



HAL
open science

Choix et trajectoires techniques dans le domaine ibérique à la fin de l'Âge du Fer

Nicolas Frerebeau

► **To cite this version:**

Nicolas Frerebeau. Choix et trajectoires techniques dans le domaine ibérique à la fin de l'Âge du Fer : La cuisson des matériaux céramiques dans la vallée de l'Èbre (IIIe–Ier s. av. J.-C.). Archéologie et Préhistoire. Université Bordeaux Montaigne, 2015. Français. NNT : 2015BOR30032 . tel-01711197

HAL Id: tel-01711197

<https://hal.science/tel-01711197>

Submitted on 16 Feb 2018

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.

Université Bordeaux Montaigne

École Doctorale Montaigne Humanité (ED 480)

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES ARCHEOLOGIQUES

**Choix et trajectoires techniques dans le
domaine ibérique à la fin de l'Âge du Fer**

*La cuisson des matériaux céramiques dans
la vallée de l'Èbre (III^e-I^{er} s. av. J.-C.)*

Présentée et soutenue publiquement le 25 avril 2015 par

Nicolas FREREBEAU

Sous la direction de Michel PERNOT et Alexis GORGUES

Membres du jury :

M. P. BARRAL (rapporteur), professeur à l'Université de Franche-Comté

M. J. BUXEDA I GARRIGÓS, professeur à l'Université de Barcelone, Espagne

M. A. GORGUES, maître de conférences à l'Université Bordeaux Montaigne

M. M. PERNOT, directeur de recherche au CNRS

Mme C. SANCHEZ, chargée de recherche au CNRS

M. V. SERNEELS (rapporteur), professeur à l'Université de Fribourg, Suisse

À mes parents

À ma sœur

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	IX
AVERTISSEMENT.....	XIII
INTRODUCTION.....	3
TRAJECTOIRES TECHNIQUES EN PÉNINSULE IBÉRIQUE.....	4
DE L'INDUSTRIE CÉRAMIQUE.....	5
OBJECTIFS DE LA PRÉSENTE ÉTUDE.....	8
PARTIE 1 – LE BAS ARAGON À L'ÂGE DU FER.....	15
CHAPITRE 1 – UN TERRITOIRE DE CONTACTS.....	17
I. Le domaine ibérique.....	17
A. Le temps, le lieu, le milieu.....	17
1. Un problème archéologique et épistémologique.....	17

a. La mosaïque des populations ibères.....	17
b. Le xix ^e siècle et la question des origines.....	19
2. Acculturations en Péninsule ibérique ?.....	20
a. Ibérisation.....	20
b. Romanisation.....	21
B. La céramique ibérique.....	22
1. Une reconnaissance tardive.....	22
a. L'art mycénien « abâtardi » (1883 – 1915).....	22
b. Le « problème » de la céramique ibérique (1918 – 1955).....	24
c. L'unité dans la diversité (1955 – aujourd'hui).....	25
2. Diversité des productions.....	26
a. Les céramiques à pâte claire.....	26
b. Les céramiques grises.....	27
c. Les céramiques à engobe rouge.....	27
II. La vallée de l'Èbre et le Bas Aragon.....	29
A. Occupations et contacts.....	29
B. L'atelier du Mas de Moreno.....	30
1. Localisation et organisation du site.....	30
2. Éléments de chronologie.....	32
3. Intégration dans le contexte régional.....	32
III. Synthèse.....	37
CHAPITRE 2 – MATIÈRES ET RESSOURCES.....	39
I. Éléments de géologie ibérique.....	39
A. Géographie physique.....	39
B. Grands bassins sédimentaires.....	40
II. La vallée de l'Èbre et le Bas Aragon : environnement et ressources.....	43
A. Ressources minérales.....	43
1. Les argiles.....	43
a. Précision sur la notion d'argile.....	43
b. Géologie bas aragonaise.....	44
2. Les oxydes de fer.....	49

B. Ressources végétales.....	50
1. Évolutions climatiques.....	50
2. Modifications du milieu.....	51
C. Ressources hydrologiques.....	52
III. Synthèse.....	55

**PARTIE 2 – DANS LA CHALEUR DES FOURS : FABRICATION DE MATIÈRES
CÉRAMIQUES.....57**

CHAPITRE 1 – LE CRU ET LE CUIT : DE LA TERRE À LA CÉRAMIQUE.....59

I. Chaînes opératoires.....	59
A. De l'argile à la pâte.....	60
1. Traitements.....	60
2. Retrait de matières.....	61
3. Ajout de matières.....	61
B. Façonnage : la question du tour.....	62
C. Conduire la cuisson.....	65
1. Structures de cuisson.....	65
a. Le four à flammes nues et tirage ascendant.....	66
b. Le four à moufle.....	67
c. Remarques sur l'inertie des fours.....	68
2. Contrôler les paramètres ?.....	68
a. Quelques stratégies d'évaluation des paramètres de la cuisson.....	68
b. Le choix du combustible.....	69
II. La cuisson comme processus de transformation.....	73
A. Un processus en trois dimensions.....	73
1. Température.....	73
a. Éléments de définition.....	73
b. Pertinence du paramètre température.....	73
2. Durée.....	77
3. Atmosphère.....	80
a. Composition et variations de l'atmosphère de cuisson.....	80
b. Évolution des conditions d'oxydoréduction.....	82

Domaines oxydant et réducteur.....	82
Mécanismes de réduction.....	84
c. Le rouge et le noir : la couleur comme critère diagnostic ?.....	86
B. D'un matériau à l'autre.....	89
1. Mécanismes de transformation.....	89
2. Transformations au cours de la cuisson.....	92
a. Déshydroxylation des minéraux argileux.....	94
b. Décomposition thermique des carbonates de calcium.....	95
Décarbonatation.....	95
Carbonatation.....	96
c. Formation de nouvelles phases au cours de la cuisson.....	98
Phases cristallines.....	98
Phases amorphes.....	100
III. Synthèse.....	101
CHAPITRE 2 – ÉLÉMENTS DE CÉRAMURGIE IBÉRIQUE.....	103
I. Corpus étudié.....	103
A. En contexte productif : l'atelier du Mas de Moreno.....	104
1. Terres cuites.....	104
2. Terres crues.....	107
B. En contexte de consommation.....	108
II. Processus de fabrication.....	111
A. Préparation des pâtes.....	111
1. La fabrique du Mas de Moreno.....	111
2. Remarques sur les procédés mis en jeu.....	118
B. Mise en forme et traitements de surface.....	119
1. Le façonnage des pots.....	119
2. Les décors peints.....	121
C. La cuisson.....	125
1. Apports énergétiques.....	125
2. Conditions d'oxydoréduction.....	133
III. Synthèse.....	139

PARTIE 3 – ROUTINE ET INNOVATION : GESTION DU RISQUE PRODUCTIF. .141

CHAPITRE 1 – DE L’APPROPRIATION DE LA NATURE.....	143
I. Origine des matières argileuses.....	143
A. Source, origine et provenance.....	143
B. Perturbations et processus taphonomiques.....	145
1. Nature de la perturbation.....	146
2. Le cas des alcalino-terreux et du cuivre.....	149
a. Impact du milieu d’enfouissement.....	149
b. Le cru et le cuit : un cas de perturbation différentielle.....	151
3. Le cas des terres rares.....	156
C. Une fabrication monogénique ?.....	158
II. Sélection des matières premières.....	163
A. Prélèvements d’argiles.....	163
B. Choix des matières argileuses.....	165
III. Synthèse.....	169
CHAPITRE 2 – SUR L’ADÉQUATION ENTRE MATIÈRES ET TECHNIQUES.....	171
I. De l’intérêt des matières calcaires.....	171
A. Propriétés thermiques.....	171
B. Propriétés mécaniques.....	176
C. Qualités esthétiques.....	179
II. Articulation avec les structures de cuisson.....	181
A. Sur le fonctionnement des fours au sein de l’atelier du Mas de Moreno. .181	
1. Caractéristiques structurales des fours.....	181
2. Apports d’énergie.....	182
3. Évolution des pratiques techniques.....	184
B. Un principe de sécurité.....	185
1. De l’acceptation du risque.....	186
2. Conduite de la cuisson.....	190
III. Synthèse.....	193

CONCLUSIONS.....	195
LA COMPLAINTE DU THERMOMÈTRE.....	196
LE GOÛT DU RISQUE.....	197
ANNEXES.....	199
ANNEXE A1 – LISTE DES MINÉRAUX CITÉS.....	201
ANNEXE A2 – CORPUS ÉTUDIÉ.....	203
ANNEXE A3 – PROTOCOLE ANALYTIQUE.....	227
I. Imagerie.....	227
II. Analyses élémentaires.....	228
III. Analyses structurales.....	229
IV. Granulométrie.....	233
ANNEXE A4 – ANALYSE DE DONNÉES.....	235
I. Logiciel et environnement de calcul.....	235
II. Données de composition.....	236
ANNEXE A5 – GRANULOMÉTRIE.....	243
ANNEXE A6 – COMPOSITIONS ÉLÉMENTAIRES.....	245
ANNEXE A7 – MATRICES DE VARIATION.....	253
ANNEXE A8 – COMPOSITIONS MINÉRALOGIQUES.....	257

GLOSSAIRE.....	261
INDEX DES ILLUSTRATIONS.....	265
INDEX DES TABLEAUX.....	271
INDEX DES PLANCHES.....	273
SOURCES.....	275
BIBLIOGRAPHIE.....	277

Remerciements

La présente étude a été réalisée dans le cadre d'un contrat doctoral de l'Université Bordeaux Montaigne (2011-2014), financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Ceci, au sein du Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie de l'Institut de Recherche sur les Archéomatériaux (IRAMAT-CRP2A), Unité Mixte de Recherche du CNRS et de l'Université Bordeaux Montaigne (UMR 5060).

Ce travail s'inscrit également au sein de trois projets de recherche portés par A. GORGUES et menés à l'Université Bordeaux Montaigne, par l'Institut Ausonius (UMR 5607, CNRS – Université Bordeaux Montaigne), en collaboration avec l'IRAMAT-CRP2A :

- « *Un artisanat en réseau : innovation et transferts de technologie dans le sud-ouest de l'Europe au I^{er} millénaire av. n.è. (Aquitaine, Languedoc, Péninsule Ibérique). De la fin de l'Âge du Bronze à la conquête romaine* », projet cofinancé par la Région Aquitaine et l'Université Bordeaux Montaigne (2011-2014).

- « *La production de la céramique dans le monde méditerranéen ancien : l'exemple ibère* », projet bénéficiant d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissement d'avenir (LabEx des Sciences Archéologiques de Bordeaux, ANR-10-LABX-52 ; 2012-2015)
- « *Culture technique, culture matérielle, identité. L'exemple du sud-ouest européen au I^{er} millénaire avant J.-C.* », Projet Scientifique d'Établissement de l'Université Bordeaux Montaigne (2012-2013).

Enfin, cette étude a reçu le soutien du *Consortio Patrimonio Ibérico de Aragón* en la personne de José Antonio BENAVENTE, permettant l'accès au matériel archéologique conservé au dépôt d'Alcañiz (Teruel, Espagne) et assurant un soutien logistique lors des travaux de terrain. Je lui en sais gré.

Je tiens à remercier particulièrement Michel PERNOT (IRAMAT-CRP2A) et Alexis GORGUES (Institut Ausonius) pour la confiance qu'ils m'ont accordée en acceptant de diriger mes recherches. Je remercie également Ayed BEN AMARA et Nadia CANTIN (IRAMAT-CRP2A) pour le temps et l'énergie qu'ils ont consacré à ma formation et pour le plaisir que j'ai eu ensuite à travailler avec eux.

Ma plus vive gratitude va à tous ceux qui ont matériellement permis la réalisation de ce travail, Valérie MERLE (Laboratoire Archéologie et Archéométrie, UMR 5138), Brigitte SPITERI (IRAMAT-CRP2A), Bernard MARTIN (EPOC, UMR 5805), Alain QUEFFELEC (PACEA, UMR 5199), Anne BOCQUET-LIÉNARD (CRAHAM, UMR 6273) et Juliette DUPRÉ (CRAHAM, UMR 6273).

J'exprime toute ma reconnaissance à l'ensemble de l'équipe de l'IRAMAT-CRP2A, à son directeur Pierre GUIBERT et, particulièrement, à Stéphan DUBERNET, Yannick LEFRAIS et Pierre SELVA, pour leur accueil, leur assistance et les moyens mis à ma disposition. Ainsi qu'à tous ceux qui, par leurs conseils, ont enrichi ma réflexion, notamment Valérie MARACHE (Service archéologique de Bordeaux Métropole) et François-Xavier LE BOURDONNEC (IRAMAT-CRP2A).

Pour tous ces moments qui maintiennent le moral à flot une pensée particulière va aux anciens, Marine FROUIN, Marion HERNANDEZ, Ziad EL MORR et Laure DAYET. Ainsi qu'aux nouveaux, Brice LEBRUN, Léna BASSEL, Julie FAURE et Sebastian KREUTZER. Je remercie également les occupants du bureau pour leur présence et leur convivialité, Nino DEL SOLAR, Aurélie MOUNIER, Marion PROVOST et spécialement Pierre MACHUT, pour son travail critique de relecture et de correction. La qualité de ce travail lui doit beaucoup.

Merci à Christelle LAHAYE (IRAMAT-CRP2A), pour m'avoir ouvert à l'enseignement et guidé dans les arcanes de l'Université, mais plus encore pour m'avoir accordé son amitié. Merci à Claire PEREZ et Charlotte SACILOTTO, à Jean-Baptiste FOURVEL et Sonia CERUTTI pour leur longue amitié et pour tous ces étés passés ensemble sur le terrain, ainsi qu'à Philippe FOSSE (Laboratoire TRACES, UMR 5608) pour tous ces dimanches au Mirail.

Enfin, je n'aurai jamais assez de mots pour tous mes proches, qui le sont restés malgré la distance que j'ai laissée s'installer ces dernières années. En particulier pour mes parents et ma sœur, dont le soutien indéfectible est à l'origine même de ce travail.

Avertissement

1. Terminologie, nomenclature et abréviations

- i. Les termes et expressions suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire en fin du présent document (*infra*, p. 260).
- ii. La dénomination et la codification des couleurs correspond à la charte Munsell¹.
- iii. Les noms de minéraux ont été systématiquement abrégés dans les illustrations. La liste est reproduite en annexe A1, p. 201, complétée des formules structurales.

2. **Sources de données.** L'ensemble des calculs de thermodynamique présentés a été réalisé à l'aide des données fournies par R. A. ROBIE et B. S. HEMINGWAY².

3. **Illustrations.** Sauf mention contraire, toutes les illustrations sont l'œuvre de l'auteur.

¹ Munsell Color (2009).

² Robie & Hemingway (1995).

« Ça ne va pas ? demanda-t-il ?

— Non, Godfrey, ça ne va pas, répondit le professeur, et je commence à croire que ces inventions de sauvages ne sont que des imaginations pour tromper le pauvre monde !

— Non ! reprit Godfrey ; mais, en cela comme en toutes choses, il faut savoir s'y prendre.

— Alors, ces œufs ?...

— Il y aurait encore un autre moyen, répondit Godfrey. En attachant un de ces œufs au bout d'une ficelle, en le faisant tourner rapidement, puis en arrêtant brusquement le mouvement de rotation, peut-être ce mouvement se transformerait-il en chaleur, et alors...

— Alors l'œuf serait cuit ? »

J. VERNE, *L'École des Robinsons*, 1882.

Introduction

L'appellation « *Ibère* », héritée des sources grecques et romaines, désigne un ensemble hétérogène de populations occupant la zone littorale et pré-littorale de l'Espagne actuelle au cours du I^{er} millénaire av. J.-C. La céramique alors apparaît comme le marqueur culturel le plus fort, permettant la définition d'un espace géographique précis et la mise en évidence des circulations de produits et de techniques³.

Pourtant, la connaissance des processus par lesquels ce marqueur est produit et, par extension, d'une partie de « *l'infrastructure techno-économique* »⁴ ibère, demeure relativement succincte. L'objet de la présente étude relève donc de la *technologie*, comme étude des forces productrices⁵, et se veut ainsi un discours sur une *technique* (entendue dans son acception la plus large⁶) : celle de la céramique ibérique⁷.

3 Gailledrat (1997, p. 51-52).

4 Leroi-Gourhan (1964, p. 210).

5 Haudricourt (1987, p. 37-46).

6 C'est-à-dire « *tout ce qui concerne l'action de l'homme sur la matière* » (Lemonnier 1983a, p. 12).

7 Comme il nous sera donné de le préciser par la suite (*infra*, p. 22), notre étude porte exclusivement sur la céramique ibérique dite « *à pâte claire* », correspondant au type A de la classification proposée par Mata & Bonet (1992). Dans la suite de ce travail, l'expression « *céramique ibérique* » désignera uniquement cette catégorie.

Trajectoires techniques en Péninsule ibérique

La céramique ibérique présente un double intérêt : d'une part, cette catégorie de produits ne relève pas d'une unité stylistique ou fonctionnelle : les critères assurant son homogénéité sont d'ordre technique⁸ ; d'autre part, si on lui reconnaît des influences de la Méditerranée orientale, la céramique ibérique n'en demeure pas moins un élément définitoire d'un domaine considéré comme indigène. À cela s'ajoutent les particularités de l'aire étudiée. Si l'ensemble de la façade méditerranéenne de la Péninsule ibérique est marquée par la présence d'établissements grecs et phéniciens dès le VII^e s. av. J.-C., la vallée de l'Èbre constitue une zone d'interface particulière : point de contact entre populations indigènes et théâtre des affrontements entre Rome et Carthage, jusqu'à l'établissement progressif de l'emprise romaine.

Au regard de nos interrogations, l'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel ; *infra*, p. 30), en activité du III^e au I^{er} s. av. J.-C., offre un terrain privilégié quant à l'étude des modifications affectant les pratiques techniques liées à la céramique⁹. Outre le mobilier attendu, l'exploration du site¹⁰ a en effet permis la mise au jour de près d'une dizaine de structures de cuisson, dont l'état de conservation laisse entrevoir les originalités de conception et de fonctionnement, ainsi qu'une lecture dynamique de l'organisation des espaces de travail¹¹. De plus, l'existence d'une épigraphie de la production permet d'appréhender les évolutions de l'atelier dans le contexte des transformations de la vallée de l'Èbre, avec notamment l'apparition d'une épigraphie latine¹².

La présente étude ne prétend pas pour autant à l'exhaustivité. Au contraire, s'attachant à l'art céramique, notre travail se propose d'explorer la production avec une attention particulière portée à l'un des moments cruciaux de la fabrication que constitue l'étape de la cuisson. Il s'agira alors de proposer une réponse à la question du développement et de l'évolution des pratiques de cuisson des matériaux céra-

8 Tarradell & Sanmarti (1980, p. 312).

9 L'ensemble du corpus étudié est présenté en annexe A2, p. 203.

10 Connu depuis les années 1980, le site fait actuellement l'objet d'investigations sous la direction d'A. Gorgues et de J.-A. Benavente Serrano.

11 Gorgues & Benavente Serrano (2012).

12 Gorgues (2009).

miques, dans le domaine ibérique et, en particulier, dans la vallée de l'Èbre (**fig. 1** et **2**, p. 10 et 11) à la fin de l'Âge du Fer.

En retenant l'idée de *trajectoire technique*¹³ comme intitulé du présent mémoire, l'orientation donnée à notre étude est ainsi celle d'un intérêt porté à l'origine d'une pratique – les pratiques de cuisson – en lien avec son environnement, sans se limiter à une mise en rapport avec celles qui l'ont précédées ou qui la suivent¹⁴. *Il s'agit donc d'identifier les modalités selon lesquelles s'articulent matières disponibles, techniques et matériaux fabriqués et de mettre en évidence les jeux de rétroactions qui existent entre ces trois composantes.*

De l'industrie céramique

Proposer une définition du terme *céramique* peut apparaître comme une gageure, tant ce dernier est omniprésent dans le registre archéologique, de par la diversité des catégories fonctionnelles qu'il recouvre et les quantités correspondantes. Néanmoins, il convient au préalable d'en restreindre le champ en levant une ambiguïté liée à son usage métonymique, qui tend à remplacer l'objet par sa matière : batteries de cuisine, contenants pour le stockage et le transport de denrées, pesons, matériaux de construction et ornements architecturaux, isolants pour navettes spatiales, composants électroniques, etc. appartiennent tous à la même catégorie technique¹⁵. Dans la suite de ce travail, on désignera donc par *céramique* une matière dont les caractères sont d'être inorganique, non métallique*, polyphasée* et polycristalline, obtenue intentionnellement par la transformation thermique à l'état solide d'une matière silicatée¹⁶. Précisons d'emblée que l'usage d'une matière silicatée est une contrainte propre aux contextes techniques qui nous intéressent ici¹⁷ et qui fait écho à l'étymologie du mot, correspondant au grec *κεραμικός* (« d'argile »)¹⁸.

13 Gras (2007, p. 16).

14 À la différence de la notion de *tendance* telle qu'elle est présente chez Leroi-Gourhan (1965, p. 35-65). Gras (2013, p. 21-22).

15 Farnoux (1995, p. 19).

16 Heimann (2010, p. XV).

17 Les céramiques modernes ne sont plus limitées aux seuls silicates mais comprennent également carbures, nitrures, borures, etc. (Baïlon & Dorlot 2000, p. 385).

18 « céramique », in *Trésor de la Langue Française informatisé*.

La fabrication d'artefacts en céramique ne relève cependant pas d'un changement de matière qui opposerait le cru au cuit, mais bien de la sélection de traits utiles parmi les propriétés de la matière, le matériau étant le produit de cette sélection¹⁹. La définition de la céramique précédemment formulée exclut les verres mais intègre ciments et bétons au même titre que la brique : de la matière céramique peuvent être obtenus autant de matériaux qu'il en est d'utilisations. L'amphore et la pièce de navette spatiale relèvent ainsi de la même matière mais de deux matériaux constitutifs différents, sélectionnés pour leurs propriétés respectives, mécaniques ou réfractaires. L'utilité du matériau consiste en des propriétés immédiates ou transformationnelles, telles que la finalité d'une phase de fabrication peut n'être que de réaliser les moyens de la suivante, le fabriqué devenant le fabriquant²⁰. Ainsi en est-il de l'argile qui devient la pâte du potier, à partir de laquelle est fabriqué un vase. On désignera alors par *chaîne opératoire* la série d'opérations qui aboutissent à la fabrication d'un produit²¹. Cette chaîne opératoire ne se résume pas pour autant à une succession linéaire d'étapes dont il serait possible d'isoler les maillons mais les inclut tous, si bien que le vase est déjà présent dans la sélection des traits utiles de la pâte : la chaîne opératoire n'est pas accumulation de gestes mais bien imbrication de techniques, comme a le loisir de le découvrir Robinson Crusoe²².

Ceci implique de reconnaître que les techniques forment système : pour chaque société, les techniques existantes sont liées entre elles, de même que le sont les différents éléments d'une technique et qu'il est nécessaire d'identifier les relations

19 Les acceptions de *matière* et de *matériau* retenues ici ne correspondent pas à la distinction courante pour laquelle le matériau est une organisation particulière de la matière (cette dernière étant entendue dans son sens élémentaire) mais nous apparaissent plus appropriées, notre propos portant sur les choix techniques qui conduisent à la fabrication des matériaux en question.

20 Bruneau (1992, p. 91), Bruneau & Balut (1997, p. 109).

21 « *La technique est à la fois geste et outil, organisés en chaîne par une véritable syntaxe qui donne aux séries opératoires à la fois leur fixité et leur souplesse. La syntaxe opératoire est proposée par la mémoire et naît entre le cerveau et le milieu matériel* » (Leroi-Gourhan 1964, p. 164).

22 « *Malgré un labeur acharné pour trouver l'argile, puis l'extraire, puis la préparer, la transporter chez moi et la travailler, je ne réussis à façonner en deux mois de temps que deux gros objets en terre qui ne méritent pas le nom de jarres.* » (Defoe 2012 [1719], p. 164). Pour Robinson Crusoe cette activité relève du travail – comme tâche indispensable à sa survie – mais, malheureusement, cette fois il ne lui est pas possible de tricher en se fournissant parmi les outils sauvés de son naufrage. Comme le rappelle F. Sigaut (1987, p. 10), cette astuce du récit de D. Defoe a été justement soulignée par J. Verne (2010 [1882], p. 762) dans une de ses robinsonnades, mettant en scène la difficulté de ses naufragés à s'établir sur une île en l'absence d'un savoir technique adéquat (*supra*, p. 1).

entretenues entre système technique et système social, entendu au sens le plus large²³, sans *a priori* sur le sens de ces relations. Nombre de *choix techniques*²⁴ relèvent en effet d'actions et de rétroactions, de la technique sur le social et, en retour, du social sur la technique²⁵. Ainsi celle-ci relève-t-elle également de considérations non techniques et est-elle guidée autant – sinon plus – par l'idée qu'en ont les acteurs que par l'efficacité des dispositifs au regard des fins visées.

De la *fabrication*, comme réalisation pour une fin donnée, il apparaît donc nécessaire d'en arriver à la *production* comme combinaison, selon des règles, de ressources (matières et énergie), d'outils (pouvoir-faire) et d'hommes (savoir-faire) pour obtenir un produit utilisable socialement²⁶. Il est banal de le rappeler, les ressources naturelles sont inégalement réparties dans l'espace, de même que l'accès à ces dernières n'est pas garanti dans le temps, conduisant dans certains cas à la circulation de biens ou de personnes pour pallier ces disparités. Ainsi, l'articulation entre système technique et système social n'est pas sans poser la question de l'exploitation de la nature, à travers laquelle transparaît celle de l'économie.

Le premier point auquel nous ne saurions souscrire serait alors de considérer que le rapport à la nature se manifeste par la seule compétition, poussée par une quête de maximisation et d'efficacité dans l'exploitation des ressources²⁷. Le rapport à la nature ne se limite pas au problème de la subsistance : le système économique d'une société est constitué par la combinaison de rapports sociaux²⁸ et l'exploitation des ressources relève de choix liés – mais non limités – à la perception des qualités des matières, l'organisation du travail²⁹, les jeux de propriété du (sous-)sol, etc. En se-

23 Lemonnier (1983b, p. 110).

24 Lemonnier (1993).

25 Voir par exemple Levi Strauss (1985, p. 236-237) ; *infra*, p. 158.

26 Godelier (1965, p. 45).

27 À l'image de l'économie libérale moderne, dont on ne saurait rendre universelle la recherche de rationalité.

28 Ces rapports assurant l'une, l'autre ou la combinaison des trois fonctions suivantes : « a) L'accès des groupes et des individus aux ressources naturelles exploitées et aux moyens de production utilisés. b) Le déroulement des divers procès de travail par lesquels les membres d'une société agissent sur la nature qui les entoure pour en disjoindre certains éléments matériels et les faire servir à leurs besoins, soit dans leur état naturel soit sous une forme transformée par l'homme. [...] c) Les manières spécifiques dont les produits du travail individuel ou collectif, circulent dans la société et sont redistribués. » (Godelier 1991, p. 218-219).

29 Le potier n'est pas nécessairement le carrier d'argile. Voir Nicholson & Patterson (1985, p. 224-225) pour un exemple contemporain.

cond lieu, si nous reconnaissons l'existence de déterminations environnementales, loin de nous l'idée de déterminismes telle que peut la porter l'écologie culturelle³⁰. Si, dans un univers fini, les sources de matières et d'énergie sont nécessairement limitées, la contrainte ne réside pas seulement dans la disponibilité mais dans la réunion d'une ressource et des moyens matériels et intellectuels permettant sa mise en œuvre à un instant précis³¹. Il est ainsi des possibilités de ressources offertes par la nature dans un contexte social donné.

Objectifs de la présente étude

Ces éléments théoriques désormais posés, un obstacle se fait jour. Comment remonter à la technique à partir de l'objet lui-même et alors que les stigmates de sa fabrication sont susceptibles d'avoir été effacés au fil des processus qui nous intéressent ici ?

La méthodologie adoptée vise donc à démonter les dispositifs techniques étudiés et à en analyser chaque composant, dans une démarche proche de la rétro-ingénierie, avec cependant deux difficultés supplémentaires. D'une part, comment identifier et isoler les composants en question lorsqu'il s'agit de dispositifs uniques (par opposition à la machine) ? D'autre part, quel sens donner aux indices techniques relevés ? Autrement formulé, s'il *semble* possible d'ouvrir le capot d'une automobile et d'en démonter pièce par pièce les composants pour saisir les relations organiques qui les unissent et le fonctionnement de la machine, comment démonter un pot de terre et surtout que cela fasse sens ?

Pour ce faire, l'approche proposée ici est également double. Il nous faut entrer dans la matière, s'attacher à son organisation et à ses transformations, pour en disjoindre les constituants, restituer leur origine et les facteurs qui les affectent. Cette plongée dans la matière nécessite donc un changement de point de vue et d'échelle d'observation et, pour cela, le recours aux outils des sciences de la nature³². Encore

30 Il nous sera donné par la suite de développer ces aspects.

31 Lemonnier (1993, p. 12).

32 Le lecteur trouvera le détail des protocoles analytiques et des paramètres instrumentaux d'acquisition des données en annexe A3, p. 227. Il ne s'agit pas de minimiser l'importance de ces aspects méthodologiques en les reléguant au second plan, mais de maintenir une nette distinction entre notre objet d'étude et les moyens de son observation, tout en permettant un développement plus approfondi de ceux-ci que ne l'aurait autorisé une insertion dans le texte principal. Cela aurait alors conduit à une segmentation excessive, nuisant, nous semble-t-il, à la cohérence et à l'avancée de notre propos. De plus, la nature particulière des données ainsi obtenues et la

faut-il identifier les indices pertinents dans le cadre de notre propos, ce qui constitue un second aspect à développer. La technique étant un phénomène social, il est indispensable d'identifier les mécanismes susceptibles d'intervenir au cours des processus décrits, sans se limiter à la seule à la fin donnée à l'objet. Il ne s'agit pas de restituer un mode d'emploi, mais de s'interroger sur les modalités de l'innovation et, notamment, le rôle joué par la perception qu'ont les acteurs de leur propre activité technique. L'étude du matériel issu d'un centre de production revêt alors un intérêt particulier. *En s'attachant à ce qui relève du raté, il devient possible d'isoler les causes du refus et, par contraste, de mettre en évidence les choix caractérisant une situation normale de production. C'est donc une technologie clinique que nous proposons ici de mettre en œuvre.*

Nous développerons ainsi notre propos en trois points. Dans un premier temps, nous nous attacherons à l'environnement particulier que constitue la basse vallée de l'Èbre au regard des aspects déjà mentionnés. D'une part, en rappelant la complexité du domaine ibérique et des dynamiques qui le structurent : la construction de ce dernier n'est en effet pas étrangère à une lecture de la culture technique ibérique comme inscrite dans la tradition de modèles exogènes. D'autre part, en s'attachant aux caractéristiques physiques de notre aire d'étude, afin de cerner la variabilité des matières et ressources disponibles dans le cadre d'une activité potière.

Ceci pour en arriver, dans un second temps, aux techniques de fabrication des matériaux céramiques : il s'agira alors de proposer une relecture des outils méthodologiques usuels – peu satisfaisants à notre avis – permettant de caractériser cette « *tâche stratégique* »³³ que constitue la cuisson. L'objectif est de construire une approche plus nuancée, en s'attachant à la complexité des conséquences matérielles de ce processus de transformation du cru en cuit, autorisant ainsi la restitution d'une cé-

valeur de l'information contenue, nous a alors conduit à accorder une place centrale dans notre raisonnement à l'analyse statistique. Un certain nombre de choix ayant trait aux traitements statistiques et à l'analyse des données sont également développés en annexe de la présente étude. Une partie des données exploitées a été transformée préalablement à leur analyse, étape rendue nécessaire par la nature même de ces données dites de composition. Les motivations conduisant à ces transformations ainsi que la méthodologie mise en œuvre sont détaillées en annexe A4, p. 235.

33 « *Une opération sera dite stratégique si son accomplissement est nécessaire à la poursuite du processus, si elle ne peut être différée, annulée ou remplacée sans en remettre gravement le résultat en cause.* » (Lemonnier 1983).

*ramurgie*³⁴ par l'analyse d'un corpus issu des productions de l'atelier du Mas de Moreno.

Enfin, dans un troisième et dernier temps, l'intérêt précédemment porté à la matière devra nous conduire à la compréhension du matériau. En identifiant les choix techniques – notamment l'articulation entre le choix des matières, les structures de cuisson et la mise en œuvre de ces dernières – ainsi que leurs évolutions et la perception que peuvent en avoir les acteurs qui les réalisent au sein de l'atelier étudié, il sera possible de proposer une lecture des modalités d'innovation en contexte indigène.

34 Céramurgie est entendue ici comme l'ensemble des procédés de fabrication, au même titre qu'il existe une métallurgie.

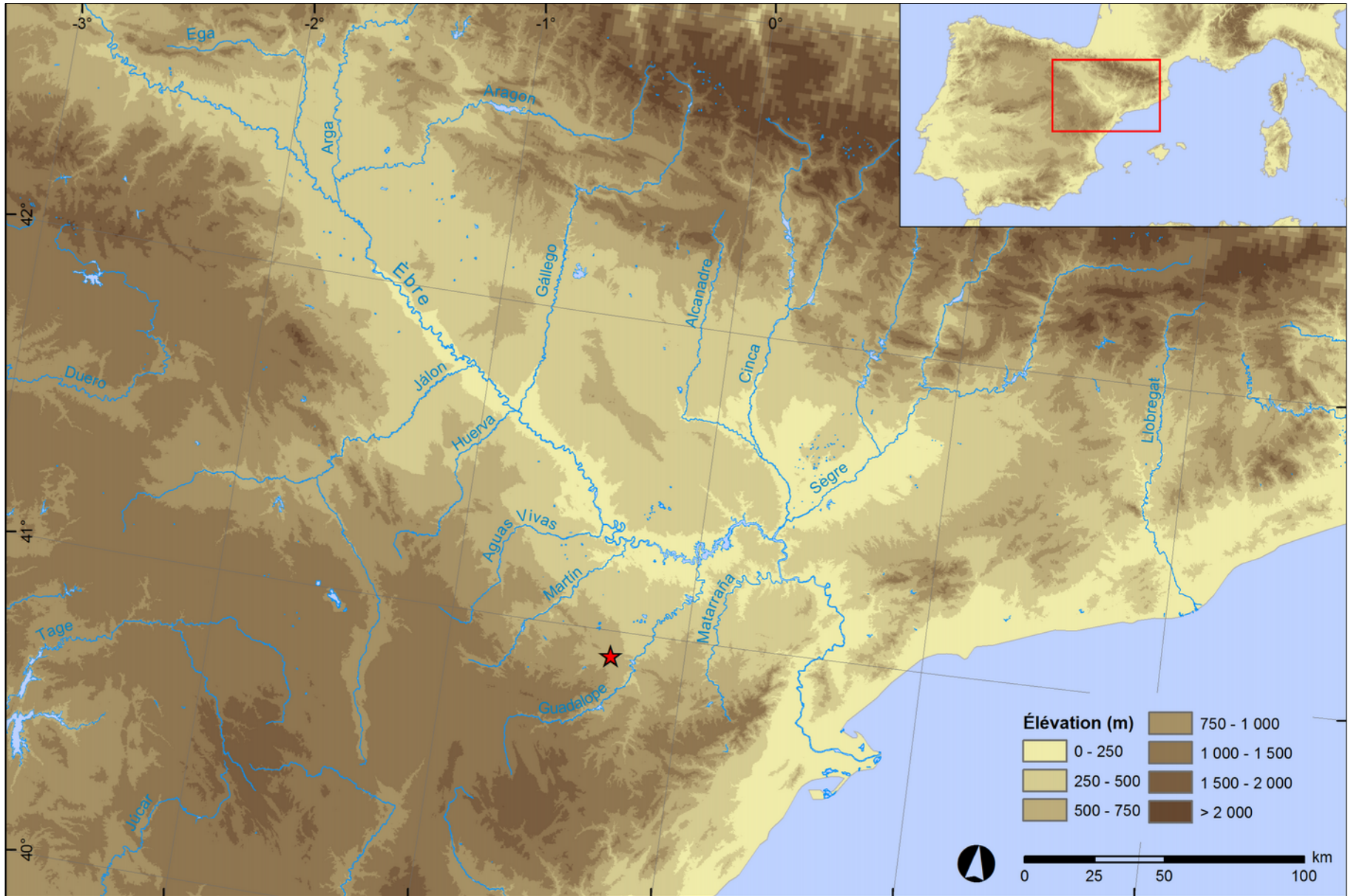
Double page suivante :

Figure 1 : élévation et hydrographie de la Péninsule ibérique.

Figure 2 : élévation et hydrographie de la vallée de l'Èbre.

L'emplacement de l'atelier du Mas de Moreno est signalé en rouge. Projection Lambert conique conforme. Données LiDAR-PNOA pour le territoire espagnol © Instituto Geográfico Nacional de España.





Partie 1 – Le Bas Aragon à l'Âge du Fer

Chapitre 1 – Un territoire de contacts.....17

Chapitre 2 – Matières et ressources.....39

Chapitre 1 – Un territoire de contacts

I. Le domaine ibérique

A. Le temps, le lieu, le milieu

1. Un problème archéologique et épistémologique

a. La mosaïque des populations ibères

L'appellation *Ibère* est héritée des sources antiques grecques, dont les auteurs désignent par *Ibérie* les terres les plus occidentales du bassin méditerranéen³⁵, marquées par la présence réputée des colonnes d'Héraclès et dont l'appréhension reste imprégnée de mythes³⁶. La connaissance de la péninsule se limite alors essentiellement aux territoires côtiers et aux caractéristiques géographiques remarquables (chaînes de montagnes et grandes vallées fluviales), si bien que le toponyme *Ibéria* se réfère chez Hérodote (v^e s. av. J.-C.)³⁷ uniquement au littoral méditerranéen³⁸. Cette non-dési-

35 Sur l'homonymie et les correspondances entre la Péninsule ibérique et l'Ibérie du Caucase, voir Moret (2006, p. 54 et références citées).

36 Moret (2006, p. 40-41).

37 Hérodote, I, 163.

38 Marcotte (2006, p. 32).

gnation des terres atlantiques se maintient jusqu'à la fin du II^e siècle av. J.-C., lorsque Artémidore d'Ephèse (I^{er} s. av. J.-C.) étend l'appellation à toute la péninsule³⁹, sens que l'on retrouve également chez Strabon (64 av. J.-C. – 25 ap. J.-C.) et les auteurs romains⁴⁰.

Contrairement à la partie occidentale, considérée comme celtique, aucune unité de peuplement n'est reconnue sur la façade orientale de la Péninsule ibérique, pour laquelle les premières mentions de populations à nous être parvenues sont celles que l'on doit à Hécaté de Milet (VI^e s. av. J.-C.)⁴¹, et qui demeurent difficilement localisables. La multiplicité des populations occupant le territoire de la Péninsule ibérique est soulignée par les auteurs grecs et romains⁴², qui y trouvent une explication à la durée et la récurrence des conflits, jusqu'à l'affirmation de la domination de Rome⁴³. De plus, l'apparente unité du découpage provincial – destiné à l'administration des espaces conquis – ne reflète pas la réalité du peuplement des territoires de l'*Hispania* sous l'emprise romaine⁴⁴.

Néanmoins, les informations collectées depuis le XIX^e siècle autorisent, dans une certaine mesure, le rapprochement des populations dispersées le long de la côte méditerranéenne de la péninsule et des vallées fluviales. Ces populations ibères peuvent ainsi être distinguées des groupes occidentaux et septentrionaux (Celtibères et Basques) par la reconnaissance de traits partagés, dont notamment l'architecture, la langue et la production d'artefacts, au premier rang desquels figurent les objets en terre cuite. Les quantités découvertes, liées au caractère pérenne propre aux matériaux céramiques, en font en effet un marqueur de choix pour la reconnaissance de l'extension spatiale du domaine ibérique et la mise en évidence de circulations de biens et de techniques à l'échelle de la Méditerranée⁴⁵. S'agissant de l'objet de la présente étude, nous nous limiterons pour le moment à ces premières observations, qu'il nous sera donné de développer par la suite (*infra*, p. 22).

39 Marcotte (2006, p. 33). Artémidore précise également que le terme serait issu du nom donné par les Grecs au fleuve Èbre : *Íber* (Pina Polo 2000, p. 168).

40 Plácido (1997, p. 51-54).

41 Marcotte (2006, p. 34-36).

42 Appien, I, 4 dans Le Roux (2010, p. 7).

43 Sur la nécessité pour Rome de combattre les peuples Ibères un à un : Strabon, III, 4, 5.

44 Le Roux (2010, p. 8).

45 Gailledrat (1997, p. 51-52).

b. Le XIX^e siècle et la question des origines

La reconnaissance d'un domaine ibérique comme entité sociale cohérente relève d'un cheminement intellectuel amorcé au début du XIX^e siècle, nourri par une succession de découvertes⁴⁶ et empruntant des voies parfois indirectes voire tortueuses⁴⁷. C'est le cas lorsque l'on cherche à établir l'origine des populations Basques⁴⁸ ou encore lorsqu'il s'agit d'établir l'existence de liens avec les populations de l'Amérique précolombienne⁴⁹.

Quelle que soit la voie choisie, la question des Ibères demeure et ne bénéficie pas, à titre de comparaison, de la même dynamique que les populations dites gauloises. Au nord des Pyrénées, la figure du Gaulois est mise au service de la construction d'une identité nationale, initiée après la révolution de 1789 et largement vulgarisée au XIX^e siècle suite à la défaite française de 1870, affirmant une unité de population et un ancrage territorial⁵⁰. Au sud, à l'inverse, avec l'établissement du franquisme au cours de l'entre-deux-guerres, la construction du discours nationaliste n'est pas systématiquement alimentée par un substrat qui pourrait être qualifié d'indigène : l'affirmation d'une unité espagnole passe ainsi par une appropriation des éléments celtes et de ceux issus de la Méditerranée classique (grecs et romains), aux dépens des Ibères⁵¹, auxquels est prêtée jusqu'au milieu du XX^e siècle une origine nord-africaine, et dont la « mosaïque » des populations⁵² tend finalement à morceler le territoire⁵³.

La lecture coloniale méditerranéocentrée de l'origine des Ibères est progressivement balancée par les découvertes de la seconde moitié du XX^e siècle (notamment la mise au jour d'établissements puniques sur le littoral de la péninsule) et par la prise

46 Au premier rang desquelles figure la Dame d'Elche (Alicante), mise au jour en 1873 et immédiatement acquise par le musée du Louvre.

47 Olmos (1997, p. 59-60).

48 Sur l'origine ibère des Basques, voir l'ouvrage de W. von Humboldt (1821).

49 Sur les liens entre populations « ibériennes » et sud-américaines on consultera – avec le recul qui s'impose – les échanges entre G. Lagneau et Pruner-Bey en séance de la Société d'anthropologie de Paris du 21 février 1867 (Lagneau 1867). L'argument de l'Atlantide comme lien entre l'Europe et l'Amérique est laissé à l'appréciation du lecteur.

50 Demoule (2012, p. 86-93).

51 Aranegui Gascó (1997a, p. 23), Ruiz, Sánchez & Pedro Bellón (2003, p. 161-180).

52 Bosch-Gimpera (1932, p. 14).

53 Sur le rôle du franquisme dans la construction de l'histoire ancienne du territoire espagnol, voir Wulff Alonso & Álvarez Martí-Aquilar (2003).

en compte de mécanismes complexes au sein desquels les populations indigènes n'ont pas un rôle passif face aux influences externes⁵⁴.

2. Acculturations en Péninsule ibérique ?

Dans son acception classique, *l'acculturation* désigne l'ensemble des phénomènes résultant du contact entre des groupes de culture différente et des changements intervenant dans les cultures originelles des groupes considérés⁵⁵.

D'une part, cette notion suppose la définition de cultures et, dans le cas qui nous intéresse ici, de cultures archéologiques. Or, la construction de ces dernières repose souvent sur la seule reconnaissance de vestiges matériels⁵⁶ : la polysémie de l'objet (qui fait sens mais peut être réinterprété d'autant de façons qu'il est d'utilisateurs) limite, sinon interdit, de construire une équivalence directe entre l'adoption d'un objet et celle de la culture qui l'a produit⁵⁷. D'autre part, ces phénomènes sont parfois réduits à des processus polarisés et déterminés : l'acculturation relève alors d'une lecture évolutionniste, fortement marquée par l'histoire coloniale européenne de la première moitié du XX^e siècle, s'inscrivant dans un rapport entre dominant et dominé, civilisé et barbare⁵⁸.

a. Ibérisation

Le concept d'ibérisation désigne l'adoption et la diffusion de traits culturels, du sud vers le nord de la péninsule, sous l'impulsion du monde méditerranéen, conduisant à l'émergence du domaine ibérique⁵⁹. Il apparaît cependant qu'il s'agit d'un processus multiple, recouvrant des dynamiques dont la chronologie et les conséquences sociales ne sont pas nécessairement convergentes⁶⁰. D'une part, à partir du VIII^e siècle avant

54 Olmos (1997, p. 65).

55 « *Acculturation comprehends those phenomena which result when groups of individuals having different cultures come into continuous first-hand contact, with subsequent changes in the original cultural patterns of either or both groups* » (Herskovits, Redfield & Linton 1936, p. 149).

56 « *We find certain types of remains – pots, implements, ornaments, burial rites, house forms – constantly recurring together. Such complex of regularly associated traits we shall term a 'cultural group' or just a 'culture'. We assume that such a complex is the material expression of what would to-day be called a 'people'* » (Childe 1929, p. v-vi).

57 Bats (2013 [2006], p. 231-232).

58 Courbot (2000, p. 127-128).

59 Gailledrat (1997, p. 246).

60 Moret (2005, p. 282-291).

J.-C., la présence sur le littoral oriental de la Péninsule ibérique de colonies phéniciennes puis grecques, a pour conséquence la transmission aux populations indigènes de répertoires techniques et formels nouveaux. Parmi ceux-ci, l'utilisation du tour de potier (*infra*, p. 62 et 119), à partir du VII^e siècle avant J.-C.⁶¹ et généralisée au VI^e siècle, pour la réalisation d'une céramique à pâte claire et décor peint rouge renvoie aux modèles des domaines ionien et attique par les moyens techniques plus que par les formes, qui trouvent un écho limité dans les productions du sud des Pyrénées⁶². Le répertoire morphologique de la céramique tournée reste en effet solidement ancré dans les formes préexistant à l'apparition du tour⁶³. Ainsi, l'ibérisation technique ne relève pas de la disparition du substrat indigène sous les apports extérieurs, mais illustre la réinterprétation des éléments adoptés par les acteurs locaux⁶⁴. Celle-ci conduit à l'apparition d'une production, dès lors caractéristique du domaine ibérique, aux formes et traits techniques considérés comme standardisés.

D'autre part, les documents épigraphiques en ibère apparaissent seulement à la fin du V^e siècle ou au début du IV^e siècle avant J.-C., et attestent d'un large usage de l'écriture à la période républicaine. Néanmoins, les mécanismes conduisant à l'adoption et à la diffusion de la langue ibérique demeurent difficiles à apprécier⁶⁵. De fait, si ces deux aspects – technique et linguistique – concourent à la définition et à la reconnaissance de l'espace ibérique, il est probable que ceux-ci relèvent de dynamiques distinctes, résultant d'une évolution progressive des pratiques plutôt que d'une véritable rupture⁶⁶.

b. Romanisation

La romanisation désigne un vaste processus de transformation sociale des territoires passés sous la domination de Rome⁶⁷. La présence romaine en Péninsule ibérique est dans un premier temps essentiellement liée au conflit avec Carthage⁶⁸. Depuis le traité de l'Èbre, en 226 avant J.-C., le fleuve matérialise la frontière entre les deux puis-

61 Vraisemblablement acquis dans un premier temps au contact des établissements phéniciens en Andalousie (Martín Ruiz 2004, p. 172).

62 Gailledrat (1997, p. 82-86).

63 Gorgues (2013).

64 Gailledrat (1997, p. 246-250).

65 Voir Moret (2005) pour une revue des différentes hypothèses.

66 Moret, Benavente Serrano & Gorgues (2006, p. 221).

67 Curchin (2004, p. 8).

68 Curchin (1991, p. 24-28).

sances, qui s'affrontent dans la péninsule au cours de la seconde guerre punique (218-202 avant J.-C.), pour finalement voir les Carthaginois chassés à la fin du III^e siècle avant J.-C.

Malgré la création de la province d'Hispanie en -197, la péninsule reste le théâtre d'affrontements récurrents avec les populations locales (*supra*, p. 17) et de conflits résultant des rivalités politiques romaines, jusqu'à la pacification du territoire au cours de la période augustéenne⁶⁹. La présence romaine prolongée, bien que fortement motivée par ces aspects militaires, s'accompagne d'une évolution progressive des structures sociales et de l'organisation du territoire, en lien avec son intégration au sein de l'Empire. Si une revue de ces changements dépasse largement le cadre de notre propos, il nous sera donné par la suite de discuter des aspects de syncrétisme technique, tels qu'ils sont perceptibles au sein de la zone couverte par notre étude, dans la mesure où la domination romaine y est matériellement perceptible (*infra*, p. 32).

B. La céramique ibérique

L'identification de la céramique ibérique en tant que telle résulte d'une réflexion engagée dès la fin du XIX^e siècle et dont le dénouement, relativement récent, a conduit à la reconnaissance progressive d'un ensemble stylistiquement hétérogène mais techniquement cohérent. Il convient ainsi de rappeler les grandes étapes de cette construction, avant de s'attacher à la diversité de ces productions⁷⁰.

1. Une reconnaissance tardive

a. L'art mycénien « abâtardi » (1883 – 1915)

La question de la céramique ibérique et de ses origines fait l'objet d'une attention particulière dès les années 1880. J. R. MÉLIDA, alors directeur de la section de Préhistoire et d'Antiquité du Musée archéologique national de Madrid, formule le premier

69 Curchin (1991, p. 28-54).

70 Sur l'historique de la recherche, voir également Tarradell & Sanmarti (1980).

l'hypothèse de liens avec la céramique phénicienne et grecque « *primitive* »⁷¹, s'inscrivant dans une perspective orientalisante propre à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. Le développement de la thèse diffusionniste⁷² et l'engouement pour les découvertes réalisées par H. SCHLIEMANN à Troie, Mycènes et Tirynthe au cours des décennies 1870 et 1880, suivies des travaux menés par A. EVANS à Knossos (1900-1905)⁷³, favorisent l'émergence de cette hypothèse mycénienne. C'est alors sans doute à P. PARIS que l'on en doit la formulation la plus développée :

« [...] les ornements peints à la surface de l'argile permettent encore d'établir que l'originalité de cet art indigène n'est pas absolue ; que les potiers ibères, comme les sculpteurs, ont subi des influences extérieures, et que, parmi ces influences, la plus ancienne, la plus forte, la plus soutenue, est celle de la Grèce. [...] Mais par ces Orientaux, ce ne sont pas seulement [...] les caboteurs phéniciens de Tyr ou de Sidon qu'il faut entendre ; ce sont [...] ces Mycéniens, dont le domaine semble s'annexer chaque jour quelque nouveau territoire jusque dans les régions les plus lointaines » (Paris 1904, p. 2-3).

L'argumentaire de P. PARIS repose ainsi sur la comparaison des répertoires iconographiques (spiraies, cercles et motifs floraux notamment) et de la structuration du décor⁷⁴, tout en le conduisant à établir l'originalité des productions retrouvées en Péninsule ibérique, au contraire d'importations⁷⁵. Cependant, l'auteur de la reconquête, sa théorie soutient difficilement l'écueil de la chronologie : outre le manque de « *fouilles scientifiques* », nombre de fragments se trouvent associés à des artefacts de la Grèce classique plutôt que géométrique, voire du monde romain⁷⁶. Pour P. Paris, la cause réside dans la formation des potiers ibères à l'école mycénienne, aboutissant à une pratique artistique qui se serait maintenue sans grande modification par simple « *routine* »⁷⁷.

71 Mérida (1883, p. 394). S'ensuivent les travaux de Perrot & Chipiez (1894, p. 940-941) et de de Guillén-García (1899).

72 Concernant la céramique ibérique, les approches demeurent plus modérées que certains des développements diffusionnistes à venir au début du XX^e siècle, dont la théorie *pan-égyptienne* de G. Elliot-Smith (1916) demeure sans doute un des exemples les plus audacieux.

73 Engouement qui trouvera sans doute sa manifestation la plus populaire à travers la *crétomania* des années 1920-1930.

74 Paris (1904, p. 114-129).

75 Paris (1904, p. 129-132).

76 Paris (1904, p. 132-134).

77 Paris (1904, p. 137). L'occasion nous sera donnée par la suite de discuter cette idée de routine

La question de la récurrence des associations de la céramique ibérique avec du matériel grec daté du VI^e au III^e siècle est soulevée au cours du treizième Congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques à Monaco en 1906. L. SIRET conteste à cette occasion au détour de sa communication l'explication de P. PARIS, revendiquant pour sa part une origine certes mycénienne, mais modifiée et transmise par l'intermédiaire des colonies grecques et puniques établies sur le littoral de la Péninsule⁷⁸. À cela s'ajoutent, entre autres⁷⁹, les observations de G. VASSEUR, qui étayaient progressivement ce rajeunissement de la chronologie par rapport aux éléments proposés par P. PARIS⁸⁰. L'opposition repose ainsi sur les modalités de diffusion des répertoires stylistiques et non sur leur origine mycénienne, qui semble quant à elle acquise : il s'agit d'expliquer les mécanismes conduisant à cet art mycénien « *sensiblement abâtardi* »⁸¹. Ces débats et l'attention portée aux colonies de la côte méditerranéenne, ouvrent cependant la voie à une reformulation du problème, à partir du milieu des années 1910.

b. Le « problème » de la céramique ibérique (1918 – 1955)

Au terme d'une synthèse des éléments géographiques et chronologiques alors disponibles pour la céramique ibérique, P. BOSCH-GIMPERA fait état de l'absence d'éléments mycéniens ou géométriques en Péninsule ibérique, le hiatus chronologique et la faiblesse des similitudes ayant conduit aux rapprochements stylistiques opérés notamment par P. PARIS et L. SIRET⁸². Reconnaisant le caractère indigène de la céramique ibérique, dont il situe l'apparition au cours du V^e siècle avant J.-C. dans le sud-est de la Péninsule, P. BOSCH-GIMPERA n'apporte de solution au problème des rapports entretenus avec les autres centres culturels :

dans les opérations techniques liées à la fabrication de matières céramiques (*infra*, p. 158).

78 Siret (1908, p. 20). Voir les échanges entre L. Siret et P. Paris sur cette question dans la revue *L'Anthropologie* : Siret (1907), Paris (1907), Siret (1908).

79 C. Jullian aurait ainsi proposé le V^e siècle comme moment d'apparition de la céramique ibérique. Ces propos, dont il ne nous pas été possible de retrouver la source, sont rapportés par G. Vasseur au cours du congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques de 1906 (cf. note 79).

80 Vasseur (1907). Voir également la question adressée par G. Vasseur suite à la communication de L. Siret au cours du XIII^e congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques et la réponse de ce dernier : Siret (1908, p. 30-31).

81 Vasseur (1907, p. 57).

82 Bosch-Gimpera (1915, p. 51 et suivantes).

« *Las únicas conclusiones que me parecen verosímiles en el estado actual de la cuestión, son las siguientes : [...] Que todas estas relaciones constituyen aún un problema obscuro que es imposible todavía aclarar con el material actual solamente* » (Bosch-Gimpera 1915, p. 54).

Cette première synthèse permet néanmoins de mettre en lumière le rôle des importations grecques en Péninsule ibérique à partir du VI^e siècle⁸³. Thèse que viennent renforcer les travaux d'E. POTTIER qui reconnaît, outre des influences grecques dans certaines formes, l'originalité de traits considérés comme indigènes⁸⁴. Au cours des décennies qui suivent son premier essai, P. BOSCH-GIMPERA étaye à plusieurs reprises son hypothèse de l'influence « *grecque orientalisante et ionienne* », mais la reconnaissance de l'autonomie des productions indigènes demeure un « *problème* »⁸⁵, dont la résolution se heurte aux lacunes de la chronologie et au contexte intellectuel propre au milieu du XX^e siècle. Finalement, le nœud du problème demeure tel que l'avait identifié P. BOSCH-GIMPERA dès 1918 et tient à la forte variabilité régionale des productions ibériques, tant parmi les répertoires stylistiques que dans la chronologie de leur mise en place. Une des principales difficultés consiste ainsi à reconnaître l'absence d'une unité propre à l'ensemble de la Péninsule ibérique et ce, dans le contexte de l'Espagne franquiste (*supra*, p. 19)⁸⁶.

c. L'unité dans la diversité (1955 – aujourd'hui)

Deux éléments supplémentaires vont concourir, à partir des années 1950, à la levée du problème. D'une part, l'affinement de la typo-chronologie permet de fixer un certain nombre de jalons, notamment par le développement des travaux sur la céramique campanienne et par une meilleure prise en compte de la stratigraphie⁸⁷. D'autre part, les découvertes réalisées en Andalousie mettent en lumière les liens entre la céramique ibérique et les établissements phéniciens à partir du VI^e siècle.

83 Bosch-Gimpera (1915, p. 53-54). La thèse ainsi proposée reçoit alors un accueil relativement bienveillant en France, voir par exemple le compte-rendu de R. Lantier (1917) dans le *Journal des savants*, mais fait également face à de fortes résistances en Espagne, où le terme « *ibérique* » est parfois contesté (Tarradell & Sanmarti 1980, p. 305).

84 Pottier (1918, p. 291).

85 Bosch-Gimpera (1928), Bosch-Gimpera (1955).

86 Aranegui Gascó (1997b, p. 197).

87 Tarradell & Sanmarti (1980, p. 306).

Dès lors, les découvertes se multiplient et conduisent, au début des années 1980, aux premières grandes synthèses sur la céramique ibérique depuis les travaux du début du siècle⁸⁸. Une des principales avancées réside alors dans l'élargissement de la question par M. TARRADELL et E. SANMARTI qui considèrent désormais l'ensemble des productions attribuables aux populations ibères : céramiques grises, à engobe rouge et domestiques complètent ainsi le champ de la céramique ibérique⁸⁹.

2. Diversité des productions

Seules les céramiques dites à pâte claire relèvent de notre étude, l'objectif des lignes qui suivent n'est pas d'offrir une vision exhaustive des productions ibériques mais d'en préciser les principales caractéristiques techniques.

a. Les céramiques à pâte claire

Cette appellation désigne une production façonnée au tour, présentant des pâtes compactes, sans élément visible à l'œil nu, à la sonorité métallique et réputée cuite à haute température en atmosphère oxydante⁹⁰.

Cette catégorie d'objet peut être le support d'un décor peint rouge, parfois polychrome, aux motifs géométriques et figuratifs. Si l'adoption d'un décor peint relève très certainement d'emprunts à des répertoires stylistiques importés (*supra*, p. 20), leur réinterprétation conduit à l'apparition de particularités régionales au cours de la seconde moitié du III^e siècle av. J.-C. À partir du deuxième quart du II^e siècle, la production se diversifie et plusieurs ensembles stylistiques fortement individualisés peuvent être distingués⁹¹. La céramique ibérique dite à pâte claire présente ainsi cette particularité qu'à la régionalisation des répertoires stylistiques, répond une certaine homogénéité technique des procédés de fabrication.

88 Voir notamment Tarradell & Sanmarti (1980), Mata & Bonet (1992), Conde Berdós (1998), Bonet & Mata (2008).

89 Tarradell & Sanmarti (1980, p. 303-304), Ruiz & Molinos (1998, p. 16).

90 Tarradell & Sanmarti (1980, p. 303). Cette définition correspond à la céramique cuite en atmosphère oxydante de la classe A de la typologie proposée par Mata & Bonet (1992, p. 119).

91 Sur les styles régionaux voir, entre autres, Guérin (1986, p. 32), Conde Berdós (1998).

b. Les céramiques grises

Sous cette appellation peuvent être distingués deux catégories différentes. D'une part les productions fines, présentant des caractéristiques techniques similaires aux pâtes claires (utilisation du tour, absence de dégraissant visible à l'œil nu et cuisson supposée à haute température), à ceci près qu'elles sont cuites dites cuites en atmosphère réductrice⁹². Au sein de ces productions deux ensembles distincts sont identifiables par les assemblages d'objets plus que par les moyens techniques ou les formes : la côte catalane et l'Andalousie⁹³. D'autre part, la céramique dite domestique, présentant des caractéristiques techniques très différentes, parmi lesquelles le non-recours au tour pour la mise en forme est sans doute l'élément le plus marquant⁹⁴.

c. Les céramiques à engobe rouge

Les multiples mécanismes prévalant au développement de cette catégorie, aisément identifiable par le traitement des objets concernés qui leur confère une surface brillante⁹⁵, illustrent les syncrétismes propres à la Péninsule ibérique : à la fois continuité des productions phéniciennes, introduction de l'influence grecque et adoption de formes indigènes⁹⁶.

92 Cette catégorie correspond au groupe des céramiques cuites en atmosphère réductrice de la classe A de Mata & Bonet (1992, p. 119).

93 Ruiz & Molinos (1998, p. 28-31).

94 Classe B de la classification proposée par Mata & Bonet (1992, p. 119-120).

95 Pour autant, les procédés conduisant à un tel aspect de surface ne sont pas clairement identifiés (Ruiz & Molinos 1998, p. 32-33).

96 Ruiz & Molinos (1998, p. 35).

II. La vallée de l'Èbre et le Bas Aragon

A. Occupations et contacts

Le territoire de l'actuelle communauté autonome de l'Aragon, qui occupe la partie centrale de la vallée de l'Èbre, présentait au cours de l'Âge du Fer la particularité d'être un point triple : lieu de contact frontalier entre les domaines ibérique, celtibérique et basque⁹⁷. Au regard des évolutions sociales et matérielles, telles qu'il est possible de les restituer, la chronologie du Bas Aragon peut être résumée comme suit, du VII^e au I^{er} siècle avant J.-C.

- *Protoibérique (650/625 – 575/550 av. J.-C.)*. Au cours du VII^e siècle sont progressivement peuplées les vallées moyennes des affluents de l'Èbre. Dans la vallée du Matarraña, l'établissement de villages clos, rapprochés les uns des autres et de dimensions modestes, coïncide avec les premières importations grecques et levantines depuis l'embouchure de l'Èbre⁹⁸.
- *Ibérique ancien (575/550 – 500/475 av. J.-C.)*. Le VI^e siècle est marqué par le phénomène des maisons-tours et l'apparition de riches sépultures, associées à la mise en place d'une élite aristocratique.
- *Ibérique moyen (500/475 – 218 av. J.-C.)*. À partir du V^e siècle se développe la céramique ibérique (*supra*, p. 22). Cette période est caractérisée par l'accentuation de la hiérarchie sociale et territoriale amorcée à la période précédente : les maisons-tours et les sépultures disparaissent au profit d'agglomérations centralisant le pouvoir local⁹⁹.

97 Benavente & Fernández (2009, p. 15-17).

98 Moret (2002a, p. 338-350), Moret (2005, p. 276-277).

99 Moret (2002b, p. 126-129), Moret (2005, p. 279-281).

- *Ibérique récent (218 – 44 av. J.-C.)*. Cette dernière période est marquée par la présence romaine, qui interrompt le développement des communautés indigènes. Celle-ci entraîne la destruction ou l'abandon de nombreux établissements occupés à l'Ibérique moyen et conduit à une recomposition du territoire : la population se regroupe dans des agglomérations, aux dépens des villages de dimensions modestes propres aux époques précédentes¹⁰⁰.

B. L'atelier du Mas de Moreno

1. Localisation et organisation du site

L'atelier de potiers du Mas de Moreno¹⁰¹ (**fig. 3**, n°19) se situe dans la province de Teruel (Aragon), sur le territoire de la commune de Foz-Calanda. Bordé au nord par une série de petites collines à la toponymie explicite (*el Melón*), l'atelier exploite la topographie naturelle du fond de la vallée du Guadalopillo (**fig. 4 et 5**).

Celui-ci, affluent secondaire de l'Èbre, court à une quarantaine de mètres de l'atelier, façonnant des terrasses toujours exploitées par l'agriculture et marquant l'organisation spatiale du site. L'emprise du site, telle que la révèlent les campagnes de fouille, se développe sur environ 60 m d'est en ouest, pour une trentaine de mètres d'extension nord-sud (**fig. 6**)¹⁰².

Parmi les neuf structures de cuisson actuellement mises au jour, au moins quatre (les fours n°1, 2, 3 et 4) exploitent le dénivelé naturel de la terrasse alluviale, permettant l'ouverture de l'alandier sur la partie basse, tandis que la partie haute de la terrasse correspond au laboratoire, parfois partiellement enterré (fours 3 et 4)¹⁰³.

100 Moret (2005, p. 281).

101 Pour une synthèse des éléments connus au sein de l'atelier du Mas de Moreno, voir Gorgues & Benavente Serrano (2007), Gorgues & Benavente Serrano (2012).

