349
le Main : p. 65,
Majorque, Mallorca : p. 25, 60, 69, 566, 663
Malung : p. 102
la Manche : p. 308, 586
Manching : p. 170, 173, 175, 177, 263, 286, 292, 294, 295, 296, 432, 477, 505, 510, 513, 609,
la Marche : p. 347
le Marduel : p. 23, 349
la Marèze : p. 27, 181, 187, 200, 219, 316, 338, 531,
Margalef : p. 459, 529,
la Marne : p. 142, 446, 574, 584, 586, 587, 592, 595, 664
Maroc : p. 29, 40, 65, 163,
Marseille : p. 30, 69, 105,
Martigues : p. 25, 63, 234, 291, 345, 349, 350, 445, 447, 448, 580, 635, 639, 640, 641, 659, 660, 668
Martres-de-Veyre : p. 20, 311,
les Martyrs : p. 96,
Massif Central : p. 23, 24, 27, 31, 100, 119, 153, 409, 445, 544, 614, 620,
Mathay : p. 434
Maurétanie tingitane : p. 172
Mayen : p. 99, 102, 106, 107, 554, 556, 663
Mayenne : p. 574, 583, 670
Meaux, les Meldes : p. 584, 589, 590, 592, 593, 617, 664

Medicina UAB : p. 291, 459, 529,
Méditerranée : p.17, 20, 23, 41, 51, 54, 58, 59, 60, 66, 68, 71, 73, 74, 77, 79, 83, 96, 124, 131, 147, 165, 445, 449, 572, 581, 583, 595, 639, 641, 662, 667, 670
Mégare : p. 76
Menneville : p. 578, 591
le Mesnil-Aubry : p. 553
Mer du Nord : p. 551, 670
Mérida : p. 80
les Mesclans : p. 28, 509,
Mésopotamie : p. 79
Meuse : p. 19, 588
Montagne Noire : p. 96, 566
Montalcino : p. 87,
Montebibele : p. 97, 658
Monterosso : p. 121
Mont Faulat : p. 61, 566,
Montlaurès : p. 349, 576
Montmorency : p. 585
Montpellier : p. 21, 161, 621
Moravie : p. 39, 424,
Morgantina : p. 58, 60, 71, 96, 150,
Morvan : p. 32, 575, 581, 583
Moselle : p. 30, 195, 524, 526, 556
Motyé : p. 69,
Moulin Gergeot : p. 293,
Mulgaria : p.10, 40, 53, 68, 69, 71, 74, 99, 100, 101, 102, 105, 118, 120, 122, 123, 146, 150, 646
Murcia : p. 36,
Mützenberg : p. 65, 67,

N

Nages : p. 13, 23, 77, 152, 349, 409, 630
Nanterre : p. 125, 544,
Nantes : p. 386, 419, 424, 445, 446,
Narbonne, Narbonnais, Narbonnaise, Narbonensis : p. 10, 61, 105, 106, 107, 171, 385, 566, 575, 576, 658, 663
Naurouze (seuil de) : p. 582
Népal : p. 20
Néris-les-Bains : p. 154, 544,
Nîmes : p. 107, 556, 618
Nisyros : p. 118,
Nord (de la France) : p. 291, 583, 590, 592, 614, 622
Normandie : p. 65, 188, 342, 445, 449, 554, 574, 579, 586, 589, 590, 591, 651
Northumberland : p. 65,
Norvège : p. 38, 244,

O

Obernai : p.13, 176, 187, 188, 197, 198, 203, 224, 338, 348, 556,
Occident : p. 68, 74,
Oise : p. 444, 446, 448, 449, 554, 574, 586, 587, 588, 590, 591, 614, 618, 670
Olbia (Fr) : p. 349

Olot : p. 62, 63, 99, 119, 120, 350, 487,
Olymthe, Olinto : p.13, 17, 29, 30, 36, 39, 54, 58, 60, 63, 69, 73, 74, 75, 97, 234, 350, 531, 580, 647, 663
Ombrie, Umbria : p. 86, 88, 347,
Oparno (voir Lovosice) : p. 19, 39, 99, 408,
Orbetello : p. 657
Orchamps : p. 67,
Orient : p. 21, 26, 30, 39, 40, 48, 68, 74, 171, 234,
Orléans, l'Orléanais : p. 149, 415, 416, 446, 575, 582, 587,
Orne : p. 446
Ostie, Ostia : p. 56, 77, 86, 98, 101, 105, 118, 121, 123, 145, 149, 166, 291, 445, 446, 580, 605, 641, 647, 664, 665
Ouest, grand Ouest (France, Gaule) : p. 31, 574, 668
Oxford : p. 28, 295,

P

Padoue, Padova : p.11, 22, 99, 118, 122, 147,
il Paglia : p. 87, 90, 93, 111, 134, 136, 208, 604, 647, 658
Pagliano : p. 88, 121, 604, 605
Palatin, Palatino : p. 21,
Palestine : p. 60,
Pantelleria : p. 23, 65, 69, 122,
Paris : p. 24, 45, 47, 101, 125, 150, 586, 663, 664
Partynice : p. 65, 67,
le Pâtural : p. 25, 67, 149, 291, 355, 429, 444, 446, 447, 449, 453, 578, 581, 631, 651, 659, 660, 664
Pays Bas, Hollande : p. 199,
Pech Maho : p. 27, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 165, 339, 346, 347, 349, 350, 351, 422, 443, 445, 446, 447, 449, 554, 577, 578, 637, 639, 650, 659, 664
Penya del Moro : p. 62, 67,
Pereto : p. 553
Perugia : p. 86,
Pesaro : p. 658
Peyriac-de-Mer : p. 106, 148, 161, 345, 349, 350, 351, 385, 386, 414, 432, 446, 449, 451, 556, 565, 568, 664
Pézenas : p. 21,
Phénicie : p. 68,
Picardie : p. 25, 67, 79, 342, 421, 427, 443, 449, 450, 451, 554, 574, 575, 579, 586, 589, 590, 591, 614, 618, 619, 651, 663, 667, 670
Piemonte : p. 147
Pienza : p. 87,
Pietramata, Pietramatta : p. 113, 117, 134, 136, 137, 208, 518,
Pitigliano : p. 86, 657
Pise, Pisa : p.16,
Plaça Isabel Besora : p. 290,
Poitou : p. 586
Pompéi, Pompei : p. 23, 77, 95, 96, 98, 100, 101, 105, 120, 144, 145, 147, 174, 177, 293, 294, 295, 296, 302, 501, 664
Pologne : p. 44, 65, 67, 68,
Pont du gard : p. 27,
Pont, région Pontique : p. 79,
Portus-en-Charollais : p. 27, 184, 185, 193, 194, 201, 202, 216, 217, 220, 221, 318, 338, 340, 344, 357, 366, 367, 451, 520, 531, 649
Pouilles, Puglia : p. 101
Poultry : p. 126, 142, 557
Prague : p. 424
Prasville : p. 291, 293, 400, 593,
Provence : p.16, p. 25, 26, 27, 28, 30, 39, 63, 194, 349, 372, 383, 389, 445, 447, 448, 509, 580, 599, 617, 639, 640, 663

Purpurkopf : p. 151, 219,
Puig Castellar : p. 165, 166, 290, 291, 308, 371, 529, 555, 556, 575, 649, 657, 660, 665, 666
Puig Castelet : p. 290,
Puig de la Nau : p. 62, 67,
Puig St Andreu : p. 575, 576, 577, 580, 643 , **656**
les Puys, Chaîne des Puys : p. 84, 96, 99, 100, 102,
Puy-de-Dôme : p. 27,
Puy-du-Tour : p. 293, 400, 578
Pyrénées : p.10, 147, 219, 576,
Pyrgi : p. 171,