102 Gorgues & Benavente Serrano (2009, p. 8), Gorgues, comm. pers. 2014.

103 Sur le vocabulaire technique lié aux structures de cuisson : *infra*, p. 65.

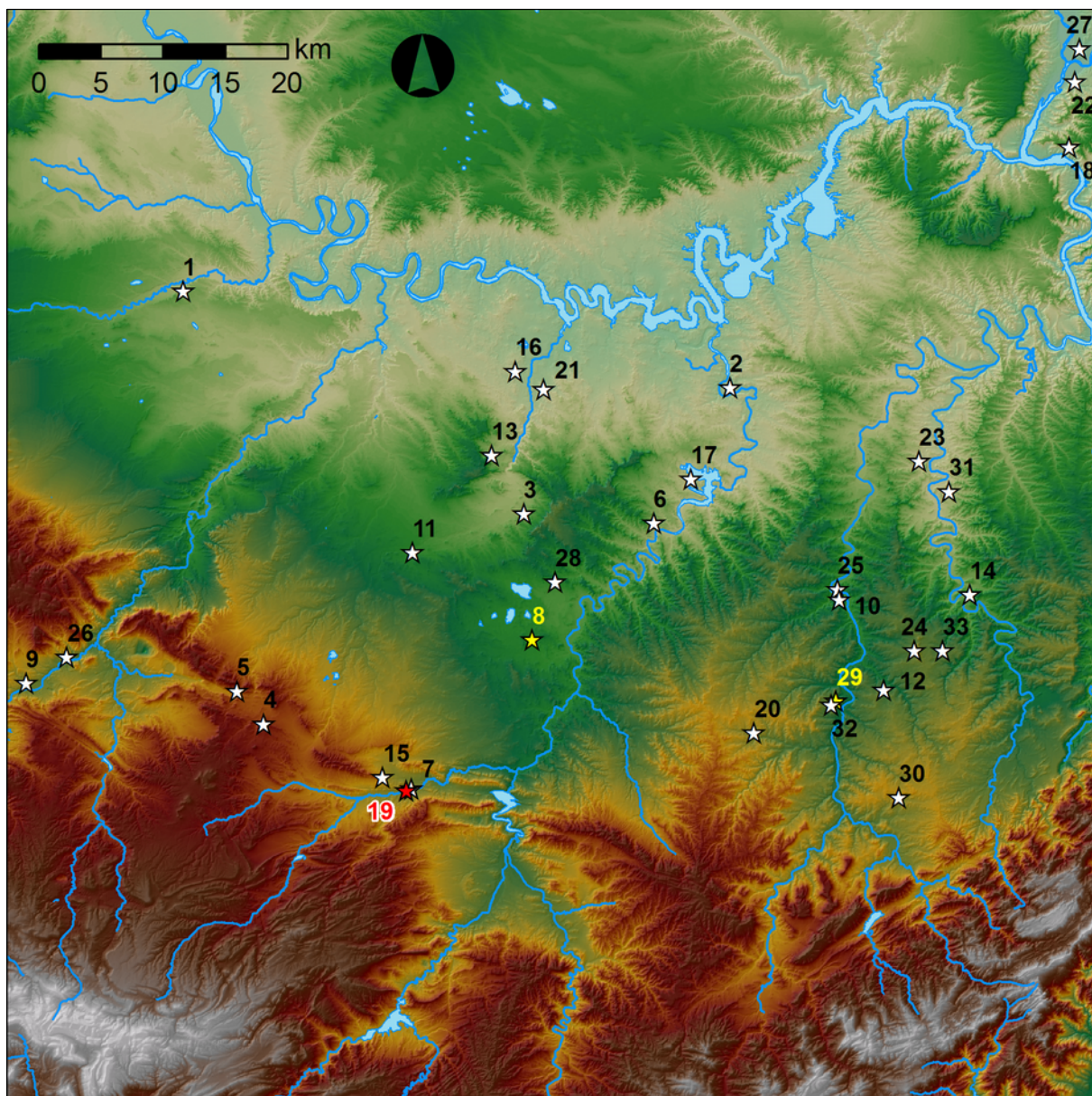


Figure 3 : localisation des principaux établissements ibériques de l'Âge du Fer sur la rive droite de l'Èbre.

1. Cabezo de Alcalá (Azaila) ; 2. Cabezo de Monleón (Caspé) ; 3. Cabezo del Moro (Alcañiz) ; 4. El Cabo - habitat (Andora) ; 5. El Cabo - nécropole (Andora) ; 6. El Cascarujo (Alcañiz) ; 7. El Olmo (Foz-Calanda) ; 8. El Palao (Alcañiz) ; 9. El Palomar (Oliete) ; 10. El Piuró del Barranc Fondo (Mazaleón) ; 11. El Tartrato (Alcañiz) ; 12. Els Castellans (Cretas) ; 13. La Caraza (Alcañiz) ; 14. La Gessera (Caseres) ; 15. La Guardia (Alcorisa) ; 16. La Tallada (Caspé) ; 17. Loma de los Brunos (Caspé) ; 18. Los Castellets (Mequinenza) ; 19. Mas de Moreno (Foz-calanda) ; 20. Mirablanc (Valjunquera) ; 21. Palermo (Caspé) ; 22. Punta del Calvari (La Granja d'Escarp) ; 23. Roquizal del Rullo (Fabara) ; 24. San Antonio (Calaceite) ; 25. San Cristóbal (Mazaleón) ; 26. San Pedro (Oliete) ; 27. Sant Formatge (Mas-salcoreig) ; 28. Tiro de Cañón (Alcañiz) ; 29. Torre Cremada (Valdeltormo) ; 30. Torre Gachero (Valderrobres) ; 31. Tossal del Moro (Batea) ; 32. Tossal Montañés (Valdeltormo) ; 33. Tossal Redó (Calaceite).

L'atelier du Mas de Moreno est figuré en rouge (n°19) ; El Palao (n°8) et Torre Cremada (n°29), en jaune. Le réseau hydrographique actuel est affecté par la présence de multiples lacs artificiels de retenue. Projection UTM zone 30 N. Données LiDAR-PNOA © Instituto Geográfico Nacional de España.

Cependant, la reprise régulière des terrasses par l'agriculture limite fortement la lecture de l'organisation du site, *a fortiori* s'agissant des espaces les plus proches du Guadalopillo¹⁰⁴. Malgré cela, la présence attestée de murs et de palissades ainsi que d'un important édifice en bois (**fig. 6**), fait apparaître l'espace de l'atelier comme particulièrement structuré et évolutif.

2. Éléments de chronologie

L'activité de l'atelier est établie entre la fin de l'Ibérique moyen (vers 225-200 avant J.-C.) et celle de l'Ibérique récent (vers 40-30)¹⁰⁵. D'entre tous, le four n°1 est probablement le plus ancien, bien qu'il ait également fonctionné simultanément aux fours n°3, 4 et 5, et dont l'arrêt et la destruction interviennent vers 50-40 avant J.-C.¹⁰⁶.

L'apparition de structures en bois, associées à un four à amphores (four n°2) aux dimensions nettement supérieures à celles des structures précédentes, ainsi que l'apparition de formes d'amphores de tradition romaine (Tarraconaise 1) et d'une épigraphie latine (*infra*), marquent une profonde restructuration de l'atelier au milieu du I^{er} siècle. Malgré cela, l'activité de l'atelier s'interrompt au cours de la décennie suivante, conséquence probable de la réorganisation du territoire sous l'influence romaine et de l'éloignement des voies commerciales¹⁰⁷.

3. Intégration dans le contexte régional

Les relations entre l'atelier du Mas de Moreno et les établissements ibériques du Bas Aragon sont éclairées par l'existence – bien que relativement restreinte – d'une épigraphie de la production et par les rapprochements stylistiques qui ont pu être proposés, notamment concernant la décoration des *kalathoi*.

104 Gorgues, comm. pers. 2014.

105 Gorgues & Benavente Serrano (2012, p. 275).

106 Gorgues & Benavente Serrano (2012, p. 277). Au regard de la proximité entre l'ouverture de l'alandier du four 5 et la paroi du laboratoire du four 4 (*id.* fig. 7, p. 283), ménageant un espace de travail réduit (2 à 3 m² au sol) et contraignant probablement les circulations d'air (donc le tirage du four 5), le fonctionnement synchrone des fours 4 et 5 nous paraît problématique.

107 Gorgues & Benavente Serrano (2008, p. 43).

Six timbres différents sont actuellement connus au sein du matériel mis au jour dans l'atelier du Mas de Moreno et, parmi ceux-ci, deux ont également été retrouvés dans des sites d'habitats aragonais (**tabl. 1**).

- La marque *Aiunin* est présente à Tiro de Cañón (Alcañiz ; **fig. 3**, n°28), établissement occupé au cours du 1^{er} siècle avant J.-C. et situé à environ 21 km (NNE) de l'atelier.
- La marque *Ilturatin* est connue en quatre exemplaires dans la seule maison 6-G du Cabezo de Alcalá (Azaila ; **fig. 3**, n°1), à quelque 44 km (NNO) du Mas de Moreno. Occupé depuis la fin du Bronze final – début du premier Âge du Fer, le site est détruit au cours des guerres sertoriennes, entre 80 et 76 av. J.-C.

La distribution des objets porteurs de la marque *Ilturatin* a permis de proposer l'existence d'une relation directe entre la maison 6-G du Cabezo de Alcalá et l'atelier du Mas de Moreno : l'occupant d'Azaila serait vraisemblablement le propriétaire d'au moins une partie des structures de production¹⁰⁸. De plus, la présence de deux *kalathoi* aux décors peints identiques au Cabezo de Alcalá et à La Guardia (Alcoriza ; **fig. 3**, n°15) illustre les liens existant entre ces deux établissements¹⁰⁹. Or, le petit habitat dominé par une tour que constitue La Guardia est le plus proche actuellement connu de l'atelier du Mas de Moreno (**fig. 5**), et plusieurs indices relatifs à l'exécution des décors figurés suggèrent que les *kalathoi* en question ont été réalisés au sein de l'atelier¹¹⁰.

Ainsi, la restitution proposée est celle d'un domaine rural, dont on exploite les ressources et où sont fabriqués (au Mas de Moreno) les moyens assistant les activités de production (jarres pour le stockage des denrées, pesons de métiers à tisser). Les biens produits sont alors à destination du propriétaire du domaine (résidant au Cabezo de Alcalá), qui dispose d'une résidence proche de l'atelier (La Guardia)¹¹¹.

108 Gorgues (2009, p. 489).

109 Le Meaux (2004, p. 141 et suivantes).

110 Sacilotto (2011, p. 150-153).

111 Gorgues (2009, p. 490-491).



Figure 4 : vue aérienne depuis le sud de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).
Le cours du Guadalopillo est indiqué par la végétation au bas de l'image. Cliché A. Gorgues.

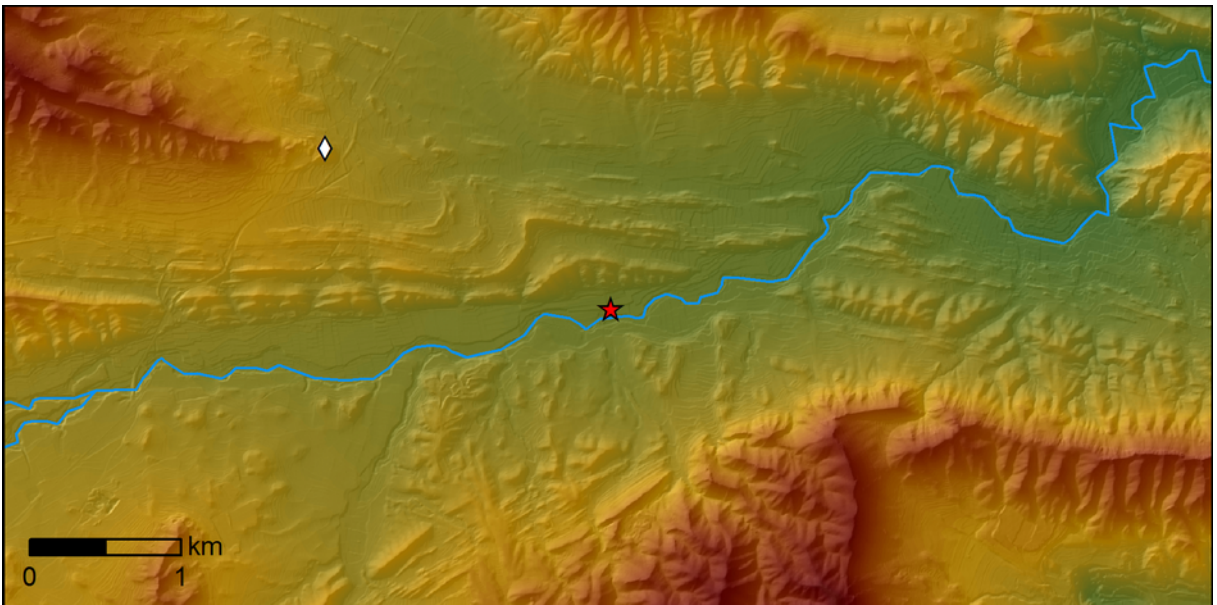


Figure 5 : topographie des environs immédiats de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).
Les emplacements de l'atelier du Mas de Moreno et de l'habitat de La Guardia sont indiqués par une étoile et un losange, respectivement. Projection UTM zone 30 N. Données LiDAR-PNOA © Instituto Geográfico Nacional de España.

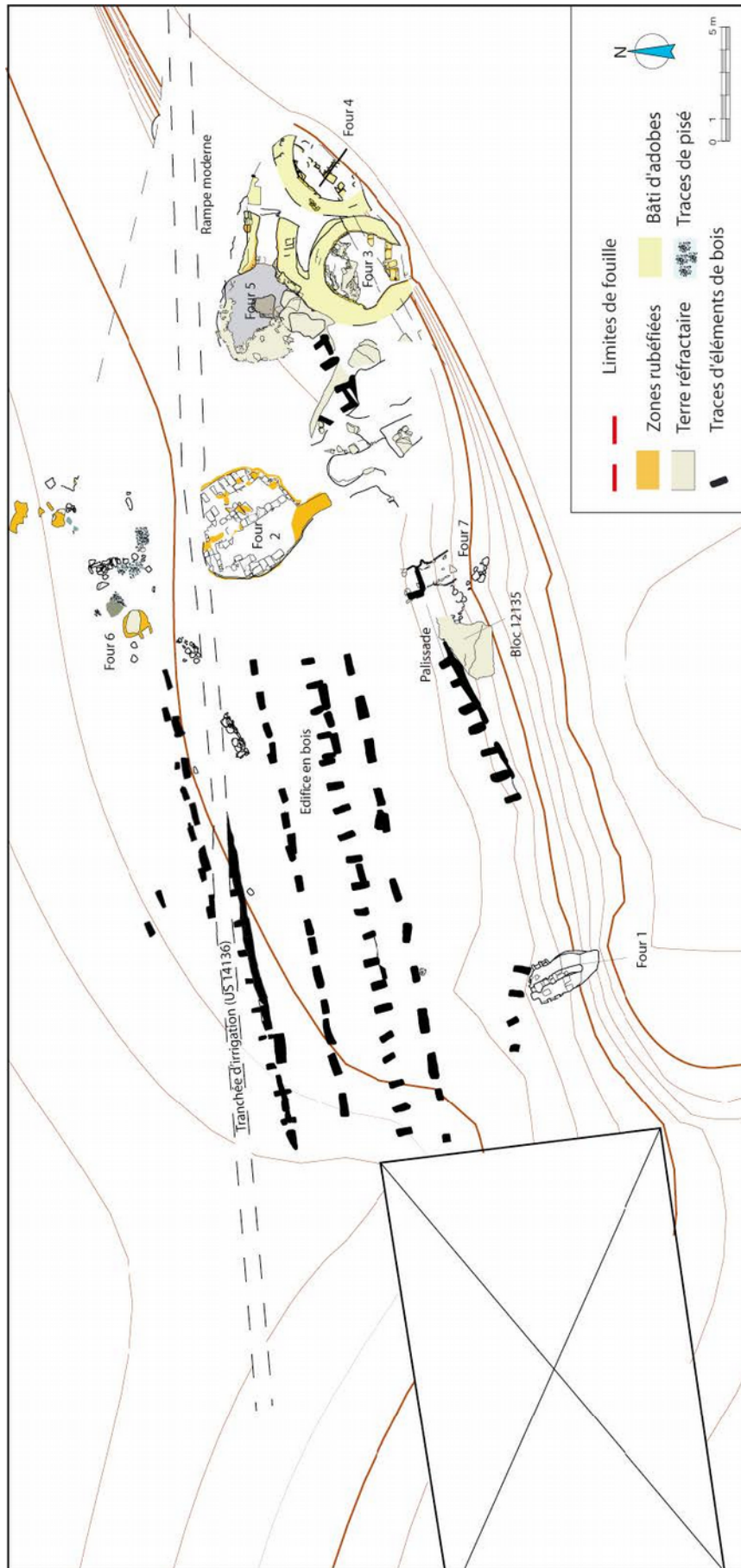


Figure 6 : plan de la partie haute (zones 1 et 2) de l'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel). D'après Gorgues & Benavente Serrano (2009, p. 8).

Enfin, l'usage simultané de marques ibérique et latine (*Balkei* et *Acini(us)*), en lien avec l'activité du four n°2¹¹², peut être mis en relation avec les pratiques productives (*infra*, p. 185) et illustre les modifications affectant la vallée de l'Èbre au milieu du I^{er} siècle avant J.-C., avec l'apparition conjointe d'un four à amphores et d'une épigraphie latine.

Timbre	Marque	Site	Provenance	Objet marqué
<i>Acini(us)</i>	ACINI[...]	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	US 13138	amphore
<i>Aiunin</i>	[...](U)NIN	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	Secteur 5 (hors stratigraphie)	peson
<i>Aiunin</i>	AIUNIN	Tiro de Cañón (Alcañiz)		peson
<i>Balkei</i>	BaLKeI	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	Comblement du four 1	peson
<i>Balkei</i>	BaLKeI	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	US 13137	jarre de stockage
<i>Balkei</i>	BaLKeI	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	US 15214	jarre de stockage
<i>Illuratin</i>	ILTuRaTiN	Cabezo de Alcalá (Azaila)	Maison 6-G	jarre de stockage
<i>Illuratin</i>	ILTuRaTiN	Cabezo de Alcalá (Azaila)	Maison 6-G	jarre de stockage
<i>Illuratin</i>	ILTuRaTiN	Cabezo de Alcalá (Azaila)	Maison 6-G	jarre de stockage
<i>Illuratin</i>	ILTuRaTiN	Cabezo de Alcalá (Azaila)	Maison 6-G	jarre de stockage
<i>Illuratin</i>	[...](R)ATi[...]	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	US 12004	céramique commune
<i>Illuratin</i>	[...](Tu)RATiN	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	Secteur 5 (hors stratigraphie)	peson
<i>Illuratin</i>	[...]TiN	Mas de Moreno (Foz-Calanda)		céramique commune
<i>Kaku</i>	KaKu	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	Secteur 5 (hors stratigraphie)	peson
<i>Of-</i>	O(Ř)[...]	Mas de Moreno (Foz-Calanda)	US 12146	jarre

Tableau 1 : marques retrouvées sur des objets fabriqués au sein de l'atelier du Mas de Moreno et dans des habitats du Bas Aragon.

D'après Benavente et al. (1986), Gorgues, Benavente Serrano & Moret (2007, p. 34-36), Gorgues & Benavente Serrano (2008, p. 38-43), Gorgues (2009).

112 Gorgues (2009, p. 490).

III. Synthèse

- À partir du VIII^e siècle avant J.-C., la présence sur le littoral oriental de la Péninsule ibérique de colonies phéniciennes puis grecques, entraîne la transmission aux populations indigènes de répertoires techniques et formels nouveaux. Puis, au cours du I^{er} siècle avant J.-C., l'établissement progressif de la domination romaine s'accompagne d'importantes modifications sociales dans le domaine ibérique.
- Ces transferts techniques n'entraînent pas la disparition du substrat indigène sous les apports extérieurs, mais illustrent la réinterprétation des éléments adoptés par les acteurs locaux. Celle-ci conduit à l'apparition d'une production, dès lors caractéristique du domaine ibérique, aux formes et traits techniques considérés comme standardisés.
- Les « *pâtes claires* » forment ainsi la catégorie la plus typique de la céramique ibérique, avec cette particularité qu'à la régionalisation des répertoires stylistiques, répond la forte homogénéité technique des procédés de fabrication. Cette appellation désigne une production façonnée au tour, présentant des pâtes compactes, sans élément visible à l'œil nu, à la sonorité métallique et réputées cuites à haute température en atmosphère oxydante.
- L'atelier de potiers du Mas de Moreno est affecté par les transformations sociales de la fin de l'Âge du Fer. Ceci est matérialisé par l'apparition d'éléments de tradition romaine et d'une épigraphie latine de la production. L'arrêt de l'activité de l'atelier correspond à ce moment de transition à la fin de l'Ibérique récent (vers 40-30) et peut être mise en relation avec la réorganisation du territoire.

Chapitre 2 – Matières et ressources

I. Éléments de géologie ibérique

A. Géographie physique

La topographie actuelle de la péninsule ibérique présente comme caractéristique principale une altitude moyenne relativement élevée (660 m environ), telle que seulement 11 % des terres se trouvent à moins de 200 m au-dessus du niveau de la mer, sans qu'aucun sommet ne dépasse pour autant 3500 m d'altitude.

Le territoire espagnol présente en effet une importante surface de hauts plateaux et plaines, occupant essentiellement le centre du pays, la Meseta, alors que les reliefs les plus élevés se trouvent en périphérie. La Meseta est ainsi bordée, au nord et au nord-est, par la chaîne Cantabrique et le système Ibérique et, au sud, par le système Bétique, tandis que le massif des Pyrénées se développe en travers de l'isthme rattachant la péninsule au reste de l'Europe (**fig. 1**, p. 11).

La géographie physique de l'Espagne apparaît, pour une très large part de ses caractéristiques, comme la conséquence d'événements tectoniques liés à l'orogénèse* alpine (Mésozoïque-Cénozoïque). Les Pyrénées et la Cordillère Bétique correspondent aux marges nord et sud de la plaque continentale Ibérique et matérialisent les deux épisodes tectoniques que sont, au nord, la subduction* partielle sous la plaque Eurasiatique et, au sud, la collision avec la plaque Africaine¹¹³. Ces mouvements amorcés au Crétacé supérieur ont entraîné d'importantes déformations intra-plaque (mise en place du système Ibérique) et ont conduit à la formation de bassins avant-pays* bordant les principales chaînes de montagnes.

B. Grands bassins sédimentaires

La mise en place et l'évolution des grands bassins sédimentaires de la péninsule sont tributaires de ces mouvements tectoniques. Les bassins internes du Duero (encadré par la Cordillère Cantabrique et le Système Central) et du Tage (entre le Système Central et les Monts de Tolède), individualisés par la poussée des Pyrénées et du Système Central, au début de l'Éocène, et dont l'ouverture sur l'Atlantique n'intervient qu'au cours du Miocène. Ils se distinguent ainsi du bassin du Guadalquivir (entre la Sierra Morena et le Système Bétique) ouvert sur l'océan dès sa mise en place¹¹⁴. Le bassin de l'Èbre, bordé au nord par les Pyrénées et au sud par le Système Ibérique, est affecté par les modifications successives de la topographie au cours du Tertiaire. Celui-ci voit en effet son régime un temps affecté par l'absence d'exutoire sur la Méditerranée¹¹⁵ :

- Avant l'Éocène, les carbonates marins se déposent alors que le bassin est sous le niveau de la mer. Au cours du Mésozoïque, le bassin de l'Èbre est ainsi affecté par les cycles de transgressions* et régressions* du niveau marin¹¹⁶, auxquels sont associés d'importants dépôts d'évaporites*.¹¹⁷

113 Casas-Sainz & de Vicente (2009, p. 216).

114 Casas-Sainz & de Vicente (2009, p. 216-218).

115 Gibbons & Moreno (2002, p. 1), Garcia-Castellanos *et al.* (2003).

116 Aurell *et al.* (2003).

117 Escavy, Herrero & Arribas (2012).

- Au cours du Tertiaire, le bassin subit d'importantes modifications de son régime de drainage : exoréique* alors que le niveau marin diminue (Éocène, Oligocène inférieur) à endoréique*, du fait de l'évolution de la topographie. Les mouvements au cours de l'Oligocène supérieur et du Miocène conduisent à la mise en place des chaînes côtières catalanes, qui ferment l'accès à la Méditerranée, entraînant une importante sédimentation en lac carbonaté fermé¹¹⁸.
- Au Miocène supérieur, le retour à un régime exoréique (à travers la chaîne catalane) et la mise en place du réseau hydrographique actuel s'opèrent finalement il y a 13 à 8,5 millions d'années¹¹⁹.

118 Casas-Sainz & de Vicente (2009, p. 217).

119 Garcia-Castellanos *et al.* (2003, p. 16).

II. La vallée de l'Èbre et le Bas Aragon : environnement et ressources

A. Ressources minérales

1. Les argiles

a. Précision sur la notion d'argile

Le terme « *argile* » recouvrant presque autant de définitions qu'il intéresse de spécialités – cette diversité s'expliquant en partie par l'intérêt technique des argiles – il convient d'apporter quelques précisions sur la terminologie utilisée ci-après.

La construction du terme est liée aux premiers efforts de classifications des roches et s'est longtemps heurtée à la taille des particules, inférieure à la résolution des microscopes optiques. Ce n'est finalement qu'au début du ^{xx}^e siècle que la nature cristalline des argiles est définitivement établie, grâce aux développements permis par la découverte des rayons X : les premiers travaux de diffractométrie mettent ainsi en évidence la présence de minéraux alors inconnus, propres aux argiles, et responsables de leurs propriétés particulières¹²⁰.

Ces minéraux se développent dans un plan et peuvent être décrits par leur organisation selon la normale audit plan. Ils se caractérisent en effet par l'alternance de feuillets, eux-mêmes constitués de couches successives formées par la répétition dans le plan de polyèdres d'atomes d'oxygène, construits autour d'atomes de silicium (couches tétraédriques) ou d'aluminium (couches octaédriques)¹²¹. Au sein des couches sont susceptibles d'intervenir des substitutions d'atomes entraînant des déficits de charges, compensés par la présence entre les feuillets de cations* échangeables, de molécules organiques ou de molécules d'eau. Il est alors possible de dis-

120 Caillère, Hénin & Rautureau (1982, p. 12).

121 Meunier (2002, p. 1-15).

tinguer l'eau absorbée en position interfoliaire de celle adsorbée à la surface des cristaux, cette dernière jouant le rôle de lubrifiant et assurant la plasticité des argiles.

On désignera alors par *argile* une roche, constituée de *minéraux argileux* (fraction plastique) et formée par l'altération de silicates*, si bien qu'une fraction résiduelle de ceux-ci, de même qu'une fraction détritique liée au mode de dépôt, peuvent être attendues (fractions non plastiques).

b. Géologie bas aragonaise

La cordillère ibérique constitue un massif d'extension NO-SE, bordant la dépression de l'Èbre par le sud (**fig. 1**, p. 11). Ce massif est constitué de séries Mésozoïque-Cénozoïque, reposant sur un socle pré-Cambrien-Paléozoïque affleurant localement¹²². La couverture sédimentaire Secondaire-Tertiaire forme une avancée septentrionale de la cordillère ibérique vers la dépression de l'Èbre et constitue l'essentiel des massifs de la Sierra bas aragonaise qui nous intéressent ici¹²³.

Régulièrement immergé au Mésozoïque, le secteur oriental de la cordillère, auquel appartient le territoire de la commune de Foz-Calanda, présente une sédimentation quasi continue, alternant faciès marins et continentaux. Le cycle des transgressions-régressions depuis le Trias (*supra*, p. 40) est matérialisé au sein du massif par l'alternance de formations calcaires et de dépôts argileux. Au Tertiaire inférieur, la mer se retire définitivement, tandis que débute une sédimentation exclusivement continentale et que s'amorce l'orogénèse alpine, conférant à la cordillère sa configuration actuelle¹²⁴.

L'atelier du Mas de Moreno repose sur les dépôts fluviatiles quaternaires du fond de la vallée du Guadalopillo, couvrant les dépôts néogènes affleurant abondamment dans le secteur (**fig. 7, 8 et 9**)¹²⁵. Cette formation continentale alterne séries marneuses* et conglomérats*, et correspond à l'accumulation des produits de l'érosion postorogénique des reliefs alentours plus anciens¹²⁶. Le synclinal* du Mas de Mo-

122 Higuera Arnal (1981, p. 69-71).

123 Higuera Arnal (1981, p. 83).

124 Higuera Arnal (1981, p. 71-72).

125 IGME (1974).

126 IGME (1974, p. 17) ; Higuera Arnal (1981, p. 72).

reno, d'extension NNO-SSE, est ainsi bordé par des massifs calcaires et dolomitiques mésozoïques. Les dépôts argileux disponibles dans le Bas Aragon peuvent être résumés comme suit, en fonction de la stratigraphie¹²⁷ :

- *Argiles quaternaires*. Celles-ci constituent les terrasses alluviales.
- *Argiles néogènes*. Ces dépôts correspondent à la phase endoréique de la vallée de l'Èbre et constituent une ressource quasi inépuisable, affleurant très largement autour de l'atelier.
- *Argiles crétacées (Albien)*. Encore largement exploitées actuellement autour de la commune de Foz-Calanda, ces argiles associent kaolins* et arènes* siliceuses.
- *Argiles triasiques*. Ces dépôts correspondent à la formation des argiles bariolées (Keuper), à laquelle sont associés d'importants dépôts d'évaporites (gypse en particulier ; **fig. 10**, p. 49).

À cela s'ajoutent les processus de pédogenèse affectant les épaisseurs superficielles de ces dépôts. L'aire de notre étude appartient aujourd'hui à la zone semi-aride de la vallée de l'Èbre, caractérisée par un fort contraste saisonnier¹²⁸, ayant conduit à la mise en place de calcisols^{*,129} (*infra*, p. 149).

Double page suivante :

Figure 7 : extrait de la carte géologique de l'Espagne au 1:50 000, feuille n°494 (IGME 1974).

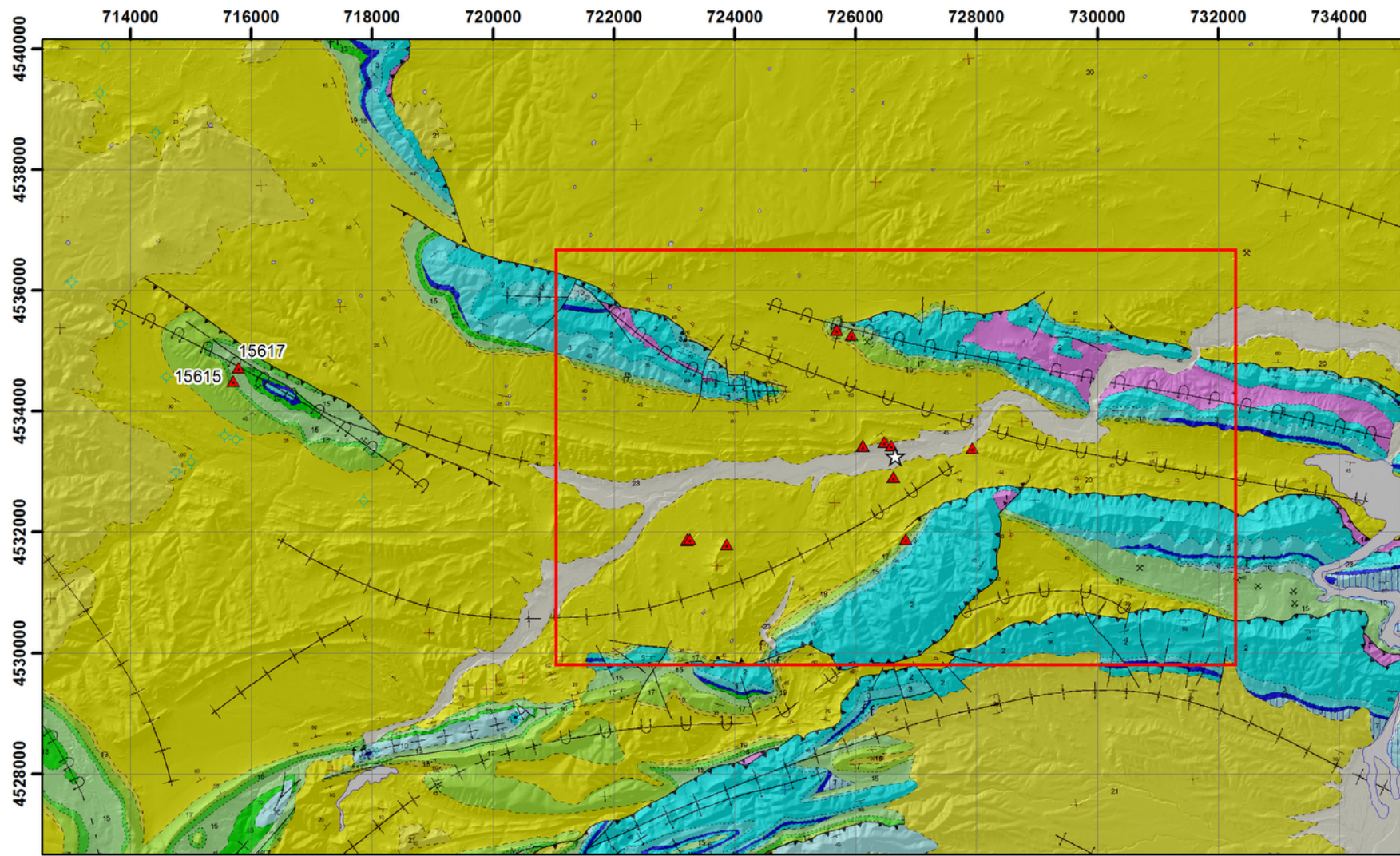
Figure 8 : détail de la figure 7.

La légende est présentée page 9. La localisation des prélèvements d'argiles réalisés à proximité de l'atelier (infra, p. 163) est indiquée, complétée de la référence de l'échantillon. Projection UTM zone 30N. © Instituto Geológico y Minero de España. Données LiDAR-PNOA © Instituto Geográfico Nacional de España.

127 IGME (1972, p. 15-22).

128 L'oscillation thermique annuelle moyenne est de l'ordre de 20°, voire 50 à 60 °C pour les valeurs extrêmes, et les précipitations annuelles, intervenant majoritairement au printemps et à l'automne, sont comprises entre 400 et 500 mm – le déficit annuel de précipitations est de l'ordre de 200 à 400 L.m⁻² (Higuera Arnal 1981, p. 93-120).

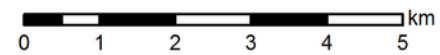
129 Jones, Montanarella & Jones (2005, p. 65).

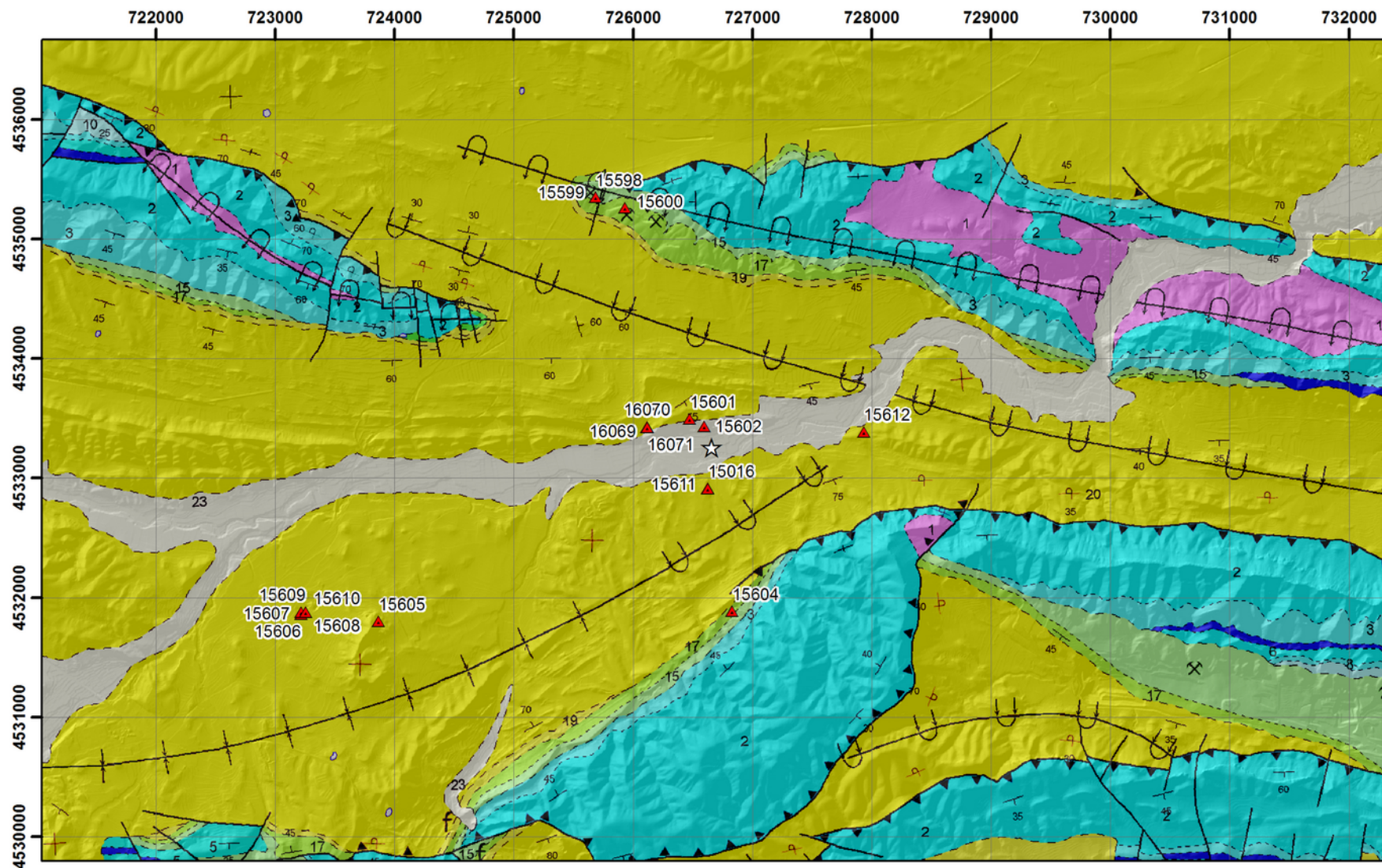


Mas de Moreno

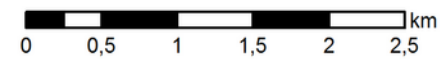


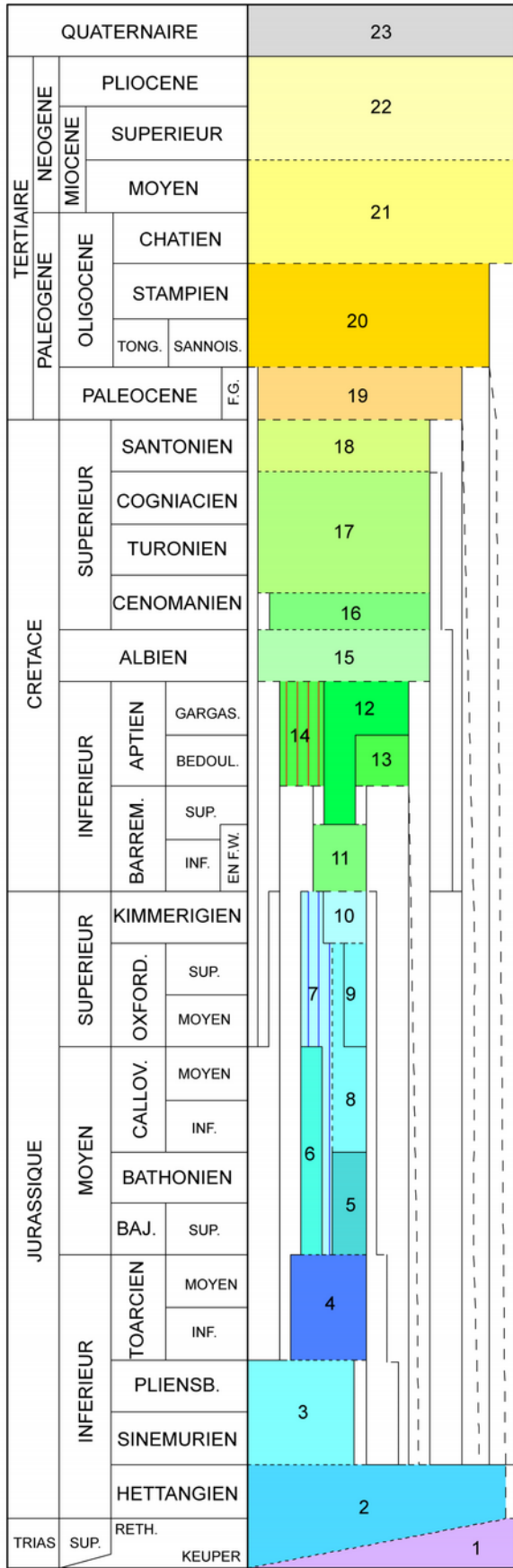
Prélèvement d'argile





☆ Mas de Moreno ▲ Prélèvement d'argile





- | | | | | |
|----|--|-----------------------------|----|------------------------------------|
| 1 | Argiles gypsifères | Contact concordant, présumé | 13 | Calcaires et marnes |
| 2 | Dolomites | Faïlle connue | 14 | Calcaires et marnes |
| 3 | Calcaires et calcaires argileux | Chevauchement connu | 15 | Argiles lignitifères |
| 4 | Marnes | Anticlinal présumé | 16 | Calcaires et marnes |
| 5 | Calcaires | Anticlinal déversé présumé | 17 | Calcaires et dolomites |
| 6 | Calcaires et oolithes ferrugineuses | Synclinal présumé | 18 | Marnes |
| 7 | Calcaires et oolithes ferrugineuses | Synclinal déversé présumé | 19 | Calcaires, argiles et conglomérats |
| 8 | Calcaires et oolithes ferrugineuses | Synclinal déversé présumé | 20 | Argiles et conglomérats |
| 9 | Calcaires, éponges et oolithes ferrugineuses | Photographie 20-60 | 21 | Argiles, grès et conglomérats |
| 10 | Calcaires et calcaires argileux | Pendage sub-vertical | 22 | Calcaires, marnes et grès |
| 11 | Argiles et conglomérats | Pendage | 23 | Alluvions et éboulis |
| 12 | Calcaires | Pendage | | |
| | | Sondage | | |
| | | Mine non active | | |



Ci-contre, figure 9 : légende des figures 7 et 8. © Instituto Geográfico Nacional de España.

Ci-dessus, figure 10 : évaporites dans les niveaux du Trias supérieur (Keuper ; Foz-Calanda, Teruel, Espagne).

Les cristaux de gypse décimétriques sont bien visibles sous le dépôt d'argile bleu (BDX15604).

Si cette diversité des dépôts est déterminante pour la qualité des matières disponibles, celle-ci ne constitue pas pour autant un facteur limitant : nombre de choix et de transformations de ces matières sont en effet susceptibles d'intervenir lors de leur mise en œuvre dans un cadre productif et d'en modifier les propriétés (*infra*, p. 59 et 103).

2. Les oxydes de fer

Indispensables comme matière colorante à la réalisation des décors peints propres à la céramique ibérique (*infra*, p. 121), les oxydes de fer sont largement disponibles, affleurant régulièrement à proximité de l'atelier du Mas de Moreno (**fig. 11**).

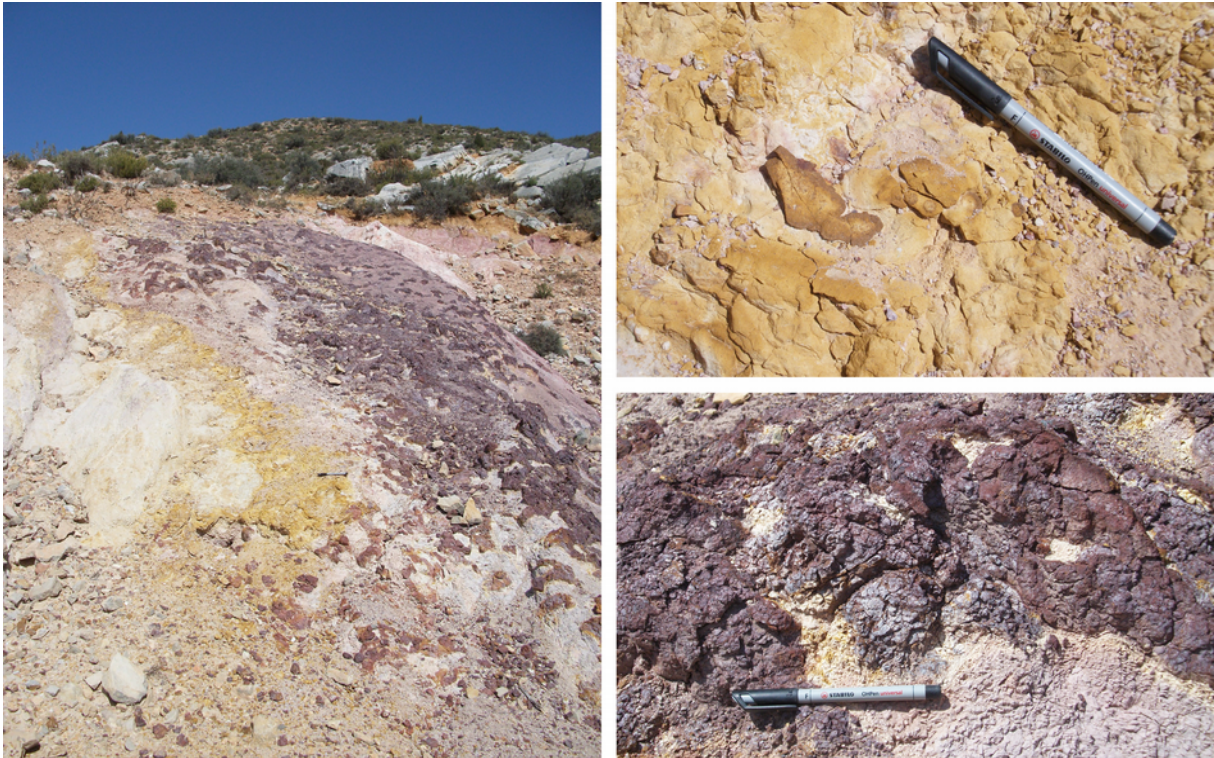


Figure 11 : (a) affleurement d'oxydes de fer à proximité de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel) ; (b) détail de la goëthite ; (c) détail de l'hématite.

L'identification des minéraux a été réalisée par spectrométrie Raman (infra, p. 121).

B. Ressources végétales

1. Évolutions climatiques

Aussi particulier soit-il, l'environnement de la Péninsule ibérique ne se résume pas à la seule mise en place des dépôts sédimentaires, mais réside également dans leur évolution à l'échelle des temps humains, dont le climat constitue un des principaux facteurs. Bien que les variations climatiques au cours de l'Holocène aient été de faible amplitude, elles ne sont pas nécessairement demeurées sans conséquences¹³⁰.

La transition entre l'Âge du Bronze final et le Premier Âge du Fer est concomitante d'un changement climatique global, amorcé entre les IX^e et VIII^e siècles avant J.-C.¹³¹ Cet épisode froid est caractérisé par une hausse des précipitations (ou une évapo-

130 Le Petit Âge de Glace des XVI^e-XVII^e siècles en est sans doute l'exemple le plus remarquable.

131 Van Geel, Buurman & Waterbolk (1996).

ration réduite) par rapport à la période précédente¹³². Si les modifications environnementales demeurent limitées, dans les régions semi-arides de la Péninsule ibérique les variations sont suffisantes pour affecter les processus de sédimentation et notamment la stabilité des reliefs. La disponibilité en eau accrue entraîne le développement d'un couvert végétal, celui-ci favorisant la mise en place des sols¹³³. À partir du IV^e siècle, un réchauffement du climat s'amorce et perdure au cours du Moyen Âge jusqu'au petit âge glaciaire (XVI^e-XVII^e siècles) : ce changement s'accompagne sur le territoire espagnol d'un recul progressif de la végétation et d'une reprise des processus d'érosion¹³⁴.

2. Modifications du milieu

Du III^e au I^{er} siècle avant J.-C., l'environnement de la Péninsule ibérique est lentement affecté par cet épisode chaud, contemporain de l'établissement de la domination romaine (*supra*, p. 21). Celle-ci s'accompagne d'évolutions majeures dans l'exploitation du territoire (intensification des activités agricoles, minières, forestières, etc.), accentuées à partir du I^{er} siècle avant J.-C. La succession d'une modification naturelle du climat et des évolutions sociales propres à la fin de l'Âge du Fer concourent ainsi à une évolution progressive de l'environnement, conduisant à l'établissement d'un milieu largement ouvert et à une accentuation de l'érosion des sols¹³⁵.

À partir de l'Âge du Bronze apparaît une végétation typique des environnements arides (plantes herbacées et de garrigue), tandis que diminue la part des arbres dans les spectres polliniques au profit des céréales¹³⁶. Cette pression anthropique conduit à l'ouverture progressive d'un milieu de type méditerranéen (présence du pin et du genévrier)¹³⁷, pour en arriver à la situation actuelle : le centre de la vallée de l'Èbre est désormais un milieu largement ouvert dédié à l'agriculture, où dominent les espèces propres aux environnements de steppe (*Pinus halepensis*, *Quercus coccifera*

132 López-Sáez *et al.* (2013, p. 14).

133 Gutiérrez-Elorza & Peña-Monne (1998, p. 214-215).

134 Gutiérrez-Elorza & Peña-Monne (1998, p. 215).

135 Currás *et al.* (2012, p. 48-50), López-Sáez *et al.* (2013, p. 19-20). L'érosion des sols demeure toujours une des principales difficultés liées à l'agriculture intensive en Espagne (García-Ruiz 2010).

136 Iriarte 1992, 2001

137 Carrión Marco (2007, p. 15), González-Sampériz *et al.* (2008, p. 177).

et *Juniperus thurifera*) ou de garrigue¹³⁸. Les environs immédiats de l'atelier du Mas de Moreno sont aujourd'hui fortement déboisés dans les parties basses (plaine alluviale), l'essentiel de la végétation arborée se limitant aux reliefs marqués, inexploitable par l'agriculture et aux bosquets le long du Guadalopillo. Les changements environnementaux constatés présentent ainsi une forte variabilité altitudinale, liée notamment à la répartition des activités humaines.

C. Ressources hydrologiques

L'Èbre s'écoule actuellement sur une distance de 928 km et draine avec ses affluents un bassin de quelque 85 800 km². L'installation de plus de 150 barrages depuis le milieu du xx^e siècle a cependant sensiblement affecté le régime du fleuve et le transport de sédiments¹³⁹, si bien qu'une comparaison directe entre la situation actuelle et celle de la fin de l'Âge du Fer semble peu pertinente.

Bien qu'aucune information directe ne soit disponible concernant le régime passé des affluents de l'Èbre, une remarque peut cependant être formulée. Si la proximité de l'implantation de l'atelier du Mas de Moreno avec le Guadalopillo (**fig. 4**, p. 34) peut être interprétée en termes d'accès à l'eau à des fins de production potière, elle peut également l'être comme un facteur de risque. Il apparaît en effet que la hauteur des précipitations annuelles à la fin de l'Âge du Fer dans le nord-est de la péninsule était très probablement supérieure à l'actuel (*supra*, p. 50)¹⁴⁰. Faute de données actuellement disponibles spécifiques au Bas Aragon, il demeure cependant difficile de dépasser cette généralité, qui efface toute variabilité interannuelle, et doit être nuancée par les variations altitudinales intervenant sur de faibles distances dans cette zone de piémont.

Pour autant, la situation de l'atelier sur les terrasses alluviales les plus basses l'exposerait à une éventuelle inondation de ses installations en cas de crue du cours d'eau. En pareille situation, plusieurs solutions seraient alors envisageables. Soit ont

138 González-Sampériz *et al.* (2008, p. 159-160).

139 García-Castellanos *et al.* (2003, p. 3).

140 Aguilera *et al.* (2009).

existé des dispositifs de contrôle du cours d'eau en amont ou de protection de l'atelier. Soit, l'essentiel des précipitations intervenant sur des intervalles de temps réduits (printemps et automne), une organisation saisonnière de la production aurait permis de composer avec l'éventuel risque d'inondation. Un fonctionnement saisonnier est envisagé au moins au cours de la phase pleinement ibérique de l'atelier (avant le milieu du 1^{er} siècle avant J.-C. ; *supra*, p. 32), en phase avec le déroulement des activités agricoles (notamment pour la production de moyens de stockage)¹⁴¹ et ce calendrier serait alors compatible avec une telle gestion du site. En l'absence de vestiges, ceci relève certes de la seule hypothèse, mais permet d'envisager l'articulation de l'atelier et de l'organisation de la production avec l'environnement immédiat, au-delà de la seule disponibilité des ressources.

141 Gorgues (2009, p. 488), Sacilotto (2011, p. 164-179).

III. Synthèse

- L'histoire géologique particulière de la vallée de l'Èbre, notamment marquée par une longue phase endoréique, conditionne la diversité des ressources minérales disponibles. De plus, à la variété des dépôts s'ajoutent les processus de pédogenèse affectant les épaisseurs superficielles.
- Au regard des volumes disponibles, il nous semble peu probable que la disponibilité de la ressource argileuse ait conditionné le choix d'implantation de l'atelier.
- Les changements climatiques au cours de l'Âge du Fer sont d'une amplitude relativement réduite par rapport à la situation actuelle, mais les modifications du paysage doivent être considérées avec une attention particulière. Le développement des sols et l'évolution de la couverture végétale sont en effet affectés par la combinaison des facteurs climatiques et anthropiques, ces derniers s'accroissant tout au long du I^{er} s. av. J.-C.
- Ainsi, parmi les facteurs susceptibles d'éclairer l'arrêt de la production de l'atelier du Mas de Moreno, la diminution de la disponibilité en combustible peut être raisonnablement envisagée. D'autant plus que les dernières années d'activité sont marquées par un changement d'échelle dans les quantités fabriquées, telles qu'il est possible de les apprécier au regard des dimensions largement supérieures du dernier four construit, par rapport à la période précédente.

Partie 2 – Dans la chaleur des fours : fabrication de matières céramiques

Chapitre 1 – Le cru et le cuit : de la terre à la céramique.....59

Chapitre 2 – Éléments de céramurgie ibérique.....103

Chapitre 1 – Le cru et le cuit : de la terre à la céramique

I. Chaînes opératoires

Cette première section n'ambitionne pas à l'exhaustivité dans la description des étapes conduisant à la fabrication de matières céramiques¹⁴² mais, plus simplement, à en fixer les grandes lignes afin de s'attacher à des moments considérés ici comme *stratégiques*¹⁴³ dans la réalisation des fins visées.

Il est cependant indispensable de garder à l'esprit que les découpages couramment proposés – et auxquels nous faisons appel ici – sont arbitraires. Ils correspondent le plus souvent à la construction du discours du descripteur, sans que celui-ci recouvre la perception qu'ont les acteurs mobilisés de leur travail. Ces découpages sont assurément pratiques mais ne sont pas nécessairement équivalents à la segmentation des opérations dans un contexte donné. Ainsi, on se gardera de faire autant de

142 À ce titre, voir l'abondante documentation ethnographique et, notamment, Livingstone Smith (2001a), Gosselain (2002).

143 Telle que l'entend P. Lemonnier, une opération est dite stratégique dès lors que « *son accomplissement est nécessaire à la poursuite du processus, si elle ne peut être différée, annulée ou remplacée sans en remettre gravement le résultat en cause* » (Lemonnier 1976, p. 143-144).

techniques qu'il peut être de modes d'action sur la matière, pour mieux explorer un éventail de choix – forcément incomplet – qui s'offrent pour la fabrication de matériaux. Enfin, une mise garde supplémentaire doit être formulée face à une telle approche qui tend à linéariser un problème dont elle masque parfois la complexité. L'ordre dans lequel sont exposées les étapes ne reflète pas systématiquement leur succession. Il s'agit au contraire d'illustrer les imbrications et la répétition de certains procédés, ainsi que la particularité de la fabrication de matériaux céramiques pour laquelle le fabriqué d'une étape devient le fabriquant de la suivante¹⁴⁴.

Les trois grands temps de la fabrication retenus ici sont (A) la sélection et la préparation de la pâte, (B) le façonnage et (C) la cuisson qui achève de transformer la matière argileuse en céramique.

A. De l'argile à la pâte

Dès son extraction, s'opèrent un certain nombre de choix et de sélection de traits utiles qui peuvent conduire à la mise en œuvre de l'argile, ainsi devenue *pâte*, sans autre étape de préparation. Dans le cas contraire, la pâte peut subir différents traitements, éventuellement combinés à des retraits ou ajouts de matières¹⁴⁵.

1. Traitements

Parmi les traitements susceptibles d'être réalisés, le *pourrissage* retiendra ici particulièrement notre attention. Cette pratique consiste à laisser la matière argileuse exposée à l'humidité et à l'air¹⁴⁶ et peut être réalisée intentionnellement ou résulter d'un stockage prolongé. Cette étape permet la dégradation de la matière organique par l'activité bactérienne en milieu anoxique, conduisant notamment à la formation d'acides humiques (accompagnée d'un dégagement de dioxyde de carbone). Ces derniers peuvent alors se complexer sous une forme colloïdale avec des cations ou des minéraux argileux¹⁴⁷. Les complexes ainsi formés sont alors fortement adsorbants et

144 Farnoux (1995, p. 24).

145 Livingstone Smith (2001a, p. 51).

146 « pourrissage », in *Trésor de la Langue Française informatisé*.

147 Cojan & Renard (2006, p. 225).

susceptibles de modifier la plasticité et l'adhésivité de la pâte. De plus, le stockage prolongé de la pâte en atmosphère humide permet d'assurer une hydratation homogène et d'augmenter la compaction. Enfin, l'homogénéisation de la pâte peut être assurée par des procédés mécaniques de pétrissage, etc.

2. Retrait de matières

Au cours de la préparation, la pâte peut être épurée par retrait progressif des impuretés les plus grossières (débris végétaux, graviers, etc.) ou par sélection granulométrique. Cette dernière peut être réalisée par tamisage¹⁴⁸ ou après mise en suspension dans l'eau, la ségrégation s'opérant alors en fonction de la vitesse de chute des particules dans la colonne d'eau¹⁴⁹. Deux situations peuvent être distinguées : la matière argileuse peut être mise à *décanner* dans un volume d'eau stagnante ou, au contraire, entraînée par un courant d'eau dont la vitesse d'écoulement décroît progressivement, autorisant ainsi la sédimentation des différentes classes de taille. Ce dernier procédé de *levigation* suppose alors un accès à l'eau courante et la mise en œuvre de dispositifs de canalisation, de gestion du débit et de stockage de l'eau. Enfin, l'ensemble de ces procédés peuvent nécessiter de désagréger (broyage, concassage, etc.) préalablement la matière argileuse qui aura alors été séchée.

3. Ajout de matières

À l'inverse, des éléments peuvent être ajoutés à la pâte et contribuer ainsi à la *dégraissier*. Cette pratique consiste à adjoindre à la pâte des fragments non plastiques (d'origine minérale, végétale ou animale) afin d'en modifier certaines propriétés (mécaniques, thermiques, etc.) ou dans le cadre de pratiques rituelles, voire comme marqueur identitaire¹⁵⁰. À défaut de la possibilité d'un recyclage, l'utilisation de fragments de céramique (*chamotte*) comme dégraissant est la seule solution permettant une réutilisation de cette matière dans la chaîne de fabrication. De plus, des ajouts de matière organique peuvent être réalisés par macération dans l'urine ou mélange avec des déjections animales, rejoignant les procédés de pourrissage déjà évoqués (*supra*).

148 Livingstone Smith (2001a, p. 53) rapporte également la pratique du vannage, par ailleurs utilisée pour la séparation du grain de certaines céréales.

149 La vitesse de chute est proportionnelle à la taille et à la densité des particules.

150 Livingstone Smith (2000).

B. Façonnage : la question du tour

Face à la diversité des techniques de façonnage et d'ornementation, de leurs variantes et des possibilités de combinaisons (qui sont autant de marqueurs sociaux¹⁵¹), en proposer un tour d'horizon reviendrait à trop simplifier le problème et dépasserait le cadre de notre propos. Aussi, le choix a été fait d'approcher ces aspects à travers la question du tour, dont l'utilisation constitue un critère de définition de la céramique ibérique (*supra*, p. 26).

La question de l'utilisation du tour est double. D'une part, la question posée est celle de la définition de l'activité de *tournage* et, d'autre part, celle des dispositifs associés. Le tournage correspond à l'exploitation de l'énergie cinétique de rotation fournie par une machine, le *tour*, pour la mise en forme d'un pot sous la double action des forces exercées par le potier et de la force centrifuge résultant de la rotation du tour. Le tournage d'un pot recouvre deux pratiques distinctes. D'une part, le *montage au tour*, pour lequel une masse de pâte, préalablement centrée sur la girelle, subit une déformation plastique par pressions continues afin d'élever progressivement les parois de l'objet. D'autre part, la *mise en forme au tour*, il s'agit alors d'amincir et de lisser les parois d'un pot préalablement ébauché sans recours à l'énergie cinétique (par moulage ou assemblage de colombins par exemple)¹⁵².

Dans sa plus simple expression, la machine tour est constituée d'un plateau monté sur pivot et d'un volant d'inertie qui entraîne le mouvement¹⁵³. Le fonctionnement du tour est alors fortement lié à son *moment d'inertie* qui correspond à l'opposition du système à une modification de son état de rotation autour de l'axe central. Pour un système constitué de n particules de masses m situées à une distance r du point de pivot, le moment d'inertie I est donné par la relation suivante :

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \quad (1)$$

151 Gosselain & Livingstone Smith (1995, p. 150), Livingstone Smith (2010, p. 11).

152 Courty & Roux (1995, p. 22).

153 Yon (1981, p. 235-236).

Ainsi, le moment d'inertie augmente avec la distance à l'axe de rotation : un volant d'inertie sera d'autant plus difficile à ralentir que son rayon sera élevé et l'essentiel de sa masse disposée à la périphérie, mais également d'autant plus difficile à lancer et à accélérer. Deux dispositifs sont généralement distingués quant à la position du volant d'inertie qui peut être distinct (tour à volant d'inertie bas) ou confondu (tour à volant d'inertie haut) avec le plateau¹⁵⁴. Ces deux situations correspondent également à des modalités d'entraînement du volant différentes selon que celui-ci est mis en mouvement à la main (tour à volant d'inertie haut) ou non (tour à volant d'inertie bas). Le premier cas suppose, soit l'alternance entre le travail de la terre et les apports successifs d'énergie au tour pour le maintenir en rotation (avec ou sans dispositifs d'entraînement : tour à bâton ou tour à main), soit la présence d'un acteur supplémentaire dédié à cette tâche (apprenti, main-d'œuvre servile, etc.) pour assurer une rotation continue et permettre à l'artisan de disposer de ses mains. Au contraire, le tour à volant d'inertie bas offre à ce dernier la possibilité d'assurer lui-même¹⁵⁵ la mise en rotation et de la réguler en l'entraînant avec les pieds.

Le cœur du problème ne réside pas tant dans les modalités de mise en rotation du tour que dans l'exploitation ou non de l'énergie ainsi rendue disponible¹⁵⁶. Si l'outil contient effectivement son principe, indifféremment de l'utilisation qui en est faite¹⁵⁷, l'opérateur doit cependant reconnaître les possibilités offertes par l'exploitation de cette énergie cinétique de rotation. Or, nombre de situations documentées par l'ethnographie illustrent la compréhension partielle des potentialités de l'outil¹⁵⁸. Le tour peut ainsi n'être utilisé que comme support mobile permettant au potier d'accéder aux différentes parties de l'objet ou ne faire intervenir l'énergie cinétique de rotation qu'occasionnellement (**fig. 12**), en limitant le montage à quelques éléments (cols et bords par exemple), le reste étant façonné.

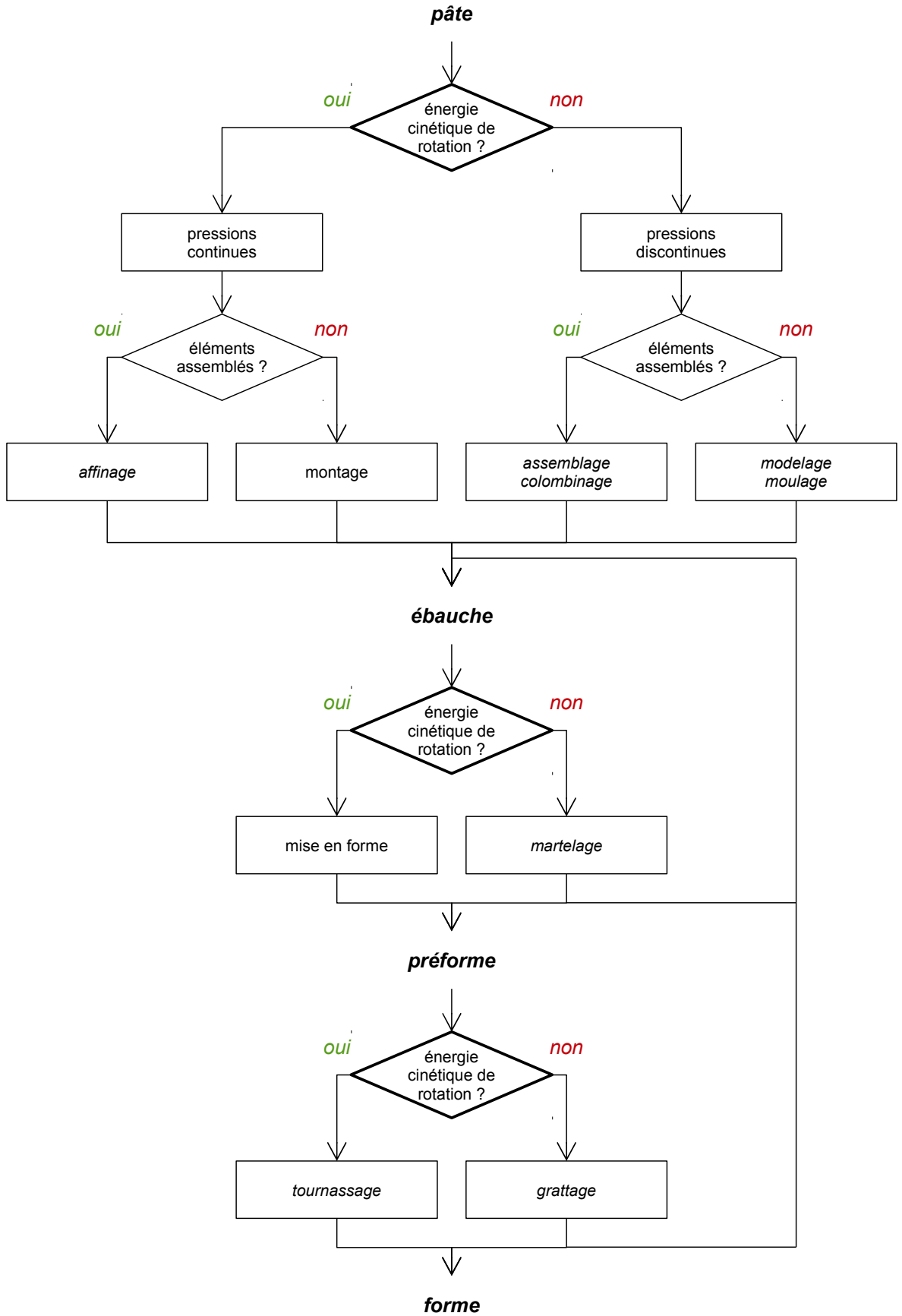
154 Haut et bas renvoient ici à la position par rapport au plateau et non à la hauteur de travail.

155 Encore que la position basse du volant d'inertie n'interdise pas structurellement d'y affecter également de la main-d'œuvre.

156 Bien que d'autres machines permettent d'atteindre des vitesses de rotation équivalentes à celles d'un tour à volant d'inertie bas (Foster 1959a).

157 Bruneau & Balut (1997, p. 101).

158 Foster (1959b, p. 110-113).



Enfin, si les principes du tour ne sont pas pleinement exploités, l'avantage que peut représenter son utilisation pour la production potière peut être mis en doute¹⁵⁹. À partir de leurs enquêtes de terrain auprès de potiers indiens, V. ROUX et D. CORBETTA ont pu mettre en évidence la complexité des facteurs entrant en jeu dans la maîtrise du montage au tour¹⁶⁰. Parmi ceux-ci, le développement des capacités motrices du novice et de sa capacité à projeter dans l'objet les relations déterminant la succession des différentes opérations de façonnage, conditionnent la durée de l'apprentissage (de l'ordre de 10 à 15 ans).

C. Conduire la cuisson

Étape cruciale s'il en est, la cuisson confère aux objets façonnés leurs propriétés mécaniques, réfractaires et – pour une part – esthétiques définitives. La chauffe entraînant la transformation de la matière argileuse en céramique (*infra*, p. 73) relève cependant autant de la conduite des acteurs que de la conduite de la cuisson elle-même. Néanmoins, si les interdits et tabous entourant cette étape sont difficilement accessibles faute de documentation archéologique, les stratégies mises en œuvre pour en contrôler (au moins en partie) le déroulement peuvent être plus facilement appréciées.

1. Structures de cuisson

Deux grandes catégories de structures de cuisson sont généralement considérées, opposant structures bâties (fours, fourneaux) et non bâties (fosses, meules, etc.). O. P. GOSSELAIN a cependant montré l'intérêt d'une classification s'affranchissant des seuls traits formels pour s'attacher aux performances thermiques¹⁶¹. Le contact de la charge

Ci-contre, figure 12 : techniques de façonnage et utilisation de l'énergie cinétique de rotation. Adapté d'après Courty & Roux (1995, p. 23).

Seuls sont représentés les procédés mécaniques (des temps de séchage sont ainsi susceptibles d'intervenir entre les différentes étapes). Les procédés indiqués en italiques sont donnés à titre d'exemple et ne sont pas exclusifs.

159 Nicklin (1971, p. 36).

160 Roux & Corbetta (1989, p. 67-70).

161 Gosselain (2002, p. 153-162).

à cuire avec le combustible et les produits de sa combustion, l'isolation thermique et les modes de transfert de la chaleur sont en effet autant de paramètres à prendre en compte pour la compréhension des modes de cuisson. L'atmosphère de cuisson (*infra*, p. 80) est ainsi régie tant par l'architecture du four que par la quantité et la qualité du bois ou la fréquence des charges en combustible¹⁶².

Compte tenu du problème qui nous occupe, seul sera abordé ici le four de potier. Dans sa plus simple expression, celui-ci peut se définir par la superposition de deux volumes : l'un contenant la source de chaleur (la *chambre de combustion*), l'autre contenant la charge à cuire (le *laboratoire*). L'objectif n'est pas ici de revenir sur les multiples typologies existantes¹⁶³, dont les critères de classification exclusivement formels sont finalement de peu d'intérêt pour la compréhension de leur fonctionnement¹⁶⁴. Bien au contraire, il s'agit d'insister sur les distinctions qu'il est possible d'établir, selon que l'interface (la *sole*) entre ces deux chambres est perméable ou non aux produits de la combustion et selon les modes de transfert de la chaleur. Les deux catégories présentées correspondent donc à des dispositifs techniques, dont la variabilité dans la mise en œuvre (morphologie de la structure) n'affecte pas ou peu le fonctionnement.

a. Le four à flammes nues et tirage ascendant

Cette catégorie de four est sans doute la plus représentée au cours de la période qui nous occupe¹⁶⁵. Ce type de dispositif présente une sole perforée, assurant un contact direct entre la charge à cuire et les produits de la combustion et autorisant une forte variabilité quant à la composition de l'atmosphère de cuisson (*infra*, p. 69 et 80). Au sein du four, les transferts de chaleur peuvent se résumer comme suit :

1. Le rayonnement* résultant de la combustion entraîne une augmentation de la température de la masse d'air dans la chambre de combustion.

162 Leach (2003 [1940], p. 275).

163 Voir, entre autres, pour la Gaule : Duhamel (1978-1979) ; pour l'Italie : Cuomo di Caprio (1972) ; pour la Grande-Bretagne : Swan (1984) ; pour la Péninsule ibérique : Coll Conesa (2000).

164 Pastor (2010, p. 139-142).

165 Coll Conesa (2000).

2. Ladite masse d'air circule ainsi par convection* à travers les *carneaux* de la sole jusque dans le laboratoire dont le *tirage* garantit l'approvisionnement en dioxygène du foyer et ainsi le bon déroulement de la combustion. Au sein du bâti du four, la structure de cuisson s'échauffe également par conduction* et est susceptible de restituer dans un second temps une partie de cette énergie par rayonnement.
3. Enfin, la conduction de la chaleur au sein de la matière à cuire apporte l'énergie nécessaire à la transformation de la matière en céramique.

b. Le four à moufle

À l'inverse, isoler la charge à cuire des produits de combustion en la plaçant dans un *moufle* garantit – dans une certaine mesure – le contrôle de la composition de l'atmosphère de cuisson et n'est pas sans conséquence sur les transferts de chaleur. Ces derniers interviennent alors comme suit :

1. Par rayonnement résultant de la combustion et entraînant une augmentation de la température de la masse d'air dans la chambre de combustion.
2. Par convection de ladite masse d'air, dont la circulation est canalisée au sein de volumes étanches vers l'extérieur du four. Au sein du bâti du four : la température des dispositifs canalisant la circulation de l'air chaud augmente par conduction et entraîne un transfert de chaleur par rayonnement au sein du moufle¹⁶⁶.
3. Enfin, la conduction de la chaleur au sein de la matière à cuire apporte l'énergie nécessaire à la transformation de la matière en céramique.

Différentes solutions techniques permettent d'isoler les produits de combustion de la charge à cuire : soit en contraignant la circulation des premiers dans des conduites (cas des fours à *tubulures*), soit en disposant les objets à cuire dans des

¹⁶⁶ Au sein du moufle, un mouvement de convection peut être attendu dans les premiers moments de la montée en température mais celui-ci est rapidement limité par l'absence d'apports d'air plus froid.

caissons étanches (*cazettes*), lesquels peuvent alors être disposés dans le laboratoire d'un four à flammes nues.

c. Remarques sur l'inertie des fours

De ce bref comparatif, plusieurs remarques peuvent être formulées. Une part des transferts de chaleur se fait en effet au profit de la structure de cuisson, si bien qu'une partie de l'énergie est consommée par la transformation des matières la composant. La structure peut également restituer une certaine quantité de cette énergie par rayonnement. Ainsi, le four possède une inertie thermique éventuellement à même de moduler les apports d'énergie, ralentissant la montée en température ou prolongeant le refroidissement¹⁶⁷.

2. Contrôler les paramètres ?

Le contrôle de la cuisson ne saurait cependant se limiter au seul rôle de la structure, dont les caractéristiques intrinsèques éluderaient la gestion que peut avoir le potier de cette étape. La diversité des stratégies de contrôle des paramètres de la cuisson est ainsi bien documentée par l'ethnographie.

a. Quelques stratégies d'évaluation des paramètres de la cuisson

La couleur des pots, le bruit du four, la durée de la cuisson, la quantité de combustible consommée ou l'état d'avancement de sa combustion sont autant d'indicateurs permettant d'estimer l'achèvement de la cuisson, indépendamment de la structure mise en œuvre.

La couleur des pots incandescents permet en effet une estimation de la température en considérant qu'il s'agit d'un corps noir, et ainsi que la longueur d'onde émise est proportionnelle à la température¹⁶⁸. Activité routinière, la planification de la

167 Nicholson & Patterson (1989, p. 80) rapportent de leurs enquêtes en Égypte au cours de la décennie 1980 que les fours dont le fonctionnement a été observé peuvent être laissés à refroidir de 12 à 48 h.

168 Si les Bafia du Cameroun rencontrés par O. P. Gosselain (1992, p. 248) ne posent pas le problème en ces termes, ils n'en ôtent pas moins leurs pots du foyer dès lors qu'ils sont « *rouges comme le fer* ». Si l'estimation à l'œil de la température fait partie intégrante des activités métallurgiques, ces dernières nécessitent une précision que ne permet guère l'inertie thermique des structures de cuisson et le déroulement des réactions de transformation associées à la pratique potière.

cuisson peut également être liée à des habitudes qui permettent d'anticiper la quantité de combustible nécessaire ou la durée de chaque étape¹⁶⁹. Enfin, des stratégies permettent indirectement d'apprécier la composition de l'atmosphère au sein du four : en plaçant une torche auprès des voies permettant l'évacuation des gaz de combustion, les potiers de la vallée d'Oaxaca (Mexique) testent ainsi la présence d'hydrocarbures (auquel cas les gaz s'enflamment au contact de la torche) et le caractère réducteur de l'atmosphère¹⁷⁰.

b. Le choix du combustible

Deux méthodes d'acquisition du combustible peuvent être distinguées :

- La collecte des matières disponibles dans l'environnement immédiat de l'emplacement de la cuisson. Dans ce cas, peu ou pas de sélection est réalisée parmi le combustible ramassé.
- La sélection d'essences et de matières spécifiques, qui peut alors nécessiter un investissement en temps de travail supérieur pour la recherche, l'abattage, le transport, voire le stockage du combustible.

Ces différentes stratégies ne sont pas sans implications quant aux modalités d'approvisionnement et aux quantités de matières consommées, ni sans conséquences sur l'environnement et la disponibilité des ressources¹⁷¹. Indépendamment des stratégies d'acquisition, le choix des essences influe peu sur les températures atteintes au cours de la cuisson, toutes possédant peu ou prou la même capacité calorifique*. Cette dernière dépend en effet de la température et de la teneur en humidité du bois, mais est quasiment indépendante de l'espèce considérée (**fig. 13**)¹⁷². Au contraire de la durée de la combustion, qui est étroitement liée à la densité du combustible : une bûche de chêne se consumera plus lentement (et fournira donc de la chaleur plus longtemps) que le volume équivalent de peuplier.

169 Shepard (1956, p. 86).

170 Comme le remarque néanmoins A. O. Shepard (1977, p. 6), il s'agit de son interprétation des phénomènes en jeu, probablement différente de celle des potiers qu'elle observe.

171 L'activité potière à Sallèles d'Aude (Aude, France) a ainsi entraîné entre les I^{er} et III^e siècles le retrait progressif de la futaie de chênes caducs au profit des taillis et du chêne vert, et l'augmentation de la surface exploitée (Chabal 2001).

172 Glass & Zelinka (2010, p. 4-11).

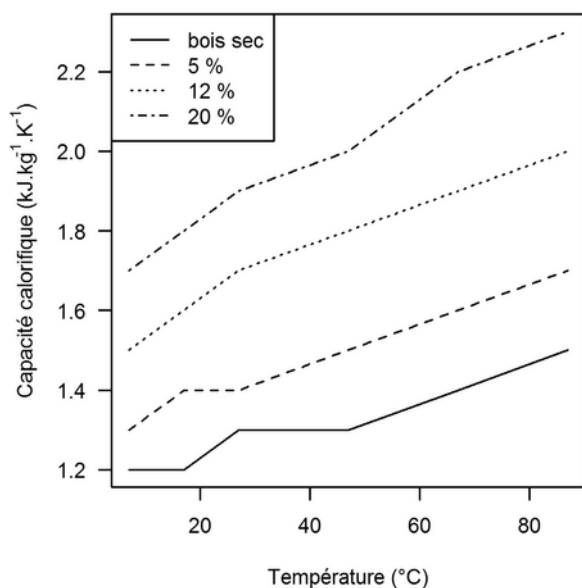


Figure 13 : évolution de la capacité calorifique en fonction de la température pour différentes teneurs en humidité. D'après Glass & Zelinka (2010, p. 15).

Se pose donc la question de la gestion du combustible. Au regard de l'importance du contenu en eau sur la capacité calorifique, une étape de séchage du combustible peut être envisagée et nécessiterait alors, en plus d'une anticipation des volumes nécessaires dans la durée, un certain nombre d'infrastructures dédiées (entreposage, etc.). De plus, s'il existe une pratique de sélection du combustible, elle est probablement à mettre en lien avec la teneur en eau, tant ce paramètre est fortement variable d'une essence à l'autre¹⁷³.

De manière générale la combustion du bois se déroule en deux temps. Les apports de chaleur entraînent dans un premier temps la pyrolyse* du bois, essentiellement constitué de cellulose et de lignine. Les produits gazeux de cette décomposition thermique se volatilisent et, au contact de l'oxygène, réagissent à leur tour en produisant de la chaleur (combustion *stricto sensu*)¹⁷⁴.

En fonction des conditions de son déroulement, la pyrolyse de la cellulose est à même de conduire à la formation de différents produits (**fig. 14**). La pyrolyse lente (caractérisée par une faible vitesse de chauffe et un temps de séjour des produits de combustion prolongé) entraîne ainsi la formation de carbone solide (charbon) et de phases oxydées, et libère de l'énergie ($\Delta H_f < 0$). Au contraire de la pyrolyse rapide (vitesse de chauffe élevée et temps de séjour réduit), qui favorise la formation de composés hydrogénés, en particulier de radicaux libres, fortement réducteurs (*infra*, p. 80), et qui consomme de l'énergie ($\Delta H_f > 0$)¹⁷⁵.

173 Glass & Zelinka (2010, p. 2).

174 White & Dietenberger (2010, p. 9).

175 Browne (1958, p. 7-8).

Ainsi, la façon dont sont gérés certains paramètres liés à la combustion (séchage du combustible, fréquence des recharges, apports de dioxygène, etc.) a probablement un impact bien plus important sur le déroulement de la cuisson que le seul choix du combustible.

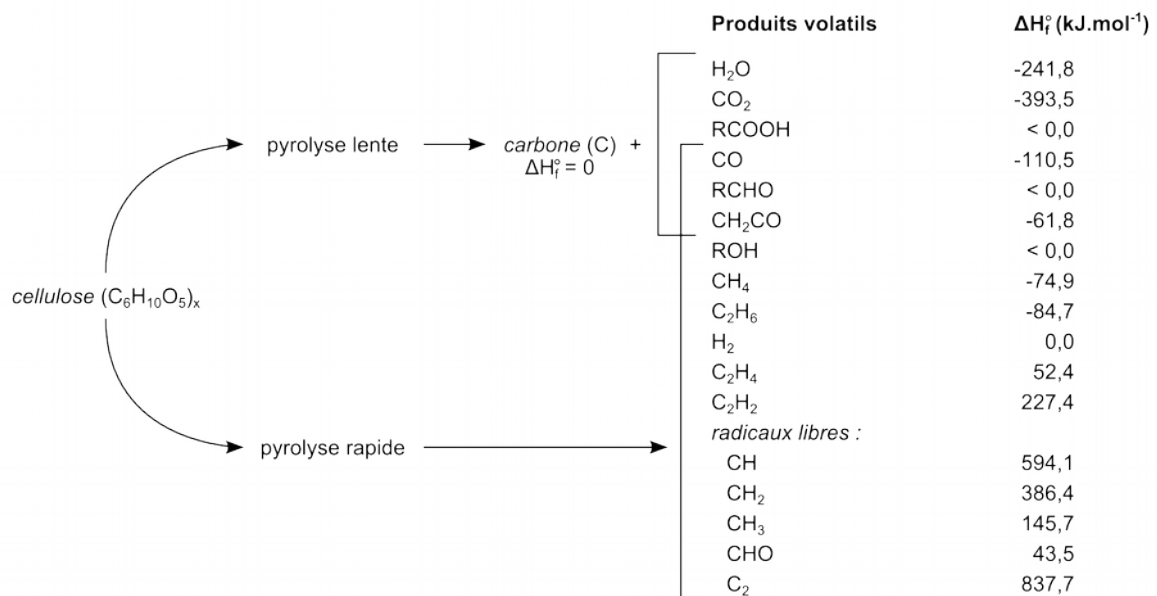


Figure 14 : produits volatils et enthalpie standard de formation* (ΔH_f° en kJ.mol⁻¹) associée résultant de la pyrolyse de la cellulose. D'après Browne (1958, p. 8).

II. La cuisson comme processus de transformation

A. Un processus en trois dimensions

1. Température

a. Éléments de définition

La notion de température est liée aux sensations de froid et de chaud et est souvent considérée comme le paramètre indispensable à la description des techniques de cuisson des matériaux céramiques archéologiques. La température constitue ainsi un paramètre repérable, par les conséquences de sa variation sur l'objet étudié, mais non mesurable : s'il est possible de comparer des températures, on ne peut en définir aucune opération¹⁷⁶. Il s'agit en effet d'une mesure indirecte de l'agitation des édifices atomiques constituant le système observé : ces derniers, en vibration permanente, possèdent une certaine énergie qu'ils sont susceptibles de céder en partie ou d'augmenter au cours de transferts de chaleur¹⁷⁷.

b. Pertinence du paramètre température

L'estimation des températures de cuisson est devenue un véritable lieu commun dans l'étude de la production des matériaux céramiques¹⁷⁸. Indépendamment de l'instrumentation mise en œuvre, cette estimation repose sur la construction d'équivalents de thermomètres en identifiant des critères (minéralogie, porosité, vitrification, couleur, dureté, etc.) dont les variations sont considérées comme liées à celles de la température. Se pose alors comme préalable le problème de l'étalonnage du thermomètre

176 Battaglia, Kusiak & Puiggali (2010, p. 7).

177 Foussard, Julien & Mathé (2010, p. 43).

178 En témoigne l'abondante recherche méthodologique depuis les travaux pionniers de Shepard (1936) pour parvenir à l'estimation de ce paramètre. Pour un aperçu du panel de méthodes voir, entres autres, Tite (1969), Maniatis & Tite (1981), Heimann (1982), Maggetti (1982), Shoval (2003), Mirti et Davit (2004), Manguiera *et al.* (2011), Rasmussen *et al.* (2012).

en question. Ceci est généralement réalisé par la construction d'un référentiel expérimental pour lequel une éprouvette est chauffée à différentes gammes de température et ensuite comparée avec les matériaux archéologiques étudiés : la question est alors celle de l'existence d'une analogie correcte entre l'artefact et le référentiel.

La construction d'une analogie entre systèmes est un problème récurrent qui dépasse le seul champ de l'archéologie et a notamment été exploré par M. BUNGE, qui en propose une conception qualitative et quantitative¹⁷⁹. Pour M. BUNGE, l'établissement d'une analogie significative entre deux systèmes nécessite de s'assurer que ceux-ci sont analogues en *substance* (ils possèdent les mêmes composés), en termes *d'environnement* (les mêmes facteurs affectent ou sont affectés par lesdits composés), ou en *structure* (les mêmes relations existent entre les composés et entre les composés et l'environnement). L'auteur conclure, d'une part, qu'une analogie peut être considérée comme correcte dès lors qu'elle est significative pour au moins un de ces trois aspects et, d'autre part, que toute analogie constitue un dispositif heuristique¹⁸⁰.

Partant de cette définition, pour établir une analogie complète l'éprouvette doit avoir la même composition (élémentaire, minéralogique, etc.), ses composés doivent entretenir les mêmes relations (géométrie de l'artefact, répartition des grains, granulométrie, porosité, etc.) et doit être soumise aux mêmes conditions de cuisson (loi d'échauffement, atmosphère, etc.) que l'artefact étudié. Autrement formulé, si les données nécessaires à la construction d'analogies substantielle et structurelle peuvent être collectées par l'observation et l'analyse, l'analogie environnementale nécessite une connaissance *a priori* de l'objet archéologique qui rend quasiment caduc le besoin d'un référentiel expérimental. Une telle connaissance peut cependant rarement être atteinte et deux alternatives sont disponibles : soit postuler les paramètres inconnus, soit définir des conditions standard permettant au mieux de comparer des individus entre eux. C'est le sens de la *température équivalente de cuisson*, telle que proposée par M. S. TITE¹⁸¹ :

179 Bunge (1981).

180 Bunge (1981, p. 223).

181 Tite (1995, p. 40).

« [...] it is more appropriate to define an “equivalent firing temperature” which is that temperature maintained for one hour which would produce the observed mineralogy or microstructure. »

La température équivalente de cuisson ainsi définie n'est donc pas équivalente à la température de cuisson. Il s'agit en effet d'une équivalence de conséquences, étant entendu que celles-ci peuvent résulter d'une multitude de causes : les critères exploités ne sont en effet nullement univoques (exclusivement dépendants de la température). Minéralogie et microstructure sont tout autant liées à la température qu'à l'atmosphère ou à la durée de la cuisson (*infra*, p. 89) et rendent impossible une estimation directe de la seule température¹⁸². L'analogie environnementale n'est pas vérifiée alors qu'il s'agit précisément de l'aspect à établir pour la construction d'un thermomètre du type souhaité.

En rapportant ainsi le caractère particulier de l'artefact à celui, générique, du référentiel-modèle, cette démarche se rapporte théoriquement à une restitution, mais dont on ne peut tirer un argument ou une preuve sans tomber aussitôt dans le piège du raisonnement circulaire : à la fois postulat *a priori* permettant la construction du référentiel et confirmation *a posteriori* du résultat établi sur ce postulat¹⁸³. Il apparaît ainsi que cette démarche d'estimation relève dans sa définition actuelle de la reconstitution : faute d'un modèle pertinent permettant la construction de l'analogie, il s'agit avant tout d'une représentation guidée par l'idée que l'on se fait des techniques de cuisson¹⁸⁴.

Cette confusion n'est pas sans conséquences une fois replacée dans le cadre de l'étude des activités techniques. L'intérêt porté au seul paramètre température relève souvent d'une lecture ethnocentrique de ces activités, sinon d'une conception monotone du développement des techniques potières dont le progrès est associé à des températures de cuisson toujours croissantes¹⁸⁵. Celles-ci résulteraient alors nécessaire-

182 Tite (1995, p. 38), Maggetti, Neururer & Ramseyer (2011), Riccardi, Messiga & Duminuco (1999, p. 189-190).

183 Balut (1982, p. 102-103).

184 Balut (1982, p. 106).

185 Un tel jugement de valeur se manifeste particulièrement dans l'emploi d'une terminologie descriptive connotée : les matériaux céramiques sont ainsi « bien », « mieux », « mal », « sous-cuits », etc.

ment d'une complexification des structures associées, opposant structures bâties et non bâties :

« [...] equivalent firing temperatures, when taken together with information on the firing atmosphere [...] and on the texture of the pottery, can be used to differentiate between open firing and kiln firing, which is perhaps the primary aim of firing temperature determinations **[sic]**. Identification of firing procedure helps to establish the level of technological investment and sophistication employed **[sic]** in the firing of the group of pottery under investigation » (Tite 1995, p. 40).

« [Kiln] is the most economic method **[sic]** of producing ceramics [...]. This is the ideal type of firing system. It has been used by most “advanced” civilizations **[sic]** and is still used, of course » (Velde & Druc 1999, p. 109).

Il faut souligner le glissement, déjà signalé par A. LIVINGSTONE SMITH, qui s'opère ici, assimilant des conditions de cuisson, modalités exploitées par l'artisan, à des techniques¹⁸⁶. Ainsi, la question posée par D. C. W. SANDERSON et J. Q. G. SPENCER, considérant qu'au sein de la série d'artefacts étudiés, les plus anciens « ont été systématiquement mieux cuits » : « déclin technique ou mauvaises ressources ? »¹⁸⁷. Ceci sans que le lien entre la température supposée estimée et ses éventuelles causes soit clairement établi.

Les rares données thermométriques disponibles¹⁸⁸ issues de la documentation ethnographique permettent pourtant de mettre en évidence l'extrême variabilité de la température dans le temps (au cours d'une même cuisson) et l'espace (au sein d'une même structure de cuisson¹⁸⁹ ou de part et d'autre d'un même objet¹⁹⁰ à un instant donné). De plus, Le recouvrement des données (**fig. 15**, p. 79) interdit d'identifier tout lien entre la température maximale atteinte et les structures de cuisson, entre

186 Livingstone Smith (2001a, p. 148).

187 « Decline in firing technology or poorer fuel resources? » (Sanderson & Spencer 2012).

188 Gosselain (1992), Livingstone Smith (2001b).

189 Les écarts de température enregistrés au sein d'un même four peuvent ainsi dépasser 300 °C (Rye 1981 ; Sheehy 1988).

190 Sur ce dernier point, voir également les expériences menées par Maggetti, Neururer & Ramseyer (2011).

lesquelles il n'existe aucune différence significative. Réduire la cuisson à la température maximale atteinte n'a ainsi aucune signification technique et détemporalise des activités qui relèvent de processus dynamiques.

2. Durée

Conscient du problème et de l'importance du facteur temps, M. S. TITE précise que seule la température équivalente est d'intérêt mais ne rend effectivement pas compte de la température au sein de la structure de cuisson. Au mieux celle-ci constitue-t-elle un indice de la chaleur totale transmise au système ayant permis les transformations constatées, soit une combinaison de la température et du temps¹⁹¹. En posant le problème en termes énergétiques, il serait finalement possible d'identifier le type de structure de cuisson, en considérant que le four permet les apports d'énergie les plus importants (**tabl. 3**).

La distinction ainsi construite entre cuisson en four et en aire ouverte constitue cependant une simplification excessive du problème, illustrée par les données ethnographiques disponibles (**fig. 15**). Si des tendances semblent se dégager en fonction des types de structures mis en œuvre, la diversité des pratiques exclut de fait la possibilité d'établir cette distinction pour des situations individuelles. Les données présentées illustrent l'importante variabilité des durées de cuisson pour les structures en fosse contrairement aux fours et cuissons en meules, dont la dispersion est bien moindre, sans qu'il soit pour autant possible de noter des différences marquantes.

Le couplage des paramètres temps et température et l'intérêt ainsi porté aux aspects énergétiques n'en demeurent pas moins pertinents. À ce titre, la vitesse de chauffe semble être le seul paramètre pour lequel il existe des écarts notables, les fours et fosses présentant des vitesses de montée en température bien moindres que les cuissons en meules (**fig. 15**). On notera cependant la rareté des données disponibles concernant les aspects de cinétique des transformations au cours de la cuisson. Il semblerait néanmoins qu'une augmentation de la durée d'exposition à la tempéra-

191 Tite (1995, p. 40), Tite (1999, p. 189). Ce dernier point n'est cependant que très rarement considéré en tant que tel, tant par le maintien d'une notation inappropriée, que par celui d'une appellation ambiguë au sein de laquelle s'opère une omission faisant régulièrement disparaître le terme d'équivalente.

ture maximale d'un facteur 5 équivaldrait à augmenter la température maximale de 30 °C¹⁹². Or, pour les contextes productifs qui nous intéressent ici, il n'est pas déraisonnable de considérer que le contrôle de la cuisson relève avant tout de la gestion de la durée plutôt que de la température.

	Cuisson en aire ouverte (structures non bâties)	Cuissons en four (structures bâties)
Température maximale (T_{max})	500-900 °C	600-1000 °C
Vitesse de montée en température	Très rapide (20 à 30 min)	Lente (plusieurs heures)
Durée du palier à T_{max}	Très courte (env. 1 min)	Prolongée (30 à 60 min)
Gradient de température	Important	Moindre
Atmosphère de cuisson	Variable	Contrôlée

Tableau 2 : caractéristiques des structures de cuisson d'après Tite (1995, p. 39).

La distinction ainsi construite entre cuisson en four et en aire ouverte constitue cependant une simplification excessive du problème.

Caractériser le processus de cuisson en termes de couple temps-température doit en effet faire intervenir trois variables indissociables que sont la vitesse de chauffe, la température maximale atteinte et la durée d'un éventuel palier isotherme (*soaking time*)¹⁹³. Variables auxquelles nous ajoutons la vitesse de refroidissement. En effet, la phase de refroidissement fait *strictement* partie de la cuisson : de la vitesse de ce dernier dépend le déroulement de certaines transformations dont la réalisation est susceptible d'affecter les propriétés du produit fini (*infra*, p. 96). À cet égard, deux situations coexistent. Dans un premier cas, les produits peuvent être laissés à refroidir dans la structure, dont l'inertie thermique va permettre de prolonger cette dernière phase de la cuisson ou, dans un deuxième cas, leur exposition à des températures élevées peut être brutalement interrompue en les sortant de la structure¹⁹⁴.

192 Norton & Hodgdon (1931, p. 177), Berenshtein, Finkel' & Il'ina (1980).

193 Livingstone Smith (2001b, p. 992).

194 Livingstone Smith (2001a, p. 160).

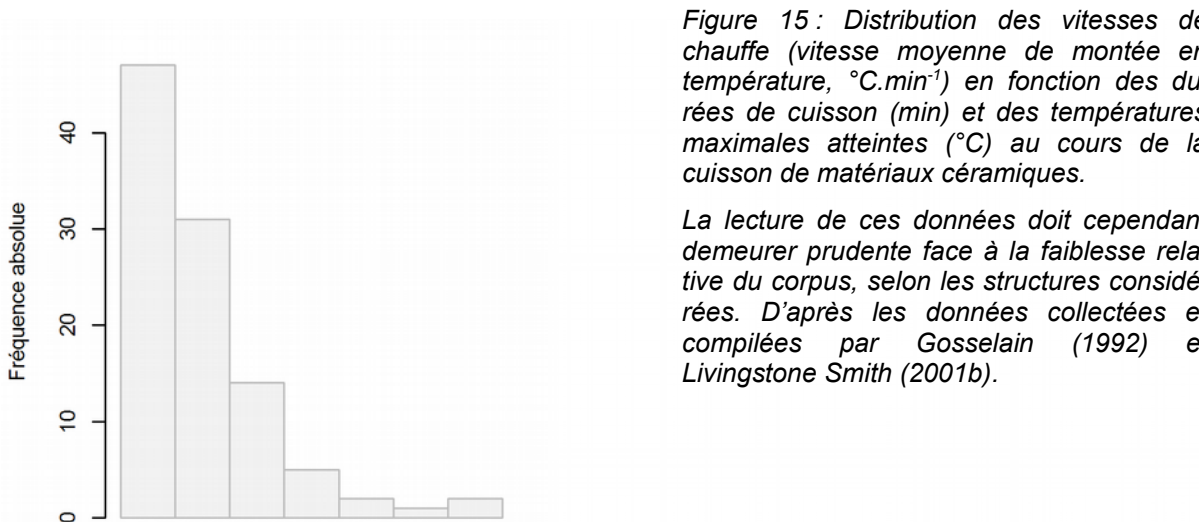
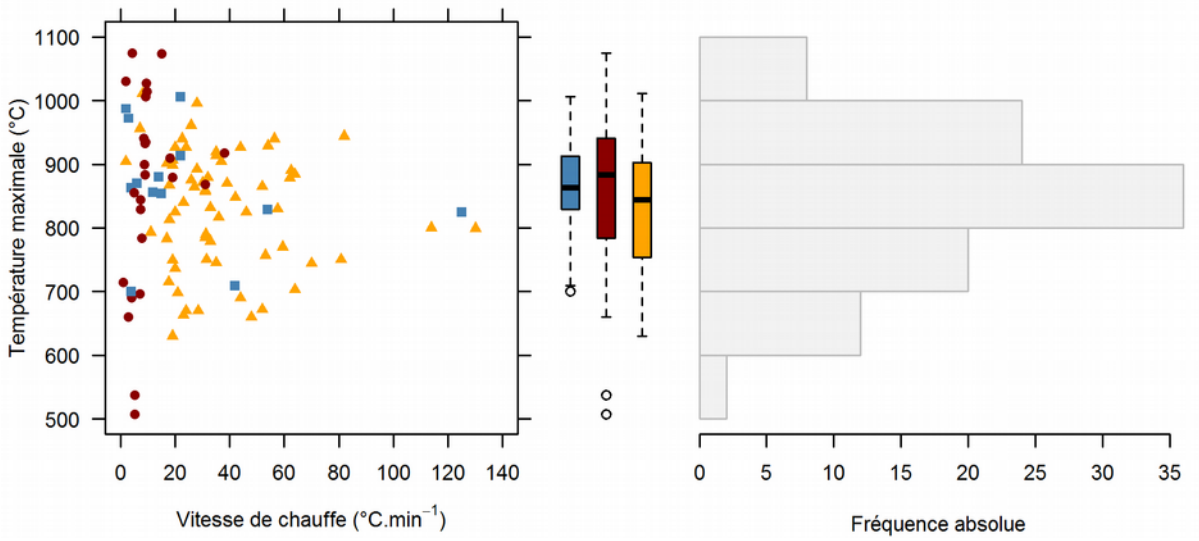
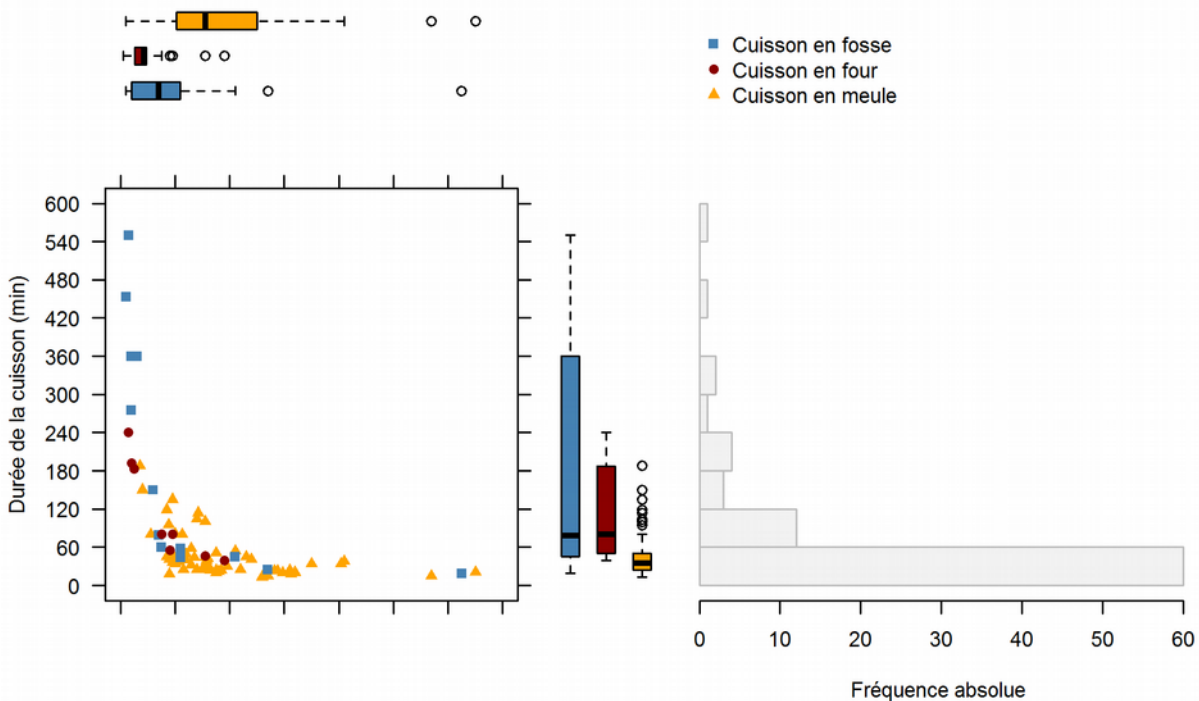


Figure 15 : Distribution des vitesses de chauffe (vitesse moyenne de montée en température, °C.min⁻¹) en fonction des durées de cuisson (min) et des températures maximales atteintes (°C) au cours de la cuisson de matériaux céramiques.

La lecture de ces données doit cependant demeurer prudente face à la faiblesse relative du corpus, selon les structures considérées. D'après les données collectées et compilées par Gosselain (1992) et Livingstone Smith (2001b).



M. PICON propose ainsi une segmentation de l'étape de cuisson, distinguant la cuisson *stricto sensu*, soit la montée en température et un éventuel palier isotherme, de la cuisson *lato sensu*, la cuisson au sens strict complétée de la phase de refroidissement¹⁹⁵. Si le découpage proposé permet de bien mettre en évidence la succession des différentes phases, il tend également à marquer des ruptures nettes entre celles-ci, que l'auteur associe également à des changements de l'atmosphère de cuisson. Il apparaît cependant que les frontières sont souvent floues et que les différents paramètres n'évoluent pas nécessairement de façon synchrone (*infra*).

3. Atmosphère

a. Composition et variations de l'atmosphère de cuisson

La composition de l'atmosphère de cuisson des matériaux céramiques apparaît comme un mélange complexe et changeant. Gaz et particules en suspension issus de la combustion et des transformations de la matière première argileuse s'ajoutent en effet à ceux présents lors de la fermeture du four (les gaz de l'atmosphère terrestre ; **tabl. 3**). L'atmosphère au sein du laboratoire est ainsi susceptible d'évoluer au cours du temps, au gré de l'avancement de la cuisson, et d'osciller entre un domaine oxydant (correspondant aux conditions normales à la surface de la Terre ; *infra*, p. 82) et un domaine réducteur.

	P _{totale}	N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	CH ₄	Kr	H ₂	CO
%		78,08	20,95	0,93							
ppm					380	18,18	5,24	1,70	1,14	0,55	<10 ⁻³
Pa	1,01 × 10 ⁵	7,92 × 10 ⁴	2,12 × 10 ⁴	9,47 × 10 ²	3,85 × 10 ¹	1,84	5,31 × 10 ⁻¹	1,72 × 10 ⁻¹	1,16 × 10 ⁻¹	5,58 × 10 ⁻²	1,01 × 10 ⁻²

Tableau 3 : Composition moyenne de l'atmosphère terrestre (air sec). D'après Williams (s. d.).

La pratique archéologique ne retient cependant que ces deux extrêmes et les oppose (cuisson oxydante *vs.* cuisson réductrice). Il est alors entendu que des conditions oxydantes permettent la fabrication de matériaux de couleur rouge à beige (les

195 Picon (2002, p. 140-141).

céramiques couramment dites à « *pâte claire* »¹⁹⁶), tandis que des conditions réductrices permettent d'obtenir des teintes entre le gris et le noir¹⁹⁷.

L'apparition d'une coloration rouge suite à la cuisson est très majoritairement associée à la présence d'oxydes de fer ferrique : de faibles teneurs en hématite (de l'ordre de 1 % massique) sont en effet à même de conférer à la matrice céramique une teinte rosée¹⁹⁸. Tandis que, à l'inverse, la présence de spinelles semi-ferreux (magnétite et hercynite) provoque l'apparition d'une coloration grise ou noire, parfois accentuée par la présence de carbone dans les pores de la matrice¹⁹⁹.

Pour autant, la seule présence de fer ne constitue pas une condition suffisante au développement de cette coloration²⁰⁰. L'élément fer est en effet susceptible d'être incorporé lors de la formation de phases amorphes ou cristallines au cours de la cuisson, par le jeu des substitutions, plutôt que de perdurer sous la forme d'oxydes libres, affectant ainsi ses propriétés chromogènes. Auquel cas, le jeu des substitutions conduit alors au développement d'une coloration rose à jaune, parfois très lumineuse :

- Dans le cas des céramiques peu calcaïques (sur la classification des matériaux céramiques : *infra*, p. 89), il s'agit alors essentiellement de la substitution de Al^{3+} par Fe^{3+} dans la structure de la mullite ou de l'incorporation de cations Fe^{3+} au sein de la métakaolinite amorphe²⁰¹.
- Dans le cas des céramiques calcaïres à très calcaïres, les cations Fe^{2+} et Fe^{3+} sont incorporés au sein de pyroxènes (préférentiellement en coordination octaédrique, par diffusion à l'état solide en remplacement d'ions Mg^{2+} et Ca^{2+}) ou

196 Cette appellation ambiguë, substituant un qualificatif de luminosité à un adjectif de couleur, désigne des artefacts dont la surface n'est ni grise ni noire, quelles qu'en soient l'intensité, la saturation ou la luminosité de leur coloration (Picon 2002, p. 139). Cette définition par la négative conduit au regroupement de productions susceptibles de présenter des caractéristiques techniques et des propriétés pour le moins hétérogènes.

197 Picon (2002, p. 139-147).

198 Le rôle des oxydes de titane ou de manganèse est également rapporté mais apparaît d'une influence bien moindre. Houseman & Koenig (1971a), Kreimeyer (1987), Molera, Pradell & Vendrell-Saz (1998), Valanciene, Siauciunas & Baltusnikaite (2010).

199 Molera, Pradell & Vendrell-Saz (1998), Picon (2002), Nodari *et al.* (2004).

200 Kreimeyer (1987).

201 Kreimeyer (1987).

de phases du groupe des mélilites (en coordination tétraédrique), prévenant ainsi la formation de spinelles (hercynite)²⁰².

b. Évolution des conditions d'oxydoréduction

Domaines oxydant et réducteur

Si cette approche chromatique est certainement pratique, elle pose néanmoins un problème : celui de la frontière entre domaines oxydant et réducteur. Ceci d'autant plus que les conditions nécessaires à la réalisation de réactions d'oxydoréduction sont propres au couple d'agents réducteur et oxydant considéré. La coloration des matériaux constituant ici le critère diagnostique, les couples oxydant-réducteur d'intérêt sont donc ceux faisant intervenir les composés chromogènes présents dans la matrice céramique : les oxydes et hydroxydes de fer.

L'hématite présente dans les matériaux céramiques a une double origine : à la fois primaire, présente dans la ou les matières premières mises en œuvre, et secondaire, conséquence de la déshydratation d'oxyhydroxydes de fer (goëthite par exemple ; **réac. 2**), de la déshydroxylation de minéraux argileux (chlorite et micas en particulier²⁰³) ou de l'oxydation de certains spinelles (maghémite, magnétite ou hercynite) au cours de la cuisson²⁰⁴.



La conversion de l'hématite en magnétite, et réciproquement, est un phénomène naturel relativement commun, décrit par des processus d'oxydoréduction, tels que résumés par les réactions 3 à 5 :



202 Maniatis, Simopoulos & Kostikas (1983, p. 780), Nöller & Knoll (1985), Vandenberghe (1991) cité par Molera, Pradell et Vendrell-Saz (1998).

203 Vedder & Wilkins (1969), Nodari *et al.* (2007).

204 Rathossi & Pontikes (2010).



Ces dernières étant liées entre elles par les réactions 6 et 7 :



Considérant la réaction 3 dans le sens de l'oxydation de la magnétite en hématite, la variation d'enthalpie libre de réaction ($\Delta_r G$) associée est donnée par l'équation 8 :

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{1}{P_{\text{O}_2}}\right) \quad (8)$$

$\Delta_r G^\circ$ est la variation d'enthalpie libre standard de réaction (en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$), R la constante des gaz parfaits ($R=8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), T la température (en K), P_{O_2} et $P_{\text{O}_2}^{\text{eq}}$ la pression partielle de dioxygène ambiante et à l'équilibre, respectivement.

Avec $\Delta_r G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{1}{P_{\text{O}_2}^{\text{eq}}}\right)$, l'équation 8 devient $\Delta_r G = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{P_{\text{O}_2}^{\text{eq}}}{P_{\text{O}_2}}\right)$ (9)

Pour que cette réaction se produise spontanément, la variation d'enthalpie libre de réaction doit être négative, soit :

$$P_{\text{O}_2} > P_{\text{O}_2}^{\text{eq}}$$

De même, pour que les réactions 4 et 5 se produisent spontanément dans le sens de l'oxydation, les conditions suivantes doivent être vérifiées :

$$\frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} < \left(\frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}}\right)^{\text{eq}} \quad \text{ou} \quad \frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}} < \left(\frac{P_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}\right)^{\text{eq}}$$

La courbe décrivant l'évolution des conditions d'équilibre en fonction de la température est ensuite aisément calculée à l'aide de la relation 10 ($\Delta_r G^\circ$ correspondant aux variations d'enthalpie libre de formation et ν aux coefficients stœchiométriques).

$$\Delta_r G^\circ = \sum \nu_{\text{produits}} \Delta_f G^\circ_{\text{produits}} - \sum \nu_{\text{réactifs}} \Delta_f G^\circ_{\text{réactifs}} \quad (10)$$

La frontière entre domaines oxydant et réducteur correspond ainsi à la courbe d'équilibre univariante $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dans le diagramme $P_{\text{O}_2} = f(T)$ (**fig. 16**)²⁰⁵. Le domaine de stabilité de l'hématite correspond aux conditions d'une cuisson dite oxydante tandis qu'une cuisson réductrice correspondra au domaine de stabilité de la magnétite. Il est également possible, en considérant la réaction 11, de définir un domaine très réducteur correspondant au domaine de stabilité de la wüstite (**fig. 16**).

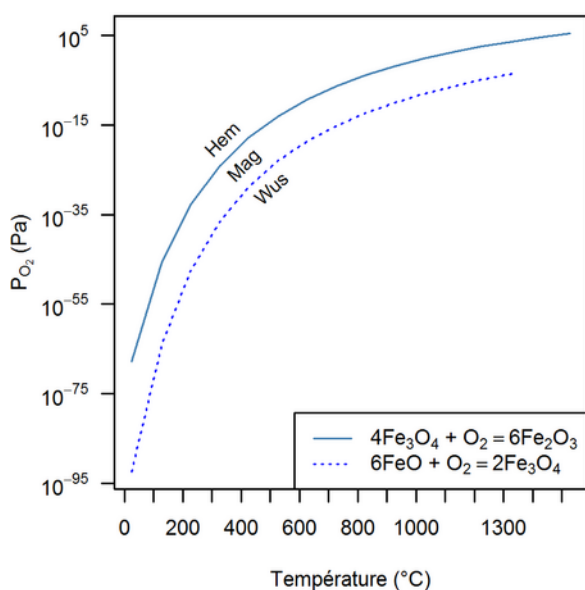


Figure 16 : Courbe d'équilibre de la réaction d'inter-conversion de l'hématite et de la magnétite dans le diagramme $P_{\text{O}_2} = f(T)$.

La nature de l'atmosphère de cuisson est indissociable de la température et plus la température augmente, plus il apparaît difficile de maintenir des conditions oxydantes.

205 Letsch & Noll (1983, p. 259).

Mécanismes de réduction

Les conditions prévalant à la surface de la Terre (**tabl. 3**) assurent la stabilité de l'hématite (dans des conditions standard, la pression partielle de dioxygène atmosphérique est supérieure à la pression partielle d'équilibre ; **fig. 16**) : sans surprise, l'atmosphère terrestre est actuellement oxydante. Ces conditions prévalent également à l'intérieur du four au moment de sa fermeture, et la réalisation d'une cuisson dite réductrice fait donc intervenir des méca-

nismes particuliers, entraînant une modification de la composition de l’atmosphère de cuisson.

J. LETSCH et W. NOLL distinguent deux mécanismes de réduction au cours de la cuisson de matières céramiques : une réduction dite « enfumée » (*smoking reduction*), et son corollaire, la réduction « en atmosphère claire » (*non-smoking reduction*)²⁰⁶.

Le premier mécanisme (*smoking reduction*) intervient en absence d’oxygène et entraîne le dépôt de carbone aux reflets métallescents (*Glanzkohlenstoff*) à la surface des céramiques. Ce dernier se forme en absence d’oxygène par précipitation du carbone produit lors du craquage* d’hydrocarbures volatils. Ce mécanisme perdure tant que sont présents des matériaux non carbonisés (combustible essentiellement), susceptibles de former des composés volatils par distillation sèche*,²⁰⁷.

Le second mécanisme (*non-smoking reduction*) intervient exclusivement selon les conditions décrites par l’équilibre de Boudouard (**réac. 12**), pour lequel le carbone est uniquement précipité au cours du refroidissement suite à la rupture de l’équilibre (**fig. 17**).



La contrainte est alors la suivante : ce mécanisme nécessite de se dérouler dans une enceinte fermée, telle qu’il n’y ait pas d’apports supplémentaires depuis le milieu extérieur. Condition sans doute seule-

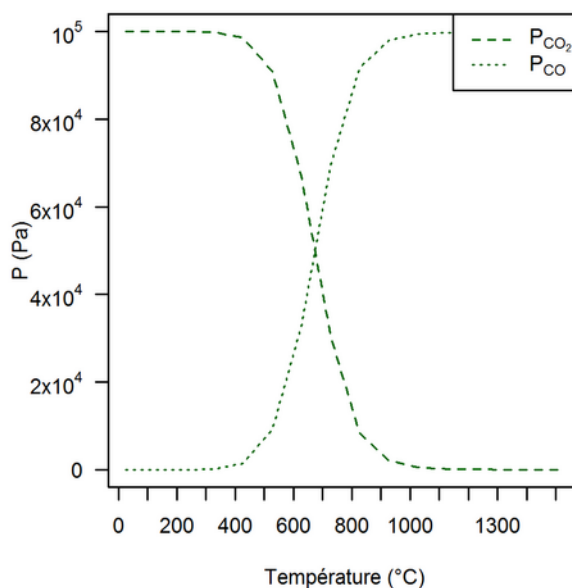


Figure 17 : évolution des pressions partielles de dioxyde et de monoxyde de carbone en fonction de la température, selon l’équilibre de Boudouard ($P_{totale} = 10^5 \text{ Pa}$).

206 Letsch & Noll (1983).

207 Letsch & Noll (1978, p. 165), Letsch et Noll (1983, p. 259).

ment partiellement réalisable pour les contextes techniques qui nous intéressent ici, pour lesquels différents phénomènes sont susceptibles de modifier la composition atmosphérique et donc d'affecter les conditions d'équilibre (modification du tirage, recharge en combustible, etc.)²⁰⁸. Néanmoins, si l'on considère la situation idéale, où le seul mécanisme à l'œuvre est l'équilibre de Boudouard, et où la pression totale du système est de 10^5 Pa, l'évolution du rapport P_{CO}/P_{CO_2} est telle que les conditions deviennent spontanément réductrices au-delà de 740 °C (**fig. 18**).

La distinction opérée par J. LETSCH et W. NOLL est d'autant plus intéressante qu'elle permet de distinguer des mécanismes habituellement regroupés indifféremment sous l'appellation de « cuisson réductrice ».

c. Le rouge et le noir : la couleur comme critère diagnostic ?

L'approche chromatique des céramiques archéologiques a abouti à la construction d'une classification des modes de cuisson qui voit se succéder phases oxydantes et réductrices (**tabl. 4**, p. 88).

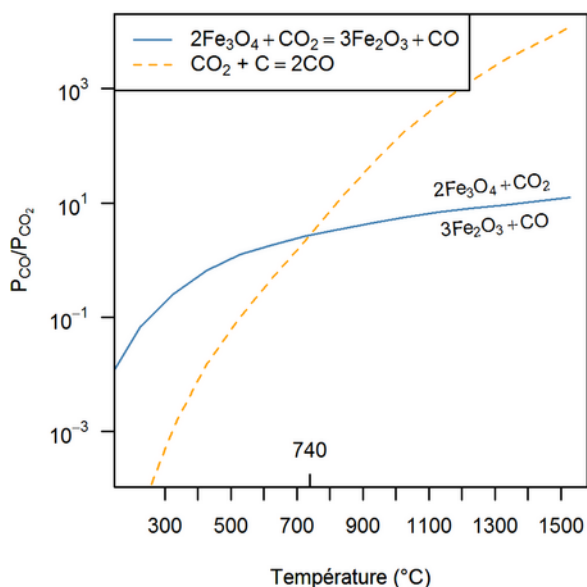


Figure 18 : équilibre de Boudouard (éq. 12) et courbe d'équilibre de la réaction de conversion de l'hématite et de la magnétite (éq. 5) en fonction de l'évolution du rapport P_{CO}/P_{CO_2} et de la température.

Celle-ci repose sur une lecture séquentielle des variations de coloration au sein d'un même objet, entre la partie interne et la paroi. La coloration des matériaux étudiés est ainsi considérée comme un critère diagnostic (univoque) des conditions d'oxydoréduction globales au sein de la structure de cuisson. L'évolution des conditions globales est alors considérée comme une donnée renseignant sur les stratégies techniques mises en œuvre au cours de la fabri-

208 Letsch & Noll (1983, p. 259).

cation de matériaux céramiques (type de structure de cuisson, conduite de cette dernière, etc.).

S'il ne fait aucun doute que la coloration des matériaux céramiques est contrôlée par le rapport Fe^{2+}/Fe^{3+} (*supra*, p. 82), la nature des processus qui relient ce constat et les mécanismes de réduction précédemment expliqués reste à établir (*supra*, p. 84). Les réactions de conversion de l'hématite et de la magnétite (**réac. 3 à 5**) étant dépendantes d'un contact entre gaz et solides, ces dernières sont donc essentiellement contrôlées par la diffusion des gaz à travers la matrice argileuse et les pores de cette dernière²⁰⁹. Ce constat appelle alors deux remarques :

- D'une part, par définition, le sens de diffusion est l'inverse du gradient de concentration.
- D'autre part, à température et pression constantes, la vitesse de diffusion d'un gaz (v_{diff}) est inversement proportionnelle à la racine carrée de sa masse molaire (loi de Graham), de telle sorte que :

$$v_{diff}^{H_2} > v_{diff}^{H_2O} > v_{diff}^{CO} > v_{diff}^{O_2} > v_{diff}^{CO_2}$$

L'état d'oxydation du fer sera donc modifié si les conditions atmosphériques globales se trouvent changées au cours de la cuisson, à mesure que les gaz diffusent à travers la matrice céramique, affectant cette dernière progressivement depuis la paroi vers l'intérieur. Pour les modes de cuisson aux conditions invariantes (modes A et C, **tabl. 4**), les matériaux fabriqués doivent présenter une coloration homogène entre les parties interne et externe. Au contraire, les cuissons pour lesquelles plusieurs modifications des conditions d'oxydoréduction interviennent (modes B et D, **tabl. 4**), sont susceptibles de conférer aux produits une coloration polychrome, couramment qualifiée de « *sandwich* »²¹⁰. La couleur de la partie interne est alors considérée comme la conséquence des conditions régnant dans le four au cours de la montée en température, tandis que celle des parties superficielles correspondrait aux conditions propres au refroidissement.

209 Houseman & Koenig (1971b, p. 75).

210 Nodari *et al.* (2004).

Mode de cuisson	Conditions atmosphériques...	
	...lors de la chauffe	...lors du refroidissement
A	réductrice	oxydante
B	réductrice	réductrice
C	oxydante	oxydante
D	oxydante	réductrice

Tableau 4 : classification des modes de cuisson des matériaux céramiques archéologiques en fonction de la succession des phases d'oxydoréduction, d'après Picon (2002).

À noter que le mode D est considéré par l'auteur comme n'ayant jamais existé.

L'hétérogénéité des conditions d'oxydoréduction au sein d'une même structure de cuisson constitue cependant une première difficulté, qui peut être accentuée par la géométrie des artefacts en cours de cuisson. Une mauvaise circulation des gaz liée à un tirage déficient, à la présence d'objets présentant un faible diamètre d'ouverture ou dont l'ouverture est au moins partiellement obstruée sont autant de situations susceptibles d'entraîner l'apparition de conditions d'oxydoréduction s'écartant localement des conditions globales (prévalant à l'échelle de la structure de cuisson ; *infra*, p. 133)²¹¹.

À cela peuvent également s'ajouter des variations locales des conditions d'oxydoréduction, conséquences de réactions et de transformations internes au matériau en cours de cuisson. La combustion de matière organique présente au sein de la matière première argileuse est en effet à même de provoquer l'apparition de conditions réductrices locales, quand bien même les conditions au sein de la structure de cuisson seraient globalement oxydantes²¹². À l'inverse, dans des conditions globalement réductrices, la présence de vapeur d'eau (notamment issue des minéraux hydratés ; *infra*, p. 94) favorise la disparition d'une coloration interne grise ou noire en oxydant le carbone présent²¹³. À l'inverse, en accord avec la **réaction 13**, la présence de vapeur d'eau contribue à accentuer des conditions initialement réductrices par la présence de dihydrogène, et tend ainsi à augmenter la teneur en fer II²¹⁴. Dès lors que la durée de la cuisson (*supra*, p. 77) n'a pas été suffisante pour équilibrer macro- et micro-conditions d'oxydoréduction, les conséquences de ces dernières (en termes d'état d'oxydation du fer) peuvent demeurer au sein des produits finis.

211 Velde & Druc (1999, p. 122-126).

212 Maritan *et al.* (2006).

213 Houseman & Koenig (1971a, p. 83).

214 Houseman & Koenig (1971b, p. 75).



L'utilisation de la coloration interne des matériaux céramiques comme critère diagnostique de l'évolution des conditions d'oxydoréduction globales au cours de la cuisson apparaît ainsi très fortement limitée.

B. D'un matériau à l'autre

1. Mécanismes de transformation

La fabrication de matériaux céramiques met en jeu des transformations à l'état solide telles que la composition minéralogique du produit fini diffère de celle de la matière première²¹⁵. Pour les contextes productifs qui nous intéressent ici, ces transformations interviennent au sein d'une matière première silicatée, appartenant au système ternaire CaO-Al₂O₃-SiO₂ (CAS ; **fig. 19** et **20**). Le nombre de phases* dont la formation est attendue au cours de la cuisson est donc relativement limité et il est théoriquement possible d'en prédire l'apparition pour un mélange de composition donnée à l'équilibre thermodynamique*.

La formation au cours de la cuisson de nouvelles phases plus ou moins riches en calcium est ainsi susceptible d'intervenir pour certaines gammes de composition de matières premières, comme illustré par les diagrammes de phases SiO₂-CaO et SiO₂-Al₂O₃ (**fig. 21**, p. 93). Ce constat conduit donc généralement à distinguer matériaux céramiques calcaires et non-calcaires en fonction de la teneur en CaO. Une courte revue de la littérature fait néanmoins apparaître la variabilité du seuil entre ces deux catégories, fixé selon les auteurs à 3 %²¹⁶, 5 %²¹⁷, 6 %²¹⁸ voire 6 à 8 %²¹⁹ de CaO (massique).

215 Heimann (1989, p. 123), Velde & Druc (1999, p. 5).

216 Kaenel *et al.* (1982, p. 111).

217 Noble (1988).

218 Maniatis & Tite (1981, p. 68), Jones (1984), Maniatis (2009, p. 16).

219 Picon (2002, p. 144).

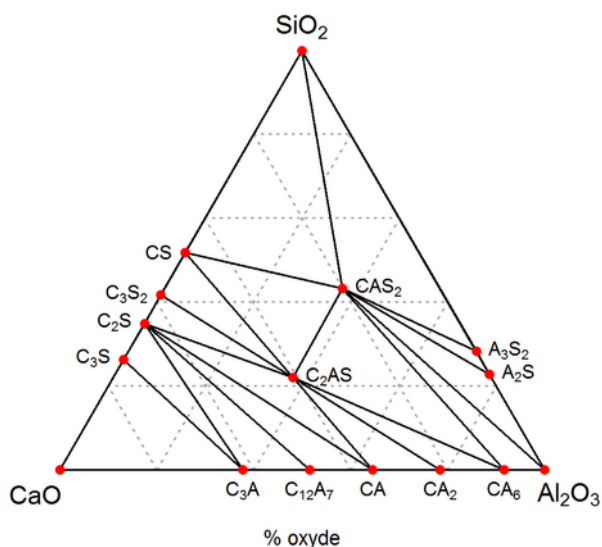


Figure 19 : triangles de compatibilité au sein du système ternaire $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

Pour un mélange de composition donnée au sein de ce système, la formation des phases (figurées en rouge) constituant les sommets du triangle correspondant est attendue, sous réserve que l'équilibre thermodynamique soit atteint. Par commodité la notation cimentière des phases a été maintenue (cf. annexe A1, p. 201).

Si cette classification des matériaux céramiques peut apparaître pertinente dans le cadre d'une analyse technique – les phases néoformées ne sont pas sans conséquences sur la couleur (*supra*, p. 86 ; *infra*, p. 179) ou les propriétés mécaniques des produits finis (*infra*, p. 176) – il apparaît judicieux d'en poser une définition ne reposant pas sur l'analyse d'un cas particulier. Nous faisons donc nôtre la définition proposée par W. NOLL, distinguant au sein du système $(\text{CaO}+\text{MgO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ les matériaux peu calcaires, calcaires et très calcaires de part et d'autre des conodes* quartz-anorthite et wollastonite (diopside)-anorthite (**fig. 20**)²²⁰.

L'énergie nécessaire à ces transformations est apportée sous forme de chaleur au cours de la cuisson, sans que la fusion totale soit atteinte, de telle sorte que *le processus de transformation tend vers l'équilibre thermodynamique mais ne le réalise jamais*²²¹. Une des raisons expliquant cet écart à l'état d'équilibre réside dans le contrôle exercé par les cinétiques des réactions, plus que par la thermodynamique d'équilibre au cours de la fabrication de matériaux céramiques²²². En considérant les durées en jeu pour les contextes productifs qui nous intéressent ici, *les réactions tendent à se déclencher pour des tempéra-*

220 Cette définition est d'autant plus pertinente que le système $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ représente l'essentiel des composés présents dans la matière première argileuse pour les contextes productifs qui nous intéressent ici. Il n'existe qu'un nombre limité de composés intervenant dans les réactions de transformation au cours de la cuisson et cette définition reste valide si l'on considère également des oxydes mineurs (cas du système $(\text{MgO}+\text{CaO})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ par exemple ; Noll (1991, p. 23-29)). De plus, la distinction entre ces catégories ne s'opère pas selon un seuil fixe mais bien relativement aux teneurs en oxydes majeurs, seule approche pertinente en considérant le caractère par définition multivarié des données dites de composition (cf. annexe A4, p. 235).

221 Grapes (2006, p. 191).

222 Heimann (1989, p. 123).

tures plus élevées que celles attendues dans des conditions d'équilibre et l'essentiel des matériaux céramiques archéologiques se caractérisent par des transitions de phases figées. Deux types de réactions de transformation interviennent au cours de la cuisson des matériaux céramiques²²³ :

- Le remplacement à l'état solide d'une phase par une autre avec peu ou pas de changements de la composition élémentaire globale²²⁴ ;
- La diffusion à l'interface entre deux grains entraînant la germination et le développement de nouvelles phases avec des compositions différentes.

Dans ce dernier cas, la vitesse des réactions est alors déterminée par le plus lent des mécanismes suivants²²⁵ :

1. La dissolution des phases réactives ;
2. La diffusion des composés ainsi libérés ;
3. La germination et la croissance des phases produites ;

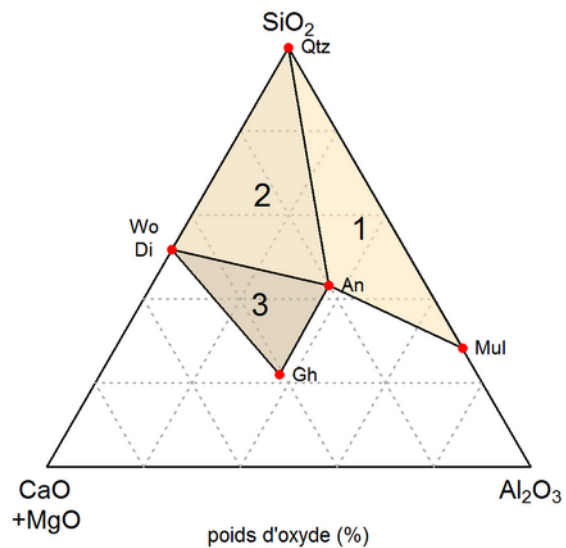


Figure 20 : catégories de matériaux céramiques dans le système (CaO+MgO)-Al₂O₃-SiO₂, d'après Noll (1991, p. 23-29), Heimann (2010, p. 106).

(1) Céramiques peu calcaires ; (2) Céramiques calcaires ; (3) Céramiques très calcaires.

²²³ Cultrone *et al.* (2001, p. 633).

²²⁴ L'énergie de changement est alors minimisée en conservant la texture* et l'orientation initiale.

²²⁵ Sanchez-Navas (1999, p. 1270).

4. Les modifications de pression et de température affectant la variation d'enthalpie libre.

La cuisson de matériaux céramiques est un événement relativement limité dans le temps, et si des réactions de diffusion à l'interface des grains peuvent être accentuées par des transports de masses résultant de la fusion partielle*, les mélanges siliceux ont cependant une viscosité élevée et les réactions les mettant en jeu interviennent très lentement²²⁶. De plus, de nombreux mélanges silicatés appartenant au système CaO-Al₂O₃-SiO₂ peuvent former des liquides en surfusion* dans des conditions sub-liquidus*, entraînant la formation de phases métastables*,²²⁷. Ainsi, les matériaux céramiques qui nous intéressent constituent des matrices très hétérogènes, autorisant l'existence de micro-équilibres confinés aux interfaces de réaction entre les grains. Ces micro-équilibres peuvent alors entraîner la formation de phases minérales thermodynamiquement incompatibles à l'échelle du système global²²⁸. L'apparition de nouvelles phases est cependant conditionnée par la mise à disposition de partenaires de réaction, retardant d'autant le déclenchement de ces réactions de transformation par rapport aux situations décrites par les diagrammes de phase.