Q

Quaix : p. 547, 668

R

Ratisbone : p. 65, 67,
Rebout (Porte du) : p. 291, 345, 414, 429, 444, 449, 556, 636, 641
Regensburg : p. 65, 67,
Reims : p. 36, 37, 38, 41, 142, 156, 451, 589, 590, (92, 593),
Reykjavik : p. 244
Rezé : p. 415, 582
Rhénanie : p. 96, 102, 156, 213, 214, 307, 509, 521, 533, 547, 548, 617, 620, 658, 665, 667, 669
Rhin : p.10, 13, 19, 28, 30, 39, 57, 65, 66, 100, 102, 147, 152, 165, 171, 195, 199, 213, 359, 446, 448, 449, 487, 504, 524, 526, 533, 551, 552, 554, 556, 581, 614, 617, 618, 621, 641, 651, 655, 663
Est du Rhin : p. 198, 449, 487, 500, 521, 556,
Rhétie : p. 618
Rhin delta : p. 552
Rhône, rhodanien : p. 28, 30, 60, 63, 66, 73, 101, 147, 448, 575, 578, 581, 617, 639, 663
Ribe : p. 552
Rif : p. 29, 65,
Ripa Medici : p. 90, 95, 518,
Roanne, Rodumna : p. 25, 293, 400, 578, 581, 637
Roccamonfina : p. 95, 118, 120,
Rodersdorf : p. 600, 626
Rome, Roma : p. 20, 21, 36, 37, 56, 78, 86, 89, 93, 95, 104, 105, 112, 121, 149, 150, 171, 602, 605, 614, 617, 625, 657, 658, 664, 668, 671
Rosas, Rozès : p. 152
Rouen : p. 584
Roumanie : p. 39,
Rowbury Farm : p. 67,
Royaume Uni (UK) : p. 38, 63, 101, 147, 563

S

Saalburg : p. 19, 311, 627
Sabatini (Monti) : p. 110, 111, 112, 120, 121, 658
Saepinum : p. 626
Sahara : p. 161,
Salamis : p. 171, 177, 294, 295, 300, 309, 608, 609, 654, 655
la Salle : p. 198, 215, 348, 433, 583,
Sambre : p. 19, 583, 588,
Samos : p. 174,

San Lorenzo : p. 114, 117,
San Valentino : p. 117,
San Venanzo : p. 100, 112, 119,
Santorin : p. 118
Saône : p. 66, 448, 575, 581, 617, 618, 663
Saran : p. 175,
Sardaigne, Sardegna : p. 10, 23, 40, 60, 61, 65, 68, 69, 70, 71, 98, 101, 118, 120, 122, 123, 146, 296, 582, 592, 646, 663
Sarthe : p. 583
Scandinavie : p. 38, 628
Seine : p. 100, 165, 221, 446, 449, 574, 575, 579, 581, 582, 583, 586, 587, 588, 591, 592, 614, 617, 618, 625, 651, 663, 664, 667, 670
Senlis / Augustomagus : p. 296, 586
Sens : p. 628
Settecamini : p. 646
Sicile : p. 10, 23, 40, 60, 61, 65, 68, 69, 70, 71, 74, 98, 100, 104, 118, 119, 296, 582, 663
Sienna, Siena : p. 40,
Silchester : p. 414, 664
Soissons : p. 584, 589, 590, 621, 622,
Somma Vesuvius : p. 122,
Somme : p. 446, 449, 533, 554, 574, 583, 584, 587, 588, 595, 618, 651, 663, 667
St Dié : p. 509
St Doulichard : p. 616
St Laurent d'Agny : p. 73,
St Martino : p. 602
St Quentin : p. 556, 557
St Romain-en-Gal : p. 147, 581,
St Thibéry : p. 64, 194, 349,
Ste Sévère : p. 154
Steinfurt : p. 218, 622
Strasbourg : p. 161,
Stromboli : p. 118
Sud-Ouest : p. 10, 524, 531,
Suède : p. 38, 102,
Suffolk : p. 551
Sugano : p. 86, 91, 112, 113, 114, 115, 116, 123, 127, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 208, 646
Suisse : p. 27, 30, 60, 66, 126, 143, 147, 445, 446, 449, 513, 552, 557, 614, 617, 625, 626
Surrey : p. 553
la Svolta : p. 88, 90, 97, 134, 136, 144, 145,
Syrie : p. 23,