2. Transformations au cours de la cuisson

Avant de s'attacher à la description des réactions entraînant la formation de nouvelles phases (cristallines ou non) au cours de la cuisson, il apparaît nécessaire dans un premier temps de s'arrêter sur les mécanismes conduisant à la mise à disposition d'oxydes fortement réactifs permettant la réalisation de celles-ci : la déshydroxylation des minéraux argileux et la décomposition thermique des carbonates de calcium. Il ne s'agit cependant pas ici de dresser la liste exhaustive des réactions en jeu, mais bien d'illustrer la multiplicité et la complexité des réactions entraînant la formation d'un matériau micro-composite.

226 Bergeron & Risbud (1984, p. 126), Heimann (1989, p. 132), Cultrone *et al.* (2001, p. 633).

227 Tsuchiyama (1983, p. 687), Rocabois *et al.* (2001, p. 99).

228 Maggetti (1986, p. 96-97).

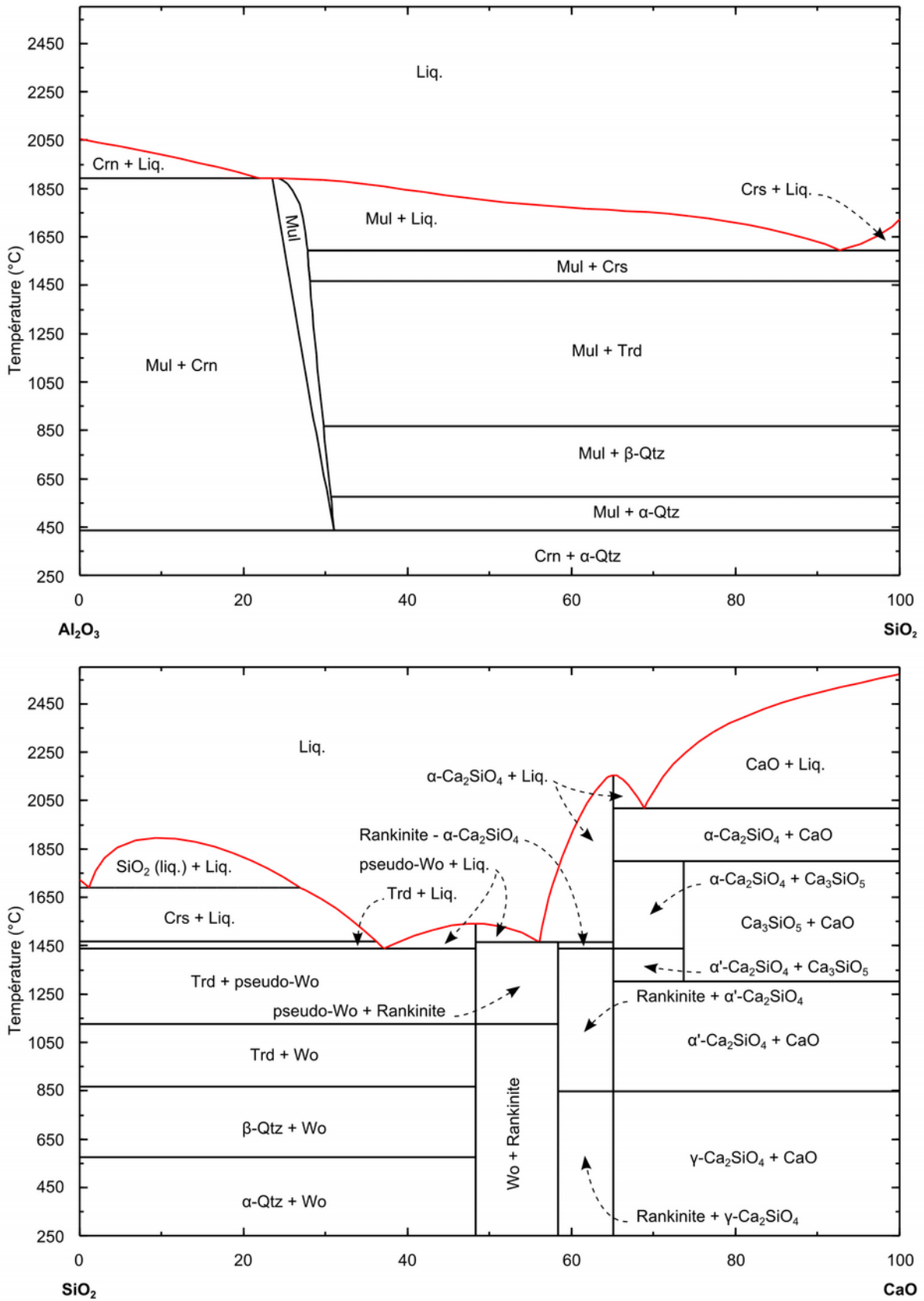


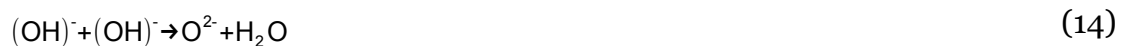
Figure 21 : diagrammes de phases binaires Al_2O_3 - SiO_2 (en haut) et SiO_2 - CaO (en bas) à 10^5 Pa.

Les concentrations sont exprimées en pourcentages massiques. Les diagrammes ont été calculés à l'aide du logiciel FactSage (Bale et al. 2009).

a. Déshydroxylation des minéraux argileux

L'existence de charges à la surface des feuillets et l'importante surface spécifique des minéraux argileux leur confère une forte affinité avec les molécules d'eau (*supra*, p. 43). Au cours de la cuisson, la transformation des minéraux argileux intervient ainsi en plusieurs étapes, liées à une perte progressive de ce contenu en eau à mesure que la température augmente²²⁹.

1. En premier lieu, intervient la déshydratation. Celle-ci correspond, d'une part, à la perte de l'eau dite libre, non chimiquement liée aux cristaux²³⁰ et, d'autre part, à la perte de l'eau liée, soit absorbée à la surface des cristaux, soit adsorbée en position inter-foliaire.
2. Dans un second temps, a lieu la perte de l'eau cristalline ou déshydroxylation. Cette perte des groupements (OH)⁻ entraîne une amorphisation progressive des réseaux cristallins et la formation de vapeur d'eau (**réac. 14**)²³¹, une mise à disposition de composés, voire la formation de nouvelles phases.



3. Enfin, les réseaux cristallins sont complètement détruits et de nouvelles phases sont formées.

Les conditions de déshydroxylation des minéraux argileux font encore l'objet d'investigations et sont affectées par de nombreux facteurs, comme la composition chimique, la taille des cristaux, la pression partielle des produits gazeux de la réaction, la présence de partenaires de réaction ou les conditions de chauffe (*supra*, p. 89)²³².

229 Les frontières entre ces étapes ne sont pas systématiquement aussi bien marquées, certaines d'entre elles peuvent d'ailleurs intervenir quasi-simultanément (Brindley & Lemaitre 1987, p. 320). Voir également Velde & Druc (1999, p. 51-54).

230 Cette étape est généralement réalisée au cours du séchage, dans des conditions atmosphériques.

231 Brindley & Lemaitre (1987, p. 329-331).

232 Ainsi, la déshydroxylation de la muscovite intervient à 560 °C en 21 jours dans des conditions telles que $P_{\text{totale}} \approx P_{\text{H}_2\text{O}} \approx 10^5$ Pa (Velde 1966).

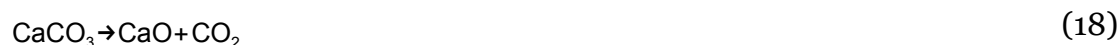
À titre d'exemple, la kaolinite fait partie des premiers minéraux (en termes de température) à subir une déshydroxylation, entraînant la formation de métakaolinite et de vapeur d'eau (**réac. 15**)²³³, conduisant *in fine* à la formation de mullite et de cristoballite (**réac. 16**). La déshydroxylation de l'illite/muscovite est quant à elle attendue pour des gammes de températures supérieures, et entraîne la formation de sanidine et de corindon, toujours accompagnée de vapeur d'eau (**réac. 17**)²³⁴



b. Décomposition thermique des carbonates de calcium

Décarbonatation

L'oxyde de calcium (chaux vive, CaO) est issu de la décomposition thermique de carbonates de calcium, au premier rang desquels figurent la calcite et la dolomite. Au cours de la cuisson, la calcite se décompose en chaux vive et en dioxyde de carbone gazeux (**réac. 18**)²³⁵ :



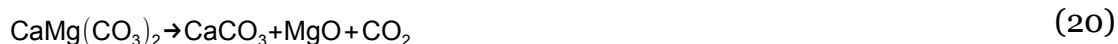
La décomposition de la dolomite apparaît comme un mécanisme plus complexe, conduisant à l'apparition de périclase, de chaux et de dioxyde de carbone en une (**réac. 19**) ou deux étapes (**réac. 20**, suivie de la décomposition de la calcite, **réac. 18**). Le déroulement de ce processus en deux étapes est essentiellement lié à une carbonatation immédiate de la chaux produite (*infra*, p. 96), entraînant ainsi la formation de calcite, dont la décomposition interviendra dans un second temps²³⁶.

233 Cette réaction intervient vers 520 °C dans des conditions telles que $P_{\text{totale}} \approx P_{\text{Ar}} \approx 10^5$ Pa (Yeskis, van Groos & Guggenheim 1985).

234 Velde (1966).

235 Treiman & Essene (1983).

236 Wiedemann & Bayer (1987).



Comme précédemment (*supra*, p. 82), l'expression de la variation d'enthalpie libre de réaction permet de calculer la courbe décrivant l'évolution de la pression partielle de CO_2 à l'équilibre en fonction de la température et de déterminer les conditions pour lesquelles la réaction 18 se produit spontanément ($\Delta_r G < 0$), soit :

$$P_{\text{CO}_2} < P_{\text{CO}_2}^{\text{eq}}$$

Dans les conditions (oxydantes) prévalant à la surface de la Terre (soit $P_{\text{CO}_2} \approx 38,5 \text{ Pa}$), la réaction 18 se produit pour des températures supérieures à $530 \text{ }^\circ\text{C}$ (**fig. 22**)²³⁷. À l'inverse, il est aisé de constater l'effet retardateur des cuissons sous flux de dioxyde de carbone. Si l'on considère une cuisson réductrice suivant l'équilibre de Boudouard, la pression de dissociation ne sera pas égale à la pression partielle de CO_2 ambiante (c'est-à-dire la pression d'équilibre $\text{C}/\text{CO}/\text{CO}_2$; **réac. 12**) avant d'avoir dépassé une température de $770 \text{ }^\circ\text{C}$ environ, soit 240° de plus en comparaison d'une cuisson oxydante (**fig. 22**)²³⁸. En plus de l'atmosphère de cuisson, la décomposition thermique des carbonates de calcium est à même d'être affectée par de nombreux paramètres tels que la granulométrie (affectant les surfaces d'échange) ou la cristallinité, ainsi que la diffusion des gaz (notamment du CO_2) ou les transferts de chaleur au travers de la matrice céramique²³⁹.

Carbonatation

La chaux vive présente dans la matrice céramique est également susceptible de reformer de la calcite par une transformation en deux étapes : dans un premier temps, la chaux vive, en présence de vapeur d'eau, est transformée en portlandite (ou chaux éteinte, $\text{Ca}(\text{OH})_2$; **réac. 21**), qui est dans un second temps carbonatée en calcite (**réac. 22**).

237 Gourdin & Kingery (1975, p. 136-137), Letsch & Noll (1983, p. 266).

238 Letsch & Noll (1983, p. 266).

239 Echallier & Mery (1992, p. 90-94), Galwey & Brown (1999, p. 345-349).

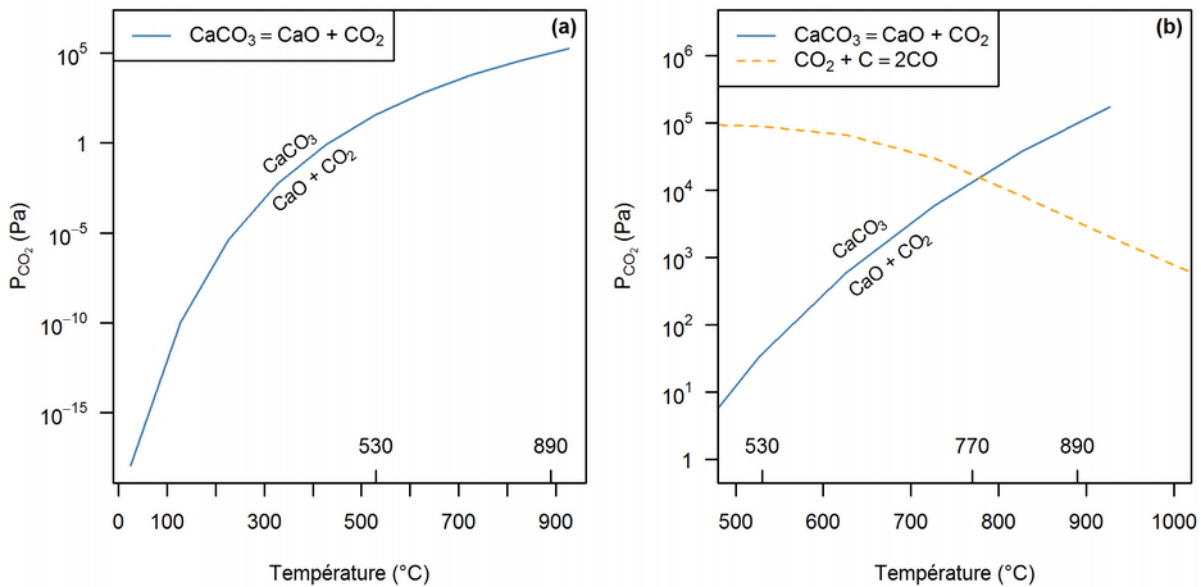


Figure 22 : (a) courbes d'équilibre des réactions de décomposition thermique de la calcite (réac. 18) dans le diagramme $P_{\text{CO}_2} = f(T)$; (b) équilibre de Boudouard (réac. 12) et courbe d'équilibre de la réaction de décomposition thermique de la calcite (réac. 18) dans le diagramme $P_{\text{CO}_2} = f(T)$, d'après Letsch & Noll (1983).



De l'expression de la variation d'enthalpie libre de réaction, il apparaît que la condition suivante doit être vérifiée pour que la **réaction 21** se produise spontanément ($\Delta_r G < 0$) :

$$P_{\text{H}_2\text{O}} > P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{eq}}$$

Si l'on considère que la teneur moyenne en vapeur d'eau atmosphérique est de l'ordre de 1 %²⁴⁰, la réaction 21 ne peut se produire spontanément que pour des températures inférieures à 340 °C, soit au cours du refroidissement (**fig. 23**). De plus,

240 Williams (s. d.).

cette réaction s'accompagne d'une augmentation de volume d'environ 67 %²⁴¹ et est souvent à l'origine de l'apparition de défauts (*lime blowing* ; *infra*, p. 186).

c. Formation de nouvelles phases au cours de la cuisson

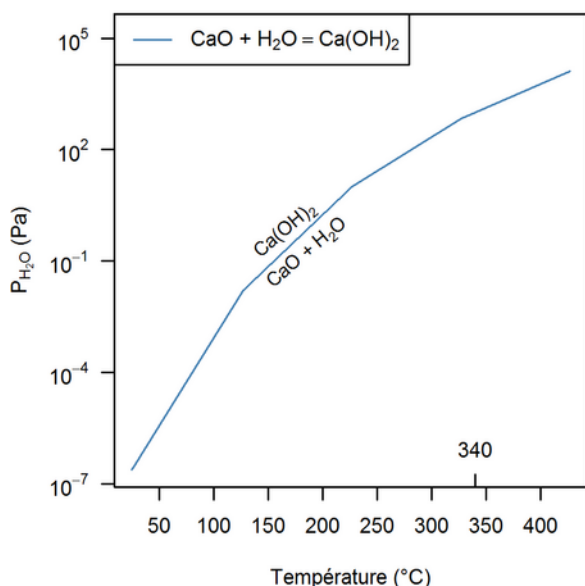
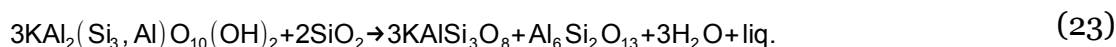


Figure 23 : courbe d'équilibre de la réaction d'hydratation de la chaux (CaO) en portlandite (Ca(OH)₂ ; réac. 21) dans le diagramme $P_{H_2O} = f(T)$.

Phases cristallines

Les matériaux céramiques constituent des matrices hétérogènes et, à l'interface des grains les constituant, de nouvelles phases sont susceptibles de se former (**fig. 24**, p. 100 ; *supra*, p. 89), conduisant généralement à la formation d'auréoles de réaction. Ces transformations ont fait l'objet d'investigations récurrentes, dont nous reprenons ici les principales conclusions²⁴².

- Au contact entre quartz et phyllosilicates, la formation de feldspaths potassiques (saindine) et d'alumino-silicates (mullite) est attendue à mesure de la déshydroxylation des phyllosilicates en jeu (**réac. 23**)²⁴³.



- À l'interface entre dolomite et quartz, le diopside est susceptible d'apparaître (**réac. 24**).

241 La masse volumique de la chaux vive est de 3,35 g.cm⁻³ tandis que celle de la portlandite est de 2,23 g.cm⁻³.

242 Voir en particulier Peters & Iberg (1978), Dondi *et al.* (1998), Duminuco, Messiga & Riccardi (1998), Riccardi, Messiga & Duminuco (1999), Cultrone *et al.* (2001) et, plus récemment, Rathossi & Pontikes (2010).

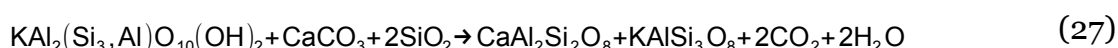
243 Cette réaction intervient alors pour des températures moins élevées que dans le seul cas de la déshydroxylation (réac. 17). Velde (1966, p. 927), Cultrone *et al.* (2001, p. 631).



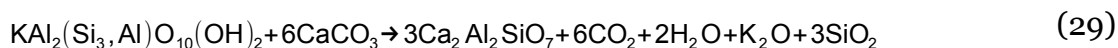
- À l'interface entre calcite et quartz, la wollastonite est susceptible d'apparaître (**réac. 25**) et semble être une réaction intermédiaire permettant la formation d'anorthite (**réac. 26**)²⁴⁴.



- À l'interface entre calcite, quartz et phyllosilicates, la formation de différents silicates de calcium (gehlénite, anorthite, wollastonite et pyroxènes) est attendue (**réac. 27 à 28**), parfois accompagnée de phases liées à la déshydroxylation des minéraux argileux (feldspaths potassiques notamment).



La formation de gehlénite est un phénomène accentué par un enrichissement local en CaO (**réac. 29**), au contact de grains de taille relativement importante²⁴⁵. Dans le cas d'une matière première appartenant au triangle quartz-anorthite-wollastonite (domaine des céramiques dites calcaires ; **fig. 22**, p. 97), la gehlénite formée est métastable : produit intermédiaire vers la formation d'anorthite et de wollastonite (**réac. 30 et 31**) lié à la diffusion du calcium à travers un matériau hétérogène²⁴⁶.



244 Traoré, Kabré & Blanchart (2000, p. 288).

245 Supérieure à quelques dizaines de micromètres (Kreimeyer 1987, p. 181).

246 Traoré, Kabré & Blanchart (2000, p. 288), Traoré, Kabré & Blanchart (2003, p. 380).

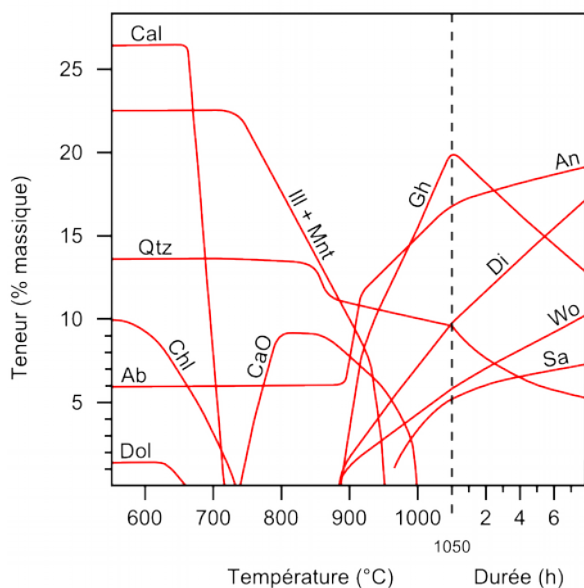


Figure 24 : modification de la composition minéralogique au cours de la cuisson de matières calcaires, d'après Peters & Iberg (1978, p. 503).

Les changements ainsi mis en évidence sont associés à une vitesse de chauffe de 1 °C.min⁻¹ jusqu'à atteindre 1050 °C, température ensuite maintenue durant 8 h.

Phases amorphes

Par la libération de composés susceptibles d'abaisser les températures de fusion, la décomposition des minéraux argileux joue un rôle non négligeable dans la formation progressive d'une phase liquide (**tabl. 5**), notamment dans le système $K_2O(+Na_2O)-Al_2O_3-SiO_2$ ²⁴⁷.

De même, la présence de vapeur d'eau favorise les mécanismes de fusion partielle en abaissant la température du *solidus* des systèmes silicatés.

Stades de vitrification		Caractéristiques de la surface de fracture
NV	Absence de vitrification	-
IV	Vitrification initiale	Apparition de filaments de verre.
V	Vitrification étendue	Présence d'un réseau de filaments de verre formant une structure ouverte ou cellulaire.
CV	Vitrification continue	Diminution de la porosité au profit d'une surface vitrifiée où sont présents des pores sphériques isolés.

Tableau 5 : stades de vitrification des matrices céramiques à partir de l'observation de la surface d'une fracture. D'après Tite & Maniatis (1975), Maniatis & Tite (1981, p. 68).

Par commodité les abréviations anglaises ont été maintenues.

247 Sedmale *et al.* (2006, p. 3353).

III. Synthèse

- La cuisson de matériaux céramiques est un processus en trois dimensions : température, atmosphère et durée. Ces trois grandeurs sont indissociables et en modifier une revient à affecter les deux autres.
- La notion de température de cuisson n'a aucun sens dans une perspective d'étude technique de la production de matériaux céramiques. La recherche d'une telle valeur relève avant tout des modes de représentation du descripteur et ne rend pas compte de la temporalité des processus en jeu. De plus, la construction logique devant conduire à l'estimation d'une telle valeur conduit de fait à un raisonnement circulaire.
- Si les modes de cuisson, tels que proposés par M. PICON, sont assurément pratiques, leur identification est sujette à caution dès lors que les indices observés résultent de causes multiples. Restituer les variations de conditions d'oxydoréduction au cours de la cuisson nécessite ainsi la prise en compte des processus internes. Ceux-ci sont liés aux transformations minéralogiques affectant progressivement la matrice argileuse et peuvent résulter d'une préparation particulière de la pâte.
- La restitution de paramètres physiques (température ou conditions d'oxydoréduction), de même que l'identification de la structure de cuisson ne sont donc pas équivalents à la restitution de gestes ou de techniques.

Chapitre 2 – Éléments de céramurgie ibérique

I. Corpus étudié

L'échantillonnage a été conduit de telle sorte que chaque prélèvement corresponde à un unique artefact. Les prélèvements ont ainsi été réalisés autant que possible sur des fragments de bords, après les éventuels remontages. De plus, une attention particulière a été portée au risque de pollution liée au traitement du matériel, ceci en écartant systématiquement les tessons ayant été recollés ou ayant subi un quelconque traitement chimique²⁴⁸. Le catalogue détaillé de l'échantillonnage est présenté à la fin de ce document (cf. annexe A2, p. 203) et résumé (provenance, chronologie et nombre d'individus) ci-dessous.

248 Sur ce dernier point, les matériaux céramiques du Mas de Moreno ont en partie fait l'objet d'un nettoyage à l'aide d'une solution acide (par dilution d'une solution-mère d'acide chlorhydrique à 17,5 %), traitement permettant d'éliminer les importantes concrétions calcaires à la surface des tessons et sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir (*infra*, p. 149).

A. En contexte productif : l'atelier du Mas de Moreno

1. Terres cuites

Au sein des productions de l'atelier du Mas de Moreno, l'échantillonnage a été réalisé dans une double perspective : diachronique et synchronique. Le découpage chronologique adopté fait suite à une première synthèse archéologique de l'évolution de l'atelier, au cours de laquelle trois phases d'activité, marquées par les réorganisations successives de l'espace productif et l'apparition d'éléments de tradition romaine, se succèdent²⁴⁹. Si une telle lecture n'est plus d'actualité²⁵⁰, les unités stratigraphiques sélectionnées et leur regroupement en trois ensembles permettent néanmoins d'apprécier l'intégralité de la période d'activité de l'atelier (**fig. 25**).

La question de la *fonction* et de la *fin* assignées à l'objet, constitue sans doute un des principaux écueils de l'analyse technologique, dès lors qu'elles sont confondues. Cette confusion est bien souvent entretenue par la pratique typologique qui assigne exclusivement (spécialise) une fonction à une forme, alors que, faute de documentation, l'ensemble des *emplois* assignés à l'objet ne saurait être retrouvée par sa seule *structure*²⁵¹.

Dès lors, la catégorisation retenue ici sera celle proposée par P. BRUNEAU et P.-Y. BALUT. Cette catégorisation permet de prendre en compte la diversité des techniques et la multiplicité des formes au service d'une même fin en distinguant quatre catégories de fins visées par l'objet fabriqué²⁵² :

- Les industries *déictiques*, qui concernent la représentation.
- Les industries *dynamiques*, qui assistent l'activité (ainsi des matériaux réfractaires, des pesons, etc., mais également des conteneurs).

249 Gorgues & Benavente Serrano (2008, p. 36-43).

250 Gorgues & Benavente Serrano (2012).

251 Sigaut (1991, p. 23-32).

252 Bruneau & Balut (1997, p. 100-101). *Industrie* est ici entendu dans son sens littéral de savoir-faire, d'habileté à réaliser un travail.

- Les industries *schématiques*, qui concernent le corps.
- Les industries *cybernétiques*, qui ressortent du comportement.

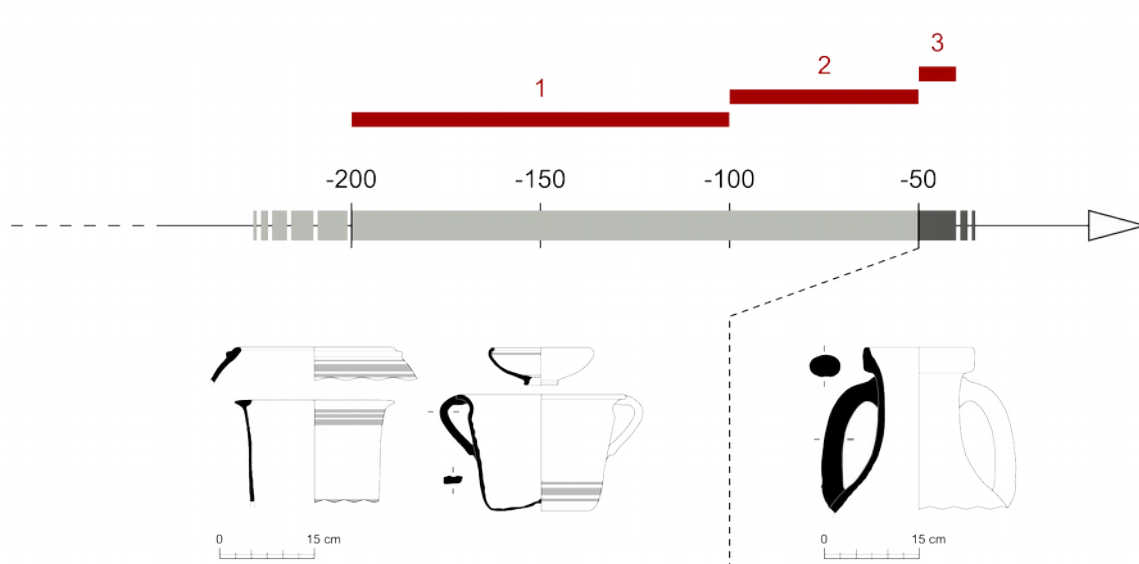


Figure 25 : synthèse chronologique de l'échantillonnage au sein des productions du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).

L'étendue des trois ensembles étudiés correspond aux deux grandes phases de fonctionnement de l'atelier : une production pleinement ibérique à laquelle succède, au milieu du premier siècle avant J.-C., l'apparition d'éléments de tradition romaine.

L'échantillonnage a été conduit de telle sorte que les trois ensembles ne présentent pas de différence significative en termes d'effectifs pour chaque catégorie²⁵³. La répartition de ces dernières est résumée par la **figure 26**.

1. *Ensemble 1 (I^e siècle av. J.-C.)* : 30 prélèvements ont été réalisés dans une unité (US 12212) parmi les plus anciennes actuellement identifiées sur le site. Cette couche de dépotoir est associée à l'activité du four n°1 et est datée postérieurement à 150 av. J.-C²⁵⁴.

253 Le test exact de Fisher ne permet pas de rejeter l'hypothèse d'égalité au risque $\alpha = 0,05$ ($p_{crit} = 0,361$).

254 L'US 12183, qui lui est postérieure, contenait un tesson de campanienne A de forme Lamb 28b, dont la diffusion en Occident est attestée entre 200 et 150 av. J.-C. (Gorgues & Benavente Serrano 2008, p. 11-12).

2. *Ensemble 2 (première moitié du 1^{er} siècle av. J.-C.)* : deux séries de 15 prélèvements ont été réalisés dans deux couches associées au four n°5 : la première constituait le remplissage de l'alandier, tandis que la seconde en comblait le laboratoire (US 15205 et 15227, respectivement)²⁵⁵.
3. *Ensemble 3 (50-30 av. J.-C.)* : 30 prélèvements ont été réalisés dans les unités stratigraphiques 13138, 13169 et 21041. Les deux premières unités sont associées au four n°2, dont l'activité est vraisemblablement attestée vers 50 av. J.-C. (l'US 13138 constitue une partie du comblement du four et a livré des restes d'amphores de type Létanienne 1)²⁵⁶. L'US 21041 correspond quant à elle au comblement détritique d'une fosse recoupant le four n°6²⁵⁷.

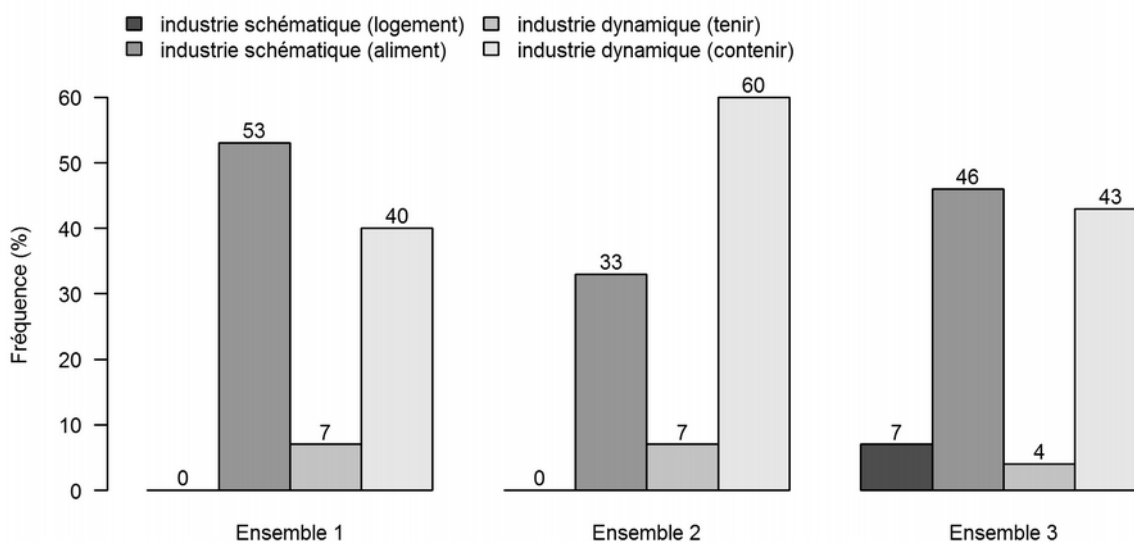


Figure 26 : détail de l'échantillonnage en fonction des catégories d'industries céramiques pour les différents ensembles chronologiques étudiés.

255 Gorgues & Benavente Serrano (2008, p. 16-18, 20).

256 Gorgues & Benavente Serrano (2008, p. 31), Gorgues, Benavente Serrano & Moret (2007, p. 21).

257 Gorgues, comm. pers.

2. Terres crues

Plusieurs tessons et fragments d'artefacts en terre crue ont également été découverts au cours des fouilles de l'atelier (**fig. 27**)²⁵⁸. Parmi ceux-ci, 23 fragments provenant du remplissage de l'alandier (US 15205) et du laboratoire (US 15302 et US 15312) du four n°5 ont été étudiés.



Figure 27 : fragments d'artefacts non cuits in situ dans le laboratoire du four n°5 de l'atelier du Mas de Moreno. Cliché A. Gorgues, juillet 2010.

Le fond d'un vase est visible à gauche de l'image.

Tous appartiennent à la première moitié du 1^{er} siècle av. J.-C. L'essentiel de ces éléments est constitué de morceaux de panse, néanmoins, quelques fragments de pe-sons ainsi que des tessons façonnés de bords, de fonds et d'anses ont été retrouvés.

258 Depuis 2010, plus de 700 fragments centimétriques (environ 5 kg de matière sèche) ont été mis au jour (Frèrebeau & Sacilotto à paraître).

Ces tessons ont permis d'identifier plusieurs formes : petites coupes (dont deux présentent un décor peint ; **fig. 28**), *kalathoi* et jarres de stockage.

B. En contexte de consommation



Figure 28 : tesson (BDX14922) d'une petite coupe peinte en terre crue provenant de l'atelier du Mas de Moreno.

L'étude des matériaux fabriqués au sein de l'atelier du Mas de Moreno a été complétée par celle d'industries provenant de sites de consommation bas-aragonais. L'échantillonnage – partiellement contraint par les possibilités d'accès au matériel issu des fouilles du Bas Aragon²⁵⁹ – est le suivant (cf. annexe A2, p. 203) :

- *Torre Cremada* (Valdeltormo,

Teruel ; **fig. 3**, p. 31, n°29) : situé à 35 km (ENE) de l'atelier du Mas de Moreno, ce pe-

tit habitat appartient à la vallée voisine du Matarraña. 11 individus attribués au 1^{er} siècle av. J.-C. ont été sélectionnés, provenant des unités stratigraphiques 60, 75, 84, 85, 86 et 87²⁶⁰.

- *El-Palao* (Alcañiz, Teruel ; **fig. 3**, p. 31, n°8) : situé à 16 km (NNE) de l'atelier, cet établissement est parmi les plus proches de l'atelier. L'échantillonnage porte sur 10 individus datés entre les VIII^e et IV^e siècles av. J.-C., provenant des unités 25146 et 25117²⁶¹.

259 Nous savons gré à J. A. BENAVENTE SERRANO de son soutien sur ce point.

260 Moret, Benavente Serrano & Gorgues (2006, p. 110 & 121-122)

261 Moret (2005-2006, p. 174).

Si le corpus issu de contextes d'habitat apparaît relativement restreint, l'objectif principal des comparaisons construites et présentées dans la suite de ce travail n'est pas tant d'établir des relations d'ordre génétique²⁶² mais bien de proposer une approche de technologie comparée. Ceci entre des produits défectueux (les artefacts mis au jour sur l'atelier sont *a priori* essentiellement constitués de rejets) et ceux, résultant d'une sélection, jugés utilisables par ceux qui les ont produits.

262 L'occasion nous sera donnée de discuter des problèmes de provenance par la suite (*infra*, p. 143).

II. Processus de fabrication

A. Préparation des pâtes

Plasticité, adhésivité, gonflement et retrait, dureté, etc., sont autant de traits utiles présents dans la matière argile que le potier est susceptible de retenir ou non, voire d'accentuer lors de la préparation du matériau pâte – quand bien même certaines de ces caractéristiques sont transformationnelles, et ne s'expriment qu'au cours des étapes suivantes de la fabrication, voire seulement lors de l'utilisation de l'objet fini. Les termes du problème, tels que l'artisan se les pose, sont cependant inaccessibles faute de documentation et sans compter qu'une partie de l'information est généralement perdue, effacée par les étapes ultérieures de la fabrication. À défaut de pouvoir identifier les traits effectivement sélectionnés par l'artisan, il demeure possible de s'attacher à la *fabrique*²⁶³, afin de mettre en évidence les variations qui l'affectent ou, au contraire, sa stabilité dans le temps.

1. La *fabrique* du Mas de Moreno

Parmi le matériel mis au jour au Mas de Moreno, les quelques tessons non cuits offrent un accès inhabituel à la préparation des pâtes et notamment à la nature des matières argileuses mises en œuvre. Les tessons de terre crue étudiés présentent tous une même texture fine (**fig. 29**)²⁶⁴, telle que 90 % des particules les constituant ont une taille inférieure à 50 μm ²⁶⁵. La répartition des grains dans la matrice argileuse est homogène et les pâtes apparaissent relativement compactes.

263 *Fabrique* est ici entendu dans son sens littéral comme la façon dont un objet est fabriqué, tel qu'il apparaît dans son état final.

264 Sur le découpage des classes granulométriques, cf. annexe A3, p. 227.

265 Les distributions de tailles de grains sont présentées en annexe A5, p. 243.

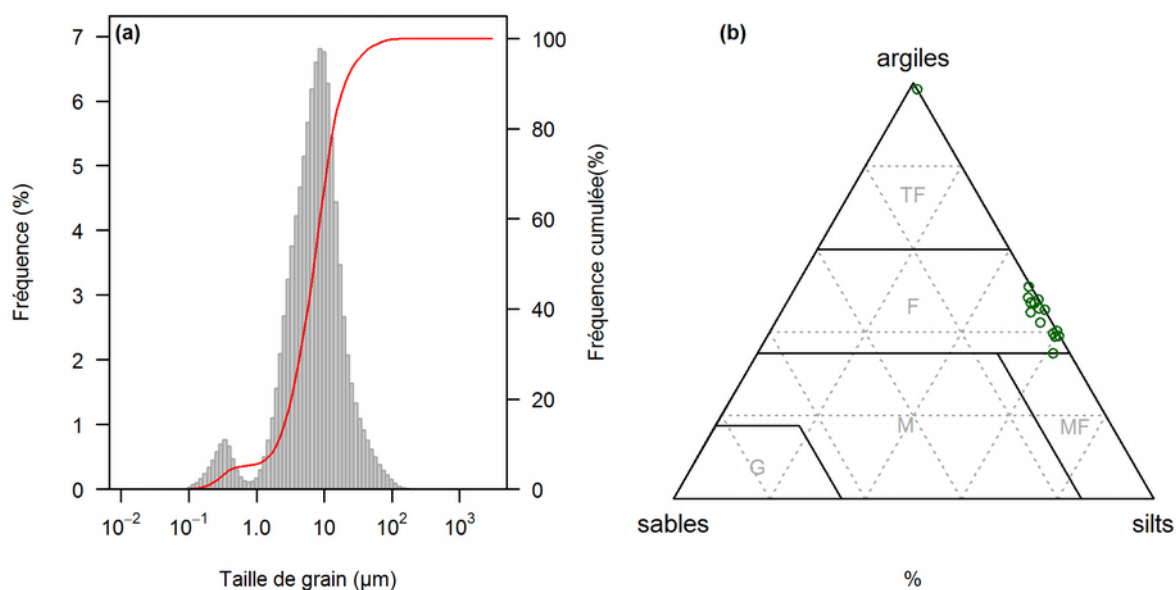


Figure 29 : distribution des tailles de grains des tessons non cuits obtenue par granulométrie laser.

(a) Distribution et fréquences cumulées moyennes pour l'ensemble des tessons de terre crue. (b) Triangle des textures (%). TF : très fin, F : fin, MF : moyen-fin, M : moyen, G : grossier.

Les tessons de terre crue ont permis d'identifier le cortège minéralogique caractérisant les pâtes avant la cuisson. Ainsi, la *fraction non plastique*, telle qu'identifiée par la pétrographie et la diffraction de rayons X²⁶⁶, est similaire en qualité pour l'ensemble des fragments étudiés. Celle-ci est constituée d'un assemblage de quartz, calcite (présente à la fois sous la forme de grains isolés et sous une forme crypto-cristalline dispersée dans la matrice argileuse) et dolomite, de feldspaths (calciques et potassiques) et d'hématite, auxquels s'ajoute la présence fortement suspectée d'oxyde de titane (**fig. 33 a**).

De plus, la *fraction plastique* de l'ensemble des tessons non cuits apparaît également similaire au sein du corpus²⁶⁷. Cinq minéraux argileux ou groupes de minéraux ont été systématiquement déterminés : il s'agit ainsi d'un mélange de kaolinite, palygorskite, illite (ou muscovite), chlorite et de minéraux interstratifiés (**fig. 33 b et c**).

266 Diffraction par les poudres (cf. annexe A3, p. 227).

267 Diffraction par les préparations orientées. Le protocole analytique et les critères d'identification des phyllosilicates par diffraction de rayons X sont présentés en annexe A3, p. 227.

Les tessons non cuits constituent une part infime des vestiges mis au jour au sein de l'atelier²⁶⁸, si bien qu'il est difficile de généraliser les observations réalisées à partir de ces derniers. Néanmoins, les terres cuites présentent des caractéristiques quasi-identiques en termes de texture et de composition de la fraction non plastique. En effet, parmi les céramiques provenant du Mas de Moreno, quasiment aucun élément de dégraissant n'est visible à l'œil nu au sein des matrices, quelle que soit l'épaisseur de l'objet considéré (à l'exception de très occasionnels grains d'oxyde de fer, parfois millimétriques). Toutes les terres cuites étudiées par la pétrographie présentent une même texture, pour laquelle des grains d'un diamètre supérieur à 100 µm ne sont que très occasionnellement mesurés, répartis de façon homogène dans la matrice (**fig. 31**). Les mêmes minéraux que dans les terres crues ont pu être identifiés au sein des lames minces de l'ensemble du corpus et peuvent, sans difficulté, être considérés comme des témoins de la composition initiale²⁶⁹. Le cortège minéralogique est très largement dominé par la calcite, suivie du quartz et complété par la présence de minéraux opaques, vraisemblablement constitués d'oxydes de fer. À noter que, si la calcite crypto-cristalline a disparu, elle demeure présente sous la forme de grains dans la matrice céramique et de cristallisations micritiques* dans les pores de la matrice²⁷⁰.

Concernant la fraction plastique, l'existence d'une gamme de compositions resserrée dans le système CaO-Al₂O₃-SiO₂ facilite les comparaisons entre les deux matières. Au sein des céramiques, seule l'illite (ou muscovite) est occasionnellement détectée par la diffraction de rayons X²⁷¹. Néanmoins, la totalité des terres crues et des terres cuites étudiées appartiennent à la même catégorie de matière dite calcaire (**fig. 32**) et forment un ensemble relativement peu dispersé dans le système CAS²⁷², si bien que le rapport entre les teneurs en alumine et en silice est globalement constant (env. 0,4) ; seule varie la part d'oxyde de calcium (**fig. 32**).

268 Frèrebeau & Sacilotto (à paraître).

269 Les phases formées au cours de la cuisson sont en effet micro-cristallines et ne peuvent le plus souvent être identifiées par la pétrographie (car en deçà de la résolution du microscope optique). Ces dernières ont donc été identifiées par diffraction de rayons X (*infra*, p. 125).

270 L'origine de ces cristallisations sera développée par la suite (*infra*, p. 149).

271 Les résultats issus de la diffraction de rayons X par les poudres de terres cuites sont développés par la suite (*infra*, p. 125).

272 Une mesure de la dispersion est donnée par la variance totale (cf. annexe A4, p. 235). Le système CaO-Al₂O₃-SiO₂ détermine l'essentiel des transformations intervenant au cours de la cuisson (*supra*, p. 89).

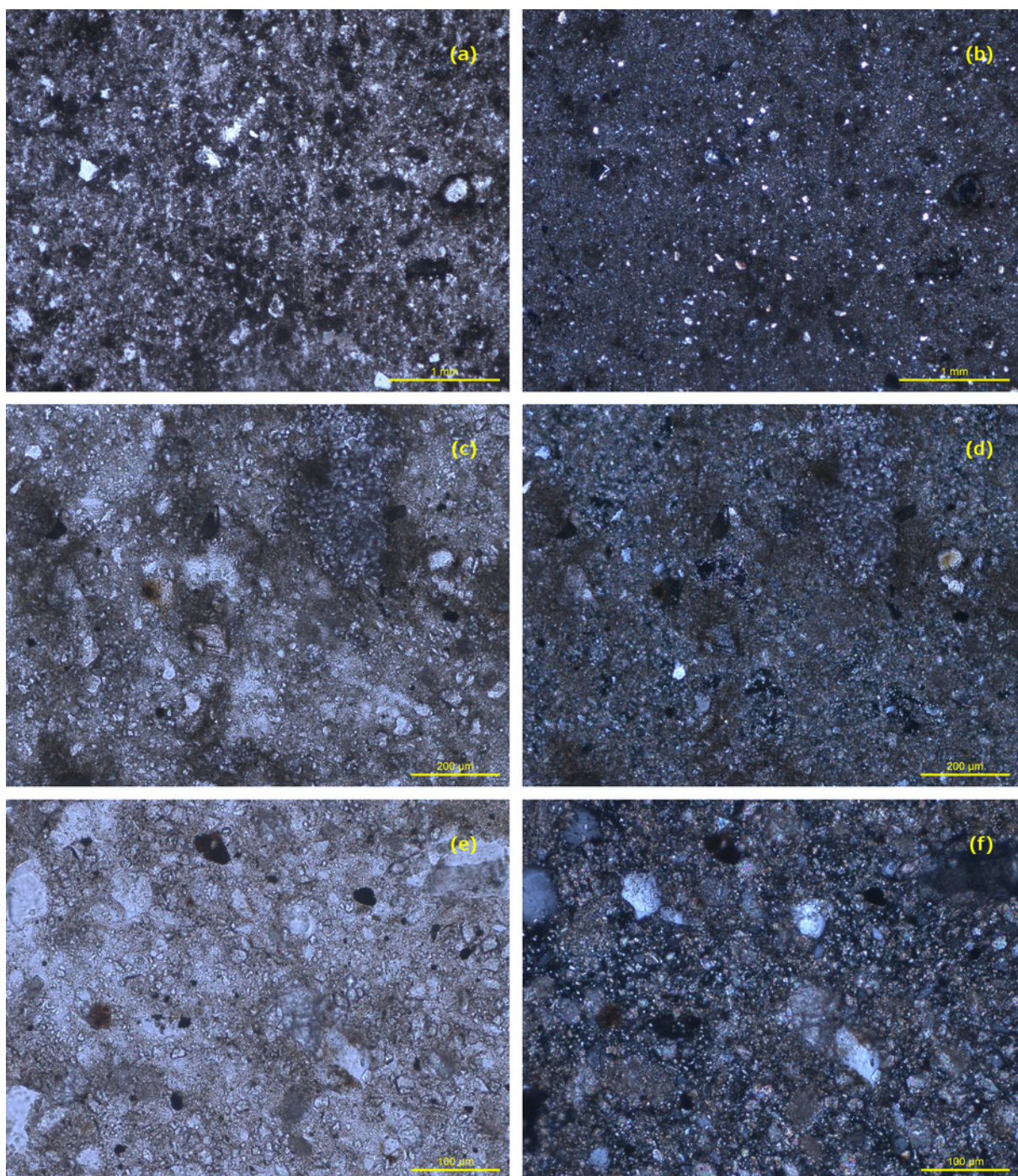


Figure 30 : lame mince d'un tesson de terre crue (BDX14917) observée en lumière blanche transmise. À gauche, clichés en lumière polarisée non analysée ; à droite, clichés en lumière polarisée analysée.

(a) et (b), grossissement x 2,5 ; (c) et (d), x 10 ; (e) et (f), x 20.

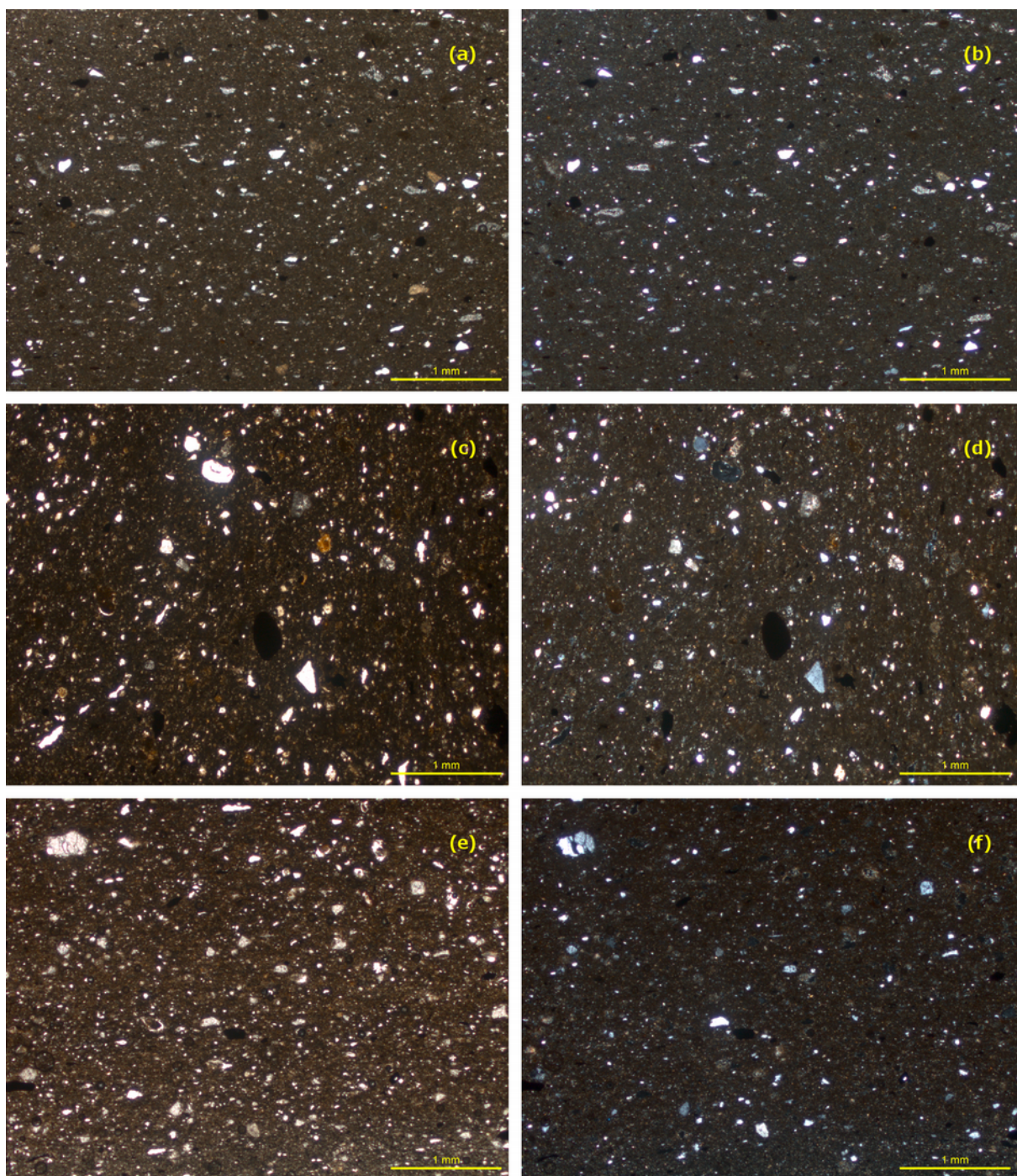
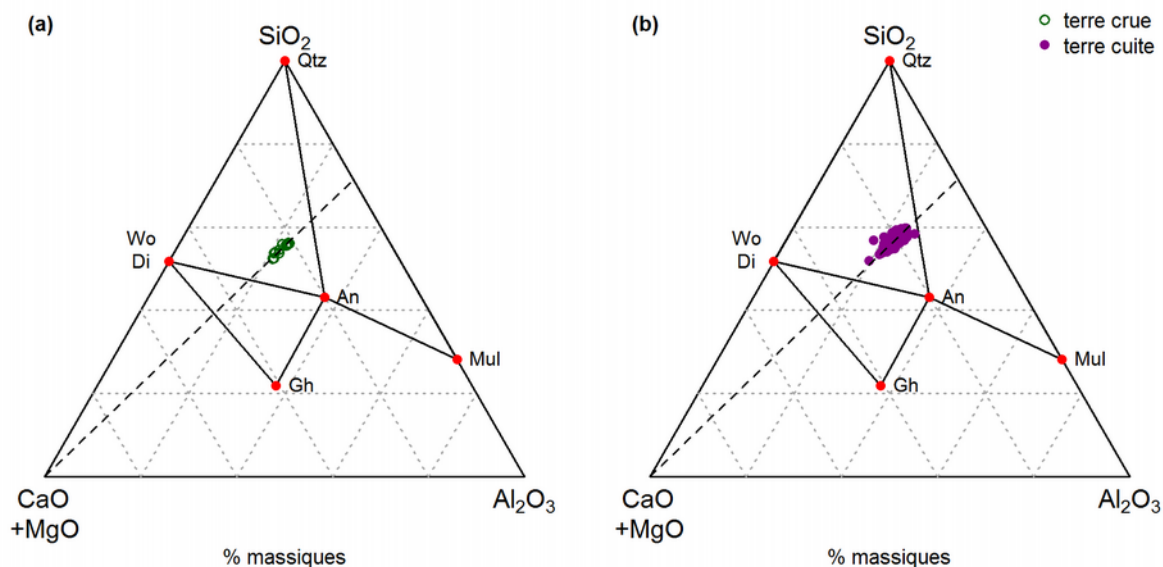


Figure 31 : lames minces de tessons de céramiques observées en lumière blanche transmise. À gauche, clichés en lumière polarisée non analysée ; à droite, clichés en lumière polarisée analysée.

(a) et (b) BDX15035 ; (c) et (d) BDX15447 ; (e) et (f) BDX15640.



Ci-dessus, figure 32 : compositions élémentaires des terres crues (a) et des terres cuites (b) dans le système ternaire $(\text{CaO}+\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (cf. annexe A6, p. 245).

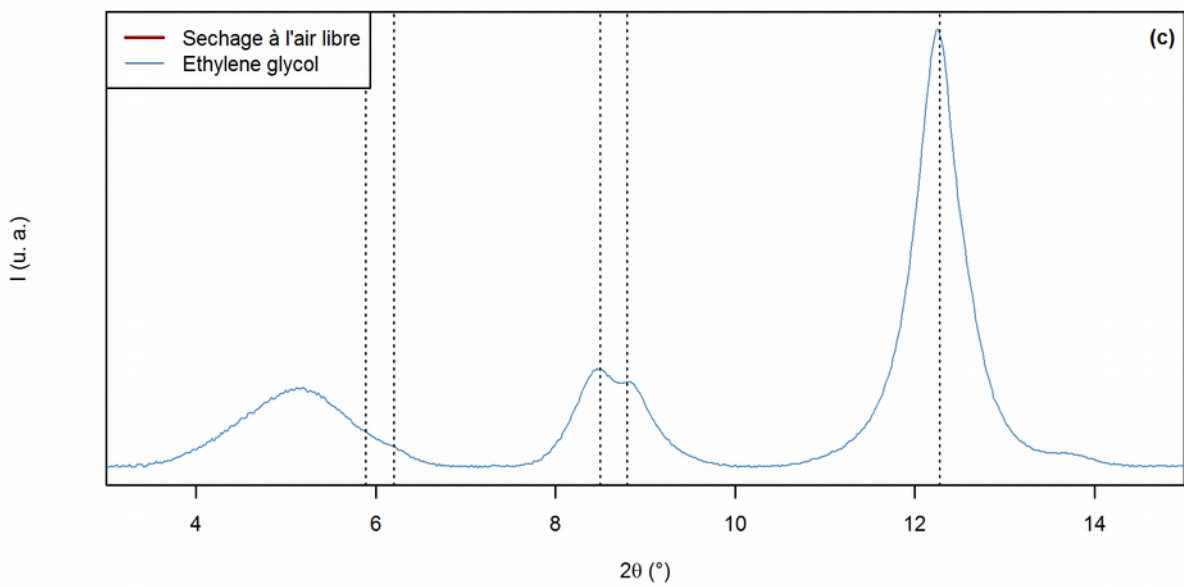
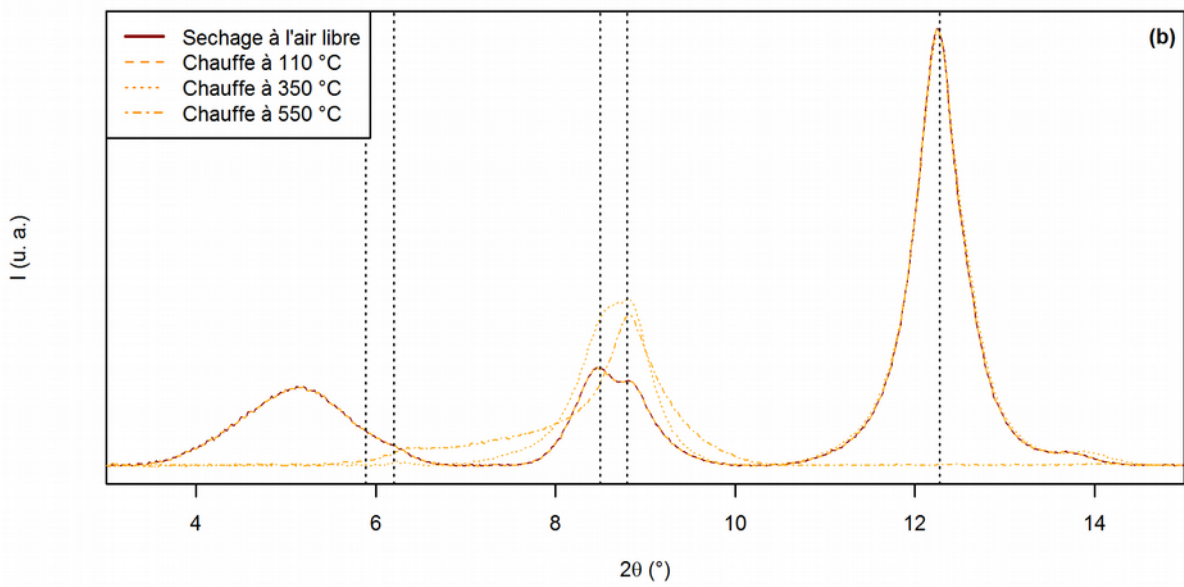
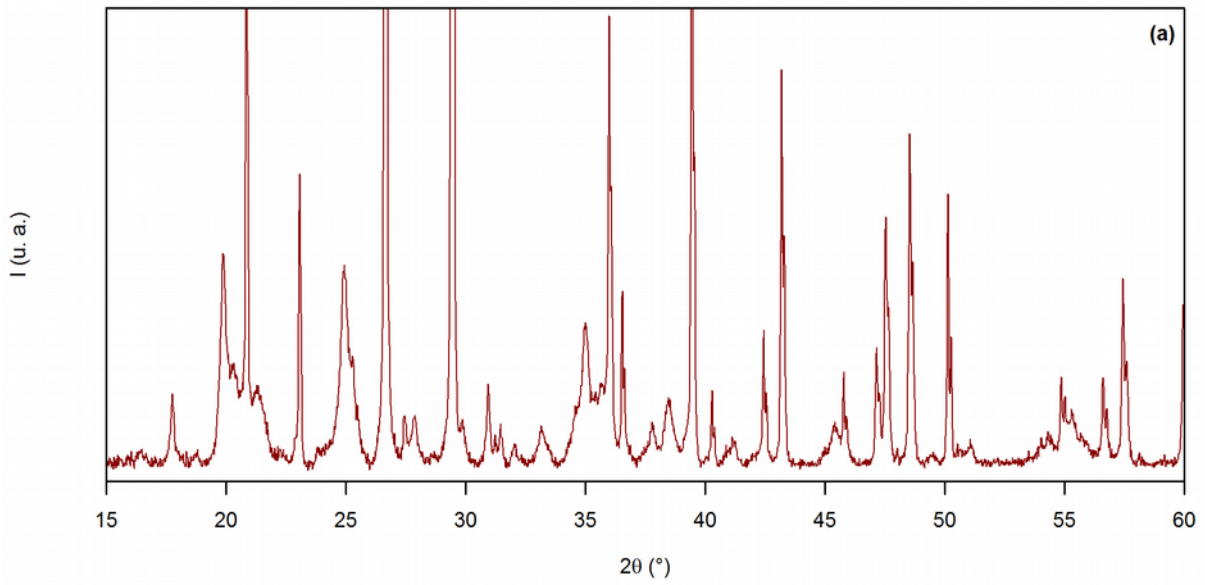
Le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ moyen au sein des deux jeux de données (env. 0,4) est indiqué en pointillés.

Ci-contre, figure 33 : diffractogramme d'un tessou non cuit (BDX14914). (a) Diffraction par une poudre ; (b) et (c) diffraction par une préparation orientée après traitements chimiques et thermiques.

Les différents traitements réalisés sur la préparation orientée permettent d'identifier cinq minéraux et groupes de minéraux argileux dont les réflexions associées au plan (001) sont signalées en pointillés. Le protocole analytique et les critères d'identification des phyllosilicates par diffraction de rayons X sont présentés en annexe A3, p. 227.

Autrement formulé, la contribution la plus importante à la variance totale dans le système CAS est apportée par un composé essentiellement lié à la fraction non plastique²⁷³. S'il est impossible de conclure quant à l'utilisation d'un mélange argileux similaire à celui identifié au sein des tessous non cuits, une même composition élémentaire pouvant être obtenue par différentes combinaisons de minéraux, l'hypothèse n'en demeure pas moins fortement envisageable.

273 La possibilité d'apports de calcium par les minéraux argileux (conséquence de la présence de cations en position inter-foliaire) est jugée négligeable au regard de la part liée à la présence de carbonates de calcium (calcite et dolomite).



2. Remarques sur les procédés mis en jeu

Sauf à identifier des éléments diagnostics (incompatibilité géologique entre la fraction plastique et le dégraissant ou au sein de ce dernier, présence de fragments de chamotte*, etc.), conclure quant à un ajout intentionnel d'éléments non plastiques au cours de la préparation des pâtes demeure un problème délicat. Parmi les critères retenus, une attention particulière est souvent portée à l'émoussé des grains du dégraissant : des grains anguleux pourraient alors être considérés comme l'indice d'un broyage préalable, donc d'une intentionnalité.

D'une part, la morphologie des grains en contexte sédimentaire est avant tout le témoin des modes de transport et des milieux de dépôt ou de phénomènes particuliers (gélifraction), donc de processus naturels²⁷⁴. Des grains anguleux sont avant tout l'indice d'un faible transport (grains peu ou pas roulés) plutôt que l'indice univoque d'une activité anthropique (broyage). D'autre part, l'ajout de dégraissant peut se faire sans modification de la morphologie des grains ou sans introduire d'éléments allochtones. Des dispositifs comme ceux associés à la lévigation (*supra*, p. 61) permettent en effet d'isoler différentes classes de tailles de grains et de n'en réintroduire que certaines en fonction des fins visées.

Ainsi, la constance avec laquelle les pâtes semblent fabriquées implique, soit un investissement important dans la recherche et le choix des matières argileuses, de sorte qu'elles ne nécessitent aucun travail sinon leur mise en forme, soit qu'il existe des dispositifs permettant le travail de l'argile en vue de sa préparation. La première de ces deux situations n'a pas notre préférence : il nous paraît en effet bien peu probable qu'aucune opération n'ait lieu en amont de la mise en forme. Quand bien même une argile dont les caractéristiques correspondraient aux fins désirées serait naturellement disponible, il demeure des étapes de préparation *a priori* indispensables, parmi lesquelles l'ajustement de l'hydratation ou l'homogénéisation.

274 Cojan & Renard (2006, p. 85).

Au sein de l'atelier du Mas de Moreno n'a été identifiée – pour le moment – aucune structure ayant pu servir à la préparation des matières argileuses par décantation ou lévigation, pas plus qu'il n'est connu d'aires de battage ou de pourrissage. Néanmoins, il nous paraît peu probable que de tels dispositifs n'aient pas existé. L'absence de vestiges n'est pas en soit un élément diagnostic : les dispositifs en jeu peuvent ne pas avoir été conservés, s'ils sont constitués de matériaux périssables ou s'ils correspondent à des aménagements temporaires de l'espace de travail continuellement remaniés.

B. Mise en forme et traitements de surface

1. Le façonnage des pots

La mise en forme des pots au sein du domaine ibérique – pour la catégorie de produits qui nous intéressent ici – est considérée comme ayant été réalisée au tour de potier (*supra*, p. 22). Ce dernier est réputé avoir été introduit en Péninsule ibérique à partir du VI^e siècle avant J.-C. par les établissements phéniciens installés le long de la côte levantine²⁷⁵.

La principale difficulté quant à l'identification de l'utilisation du tour réside dans la quasi-absence de vestiges archéologiques²⁷⁶ : la machine étant *a priori* essentiellement constituée de matériaux périssables, seuls demeurent les quelques éléments pérennes (matières céramiques, lithiques, métalliques) et les aménagements de l'espace destinés à la recevoir²⁷⁷. Le tour à volant d'inertie haut offre en effet la possibilité de dispositifs mobiles alors que le tour à volant bas est souvent associé à une installation immobilière destinée à soutenir l'arbre de rotation. L'emplacement de ces aménagements est parfois marqué par la présence de fosses²⁷⁸, dont la dépression

275 Gorgues (2013).

276 Ces lacunes dans la documentation matérielle peuvent néanmoins être partiellement comblées par les sources iconographiques. Pour une synthèse, voir Desbat (2004, p. 137-142 et références citées). L'utilisation du tour à main au VI^e siècle av. J.-C. est ainsi largement illustrée par les figurations grecques et notamment les *pinakes* votives de Penteskouphia (Péloponnèse, Grèce) ; plus tardivement (I^{er} s. av. J.-C. – I^{er} s.) sont également connues parmi les fresques de Pompéi plusieurs représentations interprétées comme l'indice de l'utilisation du tour à bâton. Sur les fresques de Pompéi (Campanie, Italie), voir Cuomo di Caprio (2007, p. 186-188) et Peña & McCallum (2009, p. 59-62).

277 Desbat (2004, p. 142-148).

278 Une vingtaine de fosses sont ainsi connues pour la Gaule (Pastor 2010, p. 87). Voir par exemple

centrale pouvait être destinée à accueillir la crapaudine, pièce dévolue à recevoir le pivot de l'arbre de rotation. Si, dans le cas d'un tour à volant d'inertie bas, la crapaudine semble indispensable au bon fonctionnement du dispositif, la seule présence de cette dernière ne suffit pas à inférer le type de tour. Tout au plus indique-t-elle que l'axe de rotation est mobile.

Au sein de l'atelier du Mas de Moreno, deux crapaudines ont été mises au jour : toutes deux présentent des morphologies très différentes, seule la plus massive présentant une surface supérieure plane, dont le lissage partiel est interprété comme la conséquence du frottement d'un volant d'inertie bas²⁷⁹. Cependant, il nous paraît difficilement envisageable qu'une pièce de bois ait été en contact avec la pierre lors de la mise en rotation du tour : le frottement de l'une sur l'autre au cours de la rotation s'opposant à, sinon annulant, l'intérêt du volant d'inertie comme moyen de restituer de l'énergie. Deux alternatives peuvent alors être considérées. Soit l'intérêt du tour, tel qu'il a pu être mis en œuvre au sein de l'atelier, réside effectivement dans l'exploitation de l'énergie cinétique de rotation ; auquel cas l'existence d'un lubrifiant entre les deux pièces est rendue indispensable pour atteindre une vitesse angulaire suffisante²⁸⁰. Soit le tour n'a pas été utilisé comme tour rapide. Si les données archéologiques plaident effectivement pour un transfert du tour aux populations ibères, il reste à établir que celui-ci a été utilisé comme tel.

Au regard de l'investissement nécessaire quant à la maîtrise des opérations de montage au tour, la question de son mode d'utilisation au sein de l'atelier mérite d'être posée. L'étude du matériel mis au jour a permis d'étayer raisonnablement l'hypothèse d'une pratique mixte. Seules les pièces de petites dimensions (coupes) seraient montées au tour, tandis que celles de dimensions plus importantes (*kalathoi*,

Dufaÿ (2001, p. 212, fig. 3), Laubenheimer & Gisbert Santonja (2001, p. 39, fig. 7), Deberge *et al.* (2009, p. 68-69, fig. 28).

279 Gorgues & Benavente Serrano (2007, p. 298), Gorgues & Benavente Serrano (2012, p. 278), Gorgues (2013).

280 Une vitesse comprise entre 50 et 150 rotations par minute est généralement considérée comme adéquate (Rye 1981, p. 74), sachant que la vitesse de rotation ne peut être considérée comme une constante. Celle-ci est continuellement ajustée aux gestes à accomplir : plus la pièce à façonner est de dimensions importantes, plus le nombre de révolutions du tour est limité (Foster 1959a, p. 61).

pots à deux anses, jarres de stockage dites *Ilturatin*) combinerait un ébauchage par montage de colombins, mis ensuite en forme au tour²⁸¹.

2. Les décors peints

Les productions de l'atelier sont souvent complétées d'un décor peint rouge foncé (10R 3/4). L'essentiel des décors se résume à la présence de bandes horizontales parallèles, seuls quelques tessons présentant des motifs plus complexes, géométriques voire anthropomorphes²⁸². La présence de décors sur les tessons non cuits indique leur application sur la pâte avant cuisson (favorisant sans doute la fixation des pigments du fait des qualités adsorbantes des argiles), sans qu'une mauvaise apposition de ceux-ci ne constitue un critère conduisant au rejet de pièces avant la cuisson, en témoigne l'existence de tessons cuits au décor erratique (cf. BDX15473, planche V, p. 214).

L'observation systématique des bandes caractéristiques de l'hématite, tant sur les tessons de terre crue que de terre cuite, permet d'identifier cet oxyde comme la principale matière colorante des décors peints étudiés (**fig. 34 a**). L'hématite appartient au groupe ponctuel D^6_{3d} et présente sept modes de vibration Raman actifs (à 225, 245, 291, 299, 411, 498 et 611 cm^{-1})²⁸³.

281 Sacilotto (2011, p. 132-149).

282 Sur l'interprétation des décors : Sacilotto (2011, p. 150-161).

283 de Faria, Venâncio Silva & de Oliveira (1997, p. 874), Oh, Cook & Townsend (1998, p. 63), Cornell & Schwertmann (2003, p. 147), Legodi & de Waal (2007, p. 164 et 166), Marshall & Marshall (2011, p. 135).

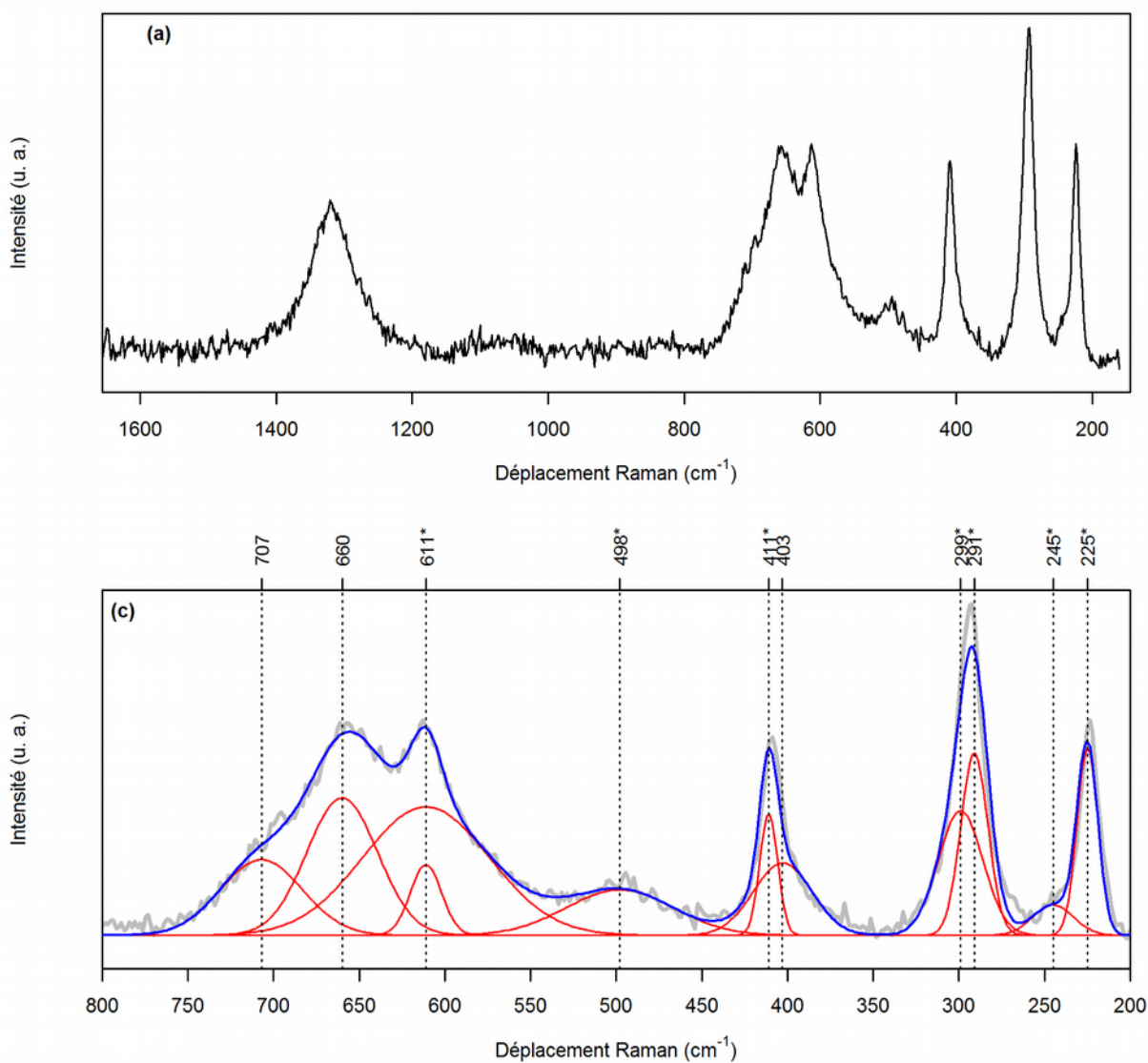


Figure 34 : spectres Raman (après correction de la ligne de base) présentant les bandes caractéristiques de l'hématite (indiquées par un astérisque) obtenus sur les décors peints.

(a) Spectre obtenu sur un tessou de terre crue (BDX14722) ; (b) déconvolution des massifs de pics entre 800 et 200 cm^{-1} du spectre (a).

De plus, tous les spectres obtenus présentent deux bandes supplémentaires à 660 et 1320 cm^{-1} , ainsi qu'un épaulement plus ou moins marqué à environ 710 cm^{-1} (**fig. 34 c**). La bande à 1320 cm^{-1} est interprétée comme une harmonique de celle à 660 cm^{-1} , cette dernière étant vraisemblablement activée par la présence de désordre dans la structure de l'hématite. Plusieurs causes peuvent être invoquées pour expliquer cette structure imparfaite :

- Celle-ci peut être liée à des substitutions du fer par de l'aluminium ou du titane²⁸⁴, qui entraînent l'apparition d'une large bande à 660-670 cm^{-1} .
- L'imperfection de la structure peut être liée à une dégradation secondaire, mécanique (broyage) ou chimique (météorisation)²⁸⁵.
- Enfin, elle peut résulter d'une transformation incomplète par déshydratation ou déshydroxylation d'oxyhydroxydes de fer (goëthite, lépidocrocite ; **réac. 2**, p. 82)²⁸⁶ ou par oxydation d'oxydes de fer II (magnétite ; **réac. 3**, p. 82). Ce dernier point suggère également la possibilité d'un mélange de minéraux : la maghémite présente en effet deux bandes Raman²⁸⁷ à environ 660 et 720 cm^{-1} . Or, la maghémite ne peut être formée que comme intermédiaire au cours des réactions de transformation précédentes²⁸⁸.

L'obtention d'hématite par transformation thermique d'oxyhydroxydes de fer est une possibilité d'autant plus envisageable que plusieurs nodules ferrugineux ont été mis au jour au sein de l'atelier. Ces derniers présentent une structure concentrique (**fig. 35**), alternant minéraux argileux, oxydes et oxyhydroxydes de fer (hématite, goëthite et lépidocrocite ainsi que la présence suspectée de pyrite, ont pu être identifiées par la diffraction de rayons X par les poudres).

284 Zoppi *et al.* (2007), Wang *et al.* (2009, p. 1001). Leon *et al.* (2010, p. 1552-1554) suggèrent que des substitutions du fer par le titane sont à même d'expliquer l'intensité de la bande à 660-670 cm^{-1} : celle-ci étant caractéristique de plusieurs oxydes de titane (ilménite, ulvöspinelle, pseudobrookite) et les liaisons oxygène-titane étant fortement polarisables.

285 de Faria & Lopes (2007, p. 120).

286 de Faria & Lopes (2007).

287 Oh, Cook & Townsend (1998, p. 63), Cornell & Schwertmann (2003, p. 147), Legodi & de Waal (2007, p. 164 et 166).

288 Cornell & Schwertmann (2003, p. 346).



Figure 35 : oncoïde* provenant de l'US 12212 de l'atelier du Mas de Moreno (BDX14804). À gauche : vue zénithale ; à droite : vue en coupe.

L'application sur les pots en terre crue d'un décor d'hématite suppose alors une déshydratation (au préalable, voire au cours de la cuisson) de la matière colorante et, de cette transformation incomplète, résulterait la présence de désordre dans la structure de l'hématite. Cependant, ce même désordre perdure après cuisson, alors que l'apport d'énergie correspondant devrait permettre l'aboutissement de la transformation de l'hématite²⁸⁹. Demeurent alors trois hypothèses. Soit les conditions de cuisson n'ont effectivement pas permis le réarrangement de la structure cristalline de l'hématite. Soit l'hématite utilisée pour la réalisation des décors présente un certain nombre de défauts, provoqués par des substitutions d'éléments. Soit, enfin, cette imperfection est le résultat d'une combinaison de causes.

Les éléments dont nous disposons tendent à favoriser la première de ces hypothèses, sans qu'il nous soit pour autant possible de conclure plus avant. En effet, les indices liés à l'état d'avancement des transformations minéralogique des céramiques plaident en faveur d'apports énergétiques limités (*infra*).

²⁸⁹ de Faria & Lopes (2007, p. 119).

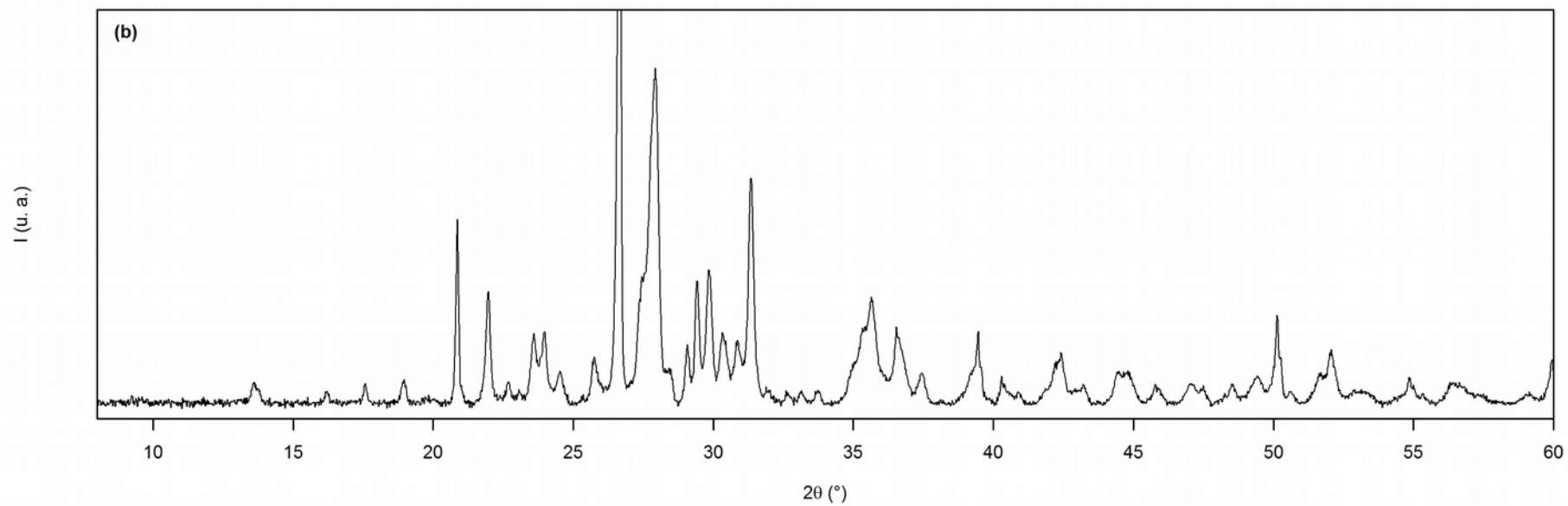
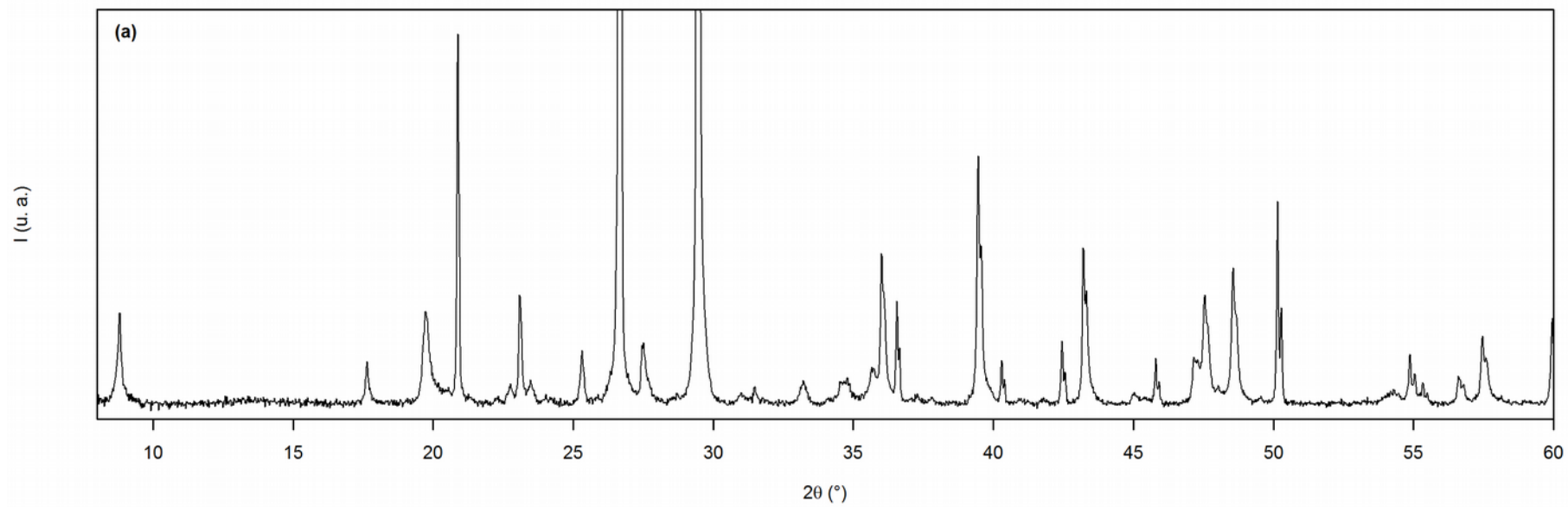
C. La cuisson

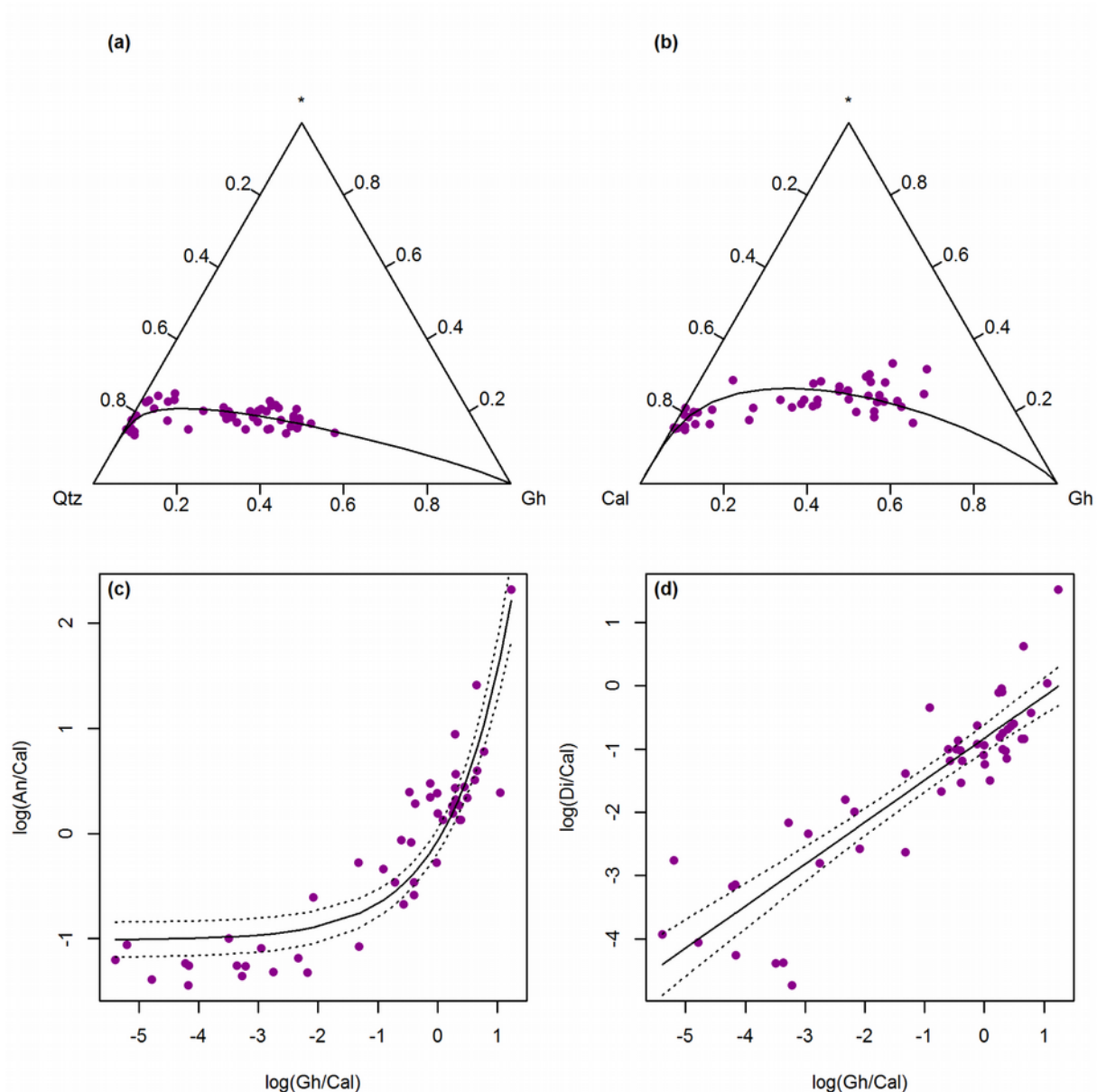
1. Apports énergétiques

Des éléments exposés précédemment (*supra*, p. 73), nous avons pu rappeler que l'identification de paramètres isolés (température, atmosphère) était sans pertinence dans le cadre d'une analyse technologique et, surtout, nous avons pu montrer la difficulté, sinon l'impossibilité, de construire une analogie satisfaisante lorsqu'il est fait appel à des référentiels expérimentaux. Dès lors, l'approche développée dans la présente étude a été construite afin d'apprécier l'étape cruciale que constitue la cuisson en termes d'apports énergétiques, en s'affranchissant de toute comparaison avec des éléments extérieurs à notre corpus. L'élaboration d'un modèle permettant de restituer l'étape de la cuisson au sein de l'atelier du Mas de Moreno est rendue possible par la cohérence interne des productions issues de ce dernier, telle que nous avons pu la mettre en évidence : homogénéité de texture (taille et distribution des grains dans la matrice argileuse) et de composition dans le système $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (*supra*, p. 111).

La composition minéralogique des artefacts est à même de renseigner sur les quantités d'énergie apportées au cours de la cuisson, ceci en identifiant l'état avancé des transformations qui conduisent à l'obtention de matières céramiques (*supra*, p. 89). La méthodologie mise en œuvre repose donc sur la quantification et l'analyse de l'évolution des rapports de teneurs des différentes phases. Pour ce faire, les compositions minéralogiques ont été déterminées en qualité par diffraction de rayons X (**fig. 36**, double page suivante) et en quantité par l'affinement Rietveld desdits diffractogrammes²⁹⁰.

²⁹⁰ Sur l'acquisition des données par diffraction de rayons X par les poudres et l'affinement Rietveld, cf. annexe A3, p. 227. Sur l'analyse de données, cf. annexe A4, p. 235.





Ci-contre, figure 36 : diffractogrammes obtenus par la diffraction de rayons X par les poudres de tessons de céramique, illustrant deux stades différents dans l'avancée des transformations minéralogiques. (a) BDX15641, (b) BDX15664.

Ci-dessus, figure 37 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno. En haut : diagrammes ternaires des teneurs en quartz et gehlénite (a) et calcite et gehlénite (b), le troisième pôle (marqué d'un astérisque) correspondant à la moyenne géométrique des variables non figurées. En bas : évolution des rapports entre les teneurs (c) en anorthite et en gehlénite ($R^2 = 0,79$) et (d) en diopside et en gehlénite ($R^2 = 0,78$).

(a) et (b) : la relation entre les variables est matérialisée par la projection de la composante principale résultant de l'ACP des trois pôles du diagramme. (c) et (d) : les teneurs ont été préalablement transformées (transformation $\text{alr}(X)$; cf. annexe A4, p. 235) en utilisant la calcite comme dénominateur. Les régressions associées sont figurées, encadrées de l'intervalle de confiance (au risque $\alpha = 0,05$) correspondant.

Malgré les contraintes liées à la nature des matières étudiées et les sévères limitations quant à la précision des compositions ainsi obtenues, la qualité des données peut être appréciée au travers des relations de proportionnalité et de codépendance entre les différentes variables. Ces relations peuvent aisément être anticipées, les réactions attendues au cours de la cuisson étant connues par ailleurs (*supra*, p. 98) : les phases initialement présentes dans la pâte (quartz, calcite, minéraux argileux) sont consommées au profit de la cristallisation de phases secondaires (pour l'essentiel des silicates de calcium). Ce que tendent à confirmer les compositions obtenues : les teneurs en quartz et calcite présentent ainsi une relation linéaire avec la teneur en gehlénite (**fig. 37** a et b, double page suivante), les deux premiers étant impliqués dans la formation de cette dernière.

Le rapport entre les teneurs en anorthite et en gehlénite est parfois considéré comme un indicateur de la température atteinte au cours de la cuisson, la gehlénite étant une phase intermédiaire avant la formation d'anorthite (**réac. 30**, p. 99)²⁹¹. Au-delà des objections que nous avons déjà formulées concernant l'usage de la notion de température dans pareille situation, la relation exponentielle croissante qu'il est possible de mettre en évidence entre ces deux variables illustre la prédominance des aspects de cinétique au cours de la cuisson (**fig. 37** c, double page suivante). Alors que l'augmentation de la teneur en gehlénite ne s'accompagne pas de la formation d'anorthite dans un premier temps, le domaine de forte augmentation de la pente marque le seuil au-delà duquel les apports d'énergie sont suffisants pour finalement permettre la cristallisation de cette dernière. L'effet retardateur des cinétiques de réaction est ainsi bien visible. Enfin, la gehlénite formant une solution solide avec l'åkermanite (la série des mélilites), elle est à même d'entraîner la cristallisation de diopside (essentiellement de type fassaite²⁹²) plutôt que d'anorthite²⁹³.

Ce dernier point est illustré par la relation linéaire croissante entre les teneurs en gehlénite et en diopside (**fig. 37** d, double page suivante) et peut être mis en relation avec la déshydroxylation des minéraux argileux identifiés dans les tessons non cuits (illite, chlorite et palygorskite), qui entraîne l'apparition d'une phase amorphe

291 Duminuco, Messiga & Riccardi (1998).

292 Dondi *et al.* (1998). Rapportés à une nomenclature stricte, les pyroxènes de type fassaite correspondent à du diopside ou à de l'augite ferro-alumineux (Morimoto *et al.* 1989, p. 154).

293 Rathossi & Pontikes (2010, p. 1846).

riche en fer ou en magnésium. L'évolution des différentes teneurs relève ainsi de dynamiques complexes et doit être considérée dans son ensemble pour pouvoir apprécier le processus global de transformation que constitue la cuisson, raison pour laquelle l'approche multivariée a été préférée. Pour ce faire, une analyse en composantes principales (non normée ; cf. annexe A4, p. 235) des compositions minéralogiques a été réalisée (**fig. 38**, p. 130).

La qualité de la projection est relativement bonne, le plan principal conservant près de 90 % de la variabilité totale et le premier axe en exprimant à lui seul 79 %. La distribution des individus sur le plan principal apparaît unimodale, l'essentiel de la dispersion des individus s'opérant selon l'axe principal, dont la gehlénite, le diopside et la calcite sont les principaux contributeurs (ces variables expliquent respectivement 51 %, 16 % et 15 % de l'inertie exprimée par le premier axe). Le maximum de densité observé correspond ainsi aux teneurs les plus élevées en gehlénite, et le reste des individus tend à se disperser de façon asymétrique, vers les valeurs les plus élevées en quartz, muscovite et calcite (**fig. 38 c**). Les résultats de l'ACP permettent ainsi de constater les points suivants :

- En considérant que l'axe principal est construit sur une opposition entre phases primaires et phases secondaires (néoformées), la projection obtenue permet de mettre en évidence la progression des transformations minéralogiques intervenant au cours de la cuisson.
- Dès lors, il apparaît que les objets en céramique provenant de l'atelier étudiés peuvent être ordonnés en fonction de l'avancement de ces transformations ou, de manière équivalente, en fonction de l'énergie reçue au cours de la cuisson.

Néanmoins, le matériel étudié correspondant à des rejets de fabrication, il est difficile de conclure quant à la signification du maximum de densité constaté. S'agit-il d'un état de transformation de la matière représentatif du matériel fabriqué au sein de l'atelier ou, au contraire, d'une situation non désirée entraînant son rejet systématique, sachant que ni la chronologie ni les catégories d'industries considérées ne permettent d'expliquer cette distribution ?

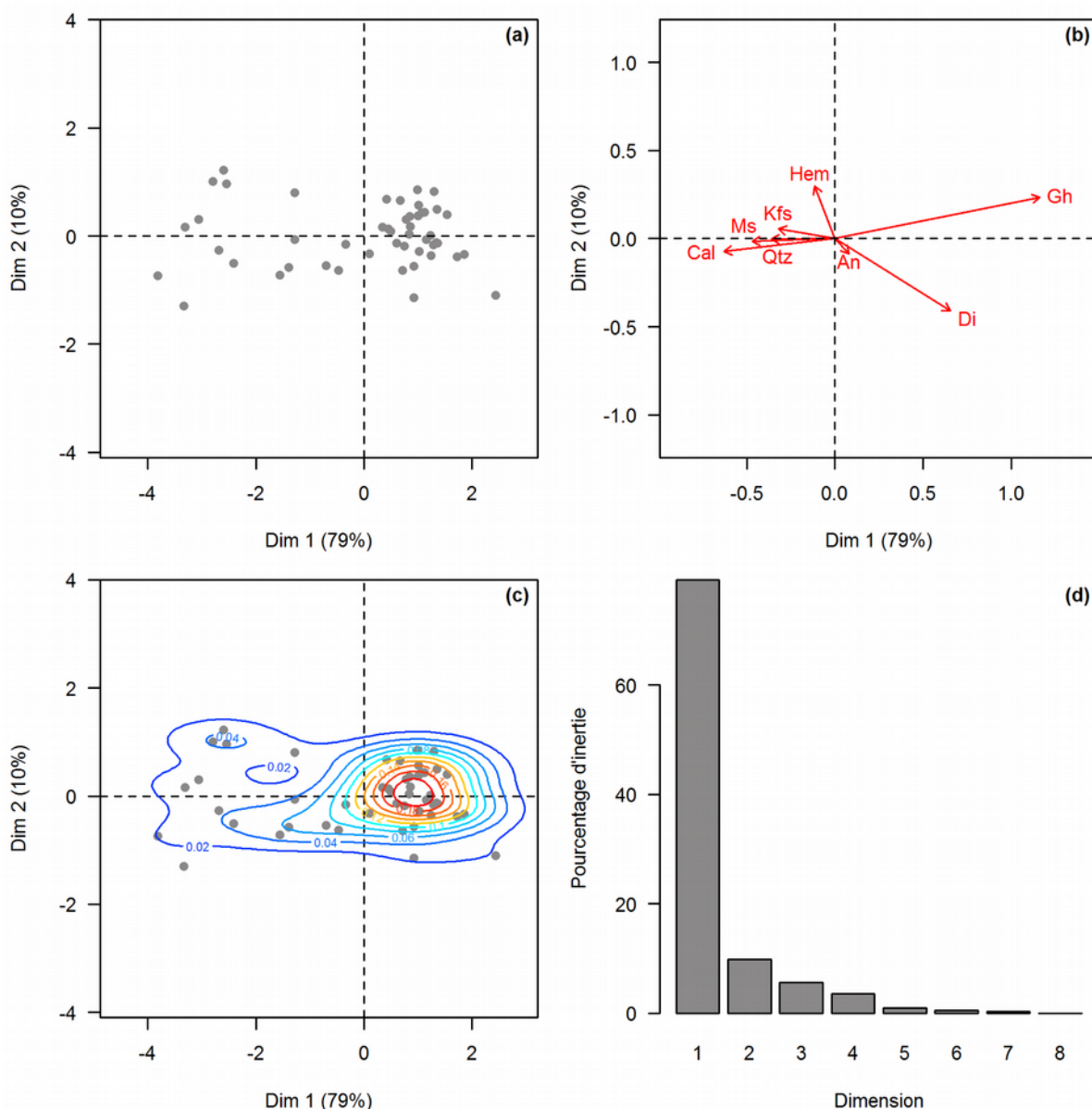


Figure 38 : résultats de l'analyse en composantes principales (non normée) des compositions minéralogiques des matières céramiques provenant du Mas de Moreno.

Les données ont été préalablement transformées (transformation $clr(X)$; cf. annexe A4, p. 235). (a) Projection du nuage des individus sur le plan principal ; (b) projection des contributions de chaque variable ; (c) lignes d'isodensités kernel associées à la distribution des individus sur le plan principal ; (d) pourcentage d'inertie associé à chaque dimension.

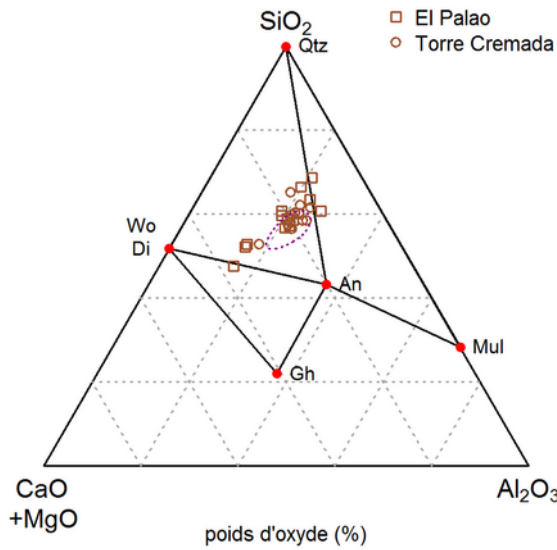


Figure 39 : compositions élémentaires des terres cuites provenant de Torre Cremada et de El Palao dans le système ternaire (CaO+MgO)-Al₂O₃-SiO₂.

L'ellipse de probabilité à 95 % des compositions élémentaires des individus provenant du Mas de Moreno est figurée en pointillés.

Afin d'explorer ces deux hypothèses, les compositions minéralogiques de plusieurs pots provenant de contextes de consommation (El Palao et Torre Cremada) ont été introduites dans l'analyse précédente. En outre, ceci est rendu possible, car ces individus présentent des textures similaires et appartiennent à la même catégorie de céramiques calcaires que le matériel issu du Mas de Moreno. D'autant plus que seuls les individus appartenant à la même gamme de composition, matérialisée par l'ellipse de probabilité à 95 % (**fig. 39**), ont été retenus. Le principe initial d'homogénéité technique est donc maintenu et autorise la comparaison²⁹⁴.

Ces 12 compositions ont ainsi été injectées dans l'analyse comme individus supplémentaires : leurs coordonnées dans le plan factoriel ont été calculées à partir des résultats de l'Analyse en Composante Principale précédente. Une fois projetées sur le plan principal, à quatre exceptions près (BDX15671 et BDX15675 pour Torre Cremada, BDX16451 et BDX16452 pour El Palao), toutes les compositions supplémentaires se situent au niveau du maximum de densité calculé à partir des scores des individus provenant du Mas de Moreno (**fig. 40**). La présence de ces individus supplémentaires, issus de contextes de consommation, validerait ainsi la première de nos hypothèses : le maximum de densité constaté ne saurait correspondre à un état de transformation systématiquement rejeté par les potiers du Mas de Moreno, mais bel et bien à une situation jugée satisfaisante au terme de la cuisson.

294 Ceci, quand bien même il ne serait pas possible d'établir une relation de filiation et d'affirmer que le matériel provenant de Torre Cremada ou de El Palao aurait été fabriqué au Mas de Moreno : notre propos relève ici uniquement de la technologie comparée.

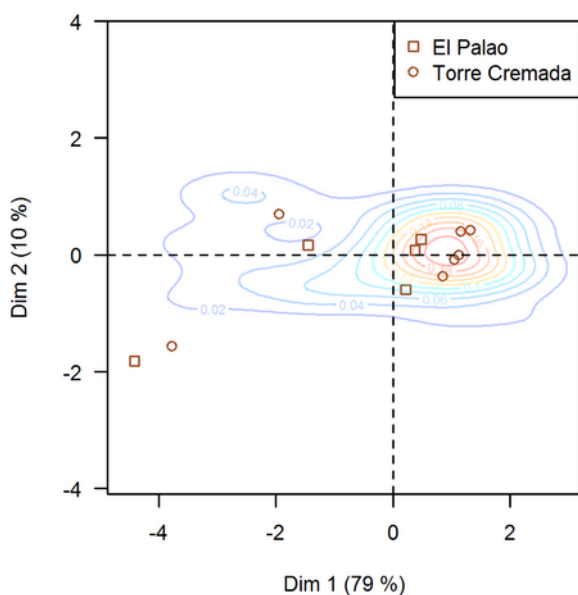


Figure 40 : projection sur le plan principal de l'ACP des individus supplémentaires correspondant aux compositions minéralogiques du matériel provenant de Torre Cremada et El Palao.

Le plan factoriel résulte de l'ACP des seuls individus provenant du Mas de Moreno, et les lignes d'isodensités kernel ont été calculées à partir des scores de ces derniers (fig. 38, c).

Le corollaire que constituerait un surplus d'apport en énergie n'étant au contraire pas identifiable. De plus, le maximum de densité illustre également une situation intermédiaire, pour laquelle la transformation de la matière est relativement limitée. La gehlénite (contributeur le plus important à la construction du modèle) correspond en effet à une phase métastable à l'échelle du système global, un intermédiaire vers la formation d'anorthite (qui apporte la plus faible contribution – 0,25 % – à la construction du premier axe).

Finalement, l'étape de la cuisson – telle qu'il est possible de la restituer pour le Mas de Moreno – se révèle bien plus complexe que ne le laisse entendre la définition habituelle de la céramique ibérique, considérée comme cuite à haute température (*supra*, p. 26). La restitution proposée tend à mettre en évidence des apports d'énergie relativement limités, sinon contrôlés. En outre, les individus remarquables correspondent systématiquement à des états de transformation encore moins avancés que le reste du corpus. Ce constat s'accorde parfaitement avec l'étude du mobilier, qui n'a

La distribution de l'ensemble des individus sur le plan principal est donc d'autant plus porteuse d'information qu'elle est asymétrique, et que l'étalement tend vers des compositions appauvries en phases néoformées (gehlénite et diopside). Autrement formulé, cet étalement constitue l'indice d'un défaut d'apport en énergie (par rapport à la situation illustrée par le maximum de densité) pour une partie de la fabrication. Le

permis de mettre en évidence quasiment aucun des indices habituels d'un excès de chaleur lors de la cuisson (*infra*, p. 171)²⁹⁵.

2. Conditions d'oxydoréduction

En complément des aspects énergétiques, il est possible de s'attacher aux conditions d'oxydoréduction et à leur évolution au cours de la cuisson. La classification proposée par C. MATA PARREÑO et H. BONET ROSADO distingue, au sein de ce qu'elles nomment la céramique ibérique de type A, deux catégories, selon que la cuisson est considérée comme oxydante ou réductrice²⁹⁶. Les objets fabriqués au sein de l'atelier du Mas de Moreno présentent une coloration de surface rose (7.5YR 7/3.5) et, compte tenu des éléments exposés précédemment (*supra*, p. 80), il est effectivement raisonnable de considérer que la cuisson s'est achevée dans des conditions oxydantes. La situation est cependant bien plus complexe si l'on cherche à restituer l'évolution des conditions d'oxydoréduction tout au long de la cuisson, en particulier une fois considérée l'hétérogénéité des colorations internes que présente le matériel provenant du Mas de Moreno (**fig. 41**).

La première possibilité consiste à utiliser la classification proposée par M. PICON (*supra*, p. 86 ; **tabl. 4**, p. 88), auquel cas deux situations bien distinctes sont représentées au sein du matériel étudié, selon que la coloration interne des tessons est rouge (**fig. 41 c**) ou grise (**fig. 41 d**). Le premier cas correspondrait au mode C (cuisson et refroidissement oxydants), alors que le dernier correspondrait alors au mode A (cuisson réductrice, refroidissement oxydant).

295 Sacilotto (2011, p. 180-187). Aucun pot déformé ou soudé – voir Vernhet (1981, p. 40) pour un exemple issu d'un contexte différent – à un autre suite à leur fusion partielle n'a ainsi été découvert par exemple.

296 Mata & Bonet (1992, p. 119).

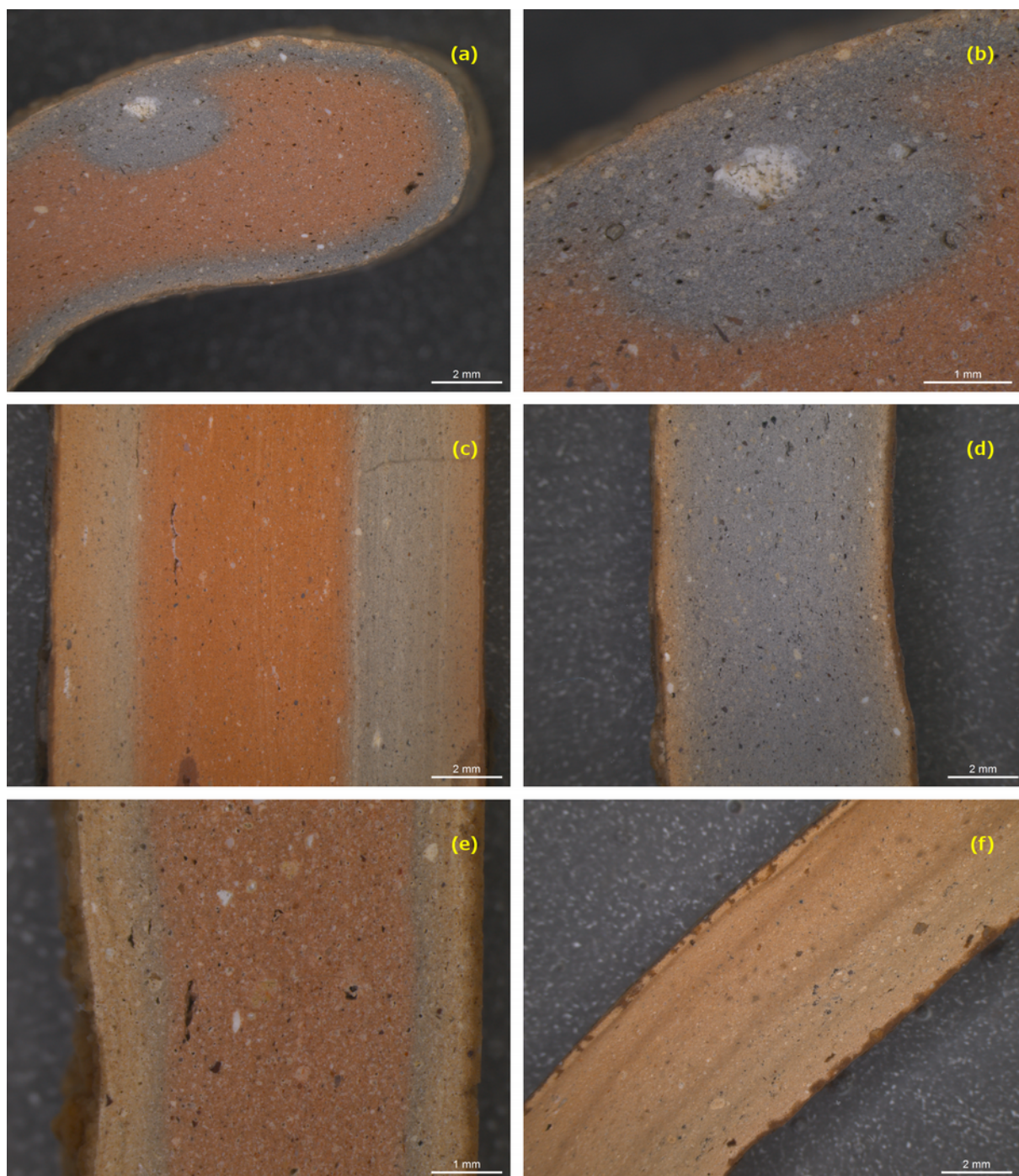


Figure 41 : coloration interne des tessons du Mas de Moreno. Sections polies observées à la loupe binoculaire en lumière blanche réfléchie.

(a) BDX15060 ; (b) BDX15060, détail du grain de calcite ; (c) BDX15034 ; (d) BDX15036 ; (e) BDX15038 ; (f) BDX15042.

La conséquence d'une telle interprétation réside dans les dispositifs techniques associés à ces deux modes de cuisson : l'un (mode A) est typique des fours à flammes nues et tirage vertical, tandis que l'autre (mode C) ne peut être réalisé, selon l'auteur, qu'à l'aide de dispositifs particuliers (four à moufle, cazettes)²⁹⁷. Cette hypothèse de l'existence conjointe du four à flammes nues et du four à moufle au sein de l'atelier du Mas de Moreno et, plus largement, au sein du domaine ibérique, a été formulée par A. GORGUES²⁹⁸. S'appuyant sur les particularités structurales des fours n°1 (présence de conduites périphériques) et n°5 (espace de circulation des gaz et cheminées périphériques, sole aveugle) de l'atelier (*infra*, p. 181), l'auteur a pu proposer un mode de fonctionnement des fours pour lequel la charge à cuire est isolée des produits de combustion au cours de la cuisson. Cette isolation étant parfois susceptible d'être modulée au sein d'une structure mixte, comme le four n°3, où les carreaux de la sole peuvent être occultés²⁹⁹. Si les données collectées s'accordent avec cette hypothèse, une observation supplémentaire vient cependant compliquer la lecture précédente : la présence d'un liseré gris entre la paroi et la partie la plus rouge interne (**fig. 41** a, c et e)³⁰⁰, correspondant au mode D de la classification précédente, illustre en effet la complexité des processus en jeu.

Une première hypothèse serait de considérer que l'apparition de cette teinte résulte d'un changement des conditions globales d'oxydoréduction au sein du four, ayant entraîné la formation d'oxydes de fer réduit. Si tel était le cas, le front de réaction (matérialisé par la progression du changement de couleur) au sein de la matière devrait être en tous points parallèle à la paroi de l'objet, car il résulte de la diffusion des gaz constituant l'atmosphère du four au sein de la matrice. Or, ceci n'est pas toujours vérifié, et il est ainsi possible d'établir que cette réduction intervient suite à une modification des conditions d'oxydoréduction internes à la matière en cours de transformation.

297 Picon (2002, p. 143).

298 Gorgues & Benavente Serrano (2012, p. 287-289).

299 Gorgues & Benavente Serrano (2012, p. 289).

300 Loin d'être une observation anecdotique, la présence de ce liseré a pu être constatée au sein de l'ensemble des unités stratigraphiques associées à la phase ibérique de l'activité du Mas de Moreno, ainsi que parmi le matériel provenant d'El Palao.

La coloration grise observée autour d'un grain de calcite³⁰¹ (**fig. 41** a et b) de dimensions importantes (env. 500 μm de diamètre) relativement au reste du cortège, illustre en effet un cas de réduction en atmosphère claire (*non-smoking reduction* ; *supra*, p. 84), dont la restitution proposée (**fig. 42**) interviendrait en plusieurs étapes, pour lesquelles plusieurs conditions doivent être vérifiées³⁰².

- *Étape 1* : à mesure que l'interface de réaction (I_{R1}) de décomposition thermique de la calcite progresse (①) depuis la paroi (P), celle-ci s'accompagne de la formation de dioxyde de carbone (**réac. 18**, p. 95) gazeux – sous réserve que les conditions de température et la pression partielle de CO_2 favorisent la réaction de décomposition (conditions pour que $\Delta_r G < 0$; *supra*, p. 95). Si, dans l'environnement immédiat du grain de calcite, le CO_2 produit diffuse dans toutes les directions (**fig. 41** b), l'évolution du gradient de concentration, à mesure que le front de réaction progresse, entraîne quant à lui la diffusion des produits gazeux à travers la matrice vers la paroi (②).
- *Étape 2* : le dioxyde de carbone est susceptible d'être réduit en monoxyde au contact de carbone (**réac. 12**, p. 85). Les teneurs non négligeables en matière organique, associées aux argiles³⁰³ ou résultant d'une étape de pourrissage³⁰⁴, sont en effet à même de permettre la réduction du CO_2 selon l'équilibre de Boudouard. L'évolution du rapport $P_{\text{CO}}/P_{\text{CO}_2}$ peut alors entraîner la réduction de l'hématite en magnétite (**réac. 5**, p. 83 ; **fig. 18**, p. 86).

Ci-contre, figure 42 : hypothèse de restitution de l'évolution des transformations et des conditions d'oxydoréduction au sein de la matière céramique fabriquée au Mas de Moreno.

Les domaines des diagrammes $P=f(T)$, pour lesquels les conditions nécessaires au déroulement de chaque étape sont vérifiées, sont indiqués en gris. Étape 1, la pression partielle de CO_2 minimale est considérée comme supérieure ou égale à 40 Pa, la valeur moyenne à la surface de la Terre. De même, pour la pression partielle de O_2 (étape 3) considérée comme inférieure ou égale à $2,12 \cdot 10^4$ Pa. Voir le texte pour plus de détails.

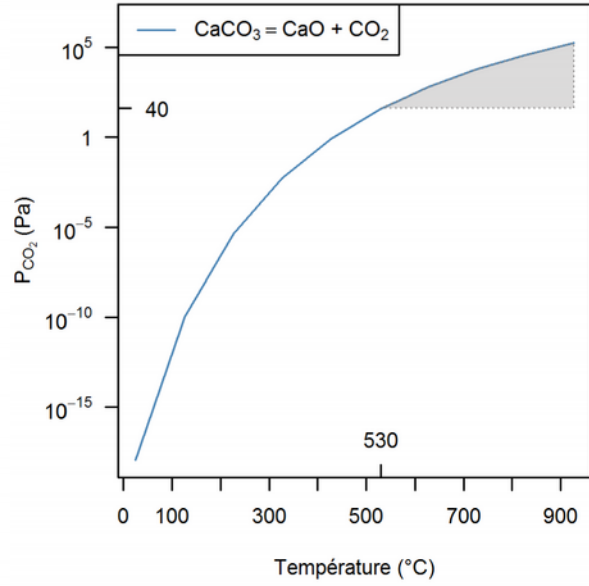
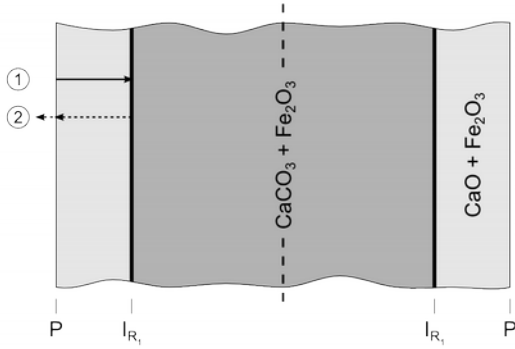
301 La détermination de ce minéral a été réalisée par spectroscopie Raman.

302 Ces dernières sont résumées sur la figure 42 et les domaines correspondants dans les diagrammes $P=f(T)$ sont indiqués en gris.

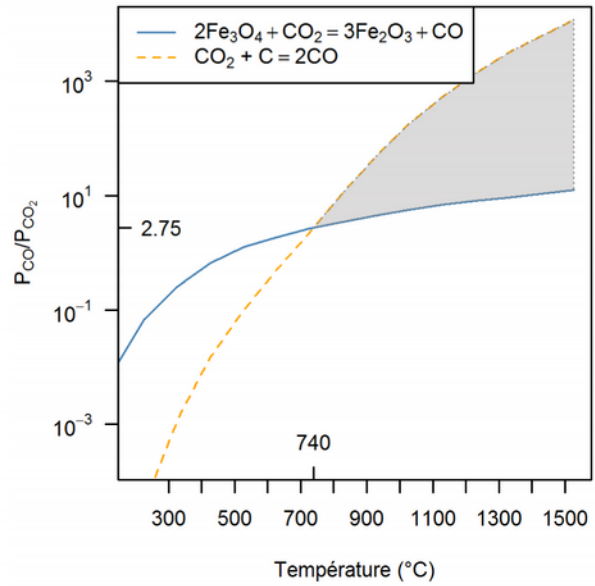
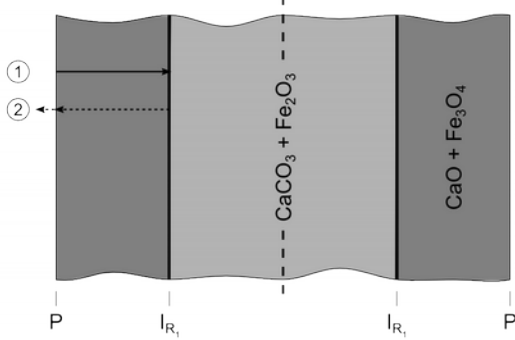
303 Les argiles contiennent généralement entre 1 et 17 % de matière organique (Johnson *et al.* 1988, p. 404).

304 London (1981).

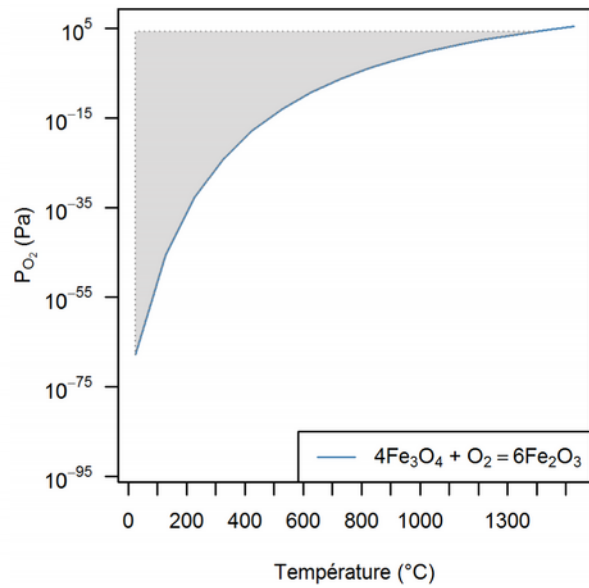
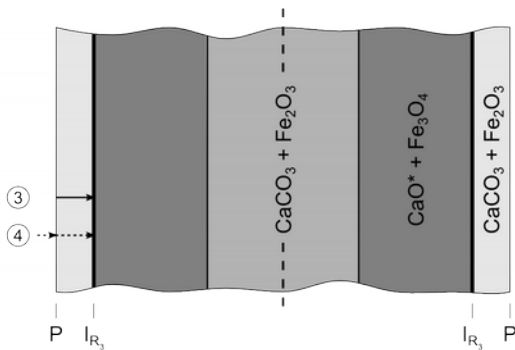
Étape 1 : $T > T_{CaCO_3}$
 $P_{CO_2}^{eq} > P_{CO_2} > P_{CO_2}^{four}$



Étape 2 : $T > T^{boudouard}$
 $\left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}\right)^{eq} > \frac{P_{CO}}{P_{CO_2}} > \left(\frac{P_{CO}}{P_{CO_2}}\right)^{boudouard}$



Étape 3 : $T < T_{CaCO_3}$
 $P_{O_2}^{eq} < P_{O_2} < P_{O_2}^{four}$



- *Étape 3* : le changement final de la composition atmosphérique du four et l'introduction de dioxygène sont susceptibles d'entraîner une réoxydation progressive du fer (③), à mesure de la diffusion des gaz à travers la paroi vers l'intérieur de la matrice céramique (④).

Le découpage des étapes 1 et 2 tel qu'il est proposé permet d'appréhender la succession des transformations mais ne reflète pas nécessairement une temporalité marquée : les deux étapes sont susceptibles d'intervenir en même temps. En particulier si l'on considère que l'évolution de la pression partielle de dioxyde de carbone est essentiellement régie par l'équilibre de Boudouard, auquel cas les conditions favorisant la décomposition de la calcite et la réduction de l'hématite sont réunies quasi simultanément (**fig. 18**, p. 86 et **fig. 22 b**, p. 97).

Le développement de ce liseré gris peut donc s'expliquer comme une conséquence de transformations intrinsèques à la matière et non liées directement aux conditions globales à l'intérieur du four³⁰⁵. Enfin, la restitution proposée est à même d'expliquer l'ensemble des colorations observées au sein du matériel étudié, et ce sans inférer la structure du four. En effet, selon la durée de chaque phase, la réduction du fer et, à l'inverse, son oxydation, peuvent – ou non – s'opérer sur toute l'épaisseur de l'objet (**fig. 41 d, e et f**).

305 Ceci invite, pour le moins, à relativiser la sentence de M. PICON, pour qui le mode D de sa classification est strictement hypothétique, et ce « *à moins d'utiliser des artifices aussi improbables qu'inutiles, dont rien ne permet de supposer qu'ils aient jamais existé, et dont on ne voit pas l'intérêt [sic]* » (Picon 2002, p. 142).

III. Synthèse

- Les données obtenues permettent de mettre en évidence la constance avec laquelle les pâtes sont préparées au cours de la fabrication. Ces dernières sont notamment caractérisées par la mise en œuvre d'une matière calcaire et une texture relativement fine.
- Afin de proposer une première restitution des transferts de chaleur au cours de la cuisson, le modèle développé ici repose sur une approche sérielle : en comparant l'état d'avancement des transformations affectant la matière au cours de la cuisson, au sein d'un corpus dont la cohérence interne (l'origine technique commune) est acquise, il devient possible de s'affranchir de toute référence extérieure et de dégager des tendances.
- Il est possible de montrer que les seuls individus étudiés s'écartant du reste du corpus au regard de leur composition minéralogique présentent une part plus importante de phases primaires (présentes dans la matière première), c'est-à-dire des apports en énergie moindres que le reste du corpus au cours de la cuisson. Ceci n'en fait pas pour autant un critère de rejet particulier : la comparaison avec des objets provenant de contextes de consommation permet de mettre en évidence des caractéristiques semblables.

Partie 3 – Routine et innovation : gestion du risque productif

Chapitre 1 – De l’appropriation de la nature.....143

Chapitre 2 – Sur l’adéquation entre matières et techniques.....171

Chapitre 1 – De l'appropriation de la nature

I. Origine des matières argileuses

L'objectif de cette première section est de s'attacher à la variabilité de composition des objets produits au sein de l'atelier du Mas de Moreno. Ceci, afin d'explorer la possibilité de variations dans les sources de matières premières mises en œuvre.

A. Source, origine et provenance

Dans la suite de ce travail, on entendra par *origine*, le lieu de fabrication, et par *provenance* celui de la découverte de l'objet³⁰⁶. Une telle distinction permet en effet de différencier les deux extrémités d'un vecteur de circulation³⁰⁷.

Les procédures d'attribution d'une origine reposent sur l'identification de sources probables, pour lesquelles la variabilité entre deux sources est supérieure à la variabilité interne d'une même source. Ce *postulat* de l'origine³⁰⁸ nécessite donc de

306 Widemann (1981, p. 408).

307 Au contraire de l'anglais *provenance* qui tend à confondre les deux.

308 « [...] *there exist differences in chemical composition between different sources that exceed, in some recognizable way, the differences observed within a given source* » (Weigand, Harbottle

reconnaître, pour chaque source, une signature qui lui est propre, correspondant à un centre de production, une localité plus ou moins étendue, un gîte de matière première, etc.

D'une part, la réponse apportée repose sur une approche probabiliste construite à partir d'un nombre fini de possibilités. La principale implication d'une telle procédure est d'ordre méthodologique : elle impose de raisonner par la négative, c'est-à-dire d'exclure les sources les moins probables. Dans le cas contraire, le risque est en effet de construire des *faux positifs*, en attribuant l'origine des produits à la source qui demeure la plus probable au sein d'une liste préalablement établie. Or, la vraie source peut ne pas être connue ou avoir disparu, car entièrement exploitée voire détruite par l'étalement urbain ou des activités agricoles plus récentes. Il apparaît ainsi bien moins dommageable d'exclure à tort une source (*faux négatif*) que de raisonner sur une mauvaise attribution³⁰⁹. D'autre part, la résolution spatiale de la réponse apportée repose sur la mesure de la variabilité intra-source. Or, pour un individu donné, la variance totale associée à la teneur en chaque composé peut être décomposée comme suit³¹⁰ :

$$\text{var}(T) = \text{var}(N) + \text{var}(E) + \text{var}(A) \quad (32)$$

où $\text{var}(T)$ est la variance totale, $\text{var}(N)$ est la variance naturelle, $\text{var}(E)$ est la variance introduite par l'échantillonnage et $\text{var}(A)$ est la variance analytique. La variance naturelle recouvre une réalité complexe, pour laquelle cinq hypothèses peuvent être avancées quant à la signification d'une variation de composition élémentaire (**fig. 43**)³¹¹ :

1. Différentes sources de matières premières (sélection) ;
2. Différents traitements des matières premières (préparation) ;
3. Conséquences de la mise en œuvre de l'objet (utilisation) ;

& Sayre 1977, p. 24).

309 Sur les procédures d'attribution, voir Frèrebeau (2010).

310 Beier & Mommsen (1994, p. 292).

311 Neff, Cogswell & Ross (2003, p. 202).

4. Conséquences de processus intervenant après l'enfouissement (taphonomie) ;
5. Combinaison de deux ou plusieurs des hypothèses précédentes.

De ces cinq hypothèses, la troisième peut d'ores et déjà être écartée : le matériel du Mas de Moreno étant issu d'un contexte productif, postuler qu'il n'a pas été utilisé, sinon pas suffisamment pour être affecté, ne semble pas déraisonnable. Concernant la préparation des pâtes, les éléments que nous avons déjà pu mettre en évidence (*supra*, p. 111) plaident en faveur d'une certaine constance des pratiques. Reste donc à explorer d'éventuels changements de sources de matières premières ou de mélanges de différentes sources, ainsi que la question des processus taphonomiques.

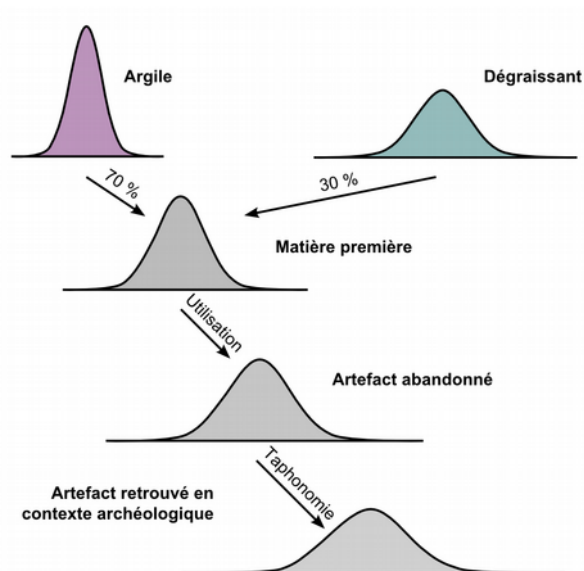


Figure 43 : modification de la distribution d'un composé dans une matière céramique, au cours des diverses phases de son existence. D'après Neff, Cogswell & Ross (2003, p. 202).

B. Perturbations et processus taphonomiques

Les problèmes d'altération des matières céramiques ont été documentés à partir de la fin des années 1970³¹² mais demeurent, nous semble-t-il, relativement peu pris en compte. Comment, dès lors, inférer des situations passées si les objets étudiés ont été affectés par des centaines voire des milliers d'années d'une existence souterraine ? Aussi, nous attacherons-nous ici à explorer, d'une part, l'éventualité d'une perturba-

312 Voir notamment : Picon (1976), Picon (1985), Picon (1991), Buxeda i Garrigós, Day & Kilikoglou (2001), Buxeda i Garrigós, Mommsen & Tzolakidou (2002), Schwedt, Mommsen & Zacharias (2004), Schwedt *et al.* (2006), Rathossi, Pontikes & Tsolis-Katagas (2010), Secco *et al.* (2011), Golitko *et al.* (2012).

tion des compositions des matières céramiques et, d'autre part, la possibilité d'altérations différentielles selon les matières.

1. Nature de la perturbation

La méthodologie mise en œuvre dans la suite de cette étude afin de mettre en évidence et de réduire, au moins en partie, les problèmes de perturbation de composition, est très largement inspirée des travaux de J. BUXEDA I GARRIGÓS³¹³. L'auteur préconise l'étude de la matrice de variation comme moyen d'identifier les couples d'éléments ayant la contribution à la variance totale la plus importante. Cette approche s'inscrit dans le prolongement des travaux de J. AITCHISON, celui-ci a proposé la définition d'une opération de perturbation³¹⁴ au cours de laquelle une composition perturbée X est obtenue en affectant une composition x par un vecteur perturbant u (éq. 33, où F correspond à l'opération de fermeture ; cf. annexe A4, p. 235).

$$X = u \oplus x = F(x_1 u_1, x_2 u_2, \dots, x_D u_D) = \left[\frac{x_1 u_1}{\sum_{i=1}^D x_i u_i}, \frac{x_2 u_2}{\sum_{i=1}^D x_i u_i}, \dots, \frac{x_D u_D}{\sum_{i=1}^D x_i u_i} \right] \quad (33)$$

Dès lors, il apparaît que l'opération de perturbation est double. Chaque composant x_i est affecté *directement* par le produit avec le composant u_i et, *indirectement*, par la somme des produits entre x_i et u_i , conséquence de l'opération de fermeture des données³¹⁵. Il peut alors être montré que l'utilisation des rapports de logarithmes et, en particulier, de la transformation additive (transformation *alr* ; cf. annexe A4, p. 235) permet de s'affranchir de la perturbation indirecte mais, si le vecteur transformé n'est plus perturbé par l'opération de fermeture, il demeure affecté par le composant utilisé comme dénominateur de la transformation (éq. 34)³¹⁶. Ainsi, choisir l'élément imposant le moins de variabilité lorsqu'il est utilisé comme dénominateur de la transformation *alr* doit permettre d'approcher la composition initiale, seulement affectée par la perturbation directe.