T

Tamburino : p. 135, 602
Taradeau : p. 16, 73,
Tarn : p. 181,
Tarquinius : p. 89, 657
Tchéquie : p. 39, 424
Tell Yarmouth : p. 80
Tendu : p. 27
Terni : p. 86,
Thamise : p. 57, 101, 217,
Thorpe Thelwes : p. 65,
Tibet : p. 633
Tibre, Tevere : p. 56, 86, 88, 93, 97, 121, 604, 605, 657, 658
Tione : p. 88,
Tolfa : p. 111

Tomblaine : p. 631
Tongres, Tungri : p. 106, 156, 346, 383, 389, 422, 425, 447, 448, 583, 589, 614, 622, 668
Tonkin : p. 160, 633
Tossal del Moro de Pinyeres : p. 62, 67,
Toscane, Toscana, Tuscania : p. 43, 60, 86, 87, 88, 101, 111, 347, 657
Toulon : p. 99,
Toulouse : p. 47, 126, 146, 147, 155, 219, 364, 557, 575, 578, 582, 618, 664
Trentino, Trentin : p. 25, 27, 40, 126, 147, 362, 589,
Trinità : p. 88, 91, 113, 114, 115, 117, 134,
Tripoli : p. 40,
Tunisie : p. 23, 29, 69, 105, 118, 120, 150,
Turò de Ca n'Olivè : p. 290, 291, 459, 529,
Tyrrhénien : p. 95, 591

U

Urò de Ca n'Olivè : p. 291,
USA : p. 47, 518
Ustica : p. 69, 118,

V

Val d'Aoste (Aosta) : p. 547, **553**,
le Var : p.16, 389, 639
Vareilles : p. 21, 56, 73, 78, 599, 621, 668
Véiès : p. 89,
Venise, Vénétié, Veneto : p. 23, 27, 95, 99, 147, 362,
Vercors : p. 668
Verona : p. 14,
Vertault : p. 444, 589, 664
Vésuve, Vesuvio : p. 28, 56, 88, 95, 98, 99, 100, 102, 110, 112, 118, 119, 120, 121, 122, 150, 646
Vichy : p. 617
Vic-le-Comte : p. 26,
Vico : p. 110, 111, 121,
Vié-Cioutat : p. 152
Vienne (FR) : p. 107, 147, 581
la Vienne : p. 219
los Villares : p. 62, 67,
Villeneuve-St. Germain : p. 421, 423,
Vindonissa : p. 174, 176, 177, 286, 292, 469, 477, 552, 611, 624, 654, 656
Viterbo : p. 111, 657
Vogelsberg : p. 65, 67, 99, 487, 500,
Volubilis : p. 172,
les Vosges : p. 27, 32, 198, 213, 347, 433, 443, 488, 509, 521, 552, 556, 581, 583, 655
Vulci : p. 657
Vulsini, Volsini : p. 110, 111, 112, 121, 123, 657
Vulture (il Monte) : p. 99, 102, 119, 121, 122,

W

Wanzenau / Wantzenau : p. 152, 300, 304, 527,
Wesser : P. 102
Wessex : p. 65, 66,
Wroclaw : p. 65,

X

Xanten : p. 171, 296,

Y

Yougoslavie : p. 60

Ymonville : p. 63, 67, 291, 293, 346, 384, 425, 446, 447, 448, 449, 578, 590, 593,

Yonne : p. 434, 575,

Z

Zugmantel : p. 19, 614, 620

REGIONS citées & zones VOLCANIQUES (en rouge)