313 Buxeda i Garrigós (1999).

314 Aitchison (1986, p. 42-43).

315 Buxeda i Garrigós (1999, p. 296).

316 Buxeda i Garrigós (1999, p. 298-299).

$$alr(X) = \left[\ln\left(\frac{x_1}{x_D}\right) + \ln\left(\frac{u_1}{u_D}\right), \dots, \ln\left(\frac{x_{D-1}}{x_D}\right) + \ln\left(\frac{u_{D-1}}{u_D}\right) \right] \quad (34)$$

Au sein du corpus de céramiques étudié, la distribution de la part de la variance totale liée à chacune des colonnes de la matrice de variation (cf. annexe A7, p. 253) permet de mettre en évidence quatre groupes de variables regroupant le lanthane et le cérium, le strontium et le baryum, le cuivre et, dans un seul ensemble, le reste des éléments et composés (**fig. 44 a**).

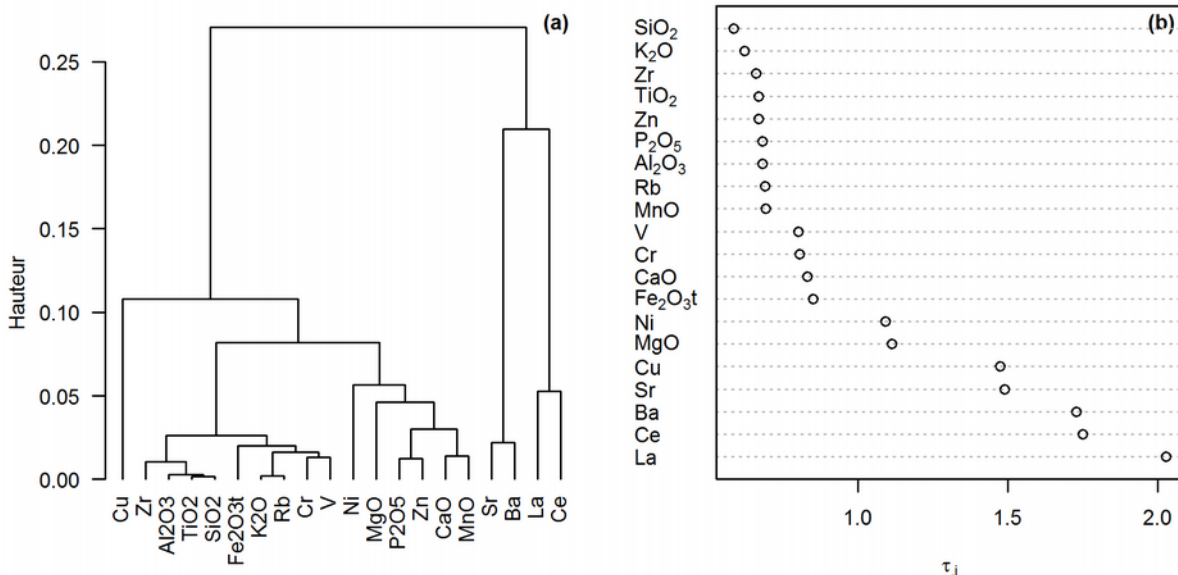


Figure 44 : associations entre variables et contributions de chacune à la variance totale.

(a) Classification des variables obtenue par la méthode d'agglomération de Ward à partir de la matrice de variation utilisée comme matrice de distances ; (b) somme des variances de la colonne i de la matrice de variation (tabl. 3).

Lanthane, cérium, strontium, baryum et cuivre imposent ainsi aux données transformées une variabilité supérieure à 66 % lorsqu'ils sont utilisés comme diviseur de la transformation additive (cette sous-composition représentant à elle seule 33 % de la variance totale). Au contraire, le reste des variables impose une variabilité inférieure à 50 % (exception faite du magnésium et du nickel, qui occupent une position intermédiaire). La plus faible valeur étant obtenue pour le silicium : son utilisation au

dénominateur impose une variabilité de l'ordre de 15 % (cf. annexe A7, p. 253 ; **fig. 44 b**). Une analyse en composante principale a ainsi été réalisée à partir des données de composition, ces dernières ayant préalablement subi une transformation additive (transformation *alr*, cf. annexe A4, p. 235) en utilisant le composé SiO_2 au dénominateur (**fig. 45**).

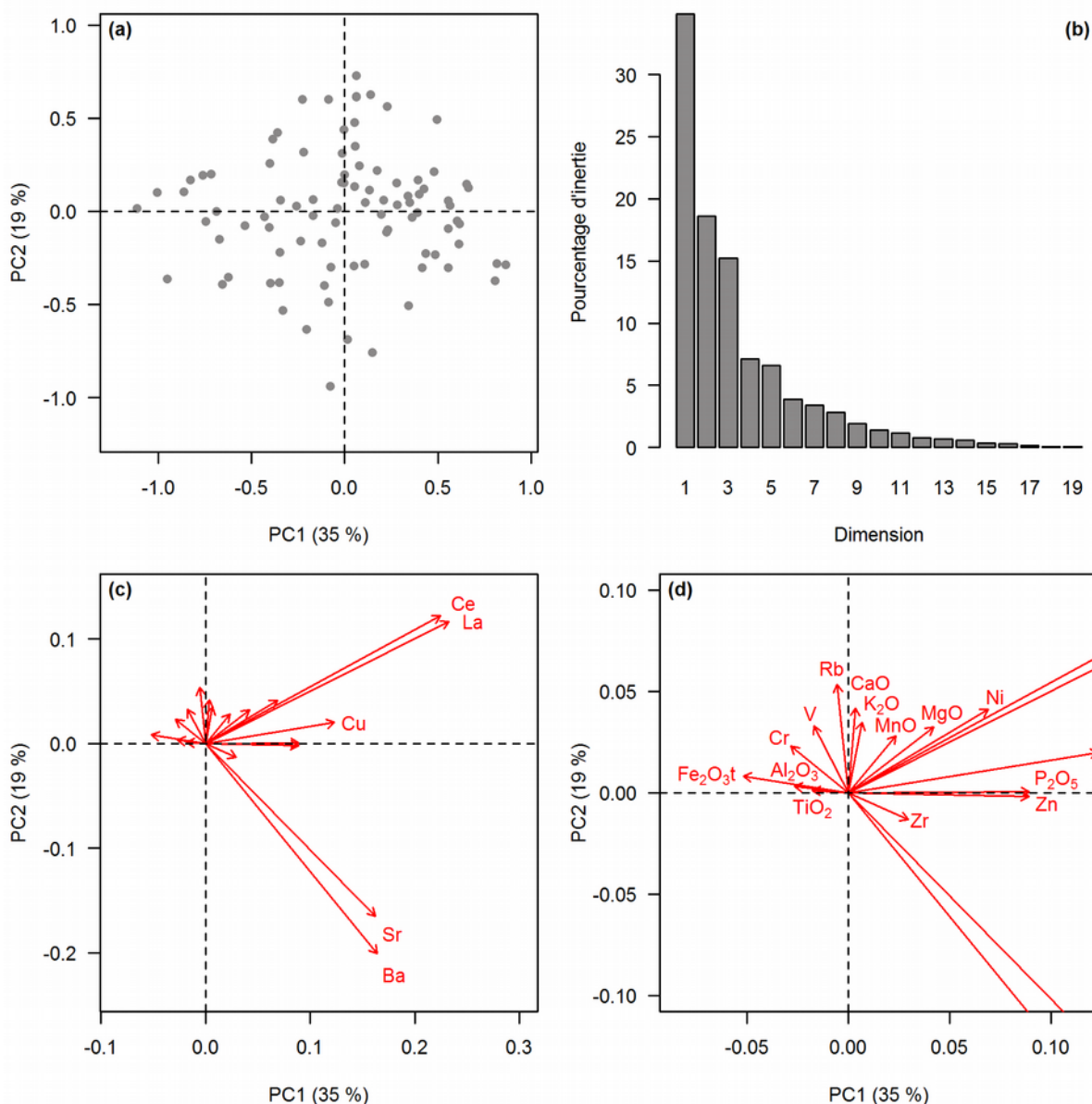


Figure 45 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres cuites (transformation *alr*).

Les données ont préalablement subi une transformation additive en utilisant SiO_2 comme diviseur (cf. annexe A4, p. 235). (a) Projection du nuage des individus sur le plan principal ; (b) pourcentage d'inertie associé à chaque dimension ; (c) projection des variables. (d) Détail de (c).

En première approximation – les deux premiers axes n'expliquant que 52 % de la variance totale – il apparaît que la dispersion des individus sur le plan principal est majoritairement le fait des cinq éléments précédemment identifiés que sont le strontium, le baryum, le lanthane, le cérium et le cuivre (**fig. 45** a et c).

2. Le cas des alcalino-terreux et du cuivre

a. Impact du milieu d'enfouissement

Les anomalies liées aux éléments alcalins et alcalino-terreux sont bien documentées et sont, dans la plupart des cas, associées à des processus postdépôts de dissolution et cristallisation³¹⁷. Au sein du matériel étudié, des cristallisations secondaires dans les pores des matrices céramiques ont pu être mises en évidence (**fig. 46** a et b) : il s'agit de carbonates de calcium (calcite) et de sulfates de baryum (barytine).

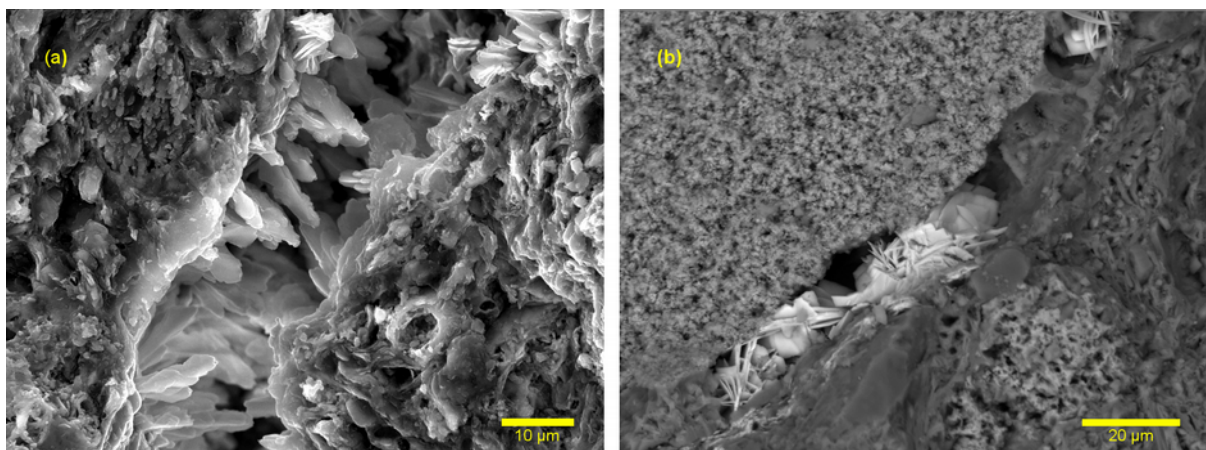


Figure 46 : cristallisations secondaires dans les pores des matrices céramiques (microscopie électronique à balayage).

(a) Cristaux de carbonates de calcium (calcite). Échantillon BDX15033, image en électrons secondaires. (b) Cristaux de sulfates de baryum (barytine). Échantillon BDX15034, image en électrons rétrodiffusés (les cristaux sont bien mis en évidence par le contraste chimique et apparaissent plus clairs).

317 Voir, entre autres, sur la fixation des alcalino-terreux : Picon (1985), Picon (1991), Buxeda i Garrigós (1999), Golitko *et al.* (2012). Sur la fixation du césium : Buxeda i Garrigós, Day & Kilikoglou (2001, p. 366).

La présence de cette dernière catégorie s'accorde particulièrement bien avec l'analyse de nos données élémentaires, qui permet de mettre en évidence une forte proportionnalité entre baryum et strontium³¹⁸. La formation de cristallisations secondaires composées d'éléments alcalino-terreux peut aisément être mise en relation avec la nature du milieu d'enfouissement. Les ions du strontium et du baryum appartiennent à la catégorie des cations dits solubles (fig. 47). Une fois mis en solution, ces derniers sont hydratés et forment des solutions alcalines : ces ions sont ainsi aisément mobilisés par les circulations d'eau. Lors de l'altération des roches, les hydrolysats forment une phase résiduelle, tandis que cations solubles et oxyanions sont lessivés par les circulations d'eau, avant de se combiner pour former des roches sédimentaires : carbonates, sulfates, phosphates, etc.³¹⁹

L'essentiel des sols de la vallée de l'Èbre et, en particulier du Bas-Aragon, appartiennent à la catégorie des calcisols (*supra*, p. 44). La mise en place de ces derniers est liée au climat semi-aride de la région, dont le fort contraste saisonnier entraîne la concentration des éléments alcalins et alcalino-terreux dans les sols ainsi que la précipitation de différents sels (fig. 48)³²⁰. Les circulations d'eau à travers le

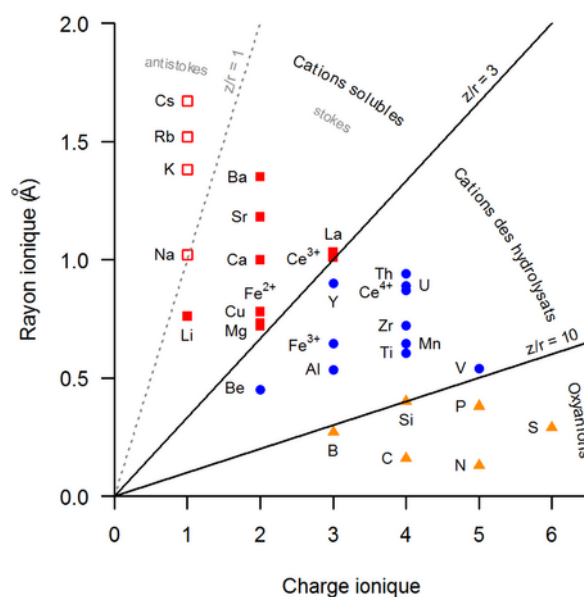


Figure 47 : diagramme de Goldschmidt.

L'évolution du rapport (potentiel ionique) entre rayon (r) et charge ioniques (z) permet de distinguer trois grandes catégories liées à l'attraction des ions considérés pour la molécule d'eau. La différence entre cations stokes et antistokes est liée au potentiel ionique. Trop élevé pour ces derniers, ils ne sont pas hydratés lors de leur mise en solution.

318 Calcium, strontium et baryum vérifient les règles de substitution de V. M. Goldschmidt : tous trois présentent des charges équivalentes, des différences de rayon ionique inférieures à 30 % et des valeurs d'électronégativité similaires – respectivement 1, 0,95 et 0,89 selon l'échelle de L. Pauling (1932). Au sein de nos résultats, ceci est illustré par la proximité de ces variables sur le plan principal de l'ACP (fig. 4 c) et la faible valeur de l'entrée correspondante dans la matrice de variation ($\zeta_{Sr Ba} = 0,02$).

319 Cojan & Renard (2006, p. 59-61).

320 Meunier (2002, p. 257-258), Chesworth (2008, p. 79).

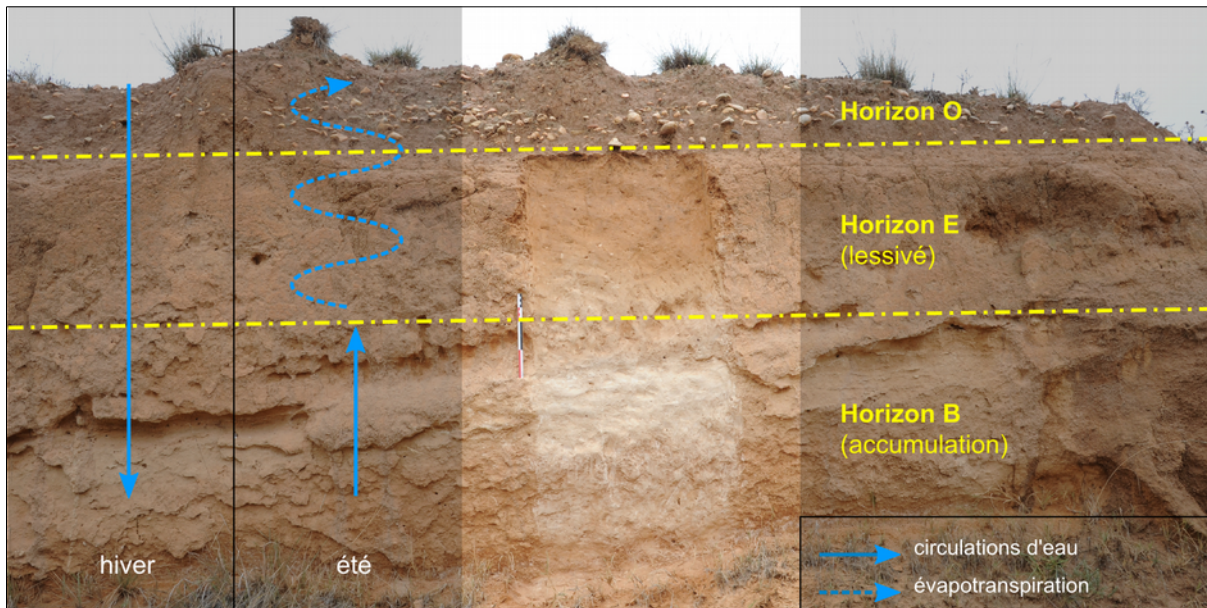


Figure 48 : profil pédologique typique d'un calcisol* à proximité du site du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, Espagne).

Au cours de l'hiver, les précipitations entraînent le lessivage des horizons supérieurs. A l'inverse, au cours de l'été, l'importante évapotranspiration entraîne la remontée de sels, qui s'accumulent dans l'horizon B. L'horizon d'accumulation, où se concentrent éléments alcalins et alcalino-terreux entraînant la précipitation de sels, est identifiable par sa teinte blanchâtre.

sol et à travers la porosité des matrices céramiques sont donc à même d'entraîner un enrichissement en calcium, strontium et baryum allochtones et d'expliquer la dispersion de nos résultats. En outre, ceci s'accorde avec la présence d'importantes concrétions de calcite et de gypse à la surface d'une très grande partie des céramiques mises au jour au Mas de Moreno (**fig. 49**).

b. Le cru et le cuit : un cas de perturbation différentielle

La présence de cristallisations secondaires est en grande partie contrôlée par la capillarité*, qui permet la pénétration des solutions saturées dans la matrice céramique, et dépend notamment de la porosité* et de la taille des pores³²¹. Après une transformation additive en utilisant la silice comme diviseur³²², une analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres cuites et des terres crues a été réali-

321 Le phénomène de capillarité est alors d'autant plus accentué que le diamètre de ces derniers est réduit.

322 Comme précédemment, la faible variabilité (16 %) imposée par l'utilisation de SiO₂ au dénominateur de la transformation additive justifie son choix.

sée (**fig. 50**). Bien que le plan principal n'explique que 57 % de la variance totale, deux constats peuvent être formulés. Les cinq éléments identifiés précédemment (lanthane, cérium, strontium, baryum et cuivre) apparaissent une fois encore responsables de l'essentiel de la dispersion sur le plan principal³²³.

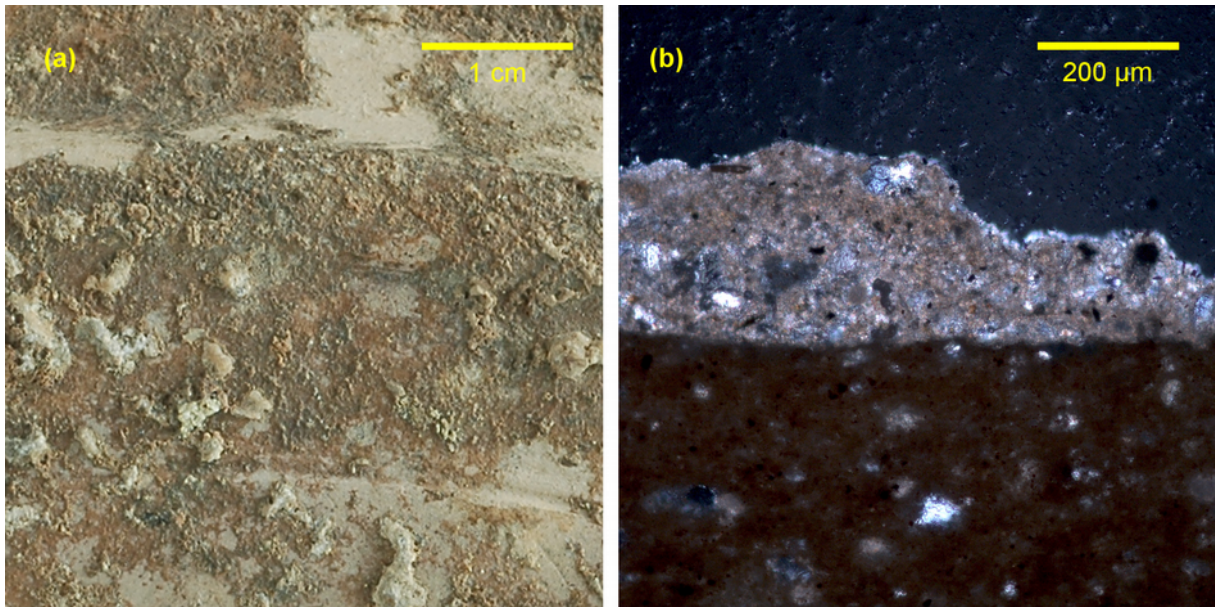


Figure 49 : (a) détail des concrétions formées à la surface des matériaux céramiques fabriqués au sein de l'atelier du Mas de Moreno (photographie en lumière naturelle ; BDX15032) ; (b) lame mince d'une section de l'épaisseur d'un vase, la calcite cristallisée en surface est bien identifiable par ses teintes de biréfringence élevées (photographie en lumière transmise, polarisée et analysée ; BDX15646).

De plus, les résultats de l'ACP suggèrent l'existence de deux sous-populations au sein du jeu de données, comme l'illustre la présence de deux maximums de densité (**fig. 51 a**). La distinction entre les deux populations supposées est surtout le fait des alcalino-terreux (strontium et baryum) et du cuivre (**fig. 50 c**). Alors que l'on s'attendait à voir les terres crues présenter un net enrichissement en ces éléments, du fait de leur capillarité plus importante, on constate cependant l'inverse : ce sont les terres cuites qui présentent un tel enrichissement (**fig. 52**). La différence de matière (terre crue *vs.* terre cuite) semble alors la mieux à même d'expliquer l'existence de deux populations, comme l'illustre la perte au feu, utilisée ici comme variable illustrative (**fig. 50 c, fig. 51 b**).

323 Cuivre, baryum, strontium, lanthane et cérium représentent ainsi 40 % de la variance totale de la matrice de données non transformées.

Cependant, le passage de la terre crue à la céramique au cours de la cuisson ne semble pas avoir de conséquence en termes de composition élémentaire autre qu'une perte en éléments volatils³²⁴ – éléments non exploités dans la présente étude. La différence constatée ne s'explique donc pas par cette étape de transformation.

L'observation des résultats de l'ACP pourrait, de prime abord, conduire à une autre interprétation qui serait celle d'une modification progressive de la composition élémentaire des produits du Mas de Moreno au cours du temps. En effet, les fragments de poteries non cuites n'appartiennent pas à l'ellipse de probabilité des terres cuites de l'ensemble 2, bien que synchrones, et présentent ainsi une proximité inattendue avec le matériel de l'ensemble 3 (**fig. 51 c**). Cette proximité pourrait d'autant mieux s'expliquer, que le dépôt des tessons non cuits correspond au moment charnière entre la phase de production strictement ibérique et la restructuration de l'atelier, qui accompagne l'apparition d'éléments de tradition romaine. La variation de composition traduirait alors un changement de sources de matières, au milieu du 1^{er} siècle av. J.-C. Cette possibilité peut néanmoins être raisonnablement rejetée : les résultats d'une analyse discriminante (**fig. 51 d**, **tabl. 6**) permettent en effet d'attribuer, comme attendu, les terres crues à l'ensemble 2 (à trois exceptions près : BDX14915, BDX14918 et BDX14926), sur la base de leurs compositions élémentaires.

Cette différence peut être mise en relation avec le comportement des minéraux argileux, qui tendent à adsorber les cations en position inter-foliaire, limitant d'autant la précipitation de sels que leur capacité d'échange cationique est élevée. À l'inverse, ces sels sont susceptibles de cristalliser au sein des pores des matrices céramiques, en particulier lorsque sont présentes des phases secondaires ou métastables, liées à la cuisson, qui peuvent alors jouer le rôle de précurseurs. Les apports en fluides saturés dans les sols sont ainsi à même d'entraîner un enrichissement progressif en alcalino-terreux allochtones, par cristallisations successives dans les terres cuites.

324 Cogswell, Neff & Glascock (1996, p. 284-287), Schwedt & Mommsen (2007).

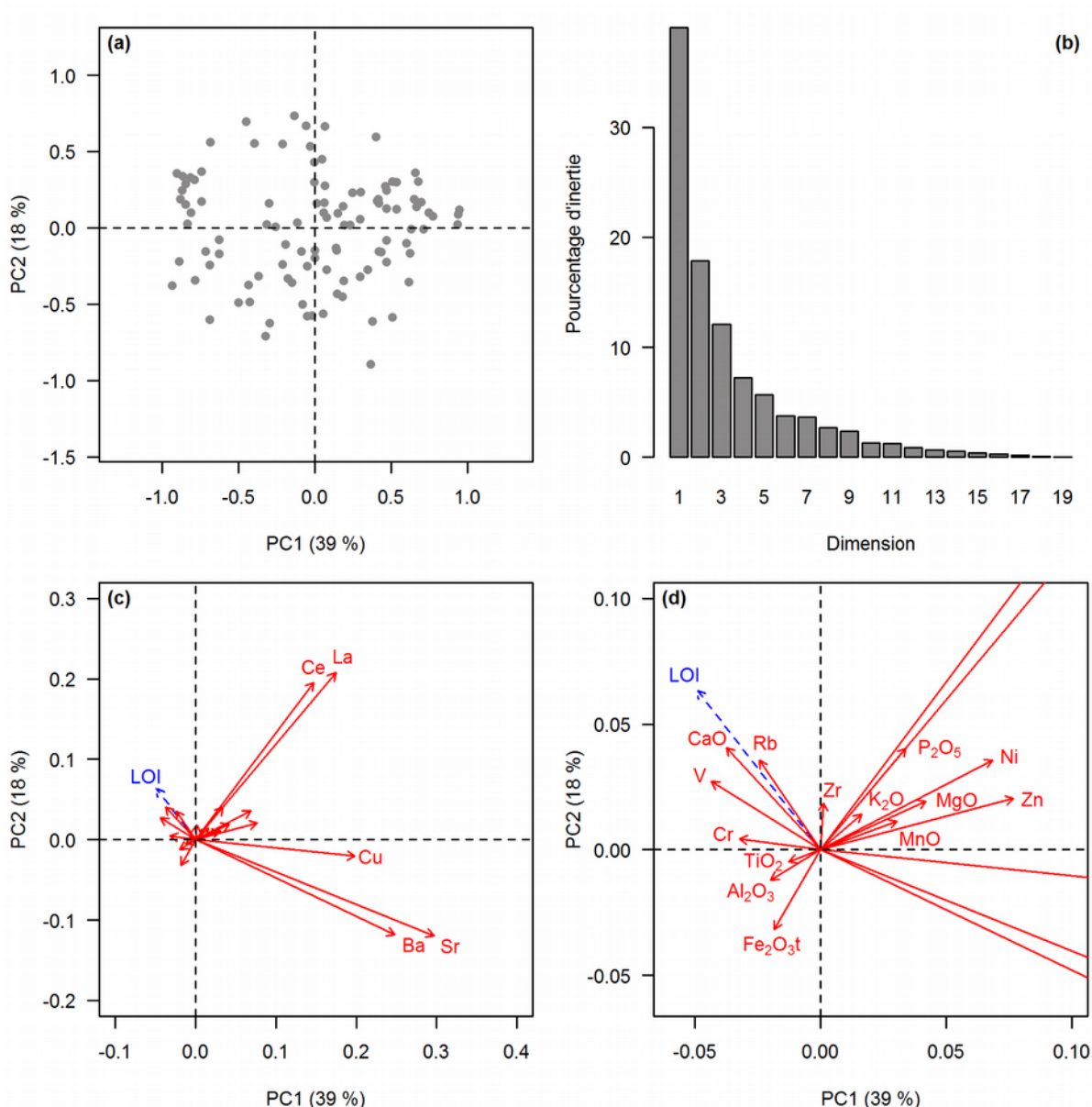


Figure 50 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites.

À noter que le plan principal n'explique que 52 % de la variance totale. Les données ont préalablement subi une transformation additive, en utilisant SiO₂ comme diviseur (transformation alr ; cf. annexe A4, p. 235). Le logarithme de la perte au feu (LOI) a été ajoutée comme variable illustrative. (a) Projection du nuage des individus sur le plan principal. (b) Pourcentage d'inertie associé à chaque dimension. (c) Projection des variables : une très forte proportionnalité est attendue entre, d'une part, lanthane et cérium et, d'autre part, strontium et baryum. (d) Détail de (c).

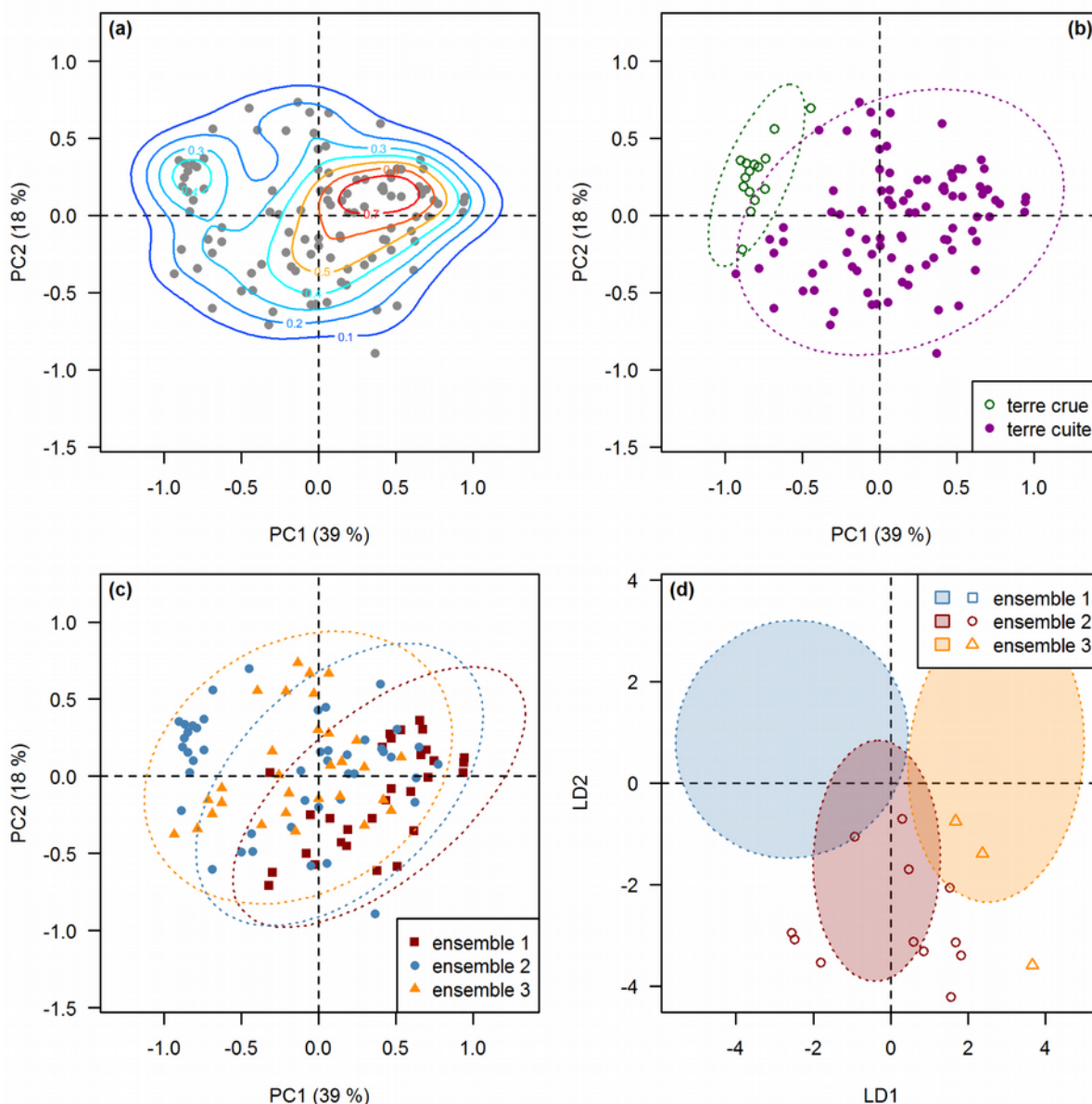


Figure 51 : projection du nuage des individus sur le plan principal de l'ACP des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites et analyse discriminante en fonction des ensembles chronologiques.

(a) Projection du nuage des individus sur le plan principal et lignes d'isodensités kernel : deux maxima de densité sont nettement visibles. (b) Nuage des individus en fonction de la nature du matériau et ellipses de probabilité à 95 % correspondantes. (c) Nuage des individus en fonction de l'attribution chronologique et ellipses de probabilité à 95 % correspondantes (seules les terres cuites ont été intégrées au calcul de ces ellipses). (d) Appartenance des tessons non cuits à un ensemble chronologique, telle que prédite par le modèle résultant d'une analyse discriminante linéaire. Cette dernière a été réalisée en utilisant les compositions des terres cuites comme jeu de données d'entraînement, après une transformation additive (transformation ilr ; cf. annexe A4, p. 235). Les ellipses correspondent aux ellipses de probabilité à 95 % des différents ensembles chronologiques, tels que prédits par le modèle pour les seules terres cuites. La justesse de ces prédictions est résumée dans le tableau 6.

		Prédit (nombre d'individus)		
		Ensemble 1	Ensemble 2	Ensemble 3
Attendu	Ensemble 1	28	2	0
	Ensemble 2	2	26	2
	Ensemble 3	0	0	30
Justesse de la prédiction		93 %	87 %	100 %

Tableau 6 : justesse de la prédiction d'appartenance des terres cuites à un ensemble chronologique, issue de l'analyse discriminante linéaire des données de composition élémentaire.

Enfin, l'adsorption des ions cuivre par les minéraux argileux ou leur combinaison avec des complexes humiques* constituent les principales formes d'occurrence de cet élément dans les sols³²⁵. Ainsi, le cuivre se trouve-t-il piégé dans les matrices céramiques au cours de la cuisson, tandis qu'il est susceptible d'être lessivé et remobilisé dans les terres crues, ce qui permettrait d'expliquer les moindres teneurs constatées au sein de celles-ci (**fig. 52**).

3. Le cas des terres rares

Des nodules de phosphates de terres rares légères, de quelques micromètres de diamètre, ont pu être identifiés par SEM-EDS. Monazite et xénotime constituent des minéraux accessoires, relativement communs dans les roches ignées granitiques ou métamorphiques dérivées de sédiments argileux³²⁶. En contexte sédimentaire, ces minéraux sont d'origine détritique, et sont d'autant mieux préservés que les phosphates présentent une faible solubilité dans des conditions alcalines (typiquement celles des calcisols)³²⁷. La monazite incorpore les terres rares légères, au détriment des principaux silicates et présente souvent une importante zonation chimique³²⁸.

325 Sillanpää (1979, p. 23).

326 Overstreet (1967, p. 11).

327 Tunesi, Poggi & Gessa (1999, p. 226), Chesworth (2008, p. 78-79).

328 Zhu & O'Nions (1999, p. 210-214), Corrie & Kohn (2008, p. 463).

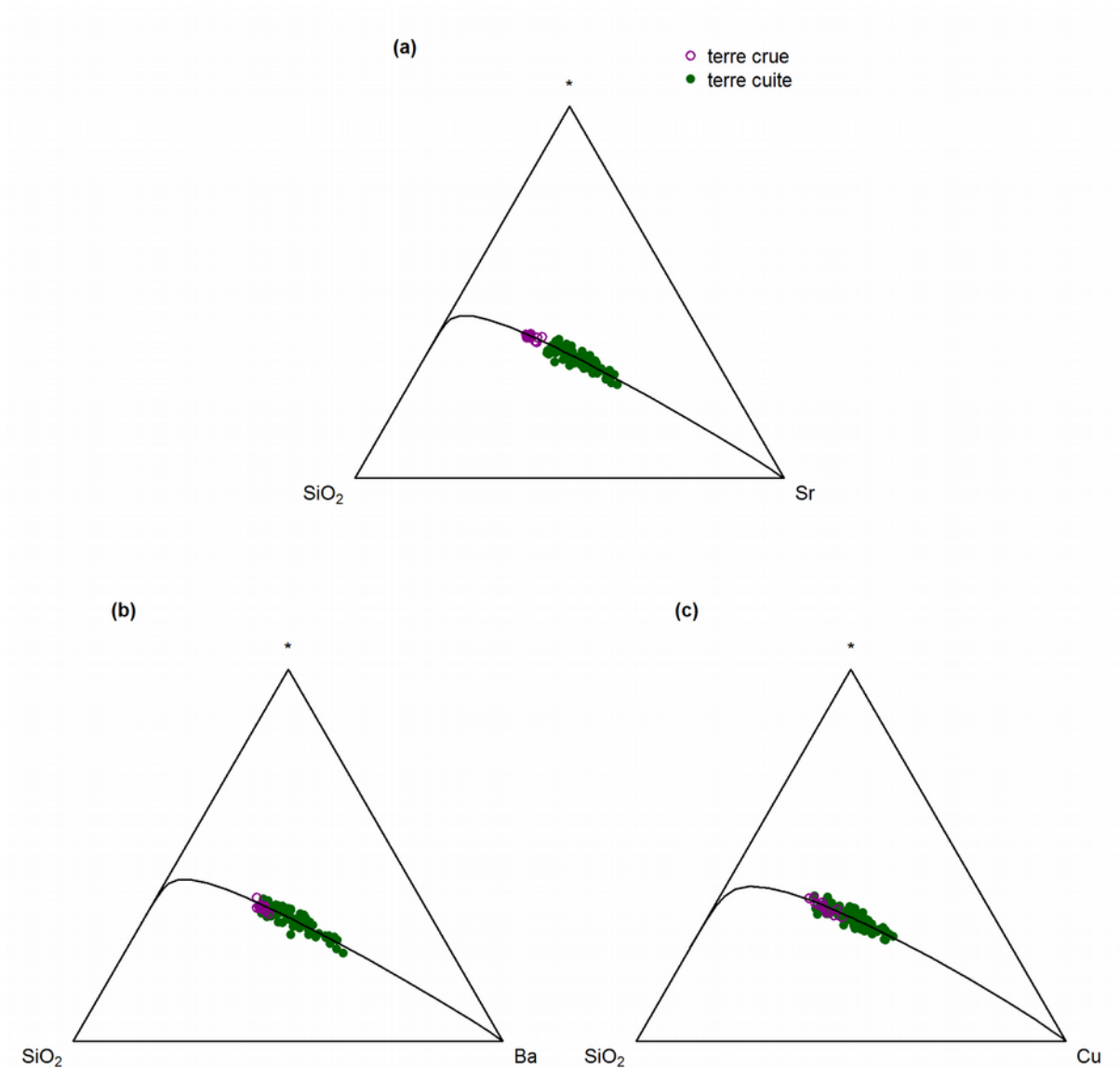


Figure 52 : diagrammes ternaires des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites, pour les systèmes (a) $\text{SiO}_2\text{-Sr-}^*$, (b) $\text{SiO}_2\text{-Ba-}^*$ et (c) $\text{SiO}_2\text{-Cu-}^*$.

Le troisième membre de chaque diagramme – indiqué par un astérisque – correspond à la moyenne géométrique de chaque composition (calculée en excluant les deux composés figurés par ailleurs). Les données ont été centrées (cf. annexe A4, p. 235), et le premier composant résultant de l'ACP des sous-compositions est également figuré.

Ceci s'accorde, d'une part, avec la forte proportionnalité constatée dans nos données entre les teneurs en lanthane et en cérium (**fig. 50 c**)³²⁹ et, d'autre part, avec la variance importante attachée à ces éléments. La dispersion liée au lanthane et au cérium est ainsi très vraisemblablement la conséquence d'une variabilité liée à l'échantillonnage et à la distribution des grains de monazite ou de xénotime au sein des individus étudiés. En conséquence, les teneurs en terres rares apparaissent fortement affectées par la présence d'un seul minéral accessoire, dont la composition peut varier d'un grain à l'autre³³⁰.

C. Une fabrication monogénique ?

Ces problèmes désormais identifiés et éliminés, les données apparaissent particulièrement peu dispersées³³¹, et aucune structuration particulière ne peut être mise en évidence (qu'elle soit en lien avec la chronologie ou avec les catégories d'industries considérées ; **fig. 53**). Ceci concorde avec nos observations précédentes concernant la préparation des pâtes, pour lesquelles aucune différence de texture ou de minéralogie n'avait pu être mise en évidence (*supra*, p. 103). Les matériaux fabriqués au sein de l'atelier constituent ainsi un ensemble homogène et présentent une fabrique similaire sur toute la période d'activité de l'atelier, indifféremment des catégories d'industries considérées. Demeure alors la question des procédés ayant conduit à cette apparente stabilité dans la préparation des pâtes.

Par *standardisation* est généralement désigné, soit un degré d'homogénéité relative (sinon une réduction de la variabilité) parmi les caractéristiques des objets fabriqués, soit les procédés permettant d'atteindre cette homogénéité³³². L'emploi de cette notion de standardisation ne se fait cependant pas sans soulever un certain nombre de problèmes. D'une part, celle-ci est sous-tendue, en français, par l'idée d'une volonté normative. D'autre part, les développements liés à la question de la

329 L'entrée correspondante dans la matrice de variation est parmi les plus faibles : $\zeta_{La Ce} = 0,06$ (cf. annexe A7, p. 253).

330 Buxeda i Garrigós, Cau & Kilikoglou (2003, p. 11-14).

331 Une fois retirés les cinq éléments affectés (strontium, baryum, lanthane, cérium et cuivre) : $v_t = 0,17$

332 Rice (1992, p. 268), Arnold (2000).

standardisation des productions de matériaux céramiques relèvent très souvent d'une approche formaliste de la question économique : la standardisation est alors la conséquence d'une contrainte résultant d'une organisation de la production (spécialisation), sinon d'une intensification de cette dernière³³³. Bien que l'activité de l'atelier du Mas de Moreno s'inscrive dans le cadre des mutations économiques affectant le nord-est du domaine ibérique à la fin de l'Âge du Fer (*supra*, p. 20), l'homogénéité des pâtes demeure un fait constant : tant propre au matériel étudié le plus ancien, qu'à celui associé à une intégration progressive dans un système romain.

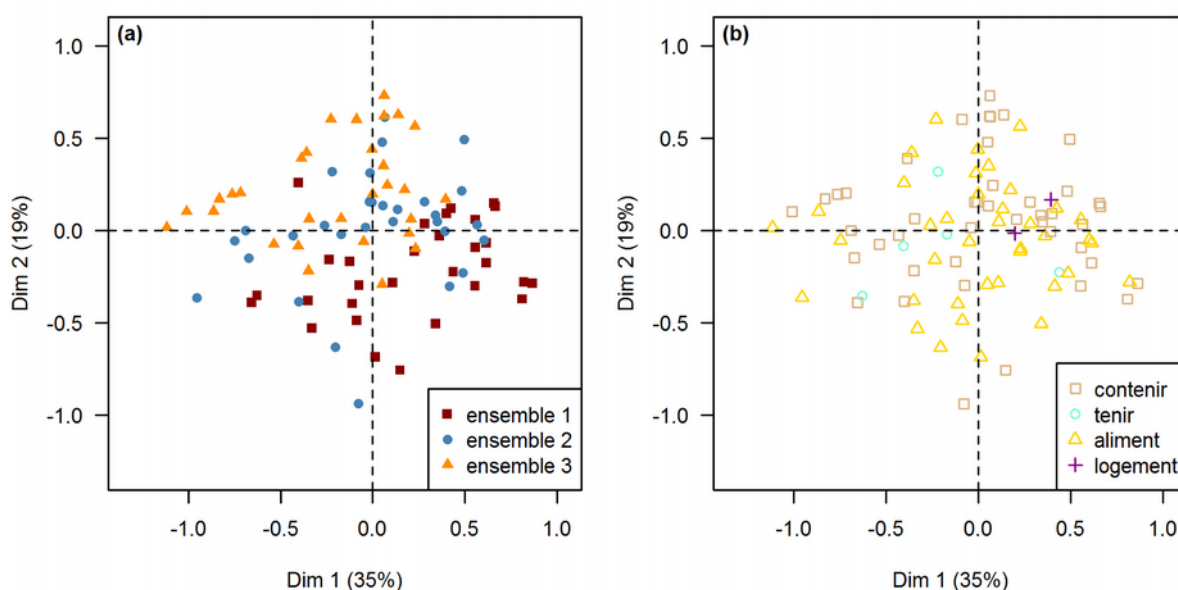


Figure 53 : projection du nuage des individus sur le plan principal résultant de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres cuites (transformation alr).

Les données ont préalablement subi une transformation additive en utilisant SiO_2 comme diviseur (cf. annexe A4, p. 235). (a) En fonction de la chronologie ; (b) en fonction des catégories d'industries (*supra*, p. 104). Voir également la figure 45, p. 148.

333 Il est parfois frappant de constater que les termes du problème sont avant tout ceux du descripteur, ceux de l'économie de marché dont les mécanismes sont considérés comme universels : « *Labor investment refers to manufacturing costs, measured by the time required to produce some commodity. The relative investment of labor and the degree of specialization may be interrelated insofar as specialized industries are competitive, emphasizing efficiency in production.* » (Costin & Hagstrum 1995, p. 621 et références citées).

Au sein de l'atelier, l'existence d'une standardisation des formes fabriquées ne peut, à l'heure actuelle, être établie de manière univoque. Si des proximités morphologiques – notamment le tracé des profils de certains types de vases – peuvent être mises en évidence, celles-ci sont contrebalancées par des variations morphométriques (hauteur et diamètre)³³⁴. Ces observations s'accordent avec un constat plus large : dans le nord-est de la péninsule, la production d'amphores ibériques ne semble pas liée à une recherche particulière d'unité volumique³³⁵. Cette apparente dichotomie entre les caractéristiques formelles et celles de la matière, peut cependant être en partie expliquée par les deux facettes de l'objet : comme réalisation technique et comme ayant une tâche à accomplir.

Comme produit de la technique, l'objet s'inscrit au sein d'un processus de fabrication en partie construit sur la répétition de gestes. L'apparition de variations peut ainsi se trouver contrainte, au regard des modes et des durées d'apprentissage, les premiers reposant sur l'observation du maître et la reproduction des gestes, les secondes nécessitant un investissement sur le long terme (*supra*, p. 62). De plus, au cours de la fabrication, certaines opérations n'ont d'autre objectif que de préparer la ou les suivantes. À chacune de ces étapes est associée un risque, dont la gestion incombe à celui qui la réalise (*infra*, p. 185). Tant et si bien qu'un changement de la routine (entendue comme la répétition de savoir-faire acquis par l'expérience et assurant la réussite des opérations) est susceptible d'être associé à une éventuelle perte des pièces – quand bien même il n'existerait effectivement aucun lien entre les deux. Ainsi, la stabilité des caractéristiques des pâtes serait-elle la traduction d'un « *esprit conservateur* » : en anticipant un risque économique, la technique affecte en retour les modes de représentation des acteurs qui la mettent en œuvre³³⁶. Les mécanismes en jeu apparaissent bien plus complexes que ne l'a formulé P. PARIS, qualifiant de « *fâcheuse aventure* » la non évolution de la céramique ibérique : « *la routine, en art*

334 Sur les *kalathoi* et pots à deux anses associés à la phase de production pleinement ibérique de l'atelier du Mas de Moreno, voir Sacilotto (2011, p. 133-141). Néanmoins, ces aspects de standardisation des dimensions des formes fabriquées au sein de l'atelier nécessiteraient une approche plus systématique, permettant d'apprécier l'étendue de la variabilité au regard des quantités fabriquées.

335 Gorgues (2010, p. 186).

336 Foster (1965), Levi Strauss (1985, p. 236-237).

et en industrie, sort à la fois de la paresse et de la timidité [sic] des artistes et des fabricants et de la patience et de l'indifférence du public »³³⁷.

Le second aspect réside dans la fin de l'objet fabriqué et dans les traits utiles sélectionnés pour la servir. Ceci est notamment explicite dans le cas des vases de stockage (jarres *Ilturatin*, amphores, etc.), amenés à porter (contenant une denrée) et à transporter (vecteur de la circulation de la denrée), s'inscrivant plus largement dans la production alimentaire et les mécanismes de sa distribution³³⁸. De telle sorte que les rapports de dimensions peuvent être affectés tant par des considérations ergonomiques (moyens de préhension, occupation de l'espace, etc.), que par les modalités de circulation des biens (le volume transporté permettant, par exemple, de construire des équivalences de valeurs d'échange) – ces deux aspects n'en demeurant pas moins ni exclusifs, ni exhaustifs³³⁹. Au même titre, la pâte peut être affectée par la fin donnée à l'objet et ainsi traduire, entre autres, la recherche d'une meilleure résistance aux contraintes thermiques ou mécaniques, certaines caractéristiques pouvant être exclusives les unes des autres (*infra*, p. 176).

Ainsi, l'homogénéité constatée des compositions (minéralogiques et élémentaires) traduirait-elle l'attention portée aux premières étapes de la chaîne opératoire (essentiellement la préparation des pâtes), telle que les mêmes traits utiles sont systématiquement sélectionnés, indépendamment des catégories d'industrie. La coupe et l'amphore n'ont pas la même fin mais les mêmes traits utiles ont été conservés dans les deux cas. *C'est le sens que nous entendons ici donner à l'idée d'une fabrication monogénique : les produits de l'atelier auraient été fabriqués à partir, non nécessairement d'une même matière, mais bien d'un même matériau.*

Enfin, il convient de rappeler que nos observations portent sur un matériau, la pâte, dans son état final, et que différentes combinaisons de procédés sont susceptibles de produire les mêmes résultats. Si bien que la stabilité constatée au sein des différents ensembles étudiés pourrait être à même de dissimuler des changements

337 Paris (1904, p. 137).

338 Gorgues (2010, p. 181-192).

339 Ainsi en est-il du développement de la palette de manutention au milieu du XX^e siècle, motivé par la logistique (occupation de l'espace au cours du transport, utilisation du chariot élévateur, etc.), et non par la qualité de la marchandise qu'elle supporte.

dans les dispositifs mis en œuvre pour atteindre le même but. De même que la stabilité de certains aspects pourrait être concomitante de l'évolution des pratiques associées à d'autres étapes de la fabrication (*infra*, p. 181).

II. Sélection des matières premières

La question qui se pose alors est celle de l'articulation entre les caractéristiques identifiées au sein des céramiques et les matières naturelles disponibles. Cette standardisation des pâtes pourrait finalement n'être que la conséquence de particularités, sinon de contraintes, environnementales. L'objectif n'est donc pas ici de localiser des sources de matières, mais de réaliser une première approche du champ des possibles, quant à la nature des matières argileuses disponibles et la nature des choix opérés.

A. Prélèvements d'argiles

Pour ce faire, 21 échantillons d'argiles ont été récoltés, dans un rayon de 10 km autour de l'atelier (**fig. 7** et **8**, p. 45). Les prélèvements ont été réalisés sur la base d'hypothèses archéologiques et au regard de la diversité des ressources environnantes (*supra*, p. 44). Les prélèvements d'argiles réalisés appartiennent ainsi à deux ensembles bien individualisés (cf. annexe A2, p. 203 ; **tabl. 11**, p. 209) :

- *Les niveaux tertiaires*. Quinze prélèvements ont été réalisés dans les niveaux néogènes superficiels, dont trois sont issus d'un même profil vertical (BDX15608, BDX15609, BDX15610).
- *Les dépôts mésozoïques* sous-jacents. Quatre et deux prélèvements ont été réalisés dans les niveaux triasiques (Keuper) et crétacés (Albien), respectivement.

Un prélèvement supplémentaire (BDX15016) a été réalisé dans le comblement d'une structure proche de l'atelier, interprétée comme de possibles bassins de décantations abandonnés, liés aux activités industrielles sub-contemporaines de la commune de Calanda (**fig. 54**).

Enfin, la localisation des prélèvements a été fortement contrainst par l'occupation actuelle du sol. Les surfaces cultivées ont en effet été systématiquement évitées, afin de réduire les risques de pollution liée aux pratiques de l'agriculture intensive (amendement des sols et autres insecticides).



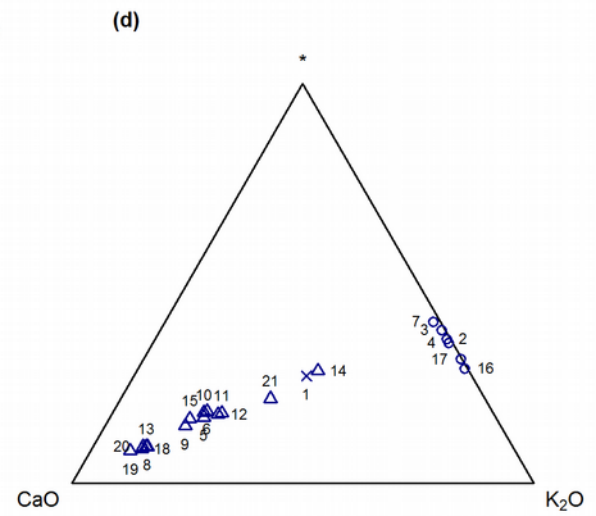
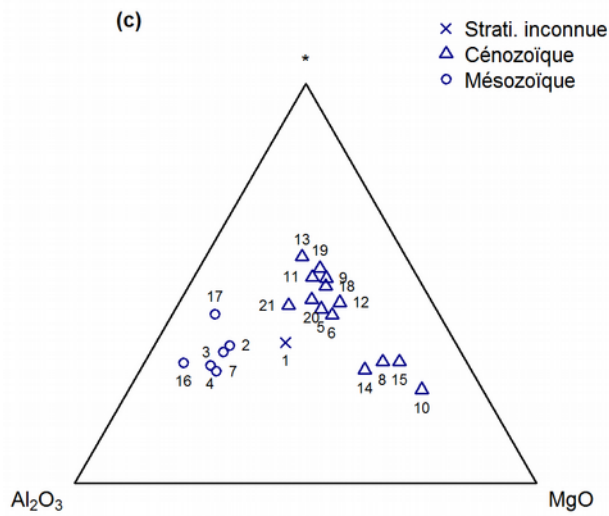
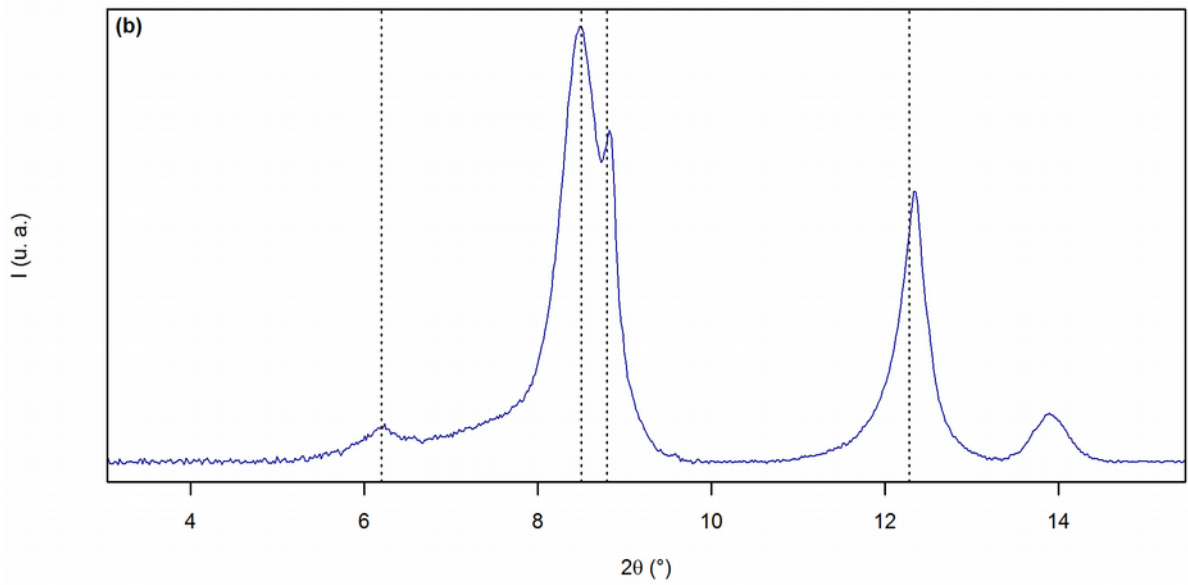
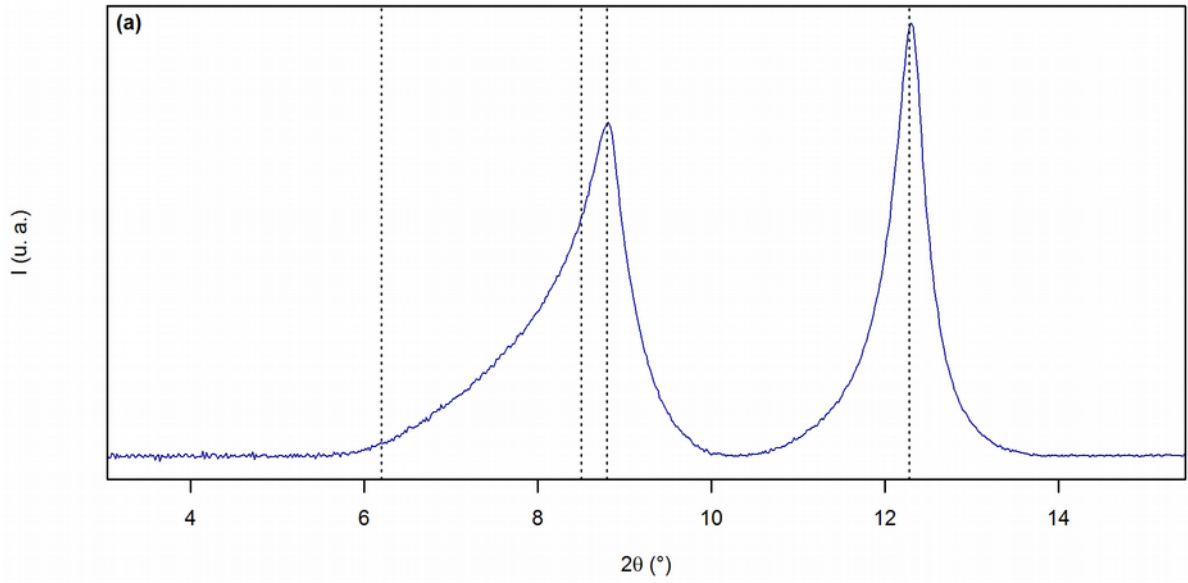
Figure 54 : probable bassin de décantation abandonné, lié aux activités potières modernes de la commune de Foz-Calanda (où sont encore visibles les restes d'un important four, en activité dans la seconde moitié du XX^e s.).

B. Choix des matières argileuses

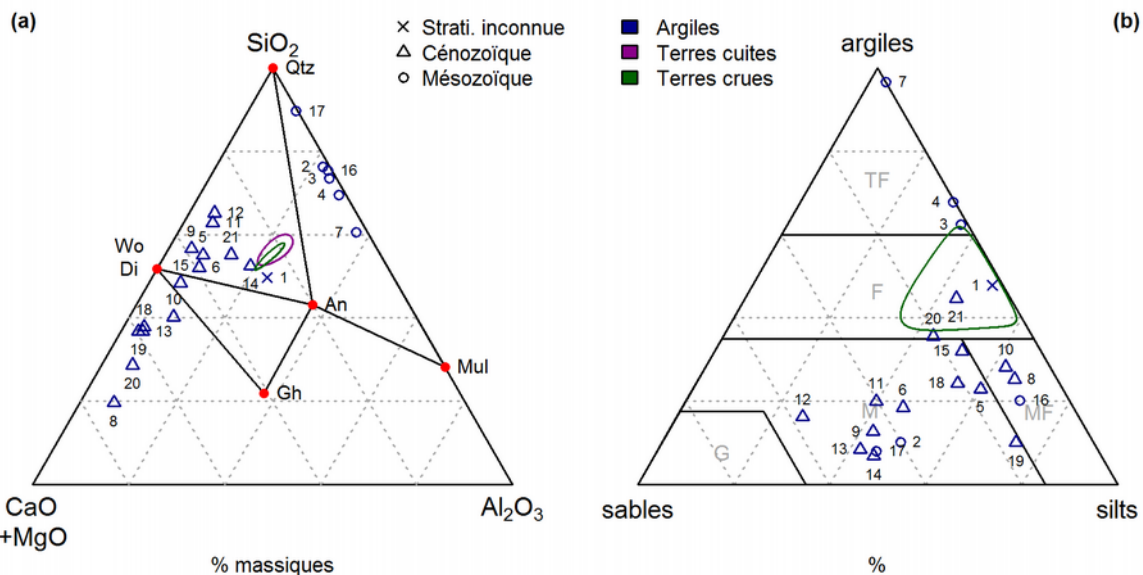
Les compositions des différents prélèvements permettent de mettre en évidence deux ensembles distincts. Les assemblages de minéraux argileux sont en effet qualitativement différents en fonction de l'origine stratigraphique des prélèvements. Seules la kaolinite et l'illite (muscovite) ont été identifiées au sein des argiles mésozoïques, tandis que les prélèvements cénozoïques se caractérisent par des assemblages plus complexes : à la kaolinite et l'illite, s'ajoutent la palygorskite, la chlorite et des espèces gonflantes (groupe des smectites ou interstratifiées), la présence des espèces gonflantes et de l'illite étant mutuellement exclusive (**fig. 55** a et b). Cette distinction peut également être opérée à partir des compositions élémentaires : les teneurs en composés du calcium et du potassium permettent une nette séparation entre les deux ensembles (**fig. 55** c et d). Enfin, il demeure une forte variabilité parmi les argiles cénozoïques. La comparaison des prélèvements d'argiles avec les produits (terres crues et terres cuites) de l'atelier du Mas de Moreno permet de formuler les remarques suivantes.

Seuls deux des prélèvements réalisés (BDX15016 et BDX15611) présentent une forte proximité avec les produits de l'atelier, tant en termes de composition élémentaire (en particulier dans le système CAS ; **fig. 56** a) que de texture (**fig. 56** b). Le reste des argiles analysées demeure soit trop calcaire et trop peu alumineux (argiles cénozoïques), soit trop peu calcaire (argiles mésozoïques). Le premier de ces deux prélèvements ayant *a priori* été retrouvé en position secondaire³⁴⁰ et correspondant à des activités récentes, il est de peu d'intérêt pour les questions qui nous occupent. Quant au second, il ne présente qu'une similitude partielle (qualitativement parlant) avec les minéraux argileux identifiés dans les terres crues provenant du Mas de Moreno, l'illite (muscovite) n'ayant pas été identifiée. Dès lors, il est possible d'envisager, soit que la composition minéralogique de ces tessons non cuits n'est pas représentative de l'ensemble de l'activité de l'atelier ; soit la possibilité d'un mélange de matières argileuses au cours de la fabrication. Cependant, faute d'éléments supplémentaires, il ne nous apparaît pas possible de conclure plus avant.

340 Aucun élément ne permet de l'affirmer avec certitude, aussi s'agit-il là d'une mesure de prudence.



L'identification de minéraux argileux gonflants (groupe de la smectite) et magnésiens (palygorskite) apparaît comme un bon traceur et permet d'affirmer, avec une certaine sécurité, l'exploitation – au moins pour une partie de la fabrication – de gîtes d'argiles cénozoïques. Ces minéraux sont en effet à mettre en relation avec l'histoire sédimentaire de la vallée de l'Èbre (*supra*, p. 40) : ils sont largement associés à la mise en place et à l'évolution de calcisols³⁴¹. Ce dernier point permet alors d'envisager une exploitation de niveaux superficiels, affectés par les processus de pédogenèse.



Ci-contre, figure 55 : minéralogie et compositions élémentaires des prélèvements d'argiles en fonction de la stratigraphie.

(a) Diffractogramme type d'une argile mésozoïque (BDX15600) ; (b) diffractogramme type d'une argile cénozoïque (BDX15601) ; (c) compositions élémentaires des argiles dans le système Al_2O_3 - MgO -* ; (d) compositions élémentaires dans le système CaO - K_2O -*. Les données figurées dans les diagrammes ternaires ont été préalablement centrées (cf. annexe A4, p. 235), et le sommet marqué d'un astérisque correspond à la moyenne géométrique du reste de la composition. Les indices correspondent aux numéros de ligne du tableau d'inventaire (tabl. 11, p. 209).

Ci-dessus, figure 56 : comparaisons des compositions des prélèvements d'argiles et des produits provenant de l'atelier du Mas de Moreno.

(a) Compositions élémentaires dans le système CAS ; (b) triangle des textures. Les ellipses figurées correspondent aux ellipses de probabilité (au risque $\alpha = 0,05$) associées aux compositions des terres crues et des terres cuites de l'atelier. Les indices correspondent aux numéros de ligne du tableau d'inventaire (tabl. 11, p. 209).

341 Duchaufour (1997, p. 152-153), Meunier (2002, p. 289).

Au regard de ces éléments, au premier rang desquels figure la variété des matières disponibles, transparait la question des choix réalisés lors de la sélection des matières argileuses, en particulier concernant la présence des minéraux argileux dits gonflants. De prime abord, ces minéraux présentent notamment de fortes variations de volume en présence d'eau, susceptibles d'affecter les objets façonnés au cours du séchage. Une telle difficulté pourrait être anticipée et évitée, or il semble que l'intérêt de ces minéraux pour le potier réside précisément dans leur capacité à absorber des molécules ou des cations en position interfoliaire. La présence d'ions calcium augmenterait en effet la floculation* des minéraux argileux, réduisant leur adhésivité* et facilitant ainsi le travail de la pâte³⁴². De même que la présence de matière organique serait susceptible de modifier les propriétés mécaniques de la pâte (*supra*, p. 60).

342 Hoard *et al.* (1995, p. 825).

III. Synthèse

- L'impact du milieu, et notamment de la nature des sols, doit être pris en compte comme source de perturbation des compositions élémentaires. Les processus intervenant après l'abandon des artefacts, notamment liés aux mécanismes de pédogenèse, n'affectent pas argiles et céramiques de la même façon. L'existence d'une altération différentielle en fonction de la nature des matériaux invite pour le moins à la prudence quant à l'application du postulat de provenance.
- Cependant, une fois identifiés ces phénomènes d'altération il est possible de composer avec ceux-ci. L'identification de minéraux argileux caractéristiques nous permet de proposer une exploitation des niveaux néogènes superficiels, affectés par les processus de pédogenèse.
- Au regard de la stabilité des compositions au cours du temps et de l'absence de distinction en fonction des catégories d'industries, les produits de l'atelier auraient été fabriqués à partir, non nécessairement d'une même matière, mais bien d'un même matériau pâte.
- Autrement formulé, les caractéristiques techniques dudit matériau demeurent stables au cours de toute l'activité de l'atelier, alors que plusieurs modifications interviennent, en particulier concernant les structures de cuisson.

Chapitre 2 – Sur l'adéquation entre matières et techniques

I. De l'intérêt des matières calcaires

À partir des éléments précédents, il a pu être montré que les matières céramiques fabriquées au sein de l'atelier du Mas de Moreno appartiennent à la catégorie des céramiques calcaires (*supra*, p. 103). Il est possible de montrer que cet aspect relève de choix techniques, susceptibles de s'articuler avec les traits utiles sélectionnés à chaque étape de la chaîne opératoire et au cours de la vie de l'objet.

A. Propriétés thermiques

Au cours de la cuisson des céramiques calcaires, la calcite tend à se décomposer, entraînant ainsi la formation de chaux vive (*supra*, p. 95). La présence de composés de calcium (et de magnésium) assurant le rôle de fondants abaisse sensiblement et localement la température de fusion mais, contre toute attente, la vitrification demeure

néanmoins plus développée en l'absence de carbonates de calcium. Ceci pour deux raisons principales.

D'une part, les composés de calcium entraînent en effet la cristallisation de nouvelles phases, dès lors que des partenaires de réaction sont mis à disposition par la destruction des minéraux argileux, selon les mécanismes précédemment exposés (*supra*, p. 98)³⁴³. D'autre part, la formation de ces silicates de calcium est à même de piéger des composés du fer (indépendamment de sa valence*)³⁴⁴. Ce point est particulièrement intéressant au regard du comportement du fer³⁴⁵ :

1. Sous sa forme ferreuse (Fe^{2+}), celui-ci joue le rôle de modificateur de réseau (fondant) dans les mélanges silicatés et tend à abaisser la température de fusion et à réduire la viscosité du liquide.
2. Sous sa forme ferrique (Fe^{3+}), le fer est susceptible d'intervenir tant comme modificateur de réseau que comme formateur de réseau (stabilisant), augmentant dans ce dernier cas la viscosité du mélange.

À partir des éléments précédemment exposés, il a pu être montré l'existence de conditions localement réductrices dans les matrices céramiques au cours de la cuisson, telle qu'elle est mise en œuvre au sein de l'atelier du Mas de Moreno – ceci en lien avec la décomposition thermique de la calcite (*supra*, p. 133). Or, puisque des conditions de faible pression partielle de dioxygène (conditions évoluant vers une cuisson en atmosphère dite réductrice) favorisent la formation de composés de fer ferreux, le risque est de former une phase liquide relativement visqueuse – à plus forte raison alors que les matières mises en œuvre sont associées à l'eutectique le plus bas du système $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (**fig. 57 ; tabl. 7**)³⁴⁶.

343 Cultrone *et al.* (2001, p. 630), Trindade, Dias & Rocha (2009, p. 354).

344 Maniatis, Simopoulos & Kostikas (1983, p. 780).

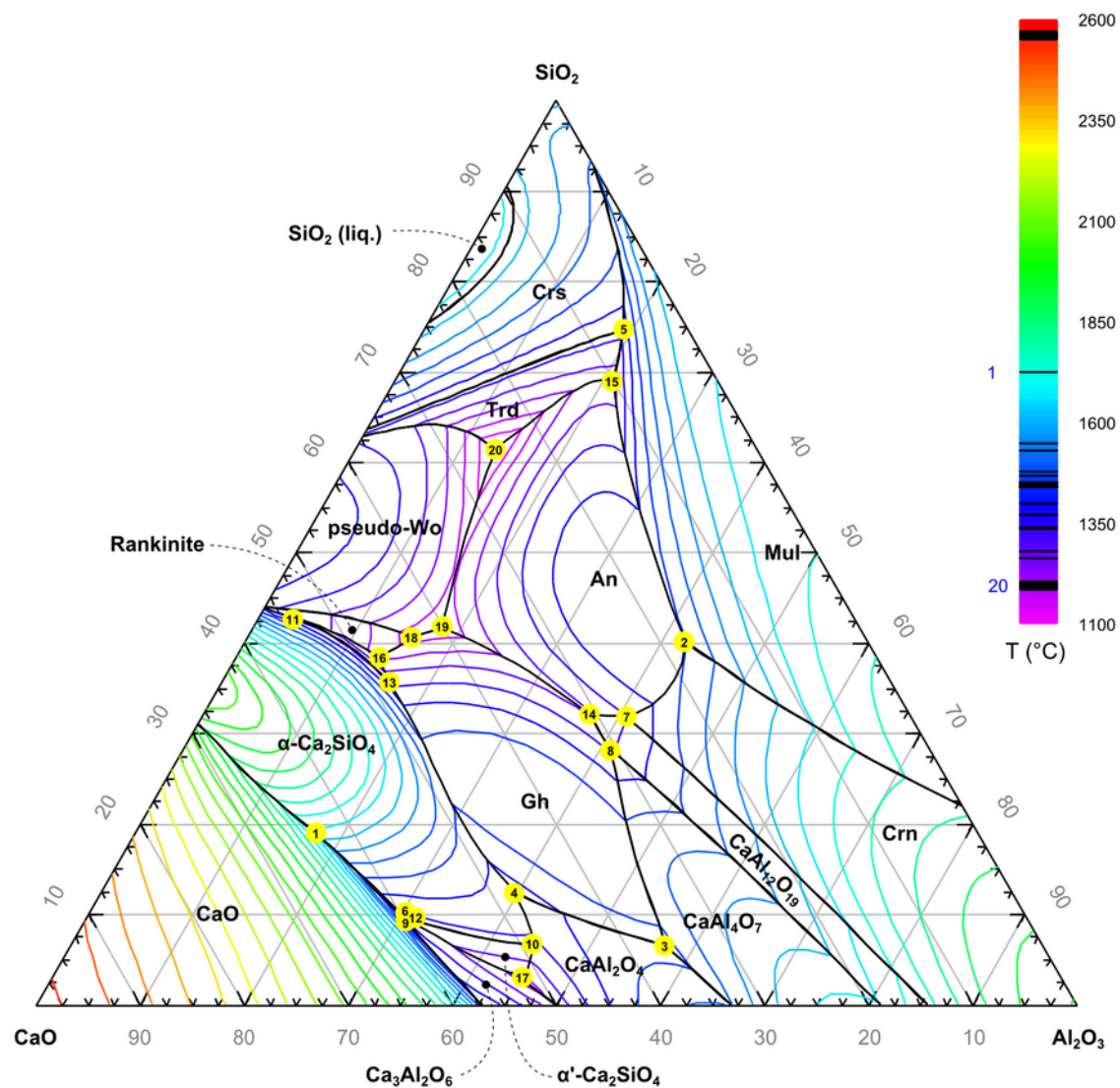
345 Mysen *et al.* (1985a, p. 326).

346 Il est très peu probable que les 1200 °C (température de l'eutectique en question) puisse être atteinte et maintenue. Cependant, la présence locale d'eau ou de composés jouant le rôle de fondants est à même d'abaisser sensiblement cette température.

#		CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	T (°C)
1	CaO / α -Ca ₂ SiO ₄ / Hatrurite	64	17	19	1727
2	Crn / An / Mul	18	42	40	1546
3	Gh / CaAl ₂ O ₄ / CaAl ₄ O ₇	36	57	7	1529
4	Gh / α -Ca ₂ SiO ₄ / CaAl ₂ O ₄	48	40	12	1474
5	Mul / Crs / Trd	6	19	75	1465
6	CaO / Ca ₃ Al ₂ O ₆ / Hatrurite	60	31	10	1447
7	Crn / CaAl ₁₂ O ₁₉ / An	27	41	32	1447
8	Gh / CaAl ₁₂ O ₁₉ / CaAl ₄ O ₇	30	41	28	1443
9	α -Ca ₂ SiO ₄ / Ca ₃ Al ₂ O ₆ / Hatrurite	60	30	10	1441
10	α -Ca ₂ SiO ₄ / α' -Ca ₂ SiO ₄ / CaAl ₂ O ₄	49	44	7	1437
11	α -Ca ₂ SiO ₄ / α' -Ca ₂ SiO ₄ / Rankinite	54	3	43	1437
12	α -Ca ₂ SiO ₄ / α' -Ca ₂ SiO ₄ / Ca ₃ Al ₂ O ₆	60	31	10	1437
13	Gh / α -Ca ₂ SiO ₄ / α' -Ca ₂ SiO ₄	48	16	36	1437
14	Gh / CaAl ₁₂ O ₁₉ / An	31	37	32	1392
15	An / Mul / Trd	10	21	69	1367
16	Gh / α' -Ca ₂ SiO ₄ / Rankinite	48	14	39	1333
17	α' -Ca ₂ SiO ₄ / Ca ₃ Al ₂ O ₆ / CaAl ₂ O ₄	52	45	3	1332
18	Gh / Rankinite / pseudo-Wo	43	16	41	1273
19	Gh / An / pseudo-Wo	40	18	42	1257
20	An / pseudo-Wo / Trd	25	13	61	1184

Tableau 7 : coordonnées (% massiques) des eutectiques dans le système CAS et températures (°C) associées.

Ci-contre, figure 57 : projection de la surface du liquidus dans le système CAS à 10⁵ Pa (% massiques).



Ceci, avec comme conséquences :

1. La diminution drastique de la tenue mécanique des objets en cours de cuisson.
2. Une diminution importante de la porosité, et ainsi la fermeture progressive des réseaux de pores facilitant les échanges gazeux avec l'extérieur de la matrice céramique.

Le premier problème est d'autant plus impactant pour la fabrication de jarres de stockage, dont la hauteur est de l'ordre du mètre, et l'épaisseur des parois de 2 à 4 centimètres. Au regard des dimensions, la perte de tenue mécanique se traduirait par l'effondrement (sinon par une importante déformation) des pièces³⁴⁷ et, à plus forte raison, alors qu'aucun élément de dégraissant n'est susceptible d'améliorer leur résistance. La mise en œuvre d'une matière calcaire autoriserait ainsi la fabrication de ces pièces, en incorporant les composés du fer au sein de silicates de calcium, limitant le développement d'une phase liquide. De plus, l'augmentation de la viscosité, lorsque le fer ferrique intervient comme stabilisant, semble maximale pour des teneurs de l'ordre de 5 % (massiques) de Fe_2O_3 , typiquement la concentration mesurée dans les productions provenant de l'atelier du Mas de Moreno et dans les prélèvements d'argiles tertiaires réalisés aux alentours³⁴⁸.

Le second problème est à même d'entraîner la formation de défauts relativement importants. La fermeture progressive de la porosité risque en effet de piéger les produits gazeux résultant des transformations intervenant au cours de la cuisson. La déshydroxylation des minéraux argileux entraîne la formation de vapeur d'eau et la décomposition des carbonates de calcium entraîne le dégagement de dioxyde de carbone (*supra*, p. 92). Si ces gaz ne peuvent être évacués hors de la matrice céramique à mesure qu'ils sont produits, il en résulte la formation de bulles. Ce type de défaut est particulièrement visible dans l'épaisseur des jarres de stockage (jarres *Ituratin*), où d'importantes bulles peuvent se former (**fig. 58**). Ces dernières sont alors générale-

347 Un exemple de ce type d'incident au cours de la cuisson pourrait se trouver parmi les amphores de Mataró (Barcelone, Espagne), dont l'une présente une importante déformation traduisant une perte de tenue mécanique et une déformation sous son propre poids (Ribas i Bertran 1983, p. 284).

348 Au-delà de cette valeur, l'ajout de fer ferrique tend à inverser la tendance (Mysen *et al.* 1985b).

ment localisées dans les portions grises de la matrice – témoins de conditions localement réductrices.

Parmi le matériel découvert dans l'atelier du Mas de Moreno, seules les unités stratigraphiques associées aux phases de fonctionnement pleinement ibériques ont fait l'objet d'une étude portant sur les accidents et ratés de cuisson, dont les résultats sont reproduits en **figure 59**³⁴⁹. Des comptages réalisés, il apparaît que, sur les cinq unités stratigraphiques étudiées :

1. La part de tessons présentant des bulles, liées à un mauvais dégazage au cours de la cuisson, est relativement constante (de l'ordre de 1 % du nombre de restes provenant de chaque unité).
2. Au sein du matériel de chaque unité, les problèmes de fissuration semblent relativement limités³⁵⁰.
3. Les indices de déformations au cours de la cuisson représentent une part quasiment négligeable (moins de 1 %) du nombre de restes total étudié.
4. Les indices d'une transformation avancée de la matière céramique (vitrification de surface) semblent plus nombreux au sein du matériel associé au fonctionnement du four n°5 (US 15205, US 15227 et US 15228), tandis que le matériel

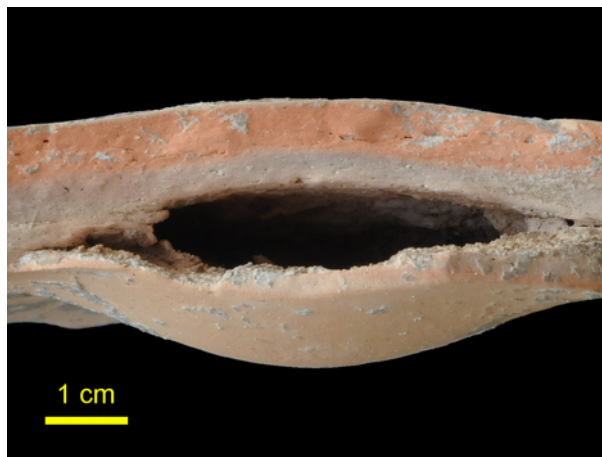


Figure 58 : détail d'une bulle formée au cours de la cuisson dans l'épaisseur de la paroi d'une jarre de stockage (jarre Ilturatin ; BDX15299).

Section transversale, la paroi externe de la jarre est en haut de l'image.

349 Sacilotto (2011, p. 180-187).

350 Néanmoins, il est très probable que cette catégorie soit fortement sous-estimée. C'est peu dire qu'il est difficile d'apprécier les causes de fragmentation dans un assemblage archéologique.

associé au four n°1 (US 12212) concentre l'essentiel des marqueurs d'une transformation moins avancée de la matière.

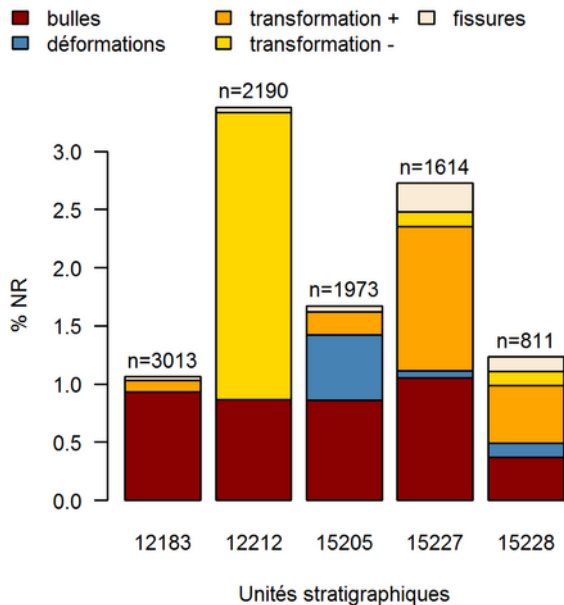


Figure 59 : décompte des tessons présentant des défauts de cuisson, exprimé en pourcentage du nombre de restes (NR) par unité stratigraphique. D'après Sacilotto (2011, p. 181).

L'effectif de chaque unité stratigraphique est également précisé. Les catégories transformation + et transformation - désignent les stigmates de transformations avancées du matériau (vitrification) ou non abouties (présence d'argile), respectivement.

Ainsi, rapportée au nombre de restes étudiés, la part de tessons présentant des défauts de cuisson demeure assez faible³⁵¹. Néanmoins, une nuance importante doit être formulée : si notre intérêt s'est uniquement porté sur des défauts considérés comme typiques des mécanismes discutés ici, il n'en reste pas moins que *l'intégralité* du matériel étudié a été rejetée au cours de la fabrication. La plupart des motivations ayant conduit à cette sélection nous échappent donc et celle-ci peut être fondée sur des caractéristiques qu'il est quasiment impossible d'apprécier à partir du matériel archéologique, comme la sonorité des pots par exemple.

B. Propriétés mécaniques

Cette dernière observation permet d'aborder la question des propriétés mécaniques. La propagation du son dans un solide est en effet fortement liée à la microstructure et est appréciée par la valeur du module d'Young*.

351 À ceci près que les résultats sont exprimés en nombre de restes et qu'un fort taux de fragmentation conduirait à une sous-estimation.

Au cours de la cuisson de matière céramique, le module d'Young tend à augmenter à mesure que le frittage progresse. L'augmentation de la raideur intervient au cours de la décomposition de la calcite et est d'autant plus rapide que la teneur en cette dernière dans le mélange argileux est élevée³⁵². Néanmoins, une fois passée cette étape de décomposition, il semble que la teneur en calcite intervienne comme facteur limitant, si bien que de plus faibles concentrations soient associées *in fine* à des modules d'Young plus élevés.

Ainsi, il est intéressant de noter qu'il existe pour les céramiques calcaires une gamme de conditions de cuisson pour lesquelles il devrait être possible de constater des changements rapides de sonorité. De plus, la propagation du son dans la matière céramique sera fortement affectée par la présence de fractures internes, non décelables en surface. S'il est impossible de conclure quant à la mise en œuvre d'un tel test de qualité au sein de l'atelier du Mas de Moreno, cette possibilité illustre la diversité des procédures qui peuvent intervenir au cours de la fabrication, sans pour autant se matérialiser par des traces observables dans les produits finis.

Les problèmes de résistance à la rupture constituent pourtant une des difficultés majeures au cours de la fabrication d'objets qui seront amenés, au cours de l'utilisation, à subir des contraintes mécaniques ou thermiques. À défaut de pouvoir attester qu'il existe bel et bien une procédure de détection des produits défectueux, plusieurs caractéristiques des matières fabriquées au sein de l'atelier peuvent cependant être considérés.

L'augmentation de la teneur en calcite entraîne une légère augmentation de l'expansion thermique mais est également associée à une diminution importante de la contraction au cours du frittage³⁵³. Les variations de volume au cours de la cuisson sont par conséquent moindres, minimisant le risque d'apparition de fractures. Celui-ci peut être d'autant plus important en considérant la finesse des parois de certains types d'objets fabriqués. Les coupes provenant de l'atelier du Mas de Moreno ont ainsi une épaisseur inférieure à 5 mm au niveau de la panse, voire de l'ordre du milli-

352 Sokolář *et al.* (2012, p. 6611).

353 Sokolář *et al.* (2012, p. 6609-6610).

mètre au niveau du fond. Or, ce dernier est l'emplacement de la quasi-totalité des fractures observées³⁵⁴.

La propagation de fractures et la rupture se produisent dans un solide lorsque la variation d'énergie élastique* est supérieure à la variation de l'énergie de surface*. Autrement formulé, lorsque l'énergie apportée par l'application de contraintes entraînant une déformation de l'objet (compression ou étirement) est supérieure à l'énergie nécessaire pour former de nouvelles surfaces. Dans le cas des matières céramiques, la rupture intervient sans quitter le domaine élastique : la propagation des fractures est alors d'autant plus rapide qu'il n'y a pas de perte d'énergie consommée par des déformations plastiques*. Deux caractéristiques doivent être considérées : d'une part, la *résilience*, qui caractérise la capacité d'un matériau à absorber l'énergie résultant d'une déformation élastique et, d'autre part, la *ténacité*, qui caractérise la résistance* à la propagation brutale de fractures³⁵⁵. Différentes stratégies peuvent alors être mises en œuvre pour tenter de pallier ces problèmes de fragilité.

Le premier aspect concerne le développement de la porosité. Celle-ci est liée à la résistance par une relation exponentielle (**éq. 35**) :

$$\sigma = \sigma_0 e^{-np} \quad (35)$$

La résistance est alors d'autant plus faible que la porosité est importante. Néanmoins, ce dernier point peut être en partie contrebalancé : la formation de silicates de calcium et la densification de la matrice céramique au cours de la cuisson permettent l'amélioration des propriétés mécaniques, malgré le développement de la porosité liée à la décomposition des carbonates de calcium³⁵⁶.

À cela s'ajoute le rôle du dégraissant³⁵⁷. La présence d'inclusions de quartz permet la mise en place d'un réseau de microfissures, qui tend à limiter la propagation de fractures, en dissipant l'énergie par des mécanismes de déflexion et de bifurca-

354 Sacilotto (2011, p. 186).

355 Bâillon & Dorlot (2000, p. 143).

356 Traoré, Kabré & Blanchart (2000, p. 291).

357 Pour une revue de la question, voir Tite, Kilikoglou & Vekinis (2001).

tion³⁵⁸. L'ajout de dégraissant permet donc d'augmenter la ténacité mais s'accompagne d'une diminution de la résilience³⁵⁹, ceci en lien avec la nature des inclusions non plastiques³⁶⁰, leur fraction volumique³⁶¹, leur forme³⁶², mais également la nature des minéraux argileux ou l'état d'avancement des transformations au cours de la cuisson (développement d'une phase vitreuse, etc.).

Au sein des tessons non cuits provenant de l'atelier du Mas de Moreno, la part des inclusions appartenant à la classe des sables est inférieure à 3 % (*supra*, p. 111). La quasi-absence d'inclusions non plastiques est une caractéristique récurrente de la céramique ibérique et s'observe parmi les productions de l'atelier, indifféremment du type d'objet. Les jarres de stockage et amphores présentent les mêmes textures peu ou pas dégraissées alors qu'elles sont *a priori* destinées à subir d'importantes contraintes mécaniques, en particulier lorsqu'elles sont transportées. Aussi, est-il possible de formuler l'hypothèse suivante : d'après ces observations, il semblerait qu'au cours de la fabrication soit privilégiée la résistance aux chocs et aux déformations de volume plutôt que la ténacité en cas de fracture. Auquel cas, les traits utiles sélectionnés dans le matériau fabriqué relèveraient de l'objet comme conteneur plutôt que comme récipient de transport.

C. Qualités esthétiques

Enfin, un aspect supplémentaire réside dans les qualités esthétiques perçues des céramiques dites calcaires. En incorporant le fer, la formation de silicates de calcium au cours de la cuisson est en effet à même de limiter le développement d'une coloration induite par la présence d'oxydes de fer dans la matrice (*supra*, p. 80). Dès lors, la mise en œuvre d'une matière calcaire est indispensable à la fabrication d'objets ré-

358 Kilikoglou, Vekinis & Maniatis (1995, p. 2961-2964).

359 Berducou (1990, p. 89-90).

360 Du fait de leur moindre expansion thermique, les inclusions de calcite sont moins à même de favoriser le développement d'un réseau de microfissures. Au contraire du quartz, dont la conversion entre quartz alpha et bêta s'accompagne d'une forte variation de volume. Voir notamment Rye (1976, p. 116-118).

361 Kilikoglou, Vekinis & Maniatis (1995), Kilikoglou *et al.* (1998, p. 273).

362 Müller *et al.* (2010).

pondant aux caractéristiques de la céramique ibérique, en permettant l'obtention d'une surface de couleur rose.

La coloration des matières céramiques demeure néanmoins très dépendante des paramètres de cuisson (durée, température et atmosphère ; *supra*, p. 86) et s'articule donc – au même titre que les aspects de thermique précédemment évoqués – avec la question des structures de cuisson et de leur mise en œuvre.

II. Articulation avec les structures de cuisson

A. Sur le fonctionnement des fours au sein

de l'atelier du Mas de Moreno

1. Caractéristiques structurales des fours

Des neuf fours de potiers connus au sein de l'atelier du Mas de Moreno, les caractéristiques suivantes peuvent être retenues³⁶³ :

- Exception faite du four n°2, tous semblent privilégier de petits volumes de chauffe :
 - Lorsqu'elles peuvent être restituées, les surfaces des soles sont relativement réduites (8 m² pour le four 3, sans doute un peu plus pour le four 4, contre près de 16 m² pour le four n°2).
 - Au regard des éléments conservés (notamment au sein du four n°3), on estime que la hauteur des laboratoires est limitée (de l'ordre du mètre).
- Les dispositifs de circulation des produits de combustion au sein des fours ne semblent pas favoriser des transferts de chaleur efficaces :
 - Il n'existe pas, au sein des fours appartenant à la phase d'activité pleinement ibérique, de chambre de combustion *stricto sensu*.
 - La mise en œuvre d'un alandier échelonné (**fig. 60**) conduit à l'éloignement de la source de chaleur, le foyer demeurant à l'entrée de l'alandier.

363 Pour une description détaillée des fours, voir Gorgues & Benavente Serrano (2007) et Gorgues & Benavente Serrano (2012).

- Il semble que le tirage des fours ait été modifié par la réduction de certaines conduites (four n°1 ; **fig. 60**) ou l'occlusion partielle de carneaux de sole (four n°3).



Figure 60 : vue frontale du four n°1 de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).

L'échelonnement de l'alandier, conduisant à une réduction de l'espace immédiatement sous la sole, est bien visible, de même que les dispositifs de part et d'autre du muret central réduisant le diamètre des arrivées d'air chaud. Cliché A. Gorgues.

2. Apports d'énergie

Si les fours de l'atelier du Mas de Moreno présentent des caractéristiques qui tendent à limiter les transferts de chaleur, la conduite de la cuisson ne se limite pas à ces seuls aspects structuraux. Il est ainsi possible de mettre en évidence une évolution progressive des pratiques au cours du temps, telle que permettent de l'apprécier les différents ensembles étudiés.

L'analyse de la variance (ANOVA) de la perte au feu³⁶⁴ en fonction des ensembles chronologiques permet de rejeter l'hypothèse d'égalité entre les groupes³⁶⁵. Les différences entre les valeurs des ensembles 1 et 2, ainsi que 1 et 3 apparaissent en effet significatives (**tabl. 8**).

p_{crit}	ensemble 1	ensemble 2
ensemble 2	$7,0 \cdot 10^{-3}$	
ensemble 3	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$

Tableau 8 : probabilités critiques résultant d'un test de Student deux à deux sur la perte au feu en fonction des ensembles chronologiques étudiés.

La méthode de Bonferroni – pour laquelle les probabilités critiques sont multipliées par le nombre de comparaisons – a été utilisée pour la gestion du risque. Ainsi (au risque $\alpha = 0,05$) l'ensemble 1 apparaît significativement différent des ensembles 2 et 3.

La perte au feu correspond à la variation de masse liée à la perte des composés volatils (eau des minéraux argileux, dioxyde de carbone des carbonates, matière organique, etc.) au cours des transformations minéralogiques affectant la matière céramique. Ainsi, les apports énergétiques au cours de la cuisson ont été d'autant plus limités que la perte au feu mesurée est élevée.

L'évolution constatée parmi le matériel étudié permet de mettre en évidence une nette tendance à la diminution de la perte au feu en fonction de la chronologie (**fig. 61**), ainsi qu'une importante réduction de la variance

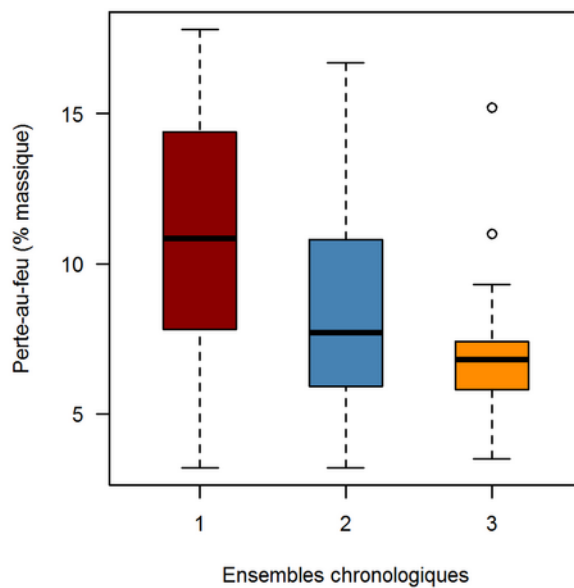


Figure 61 : distribution de la perte au feu (pourcentages massiques) en fonction de la chronologie.

364 Sur la mesure de la perte au feu, cf. annexe A3, p. 227.

365 Rejet au risque $\alpha = 0,05$ ($p_{crit} = 1,25 \cdot 10^{-5}$). Les résultats de l'ANOVA ont été validés par l'analyse des résidus – le résultat du test de Shapiro & Wilk (1965) permet d'accepter l'hypothèse de normalité au risque $\alpha = 0,01$: $p_{crit} = 1,0 \cdot 10^{-1}$ – et par un test de Bartlett (1937) d'homogénéité des variances ($p_{crit} = 7,1 \cdot 10^{-1}$).

pour l'ensemble 3³⁶⁶. Ceci pourrait illustrer une modification progressive des pratiques au sein de l'atelier du Mas de Moreno, notamment dans le sens d'un meilleur contrôle des aspects thermiques ; à l'augmentation du volume du laboratoire du four n°2 (phase finale de fonctionnement de l'atelier) correspondrait également une hausse des apports de chaleur au cours de la cuisson (restant au demeurant limitée, comme nous avons pu le discuter précédemment ; *supra*, p. 125). *La rupture constatée à travers les types d'objets produits (apparition de formes de tradition italique) et l'épigraphie de la production*³⁶⁷ trouverait également un écho dans les pratiques techniques liées à la conduite de la cuisson.

3. Évolution des pratiques techniques

Cet aspect est d'autant plus important qu'aucun changement ne semble intervenir dans les étapes précédentes de la fabrication selon nos observations (*supra*, p. 158). Au sein du matériel étudié, la préparation des pâtes et les choix associés ne semblent en effet souffrir que peu ou pas de modifications, alors que les procédés visant à leur transformation en céramique sont affectés et s'accompagnent d'une rupture d'échelle dans les volumes fabriqués (autant qu'on puisse l'envisager au regard des dimensions du four n°2). A. GORGUES a ainsi proposé un développement en trois phases chronologiques de la production d'amphores de type italique (largement associée à l'activité du four n°2 au sein de l'atelier) dans le domaine ibérique³⁶⁸ :

1. -100 à -75 : développement de la production de types italiques, dans un cadre italique. La pâte est de type ibérique et la main-d'œuvre indigène. Les quantités produites sont faibles.
2. -75 à -50 : production de types italiques, dans un cadre italique. La pâte est de type italique et se développe la main-d'œuvre italique. Les quantités fabriquées demeurent faibles.

366 Perte-au feu moyennes et écarts-types associés pour chacun des ensembles chronologiques étudiés : $11,0 \pm 3,5 \%$, $8,6 \pm 3,3 \%$ et $7,1 \pm 2,2 \%$, respectivement.

367 Gorgues (2009).

368 Gorgues (2010, p. 397) ; sur les mutations de la structure économique des sociétés indigènes dans le nord-est du domaine ibérique : Gorgues (2010, p. 331-433).

3. -50 à -40 : production de types italiques d'élaboration provinciale, dans un cadre totalement italique. La main-d'œuvre est probablement au moins en partie servile et l'augmentation des quantités fabriquées est liée à la mise en place d'ateliers rationalisés en milieu rural.

Néanmoins, si les changements décrits s'inscrivent effectivement dans le cadre des mutations économiques à l'œuvre en contexte indigène, ils interviennent en 60 ans, soit trois générations. Dès lors, comment la profonde mutation que représente le four n°2 de l'atelier du Mas de Moreno a-t-elle pu s'intégrer si rapidement dans le système technique indigène, en particulier au regard des temps de formation et d'apprentissage de la main-d'œuvre ? L'arrivée de main-d'œuvre italique pourrait en être une explication mais ne s'accorde pas avec le maintien de pâtes de tradition ibérique. Ce dernier supposerait alors une stricte répartition des tâches, aux éléments indigènes la sélection, la préparation des pâtes, voire le façonnage, et aux éléments exogènes la cuisson. Une telle possibilité nous semble cependant bien peu probable, car elle nécessiterait finalement l'adaptation de la main-d'œuvre italique aux matériaux locaux et reviendrait à déplacer le problème.

B. Un principe de sécurité

D'entre toutes, l'étape de la cuisson constitue le moment crucial de la fabrication, d'autant plus que lui est attaché un risque économique intrinsèque : celui de perdre tout ou partie de la charge à cuire et autant de temps de travail humain. Aussi peut-il être surprenant de voir cette étape évoluer dans le temps, alors que le reste de la chaîne opératoire demeure relativement stable. Paradoxalement, c'est sans doute l'application d'un principe de sécurité qui, au lieu d'entraîner un conservatisme des pratiques (*supra*, p. 158), a permis en définitive leur évolution.

1. De l'acceptation du risque

Des éléments précédemment exposés, il ressort que les matières céramiques fabriquées au sein de l'atelier du Mas de Moreno présentent les indices d'apports énergétiques limités au cours de la cuisson. Il est alors possible de formuler des hypothèses à propos de l'articulation entre cette restitution des aspects thermiques et la mise en œuvre d'une matière argileuse calcaire, largement disponible localement.

Seuls les risques liés à l'utilisation de matières calcaires sont le plus souvent considérés, une attention particulière étant généralement portée à l'apparition de points de chaux. Ceux-ci se développent après la cuisson, par l'hydratation de la chaux vive formée lors de la décomposition thermique des carbonates de calcium. Cette hydratation s'accompagne d'une importante augmentation de volume, pouvant entraîner la fracturation des objets à plus ou moins long terme (*supra*, p. 96). Ainsi, dans le cas de la céramique ibérique, le contrôle des aspects thermiques est uniquement interprété comme une stratégie permettant l'utilisation d'une matière calcaire en s'affranchissant du risque de voir apparaître des points de chaux³⁶⁹. Il nous semble qu'une telle approche relève d'une vision simpliste des techniques, pour laquelle la contrainte constituerait le seul moteur de l'innovation. Le problème doit être en partie renversé : la fabrication de céramiques calcaires nécessite en effet des apports d'énergie limités au cours de la cuisson autant qu'elle en autorise.

En s'attachant aux conditions favorisant la déshydroxylation des minéraux argileux et la décomposition des carbonates de calcium, on constate que le frittage peut être réalisé avec des apports énergétiques moindres que dans le cas de céramiques peu ou pas calcaires. Ceci, avec toutes les implications en termes d'évolution des propriétés mécaniques que peut avoir un frittage développé (*supra*, p. 176). De plus, la formation de silicates de calcium conditionne les qualités esthétiques du produit fini (coloration de surface) et nécessite donc la mise à disposition de partenaires de réaction.

369 Petit-Dominguez, Garcia-Giménez & Rucandio (2003, p. 66-67), Cultrone *et al.* (2011, p. 359-360).

La décomposition des carbonates de calcium est ainsi un processus qui nécessite d'être accompli pour la réalisation des fins souhaitées. Néanmoins, cette étape doit être contrôlée pour maintenir un rapport favorable entre bénéfices et risques lors de la fabrication. Deux stratégies conjointes ont vraisemblablement pu être mises en œuvre au sein de l'atelier du Mas de Moreno. D'une part, un contrôle par la préparation des pâtes, d'autre part, un contrôle par la conduite de la cuisson.

Au sein des pâtes, telles qu'elles sont préparées dans l'atelier du Mas de Moreno, la calcite est présente à la fois sous la forme de grains isolés de quelques centaines de micromètres et sous une forme crypto-cristalline dispersée dans la matrice (*supra*, p. 111), tandis qu'après la cuisson seuls les grains isolés demeurent. Ainsi, les apports d'énergie ont été suffisamment maîtrisés pour que seule la calcite crypto-cristalline soit décomposée ou, tout au moins pour qu'une part restreinte des grains soit affectée. Nombre de ces derniers présentent en effet les stigmates d'une décomposition thermique partielle, notamment la présence d'auréoles de réaction. D'une part, le déroulement de la réaction de décomposition de la calcite est fortement influencé par la granulométrie (*supra*, p. 95) : plus les grains présentent des dimensions importantes, plus la quantité d'énergie nécessaire pour les décomposer est importante. La calcite crypto-cristalline est donc plus facile à décomposer thermiquement. D'autre part, en limitant la quantité de CaCO_3 décomposée, le risque qu'il demeure de la chaux vive en excès (non consommée par la formation de silicates de calcium) diminue et, avec lui, celui de voir apparaître des points de chaux.

Malheureusement, peu d'informations sont disponibles quant à la gestion du risque dans les activités productives pour les contextes qui nous intéressent ici³⁷⁰. Sur ce sujet, l'essentiel des études portent sur les modalités de prise de décision dans les sociétés occidentales contemporaines face à un risque financier, et apparaissent d'autant plus difficilement transposables qu'elles mettent en évidence l'importance des variables contextuelles. Néanmoins, tout en gardant à l'esprit cette sévère limitation, quelques éléments peuvent être exploités comme base de réflexion sur la gestion du risque dans un atelier de la fin de l'Âge du Fer.

370 Très peu de données sont ainsi disponibles concernant la part de perte au cours d'une cuisson. À titre d'exemple, les observations réalisées dans un atelier égyptien en activité à la fin du XX^e s. par Nicholson & Patterson (1985, p. 231) situent cette dernière entre 5 et 10 % des pièces à cuire.

D'une part, le risque de production peut être décrit qualitativement par le triplet fréquence-gravité-détection des événements à problèmes³⁷¹. Dès lors, il est possible de distinguer des risques récurrents, dont les pertes associées peuvent être anticipées (sans pour autant être nécessairement évitées) et des risques considérés comme importants, car occasionnant des pertes imprévues (**fig. 62**).

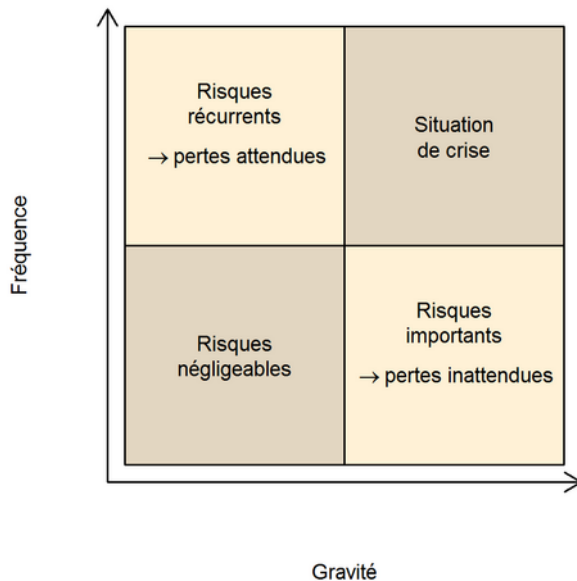


Figure 62 : classement des événements de risque en fonction de leur gravité et de leur occurrence, d'après Pennequin (2003, p. 269).

D'autre part, il apparaît que la prise de risque est fortement liée à l'environnement des individus : des processus de décision collectifs entraînent une aversion au risque significativement plus importante que dans le cas d'individus isolés. Sans compter les caractéristiques propres aux individus concernés, également à même d'affecter l'attitude face à la prise de risque³⁷². Cette aversion au risque est susceptible d'entraîner des distorsions dans les choix opérés par les acteurs de la production : il ne s'agit alors pas tant de maximiser l'espérance de profit³⁷³ que l'espé-

rance d'utilité du profit³⁷⁴. Or, la notion d'utilité (au même titre que celle d'efficacité) n'est pas un absolu mais une *valeur* : elle prend son sens dans un contexte donné, à un moment donné. De la combinaison de cette aversion plus ou moins prononcée et de la perception qu'ont les acteurs de leurs activités, résulte alors l'attitude de ces derniers face au risque. Celle-ci est susceptible d'osciller entre les deux pôles que constituent l'acceptation fataliste du risque (sans qu'il y ait volonté d'y remédier), et la vo-

371 Il s'agit des trois critères sur lesquels repose l'approche systématique dite *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), mise au point au milieu du XX^e siècle.

372 Colombier *et al.* (2008) expliquent ces résultats par l'inertie des individus les moins hardis lors d'une prise de décision collective, alors que les individus les plus téméraires sont généralement plus enclins à faire évoluer leur position.

373 *Profit* est entendu ici dans son acception la plus large, comme avantage matériel (dont le profit financier n'est qu'un cas particulier).

374 Belhaj Hassine & Thomas (2001, p. 92).

lonté de le contrôler, voire de le minimiser. Deux principales stratégies de réduction du risque peuvent être envisagées :

- *La réduction de la variabilité résultant des différentes opérations de fabrication.* Le « *conservatisme* » face aux possibilités d'incorporation d'éléments nouveaux dans la chaîne opératoire, tel que l'entend C. LEVI-STRAUSS, peut être perçu en ce sens. De plus, la composition de la charge à cuire, voire sa disposition au sein du laboratoire, peuvent également être appréciées sous cet angle. La constitution d'assemblages fortement diversifiés ou une distribution aléatoire des objets dans le laboratoire³⁷⁵ apparaissent comme des moyens intéressants de limiter le risque en cas d'incident lors de la cuisson, en évitant ainsi la perte de toute la production pour une catégorie ou un type d'objet donné.
- *Le transfert de risque, partiel ou intégral.* S'il est difficile d'envisager l'existence de mécanismes d'assurance propres aux contextes qui nous intéressent ici, des mécanismes de partage du risque (transferts partiels) ne sont pas à exclure pour autant. Un cas concret peut notamment être envisagé, celui du partage de la charge à cuire dans le cas d'un usage collectif des structures de cuisson et des activités associées entre différents acteurs (entre artisans ou entre commanditaires, si les deux sont distincts).

Au sein de l'atelier du Mas de Moreno peu d'indices permettent de discuter de l'existence de telles stratégies. Les éléments fournis par l'épigraphie laissent entendre que le timbrage des objets fabriqués peut être le fait des individus possédant les outils de production, et la concomitance de certains timbres pourrait attester d'une utilisation partagée de l'atelier et, notamment, des structures de cuisson³⁷⁶. De plus, au regard de la composition de certaines unités stratigraphiques, il semblerait que les charges à cuire soient constituées au sein de l'atelier de telle sorte que toutes les catégories d'objets nécessaire à une Unité Domestique soient représentées³⁷⁷. Cependant,

375 Cependant, s'agissant de remplir un volume aux dimensions déterminées (le laboratoire) avec des volumes aux dimensions également fixes (les objets à cuire), il existe une contrainte géométrique sans doute à même d'affecter la disposition des pots dans le four.

376 Gorgues (2009, p. 487-490).

377 Sacilotto (2011, p. 170-172). Nous resterons cependant très prudent sur ce dernier point, si l'US 15227 est interprétée comme résultant des rejets d'une unique cuisson, le nombre minimum d'individus associé est estimée à 202 (Sacilotto 2011, p. 54, 170). Or, en considérant une

une telle appréciation suppose que le contenu des unités stratigraphiques considérées ici constitue une image fidèle de ce qui est effectivement produit. S'agissant de rejets de production cela suppose que l'échantillonnage opéré lors de la sélection des pièces au cours du défournement soit bel et bien représentatif de la composition de la charge à cuire. Autrement formulé, cela suppose que l'apparition de défauts soit un phénomène équiprobable quelle que soit la catégorie d'objet considérée. Si la mise en œuvre d'un matériau pâte aux propriétés constantes au cours de l'activité de l'atelier a pu être mise en évidence, il demeure un aspect lié à la géométrie : à la forme et l'épaisseur de certains objets ne sont pas associés les mêmes types de défauts³⁷⁸, et l'hypothèse d'équiprobabilité précédente ne peut donc être acceptée.

Parmi les produits de l'atelier, la présence de certains défauts (formation de bulles) demeure relativement constante – bien que faiblement représentée. Ceci illustre la difficulté d'atteindre un équilibre entre gains et risques au cours des étapes de fabrication. Il est alors fort probable que les acteurs mettant en œuvre la cuisson soient à même de tolérer la formation de certaines catégories de défauts, acceptant une part de risque d'autant plus limitée que celles-ci ont peu ou pas de conséquences sur les fins visées par la production. Ceci en échange de l'assurance que les produits finis acquièrent les qualités désirées.

2. Conduite de la cuisson

Dès lors, quelles conclusions tirer de ces observations quant à la conduite de la cuisson en termes de couple temps-température ? Au regard des caractéristiques structurales des fours de l'atelier du Mas de Moreno et des propriétés des matières mises en œuvre, il nous semble que de ces deux variables, le facteur temps est le paramètre dont la gestion est cruciale.

perte lors de la cuisson de l'ordre de 5 à 10 % des pièces, une unique charge à cuire serait constituée de plus de 2000 objets. Il est donc peu probable que l'US en question corresponde à un seul événement de cuisson.

378 Les parois épaisses des vases de stockage sont ainsi affectées par la formation de bulles au cours de la cuisson, alors que les fonds très fins des petites coupes tendent à se fissurer.

Concernant les matières fabriquées au cours de l'activité de l'atelier du Mas de Moreno, les avantages liés aux matières calcaires sont associés à l'acceptation d'une part de risque intrinsèque aux matières mises en œuvre. Ce risque augmente d'autant que les apports d'énergie au système sont importants et que des seuils sont franchis (décomposition thermique des carbonates de calcium, apparition d'une phase liquide, etc.). Or, il a pu être mis en évidence au cours de cette étude que les apports d'énergie nécessaires à la transformation de la matière sont ici relativement limités, sinon contrôlés.

Le contrôle de la température au cours de la cuisson se limite au rythme des charges en combustible et, probablement dans une moindre mesure, à la gestion du tirage. Ce dernier point nécessite le recours à des dispositifs permettant d'occulter, au moins en partie, les voies de circulation de l'air chaud. Parmi les fours de l'atelier, de tels dispositifs sont connus mais résultent de modifications structurelles : le contrôle de la température s'exerce ainsi essentiellement *a priori* (et non pendant la cuisson) en ajustant les modalités de transfert de la chaleur au sein des fours (*supra*, p. 181). De plus, l'énergie rendue disponible par un combustible donné demeure limitée (*supra*, p. 69) : l'augmentation du rythme (nombre et fréquence) des charges ne permet pas d'atteindre des températures plus élevées mais de les maintenir plus longtemps.

Ainsi, la conduite de la cuisson au sein de l'atelier du Mas de Moreno repose vraisemblablement sur une stratégie privilégiant plutôt la gestion du temps. En limitant structurellement les températures qu'il est possible d'atteindre dans les fours (ou en amortissant les variations par l'éloignement de la source de chaleur), s'appliquerait un principe de sécurité. Puisque les matières sélectionnées et mises en œuvre peuvent être transformées pour une moindre dépense énergétique, les mêmes résultats peuvent être obtenus en prolongeant la durée aux dépens de la température. L'ajustement de la durée de cuisson permettrait de réduire le risque, sachant qu'il est plus aisé d'interrompre la cuisson que de réguler la température. L'application d'un tel principe de sécurité s'accorderait donc avec nos observations, pour lesquelles l'état des modifications subies par la matière au cours de la cuisson tend vers un avancement moindre des transformations, tandis que les défauts associés à de trop importants apports énergétiques demeurent en nombre limité.

Cette gestion par le temps, plutôt que par la température, aurait ainsi entraîné l'évolution constatée des pratiques et favorisé la conception du four n°2. L'ajustement progressif des durées de cuisson (la diminution de la perte au feu s'inscrit sur toute la durée d'activité de l'atelier) aurait permis d'optimiser le rapport entre risques et bénéfices liés à une augmentation des apports d'énergie, autorisant la chauffe de volumes plus importants (la quantité d'énergie consommée étant étroitement liée à la quantité de matière à cuire).

III. Synthèse

- Plusieurs traits utiles (propriétés thermique et mécaniques, qualités esthétiques) peuvent être identifiés comme propres à la matière mise en œuvre, sans pour autant pouvoir affirmer lesquels ont été effectivement sélectionnés par les acteurs de la production.
- La conduite de la cuisson au sein de l'atelier du Mas de Moreno repose vraisemblablement sur une stratégie privilégiant plutôt la gestion du temps, en limitant structurellement les températures qu'il est possible d'atteindre dans les fours.
- La stabilité des pratiques techniques a souvent été considérée comme le résultat d'une routine productive : simple répétition des savoir-faire acquis par l'expérience, assurant la réussite des opérations. Ainsi, tout changement de la routine serait susceptible d'être associé à une éventuelle perte des pièces et la stabilité des caractéristiques des pâtes serait donc la traduction d'un « *esprit conservateur* » face au risque.
- Au contraire, en s'attachant à l'articulation entre la gestion des aspects thermiques liés à la cuisson et la mise en œuvre d'une matière argileuse calcaire, il est possible de proposer une restitution des modalités de gestion du risque au cours de la production. L'acceptation d'une part de risque apparaît alors comme un des moteurs de l'innovation, autorisant une évolution progressive des pratiques de cuisson et l'adoption de techniques nouvelles, alors que s'établit la domination romaine sur la Péninsule ibérique, à la fin du 1^{er} siècle avant J.-C.

Conclusions

L'approche proposée dans la présente étude entend ainsi participer à la restitution d'un *procès de travail*³⁷⁹ ibérique. L'intérêt d'une approche fondée sur les ratés de production n'est plus à démontrer. La principale limite qu'il serait possible de nous opposer réside cependant dans le caractère ponctuel de notre étude, s'agissant d'un unique centre de production. Il n'est pas interdit que d'autres procès de travail aient (co)existé au sein du domaine ibérique, mais plusieurs aspects, nous semble-t-il, devraient permettre à terme d'envisager une généralisation de notre propos.

D'une part, l'intérêt porté aux défauts et ratés a permis de mettre en place une méthodologie autonome, révélant par contraste une situation productive normale sans recours à un référentiel technique autre que celui étudié. D'autre part, les premiers résultats obtenus illustrent la complexité des mécanismes à l'œuvre et demandent désormais à être reproduits, tant en contexte ibérique que dans des établissements coloniaux (grecs, puniques et romains). Cette confrontation devrait alors progressivement autoriser une cartographie dynamique de la circulation de l'information technique au cours de l'Âge du Fer.

379 Entendu comme la « *relation des hommes entre eux dans leurs rapports matériels avec un environnement déterminé, sur la base d'une technologie déterminée* » (Godelier 1977, p. 68).

La plainte du thermomètre

Appréhender les techniques liées à cette étape particulière de la fabrication des matériaux céramiques que constitue la cuisson, nécessite de considérer l'intégralité des processus en jeu, sans les dissocier. La pratique courante, qui tend à les isoler et à les discrétiser, repose, on a pu le montrer, sur un raisonnement dont l'assise logique peut être discutée. Celle-ci est en effet construite sur l'établissement d'une analogie entre un objet archéologique et un référentiel expérimental, reposant sur l'établissement d'équivalences de conséquences et non de causes.

Le piège est alors double. D'une part, l'analogie devient à la fois un postulat permettant la construction d'un modèle et la confirmation des résultats établis sur ce postulat : c'est le piège du raisonnement circulaire. D'autre part, dans sa définition actuelle, cette démarche relève de la reconstitution comme représentation avant tout guidée par l'idée que l'on se fait, aujourd'hui, des techniques de cuisson : c'est le piège de l'anachronisme. Une partie du problème réside probablement dans la dichotomie entre le discours du descripteur et la réalité matérielle objet de son analyse : tous deux sont le fruit de savoirs techniques différents, et la lecture de cette réalité à travers les modes de représentation du descripteur est à même de provoquer une incompréhension certaine (*supra*, p. 1).

Ainsi, il nous semble – comme il a été formulé par d'autres avant nous³⁸⁰ – que l'estimation d'une température de cuisson n'a aucun sens dans le cadre d'une approche technologique de la production de matières céramiques. Au contraire, il est possible de proposer une méthode qui tente de rendre compte du caractère dynamique des processus liés à la cuisson. Pour ce faire, le modèle proposé repose sur une approche sérielle : en comparant l'état d'avancement des transformations affectant la matière au cours de la cuisson, au sein d'un corpus dont la cohérence interne (l'origine technique commune) est acquise, il devient possible de s'affranchir de toute référence extérieure et de dégager des tendances. Celles-ci autorisent alors une première restitution des transferts de chaleur au cours de la cuisson et, par extension, une première restitution des pratiques techniques associées.

380 cf. note 186, p. 76.

Cependant, de notre méthode, seules les fondations sont posées. Celle-ci demande désormais à être éprouvée, et trois volets peuvent alors être développés. Un premier point réside dans l'approche quantitative de la production : l'estimation des quantités de matières céramiques fabriquées par charge à cuire devrait permettre d'apprécier les quantités d'énergie apportées au cours d'une cuisson pour réaliser les transformations constatées (d'en proposer un ordre de grandeur). De plus, l'intérêt porté aux matériaux mis en œuvre dans le bâti des fours devrait, quant à lui, autoriser une lecture plus fine de la distribution de la chaleur dans les structures, et d'en préciser le fonctionnement. Enfin, en s'attachant aux propriétés mécaniques des matériaux fabriqués, il devrait être possible de mieux articuler les jeux d'actions et de rétroactions décrits entre la nature des matières mises en œuvre, les qualités des matériaux et les moyens de leur fabrication.

Le goût du risque

Au sein de l'atelier de potiers du Mas de Moreno, les résultats obtenus mettent en évidence des apports d'énergie au cours de la cuisson, tels que les objets fabriqués présentant des dissimilarités par rapport au reste du groupe sont systématiquement caractérisés par un avancement moindre des transformations minéralogiques. Ce constat s'accorde avec les caractéristiques structurales des fours, si bien qu'il existe un faisceau d'indices convergents, permettant de proposer que ceux-ci étaient mis en œuvre de façon à limiter les transferts de chaleur au cours de la cuisson. La matière calcaire, utilisée quasiment sans variation dans sa préparation tout au long de l'activité de l'atelier, autorise alors ces apports d'énergie limités (en favorisant l'obtention des traits recherchés : propriétés thermiques, mécaniques et esthétiques) autant qu'elle les impose (en facilitant la formation de défauts au cours de la cuisson).

L'intérêt porté aux défauts et ratés de production permet de mettre en relief l'évolution des pratiques et, paradoxalement, d'éclairer le rôle de la routine comme facteur de l'innovation. C'est dans le sens que lui donne C. LÉVI-STRAUSS (1985) qu'il faut alors appréhender la routine : comme principe de sécurité, face au risque que représente l'introduction d'éléments nouveaux potentiellement mal maîtrisés. Or, la récurrence de certains défauts au cours de l'activité de l'atelier illustre l'acceptation d'une part de risque et sans doute l'existence de pertes attendues lors de la produc-

tion. De plus, au-delà de l'apparente homogénéité de la céramique ibérique, les matériaux fabriqués montrent les stigmates de transferts de chaleur de mieux en mieux maîtrisés (mais non nécessairement en augmentation) au cours du temps. Ainsi, les aspects thermiques étant structurellement contraints, la conduite de la cuisson s'opérait par la gestion du temps, dont l'ajustement aurait permis d'optimiser le rapport entre bénéfices et risques, permettant la chauffe de volumes plus importants.

Force est de constater l'absence de rupture : la dynamique décrite est amorcée avant l'apparition d'éléments de tradition romaine. Si bien que l'apparition d'un four à amphores, au cours des dernières décennies de fonctionnement de l'atelier, est probablement à mettre au compte tant des dynamiques sociales propres à la fin de l'Âge du Fer, que de l'existence d'un substrat autorisant l'adoption d'une telle nouveauté dans un délai aussi réduit et le maintien de matériaux propres à la phase pleinement ibérique.

L'idée d'une acculturation comme modalité de transfert de techniques apparaît inappropriée, dès lors qu'elle suppose une relation duale, polarisée, et déterminée : nécessairement du dominant vers le dominé. La présence d'éléments techniques exogènes relève ainsi de processus complexes d'hybridation, dont la compréhension dans leur globalité implique de se confronter à l'ensemble des acteurs en présence. Il apparaît d'ores et déjà que ces processus ne relèvent pas d'une évolution inconsciente, mais bien de trajectoires techniques, dont les choix opérés par les acteurs de la production se font progressivement jour.

Annexes

ANNEXE A1 – LISTE DES MINÉRAUX CITÉS.....	199
ANNEXE A2 – CORPUS ÉTUDIÉ.....	201
ANNEXE A3 – PROTOCOLE ANALYTIQUE.....	225
I. Imagerie.....	225
II. Analyses élémentaires.....	226
A. Spectrométrie de rayons X en dispersion d'énergie (SEM-EDS).....	226
B. Fluorescence de rayons X en dispersion de longueur d'onde (WDXRF). ..	226
III. Analyses structurales.....	227
A. Diffraction de rayons X (XRD).....	227
XRD par les poudres.....	228
XRD par les préparations orientées.....	228
B. Spectroscopie Raman.....	229
IV. Granulométrie.....	230
ANNEXE A4 – ANALYSE DE DONNÉES.....	233
I. Logiciel et environnement de calcul.....	233

II. Données de composition.....	234
A. Transformation des données.....	234
Définitions.....	234
Rapports de logarithmes.....	236
B. Analyse de données.....	238
Statistique descriptive.....	238
Analyse multivariée.....	240
ANNEXE A5 – GRANULOMÉTRIE.....	241
ANNEXE A6 – COMPOSITIONS ÉLÉMENTAIRES.....	243
ANNEXE A7 – MATRICES DE VARIATION.....	251
ANNEXE A8 – COMPOSITIONS MINÉRALOGIQUES.....	255

Annexe A1 – Liste des minéraux cités

Abréviation	Notation cimentière	Nom	Formule structurale
	CA		CaAl_2O_3
	CA_2		CaAl_4O_6
	CA_6		$\text{CaAl}_{12}\text{O}_{18}$
Ak		Åkermanite	$\text{Ca}_2[\text{MgSi}_2\text{O}_7]$
Ab		Albite	
	C_3S	Alite*	Ca_3SiO_5
An	CAS_2	Anorthite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
		Barytine	BaSO_4
		Bredigite	$\alpha'\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$
Cal	C	Calcite	CaCO_3
	C_3A	Celite*	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$
Chl		Chlorite	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$
Crd		Cordiérite	$(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_5\text{Al}_4\text{O}_{18}]n\text{H}_2\text{O}$
Cm	A	Corindon	Al_2O_3
Crs	S	Cristoballite	SiO_2
Di		Diopside	CaMgSiO_6
Dol		Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
En		Enstatite	MgSiO_3
		Fassaite	
Kfs		Feldspath potassique	
Gh	C_2AS	Gehlénite	$\text{Ca}_2[\text{Al}_2\text{SiO}_7]$
Gt		Goethite	$\text{FeO}(\text{OH})$
Grs		Grossularite	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
		Halloysite	$\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$

Abréviation	Notation cimentière	Nom	Formule structurale
Hem		Hématite	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Hc		Hercynite	FeAl_2O_4
Ill		Illite	$\text{K}_{0,65}(\text{Al,Fe,Mg})_2[\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Kln		Kaolinite	$\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$
	C_2S	Larnite (Belite*)	$\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$
Mgh		Maghémite	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Mag		Magnétite	Fe_3O_4
	C_{12}A_7	Mayenite	$\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$
Mel		Méililite	$(\text{Ca,Na,K})_2[(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al,Si})_3\text{O}_7]$
		Métakaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$
		Monazite	$(\text{Ce,La})\text{PO}_4$
Mnt		Montmorillonite	$(\text{Na,Ca})_{0,33}(\text{Al,Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 n\text{H}_2\text{O}$
Mul		Mullite	$\text{Al}_{4+2x}\text{Si}_{2-2x}\text{O}_{10-x}$
	A_2S	Mullite 2:1	Al_4SiO_8
	A_3S_2	Mullite 3:2	$\text{Al}_6\text{SiO}_{13}$
Ms		Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Opx		Orthopyroxène	$(\text{Mg,Fe})[\text{SiO}_3]$
		Palygorskite	$(\text{Mg,Al},\square)_5(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Per		Périclase	MgO
		Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Px		Pyroxène	
$\alpha\text{-Qtz}$	S	Quartz alpha	$\alpha\text{-SiO}_2$
$\beta\text{-Qtz}$	S	Quartz bêta	$\beta\text{-SiO}_2$
	C_3S_2	Rankinite	$\text{Ca}_3[\text{Si}_2\text{O}_7]$
Sa		Sanidine	KAlSi_3O_8
Spr		Sapphirine	$\text{Mg}_4\text{Al}_{10}\text{O}_{23}$
		Sépiolite	$\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Sme		Smectite	
Spl		Spinelle	
Trd	S	Tridymite	SiO_2
Wo	CS	Wollastonite	CaSiO_3
Wus		Wüstite	FeO
		Xénotime	

Tableau 9 : liste des minéraux cités dans le texte.

* : terminologie présente dans l'industrie cimentière mais non reconnue comme nom de minéral. Abréviations d'après Kretz (1983, p. 278) complétées par Siivola & Schmid (2007). Les formules structurales sont issues de Deer, Howie & Zussman (1982) pour les orthosilicates, Deer, Howie & Zussman (1986) pour les soro- et cyclosilicates, Deer, Howie & Zussman (1978) pour les inosilicates, Wilson (2013) pour les phyllosilicates.

Annexe A2 – Corpus étudié

L'ensemble du corpus étudié est présenté ci-après : le tableau 10 et les planches suivantes résument les informations propres à chaque individu. Les planches regroupent les objets étudiés par unité stratigraphique et par type ; toutes sont présentées à l'échelle 1/3 et les diamètres figurés en pointillés ne sont pas restitués.

Réf. ¹	Inventaire ²	Site	US	Chronologie	Matière	Catégorie d'industrie	Type	Décor	Planche
14914		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14915		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14916		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14917		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	industrie dynamique (contenir)	kalathos	-	
14918		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14919		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	industrie dynamique (tenir)	indéterminé	-	
14920		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14921		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14922		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	industrie dynamique (tenir)	indéterminé	-	
14923		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14924		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14925		Mas de Moreno	15312	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
14926		Mas de Moreno	15302	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	indéterminée	indéterminé	-	
15030		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	industrie dynamique (tenir)	peson	-	
15031		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	terre crue	industrie dynamique (tenir)	peson	-	
15032		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15033		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15034		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	
15035		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	
15036		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15037		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15038		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	jarre	-	II
15039		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	II
15040		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	I
15041		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	X	I
15042		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	I
15043		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	I
15044		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (tenir)	peson	-	
15045		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (tenir)	peson	-	

Réf. ¹	Inventaire ²	Site	US	Chronologie	Matière	Catégorie d'industrie	Type	Décor	Planche
15046		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15047		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	II
15048		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	
15049		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	II
15050		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	II
15051		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15052		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	II
15053		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15054		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	urne	-	II
15055		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15056		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	gobelet	-	II
15057		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	urne	-	II
15058		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15059		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15060		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	II
15061		Mas de Moreno	12212	II ^e s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	I
15445		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (tenir)	peson	-	
15446		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	VI
15447		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	X	VI
15448		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	VI
15449		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	VI
15450		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	-	III
15451		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	X	III
15452		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	plat	X	IV
15453		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	V
15454		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	-	III
15455		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	-	III
15456		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	VI
15457		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV

Réf. ¹	Inventaire ²	Site	US	Chronologie	Matière	Catégorie d'industrie	Type	Décor	Planche
15458		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15459		Mas de Moreno	15205	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15460		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	V
15461		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	X	VI
15462		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	
15463		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	V
15464		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	X	III
15465		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (tenir)	peson	X	
15466		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	X	III
15467		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	plat	X	IV
15468		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15469		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15470		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15471		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	V
15472		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15473		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	V
15474		Mas de Moreno	15227	Prem. moit. I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	IV
15640		Mas de Moreno	13138	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	amphore	-	VIII
15641		Mas de Moreno	13138	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	amphore	-	VIII
15642		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	indéterminé	-	
15643		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	X
15644		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	couvercle	X	IX
15645		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	IX
15646		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	jarre	-	
15647		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	IX
15648		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	X
15649		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	VII
15650		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	jarre	-	VII
15651		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	X	VII

Réf. ¹	Inventaire ²	Site	US	Chronologie	Matière	Catégorie d'industrie	Type	Décor	Planche
15652		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	IX
15653		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	indéterminé	-	IX
15654		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	kalathos	X	IX
15655		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	indéterminé	-	
15656		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	VII
15657		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	indéterminé	-	
15658		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (logement)	pavement	-	
15659		Mas de Moreno	13169	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (logement)	pavement	-	
15660		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	VII
15661		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	VII
15662		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	-	VII
15663		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (tenir)	peson	-	
15664		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	pot à deux anses	-	IX
15665		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	VII
15666		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	X
15667		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	X
15668		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	VII
15669		Mas de Moreno	21041	Milieu I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	gobelet	-	VII
15670	TCR.V.98.746	Torre Cremada	84	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
15671	TCR.V.98.606	Torre Cremada	84	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
15672	TCR.V.98.442	Torre Cremada	87	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
15673	TCR.V.98.628	Torre Cremada	85	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
15674	TCR.V.98.375	Torre Cremada	86	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
15675	TCR.V.98.661	Torre Cremada	84	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	-	
15676	TCR.V.98.71	Torre Cremada	60	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	
15677	TCR.V.98.5	Torre Cremada	60	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie schématique (aliment)	coupe	X	
15678	TCR.V.98.383	Torre Cremada	60	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	-	
15679	TCR.V.98.467	Torre Cremada	60	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	
15680	TCR.V.98.800	Torre Cremada	75	I ^{er} s. av. J.-C.	céramique	industrie dynamique (contenir)	vase de stockage	-	

Réf. ¹	Inventaire ²	Site	US	Chronologie	Matière	Catégorie d'industrie	Type	Décor	Planche
16441		El Palao	25146		céramique	indéterminée	indéterminé	-	
16442		El Palao	25146		céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16443		El Palao	25146		céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16444		El Palao	25146		céramique	indéterminée	indéterminé	-	
16445		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16446		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16447		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	-	
16448		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16449		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16450		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16451		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	vase à col de cygne	X	
16452		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16453		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	indéterminé	X	
16454		El Palao	25117	VIII ^e – IV ^e s. av. J.-C.	céramique	indéterminée	vase à col de cygne	X	

Tableau 10 : matériel archéologique étudié.