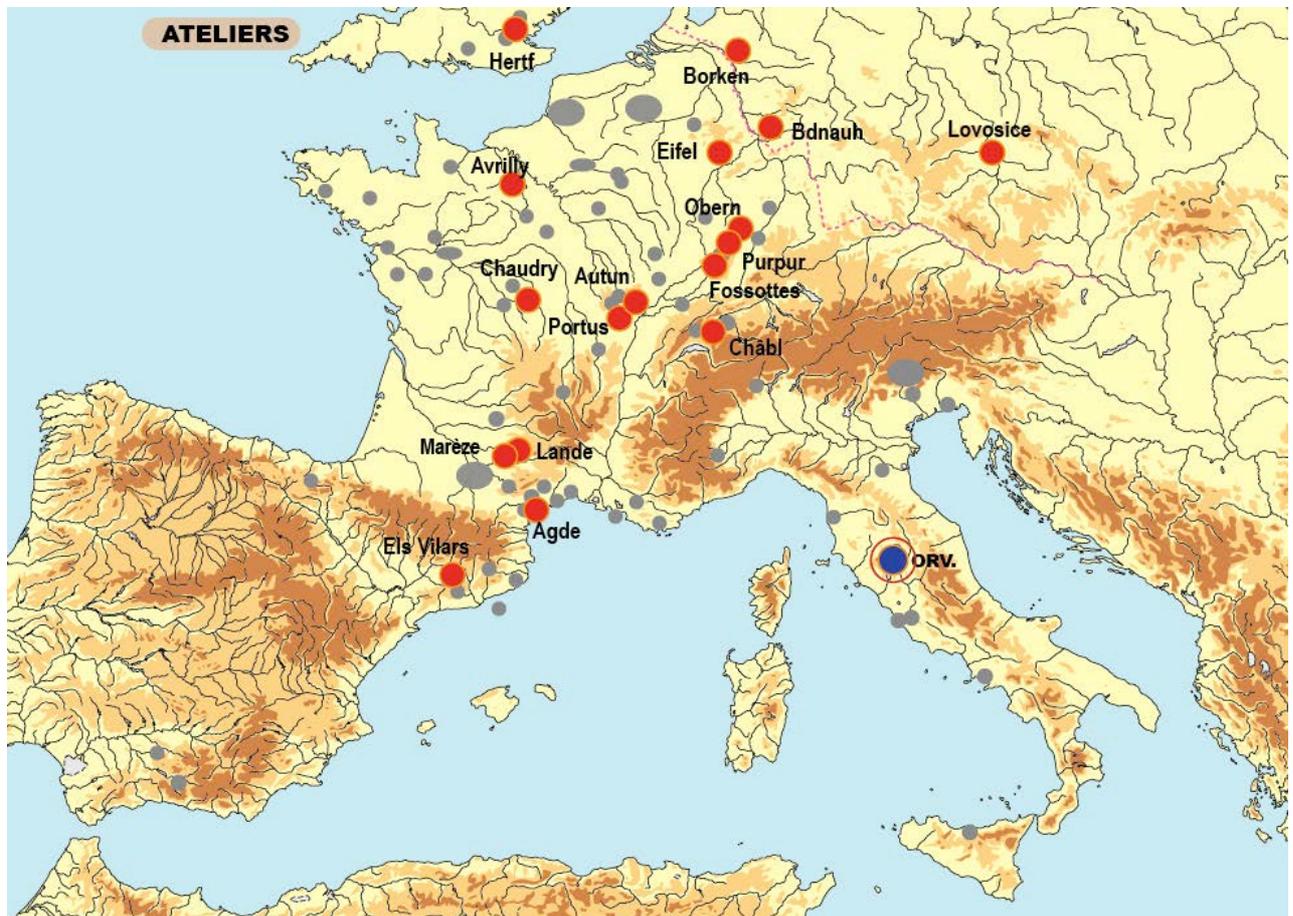
RIVIÈRES citées & Massifs Montagneux français (en violet)



VILLES & OPPIDA cités



ATELIERS MEULIERS (cercles rouges)



étudiés :

Hertfordshire – Avrilly – Borken – Eifel – Ban Nauheim – Obernai – Les Fossottes – Châbles – Orvieto – Autun Faubourg d'Arroux – Le Chaudry – La Marèze – La Lande La Vernhe – Agde – Els Vilars –

cités : Le Purpurkopf – Lovosice/Oparno –