1 : référence de l'individu dans le cadre de la présente étude (inventaire interne de l'IRAMAT-CRP2A). 2 : numéro d'inventaire propre au site étudié.

#	Réf. CRP2A	Commune	X	Y	Matériau	Stratigraphie	Planche
1	15016	Foz-Calanda	726626	4532915	argile/marne	inconnue	fig. 54, p. 164
2	15598	Alcoriza	725683	4535351	argile/marne	Trias (Keuper)	XI
3	15599	Alcoriza	725683	4535351	argile/marne	Trias (Keuper)	XII
4	15600	Foz-Calanda	725931	4535264	argile/marne	Trias (Keuper)	XII
5	15601	Foz-Calanda	726473	4533496	argile/marne	Néogène	XIV
6	15602	Foz-Calanda	726596	4533435	argile/marne	Néogène	XIV
7	15604	Foz-Calanda	726829	4531886	argile/marne	Trias (Keuper)	fig. 10, p. 49
8	15605	Alcoriza	723863	4531801	argile/marne	Néogène	XV
9	15606	Alcoriza	723215	4531862	argile/marne	Néogène	XV
10	15607	Alcoriza	723214	4531878	argile/marne	Néogène	XVI
11	15608*	Alcoriza	723254	4531879	argile/marne	Néogène	XVI
12	15609*	Alcoriza	723254	4531879	argile/marne	Néogène	XVI
13	15610*	Alcoriza	723254	4531879	argile/marne	Néogène	XVI
14	15611	Foz-Calanda	726625	4532911	argile/marne	Néogène	XVII
15	15612	Foz-Calanda	727932	4533388	argile/marne	Néogène	XVII
16	15615	Alcoriza	715697	4534501	argile/marne	Crétacé (Albien)	XIII
17	15617	Alcoriza	715783	4534716	argile/marne	Crétacé (Albien)	XIII
18	16068	Foz-Calanda	726118	4533429	argile/marne	Néogène	-
19	16069	Foz-Calanda	726117	4533429	argile/marne	Néogène	-
20	16070	Foz-Calanda	726118	4533428	argile/marne	Néogène	-
21	16071	Foz-Calanda	726118	4533424	argile/marne	Néogène	-

Tableau 11 : matériaux géologiques étudiés.

Coordonnées UTM zone 30 N. * : ces trois prélèvements proviennent d'un même profil vertical.

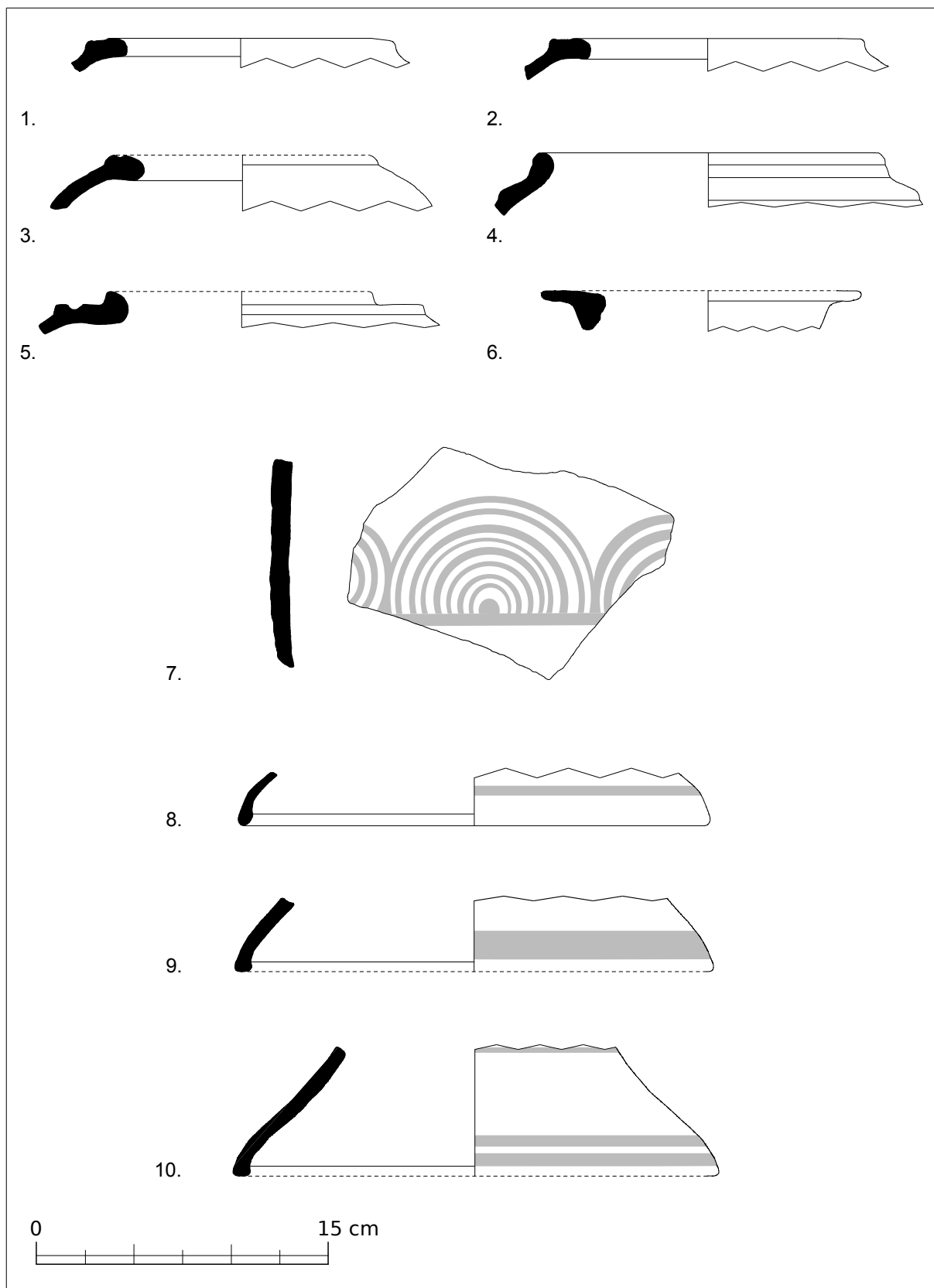


Planche I : vases de stockage (1 à 7) et couvercles (8 à 10) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 12212).

1. BDX15032 ; 2. BDX15033 ; 3. BDX15036 ; 4. BDX15037 ; 5. BDX15061 ; 6. BDX15058 ; 7. BDX15041 ; 8. BDX15040 ; 9. BDX15042 ; 10. BDX15043.

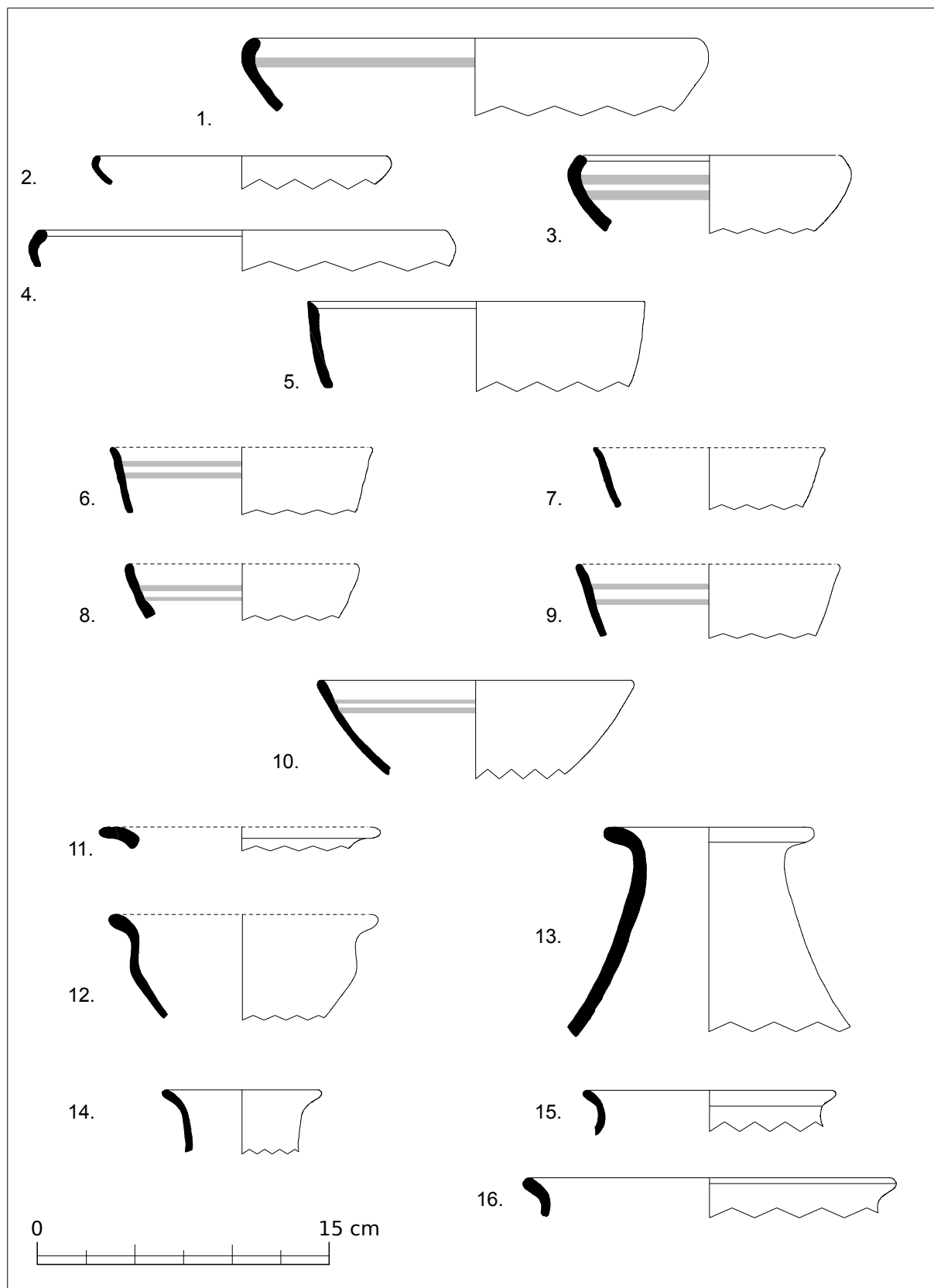


Planche II : coupes à bords convergents (1 à 4), biseautés (5), divergents (6 et 7), en amande (8 et 9), coupe hémisphérique (10), coupes (11 et 12), cruche (13), gobelet (14), urnes (15 et 16) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 12212).

1. BDX15039 ; 2. BDX15051 ; 3. BDX15052 ; 4. BDX15053 ; 5. BDX15046 ; 6. BDX15047 ; 7. BDX15059 ; 8. BDX15049 ; 9. BDX15059 ; 10. BDX15050 ; 11. BDX15055 ; 12. BDX15060 ; 13. BDX15038 ; 14. BDX15056 ; 15. BDX15057 ; 16. BDX15054.

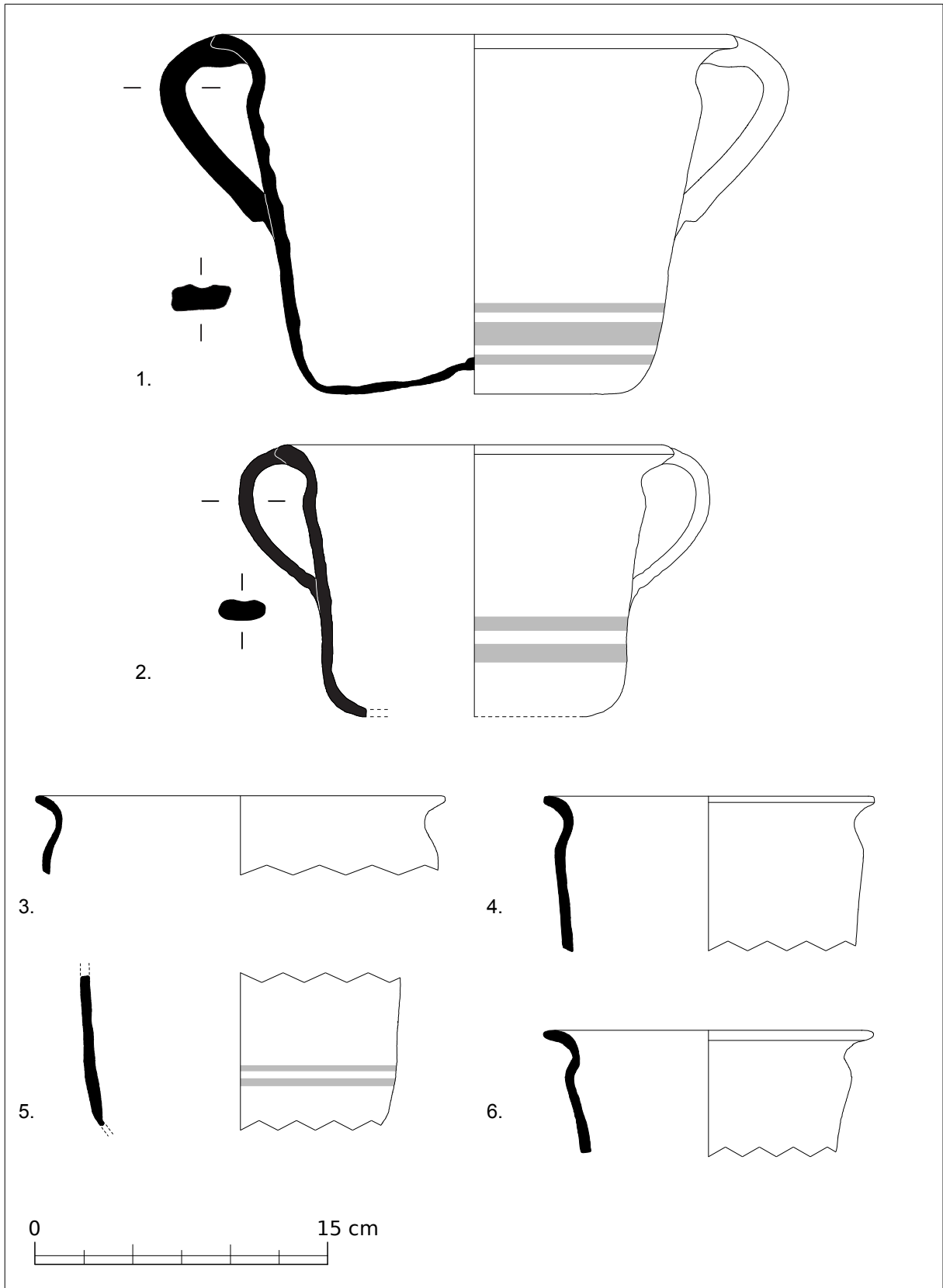


Planche III : pots à deux anses (1 à 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).

1. BDX15464 ; 2. BDX15466 ; 3. BDX15450 ; 4. BDX15454 ; 5. BDX15451 ; 6. BDX15455.

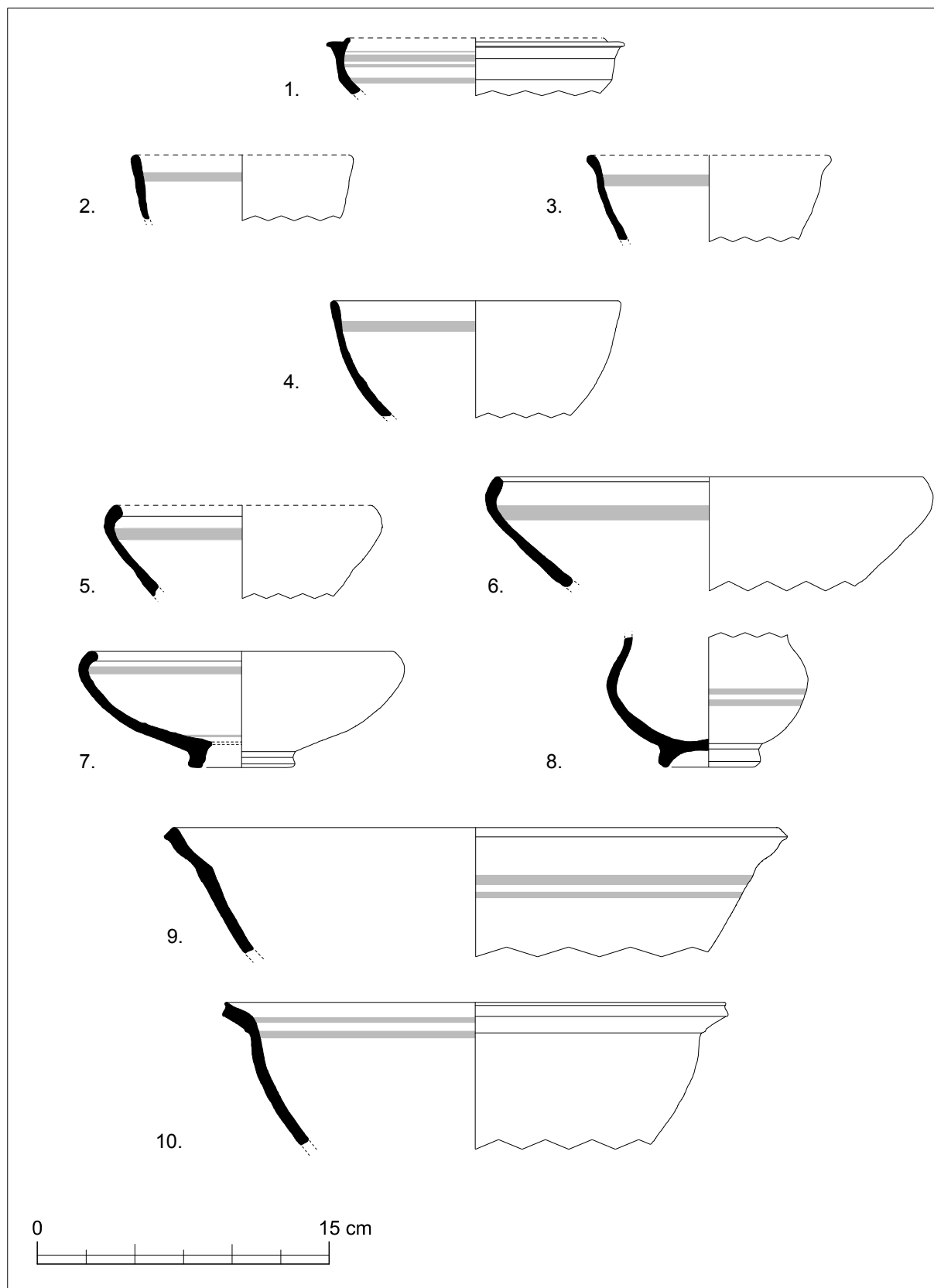


Planche IV : coupes (1), à bord droit (2), à bord divergent (3), coupes (4), à bord convergent (5 à 7), coupe (8), grandes coupes à lèvres moulurées (9 et 10) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).

1. BDX15469 ; 2. BDX15458 ; 3. BDX15459 ; 4. BDX15474 ; 5. BDX15468 ; 6. BDX15470 ; 7. BDX15457 ; 8. BDX15472 ; 9. BDX15452 ; 10. BDX15467.

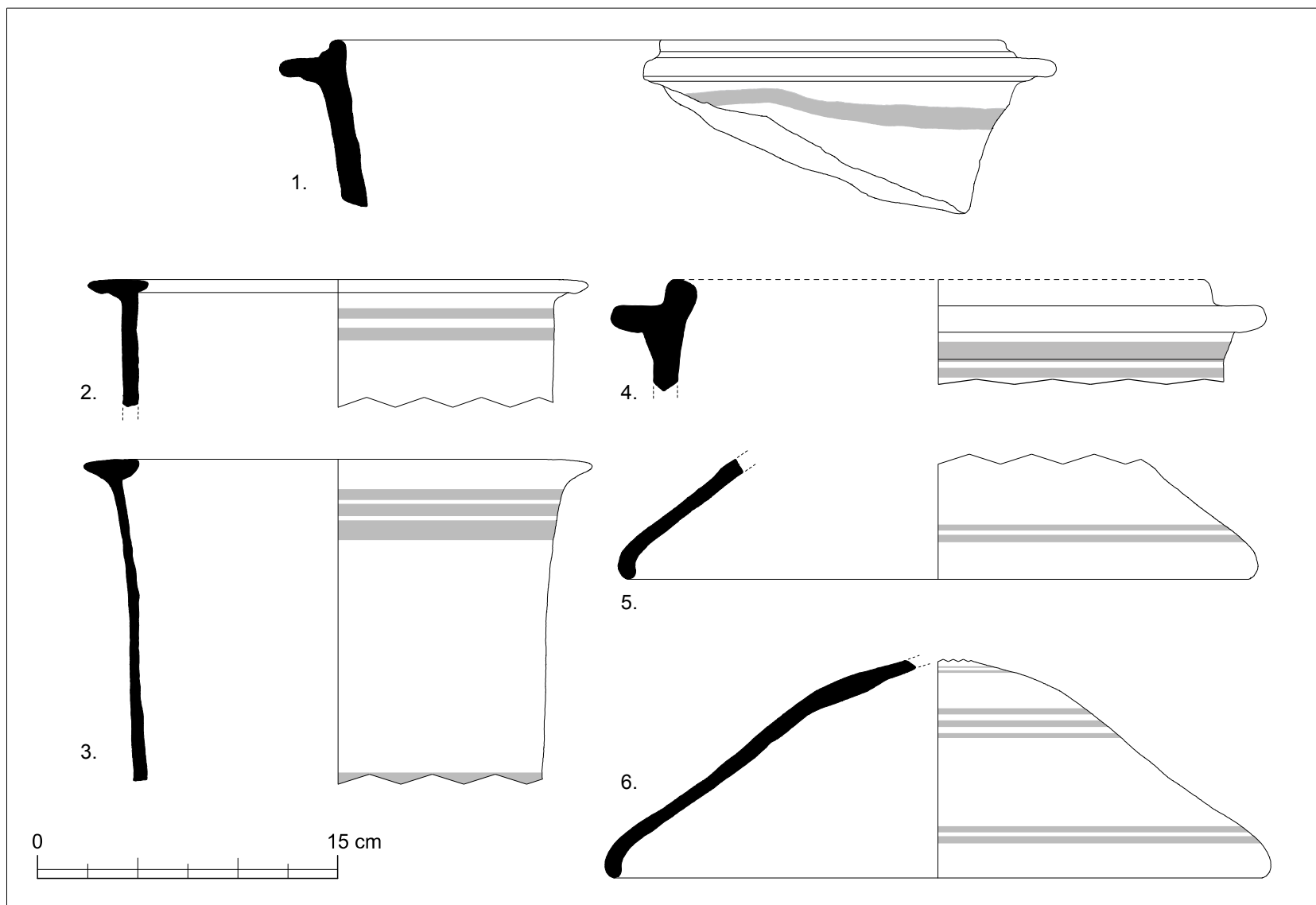


Planche V : kalathos (1 à 4) et couvercles (5 et 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).

1. BDX15473 ; 2. BDX15460 ; 3. BDX15642 ; 4. BDX15463 ; 5. BDX15453 ; 6. BDX15471.

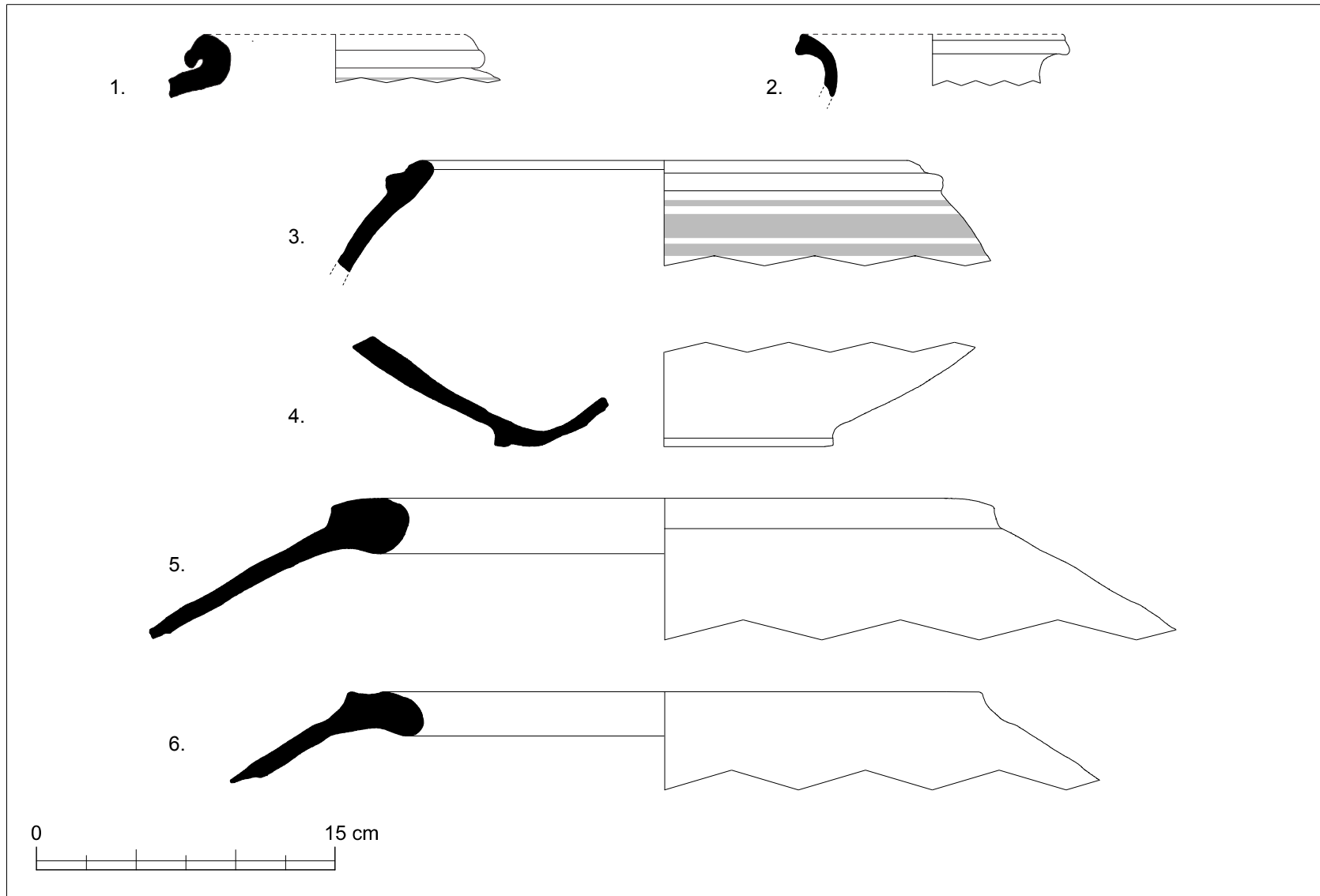


Planche VI : vases de stockage (1 à 3), jarres illuratin (4 à 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15025 et 15227).

1. BDX15447 ; 2. BDX15456 ; 3. BDX15461 ; 4. BDX15449 ; 5. BDX15446 ; 6. BDX15448.

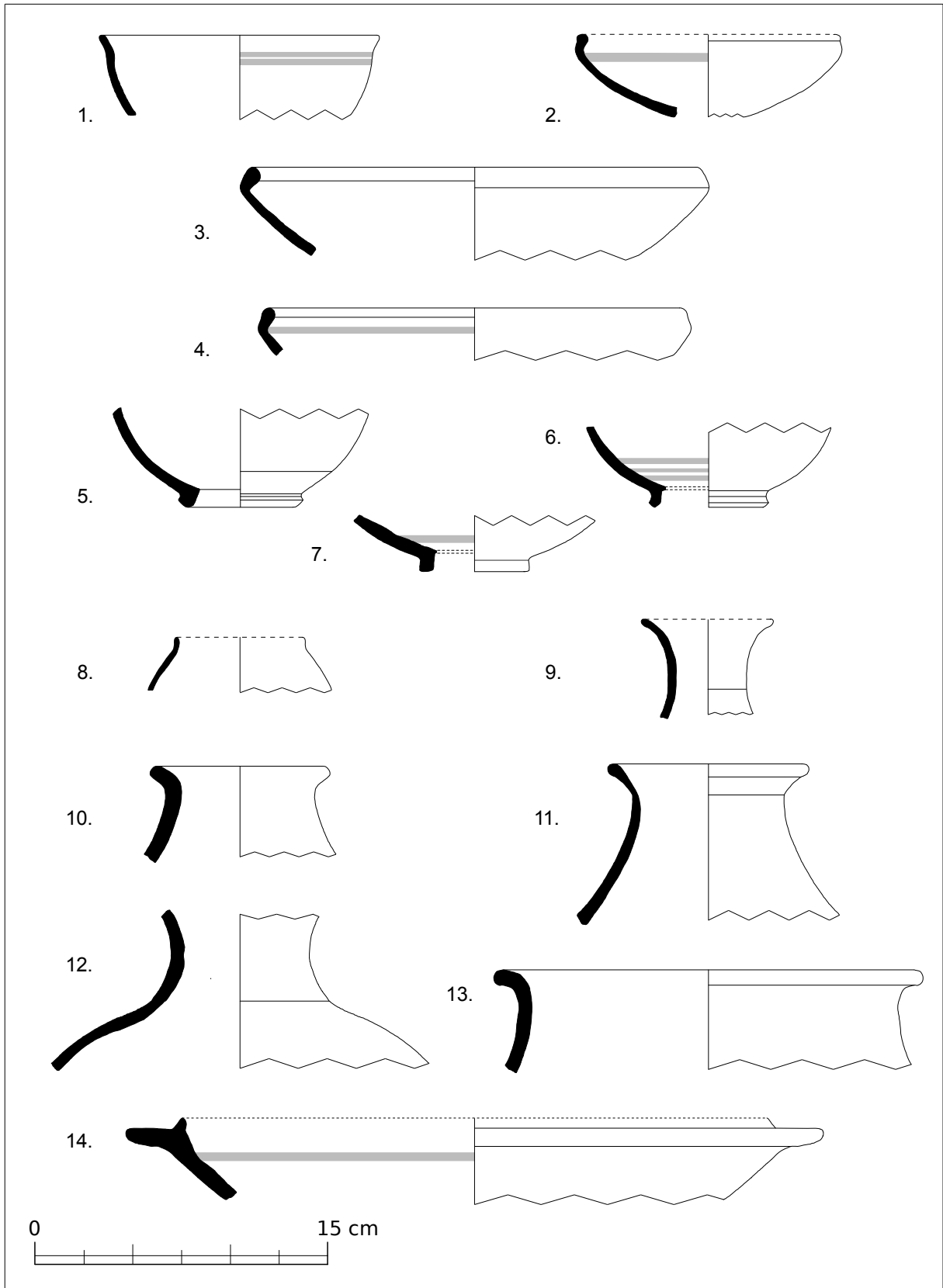


Planche VII : coupes (1 à 8), cruches (9 à 13) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13138 et 21041).

1. BDX15656 ; 2. BDX15661 ; 3. BDX15662 ; 4. BDX15668 ; 5. BDX15655 ; 6. BDX15660 ; 7. BDX15665 ; 8. BDX15649 ; 9. BDX15669 ; 10. BDX15646 ; 11. BDX15657 ; 12. BDX15642 ; 13. BDX15650 ; 14. BDX15651.

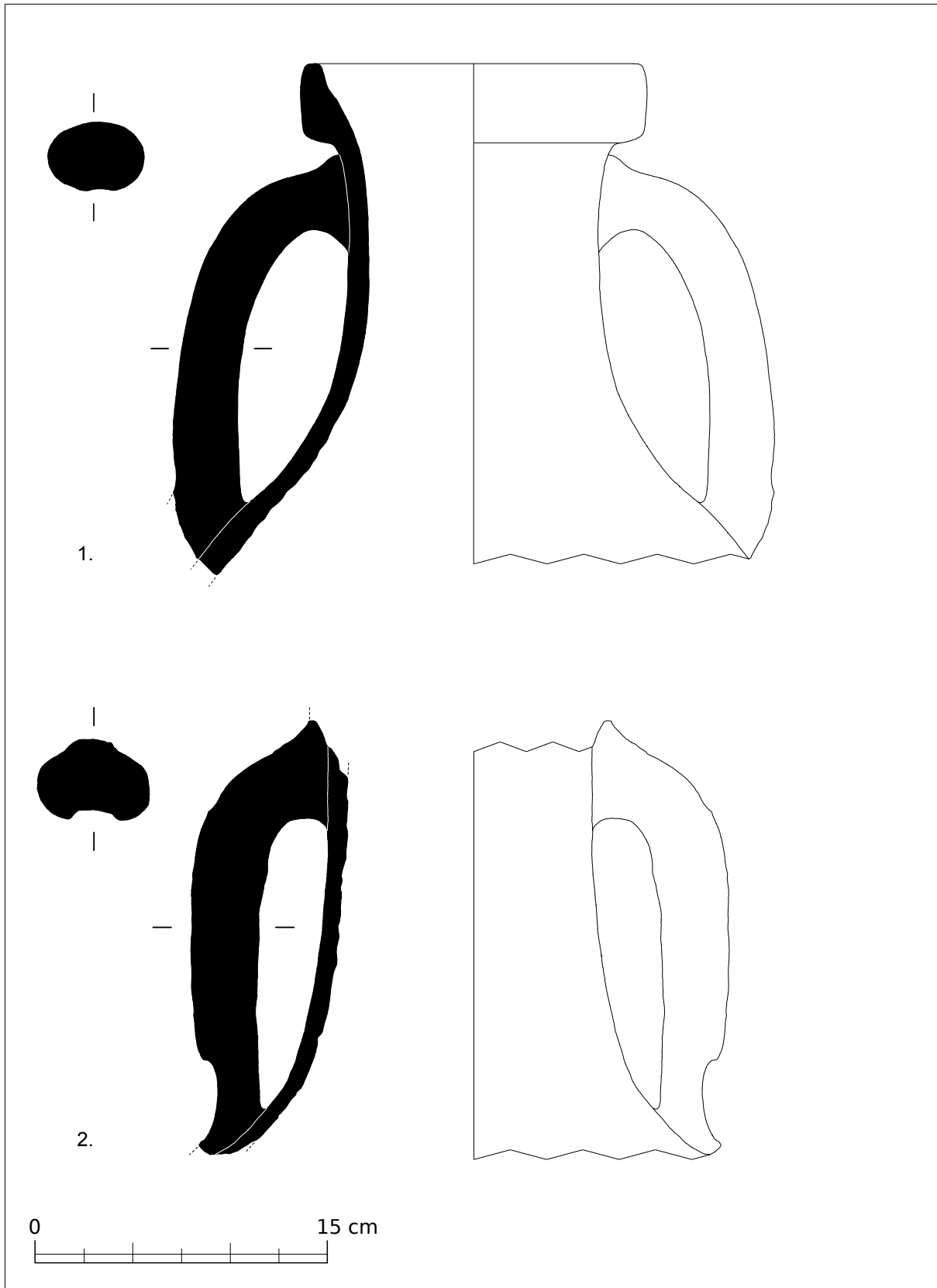


Planche VIII : amphores (1 et 2) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13138).

1. BDX15640 ; 2. BDX15641 (le diamètre n'est pas restitué).

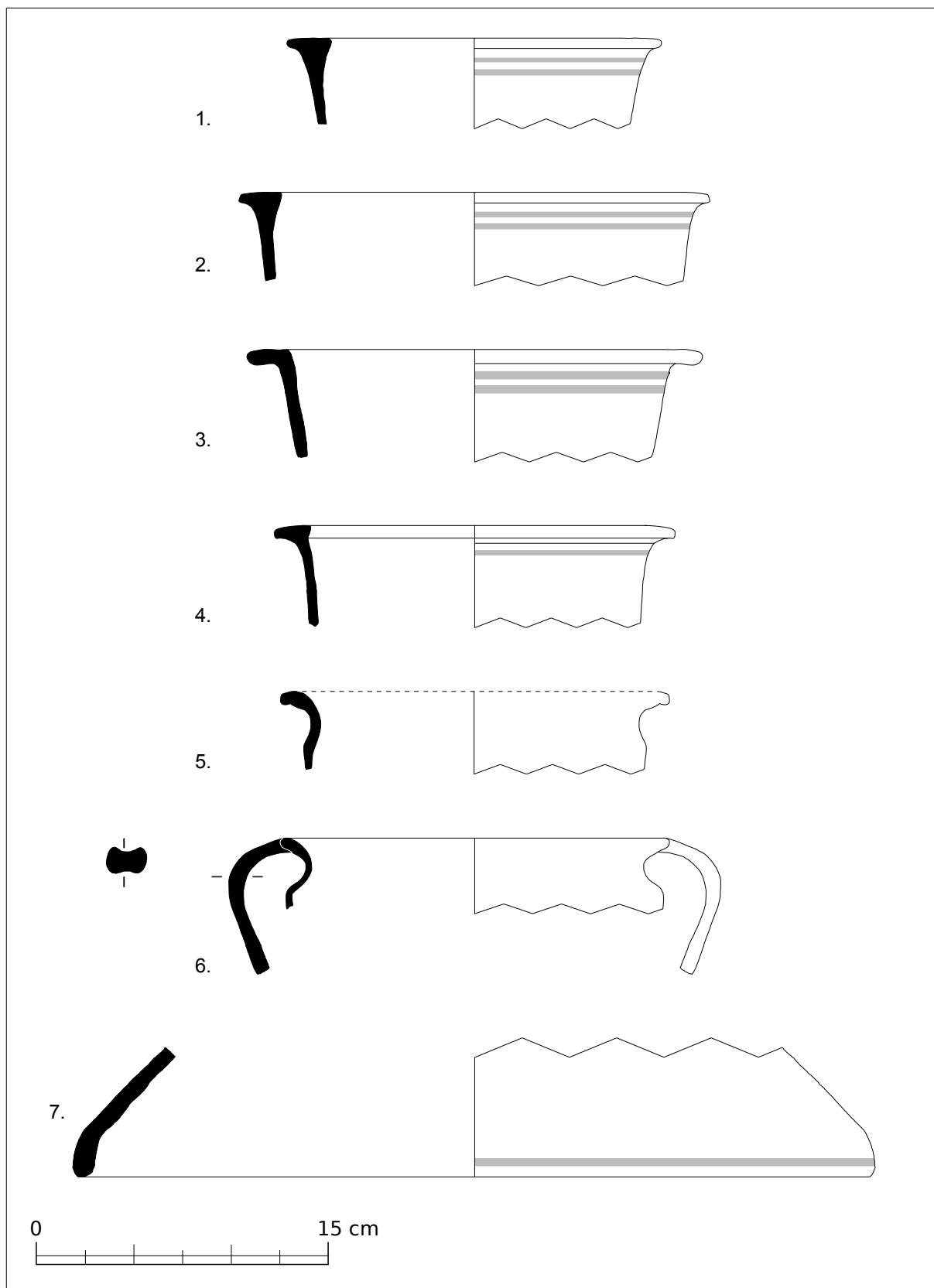


Planche IX : kalathos (1 à 4), pots à deux anses (5 et 6) et couvercle (7) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13169 et 21041).

1. BDX15645 ; 2. BDX15654 ; 3. BDX15647 ; 4. BDX15652 ; 5. BDX15653 ; 6. BDX15664 ; 7. BDX15644.

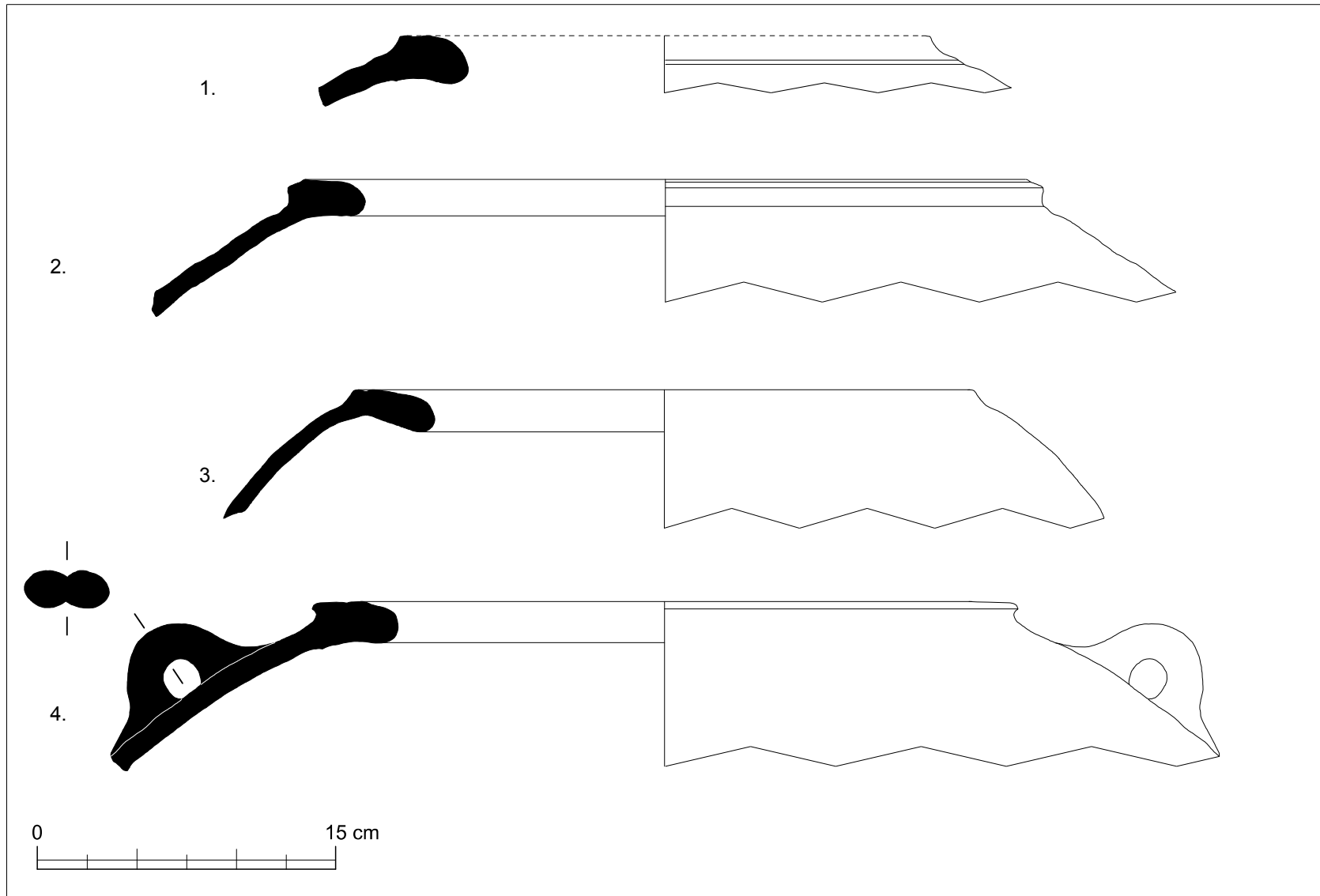


Planche X : vases de stockage (1 à 4) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13169 et 21041).

1. BDX15643 ; 2. BDX15648 ; 3. BDX15666 ; 4. BDX15667.

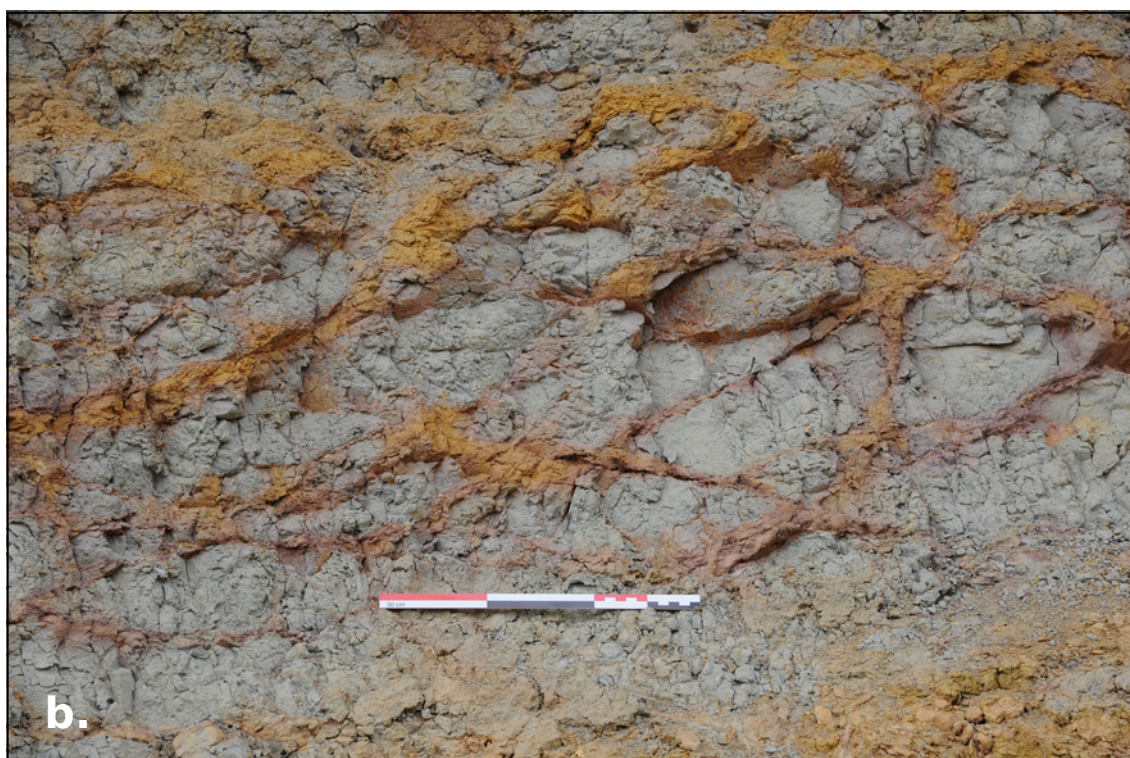


Planche XI : dépôts d'argiles bariolées du Trias supérieur.

a. Les niveaux d'argiles affleurent sous le calcaire crétacé ; b. BDX15598.



Planche XII : dépôts d'argiles bariolés du Trias supérieur (suite).

a. BDX15599 ; b. BDX15600.

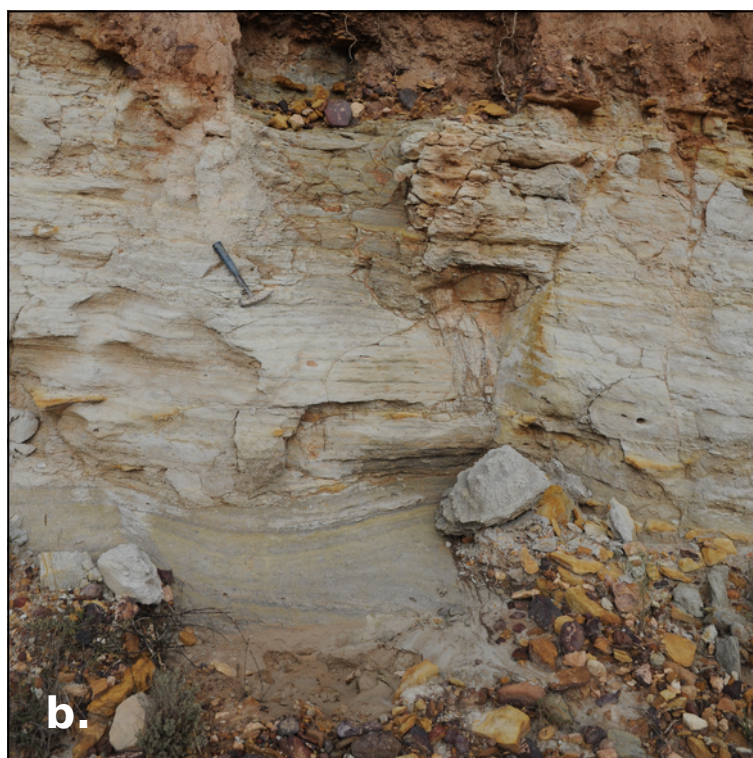


Planche XIII : dépôts d'argiles crétacés (Albien).

a. BDX15615 ; b. BDX15617. Le marteau marque l'emplacement des prélèvements.



Planche XIV : dépôts d'argile néogènes.

a. BDX15601 ; b. BDX15602.

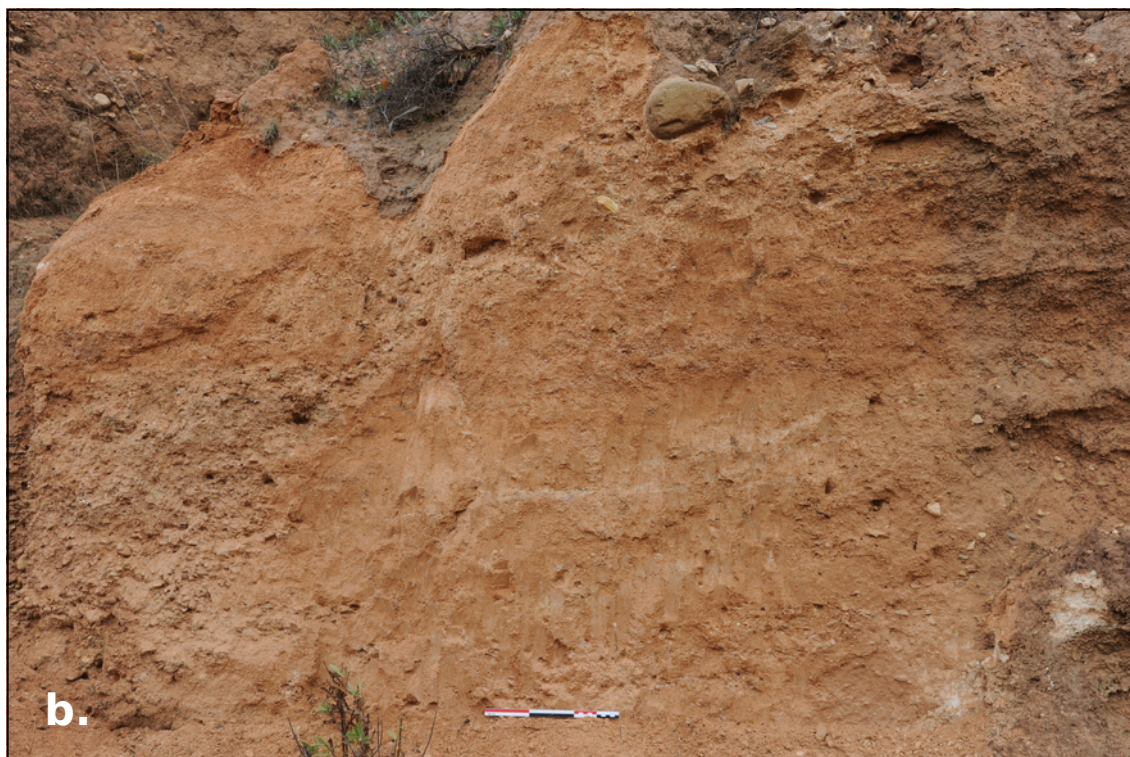


Planche XV : dépôts d'argiles néogènes (suite).

a. BDX15605 ; b. BDX15606.



Planche XVI : dépôts d'argiles néogènes (suite).

a. BDX15607 ; b. de haut en bas, dans les horizons E, B et à l'interface entre les deux : BDX15608, BDX15609 et BDX15610, respectivement (fig. 48, p. 151).



Planche XVII : dépôts d'argiles néogènes (suite).

a. BDX15611 ; b. BDX15612.

Annexe A3 – Protocole analytique

Sauf mention contraire, l'ensemble des expériences détaillées ci-après et l'acquisition des données sont le fait de l'auteur et ont été réalisées à l'IRAMAT-CRP2A.

I. Imagerie

Deux types de préparations ont été réalisées en vue de l'obtention d'images par microscopie optique (lumière naturelle, lumière polarisée) et électronique : des lames minces d'épaisseur standard (30 μm) et des sections polies d'épaisseurs millimétriques. L'ensemble des sections ainsi observées ont été réalisées perpendiculairement au plan d'ouverture des artefacts.

L'acquisition des images en microscopie électronique à balayage a été réalisée avec un équipement à pression variable JSM 6460LV (JEOL) sur les sections polies, après dépôt d'une couche nanométrique de carbone. Les observations ont été réalisées sous vide poussé (supérieur à 10^{-5} mbar), avec une tension d'accélération de 30 kV.

II. Analyses élémentaires

A. Spectrométrie de rayons X en dispersion

d'énergie (SEM-EDS)

Des analyses élémentaires ponctuelles ont été réalisées par spectrométrie de rayons X en dispersion d'énergie (EDS ; spectromètre Oxford INCA 300) couplée à l'imagerie par microscopie électronique à balayage (SEM). Les données ont été acquises sur des sections polies, après déposition d'une couche nanométrique de carbone, sous un vide poussé (supérieur à 10^{-5} mbar) et avec une tension d'accélération de 30 kV. Pour l'ensemble des spectres EDS le temps mort lors de l'acquisition est de l'ordre de 35 %, pour un nombre de coups moyen par spectre supérieur à 10^6 . Les compositions sont normalisées à 100 % et ont été calculées à partir de standards de la société Oxford Instruments constitués de métaux, de composés de synthèse et de minéraux naturels.

B. Fluorescence de rayons X en dispersion de

longueur d'onde (WDXRF)

La composition élémentaire des échantillons (matrices céramiques et argiles) a été obtenue par spectrométrie de fluorescence de rayons X en dispersion de longueur d'onde. Faute d'équipement disponible permettant la quantification des éléments traces au sein de l'IRAMAT-CRP2A lors de nos travaux, la préparation des perles ainsi que les analyses ont été réalisées à la Maison de l'Orient et de la Méditerranée par V. MERLE³⁸¹.

381 UMR 5138 (CNRS, Université Lumière Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1).

Les échantillons ont préalablement été chauffés à 950 °C pendant une heure – permettant de les décarbonater, de les déshydrater, d'éliminer la matière organique et de calculer la perte au feu (% massique) – avant d'être broyés dans un mortier en carbure de tungstène. Enfin, 0,8 g de poudre ainsi obtenus ont été mélangé avec 3,2 g de fondant Spectroflux 110 (Johnson Matthey ; 33,5 % de métaborate et 66,5 % de tétraborate de lithium) et portés à fusion dans des creusets en or-platine avec une machine à fusion autofluxer (Breitländer)³⁸².

L'acquisition des données a été réalisée avec un spectromètre SRS 3400 (Bruker) d'une puissance de 3 kW (tension maximale appliquée de 60 kV, intensité maximale appliquée de 100 mA), équipé d'un tube à fenêtre frontale en rhodium, de quatre cristaux analyseurs (OVO-55, LiF200, LiF220, PET), de deux collimateurs (0,46° et 0,15°) et de deux détecteurs (un compteur proportionnel à flux gazeux Ar/CH₄ et un compteur à scintillation). La calibration de l'appareil à été réalisée sur 40 standards internationaux³⁸³.

Vingt-quatre éléments ont ainsi été dosés et les résultats sont exprimés en pourcentages massiques³⁸⁴ : CaO, Fe₂O₃t (fer total), TiO₂, K₂O, SiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO, Na₂O, P₂O₅, Zr, Sr, Rb, Zn, Cr, Ni, La, Ba, V, Ce, Y, Th, Pb et Cu.

III. Analyses structurales

A. Diffraction de rayons X (XRD)

La composition minéralogique des échantillons (matrices céramiques et argiles) a été déterminée par diffraction de rayons X. Les données ont été acquises à température ambiante avec un diffractomètre D8 Advance (Bruker) équipé d'un détecteur CCD LynxEye et utilisé en géométrie Bragg-Brentano (θ/θ), exploitant la raie k_{α} du cuivre ($k_{\alpha} = 1,5406 \text{ \AA}$; la raie k_{β} étant éliminée par un filtre au nickel) et opérant à 40 kV/

382 Collectif (2012a).

383 Collectif (2012b).

384 Par convention, les éléments majeurs et mineurs sont exprimés sous forme d'oxydes, tandis que les éléments traces sont laissés sous leur forme élémentaire.

40 mA. La stabilité de l'appareil a été contrôlée entre les différentes séries de mesures par l'analyse d'un standard (cristal de corindon, NIST 1976).

Les compositions minéralogiques globales ont été obtenues par diffraction de rayons X sur poudres, tandis que l'identification des minéraux argileux a été réalisée grâce à des préparations orientées.

XRD par les poudres

Les échantillons ainsi analysés ont été préalablement broyés à la main dans un mortier en agate. L'enregistrement des données a été réalisé de 3° à 70° (2θ), par pas de $0,02^\circ$ avec un temps d'acquisition de 2 s, l'échantillon étant mis en rotation. Le tube a été équipé d'une fente de divergence de $0,3^\circ$ et le détecteur muni d'une fente d'anti-diffusion de 8 mm.

- **Analyse qualitative** : l'identification des phases présentes a été réalisée à l'aide de la base de données *Powder Diffraction File (PDF-2)*³⁸⁵ et du logiciel *Eva*³⁸⁶.
- **Analyse semi-quantitative** : pour un mélange donné de phases, l'intensité des pics de diffraction n'étant proportionnelle ni à la fraction massique, ni à la fraction volumique³⁸⁷, la quantification des phases précédemment identifiées a été obtenue par affinement Rietveld des diffractogrammes à l'aide du logiciel *Topas*³⁸⁸.

XRD par les préparations orientées

Seuls les échantillons argileux ont été ainsi analysés, ces derniers ayant fait l'objet de la préparation suivante³⁸⁹ : la matière organique a été éliminée par une attaque au peroxyde d'hydrogène pendant une semaine, suivie de 24 à 48 h d'attaque à l'acide

385 ICDD (2004).

386 Bruker AXS (2007).

387 Gravereau (2012, p. VIII-6).

388 Bruker AXS (2008).

389 Les protocoles mis en œuvre dans la présente étude sont fortement inspirés des recommandations formulées par Fontaine (2011).

chlorhydrique (1 mol.L⁻¹), les sels et chlorures étant finalement éliminés par plusieurs cycles de rinçage à l'eau déminéralisée, par centrifugation. L'analyse portant sur les seuls phyllosilicates, la fraction granulométrique inférieure à 10 µm a ensuite été prélevée par la méthode dite du temps de chute en vue de l'analyse. Le temps de chute d'une particule supposée sphérique et soumise à son poids, à la loi de Stokes et à la poussée d'Archimède dans une colonne d'eau est donné par la relation 36 :

$$t_c = \frac{9}{2} \cdot \frac{h_c \cdot \eta_f}{r_p^2 \cdot g \cdot (\rho_f - \rho_p)} \quad (36)$$

avec t_c le temps de chute (s), h_c le trajet parcouru par la particule (m), r_p le rayon de la particule (m), ρ_f et ρ_p les masses volumiques du fluide et de la particule (kg.m⁻³), respectivement³⁹⁰, η_f la viscosité du fluide (kg.m⁻¹.s⁻¹) et g l'accélération de la pesanteur (m.s⁻²).

Les préparations orientées ont été réalisées par dépôt sur une lame de verre non dépolie (30 × 30 mm²) de 1 à 5 mg de matière ainsi préparée mis en suspension dans 1 mL d'eau déminéralisée. Après séchage à l'air libre, le dépôt des phyllosilicates peut être considéré tel que le plan (001) est parallèle à la surface de la lame de verre.

L'enregistrement des données a été réalisé de 3° à 30° (2θ), par pas de 0,02° avec un temps d'acquisition de 4 s. L'ouverture du tube a été limitée par une fente de divergence de 0,3° et celle du détecteur par une fente d'anti-diffusion de 3 mm. Chaque préparation a été analysée après séchage à l'air, glycolation sous vide à l'éthylène-glycol, chauffés successives à 110, 350 et 550 °C pendant une heure. Les critères de détermination des minéraux argileux retenus sont résumés ci-dessous (**tabl. 12**).

390 La masse volumique de la particule est ici supposée égale à celle du quartz ($\rho_p = 2,65 \text{ g.cm}^{-3}$).

B. Spectroscopie Raman

Un spectromètre Raman RM 2000 (Renishaw) équipé d'une source laser à 633 nm, d'un détecteur CCD calibré sur la bande à 520,5 cm⁻¹ du silicium et couplé à un microscope confocal DM LM (Leica) a été utilisé. Afin d'éviter toute dégradation thermique des échantillons illuminés³⁹¹, la puissance de la source laser a été réduite à 10 % de son maximum, soit 5 mW. Les spectres ont été acquis à l'objectif ×50, de 100 à 2000 cm⁻¹ avec une résolution de 1 cm⁻¹ (réseau à 1200 lignes.mm⁻¹) et en trois accumulations de 30 s. L'identification des phases présentes a été réalisée à partir de la base de données du projet RRUFF³⁹², couplée au logiciel *CrystalSleuth*³⁹³, dans sa version du 19 mai 2008.

Minéral	Position des pics caractéristiques après traitements (Å)				
	Séchage à l'air	Glycolation	Chauffe à 110 °C	Chauffe à 350 °C	Chauffe à 550 °C
Chlorite	(001) 14-14,4 Å (002) 7-7,1 Å (003) 4,74 Å	inchangé	inchangé	inchangé	(001) gain d'intensité et déplacement à env. 9 Å
Illite	(001) 9,9-10,1 Å (002) env. 5 Å (003) 3,33 Å	inchangé	inchangé	inchangé	(001) inchangé
Kaolinite	(001) 7,1-7,2 Å (002) 3,57 Å (003) 2,38 Å	inchangé	inchangé	inchangé	(001) absent
Smectite	(001) 14-15 Å (002) 5 Å (003) 3,7 Å	(001) décalage à 16-17 Å	inchangé	inchangé	(001) décalage à 10 Å
Sepiolite	(110) 12-12,5 Å	inchangé	inchangé	(110) perte d'intensité	(110) absent + pics à 10,4 et 8,2 Å
Palygorskite	(110) 10,2-10,5 Å	inchangé	inchangé	(110) perte d'intensité + pics à 8,6-9,2 et 4,7 Å	(110) absent
Vermiculite	(001) à 14-14,5 Å (002) 7,2 Å (di) (002) 4,8 Å (tri) (003) 3,6 Å	inchangé	inchangé	(001) décalage à 12 Å (d) (001) décalage à 10 Å (t)	(001) décalage à 11 Å (d) (001) inchangé (t)

Tableau 12 : critères d'identification des minéraux argileux par diffraction de rayons X (préparations orientées).

(di) Dioctaédral, (tri) trioctaédral. D'après Schultz (1969), VanScoyoc, Serna & Ahlrichs (1979), Moore & Reynolds (1989), Murad & Wagner (1996), Bouchet, Meunier & Sardini (2000), Poppe et al. (2001), Wilson (2013).

391 de Faria & Lopes (2007).

392 Downs (2006), RRUFF Project (2006).

393 Laetsch & Downs (2006).

IV. Granulométrie

Les distributions de tailles de grains ont été mesurées à l'aide d'un granulomètre laser LA-950V2 (HORIBA) par A. QUEFFELEC au sein du laboratoire PACEA³⁹⁴.

L'ensemble des échantillons ont été préalablement traités au peroxyde d'hydrogène afin d'éliminer la matière organique présente. La dispersion des échantillons a ensuite été réalisée en solution aqueuse à l'aide d'hexamétaphosphate de sodium et par ultrasonification pendant 1 min. La distribution des tailles de grains a été calculée en utilisant la solution de Mie à l'équation de Maxwell³⁹⁵, avec 1,33 comme indice de réfraction de l'eau et 1,55-0,1i pour le sédiment.

Face à la multitude des classifications existantes³⁹⁶, le choix a été fait de travailler avec le même triangle de textures que le Bureau des Sols Européen³⁹⁷. Ce dernier est construit avec les classes granulométriques suivantes : argiles* de 0 à 2 µm, silts* de 2 à 50 µm et sables* de 50 à 2000 µm.

394 UMR 5199 (Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS, Université de Bordeaux).

395 A. Queffelec, comm. pers.

396 Voir Richer de Forges *et al.* (2008) pour une revue des classifications existantes.

397 Jones, Montanarella & Jones (2005, p. 124).

Annexe A4 – Analyse de données

I. Logiciel et environnement de calcul

L'ensemble des traitements et analyses statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel *R*³⁹⁸ version 3.0.2 et des modules complémentaires suivants : *car*³⁹⁹ version 2.0-19, *colorRamps*⁴⁰⁰ version 2.3, *compositions*⁴⁰¹ version 1.30-1, *FactoMineR*⁴⁰² version 1.25, *rgl*⁴⁰³ version 0.93.991 et *MASS*⁴⁰⁴ version 7.3-29.

L'utilisation de *R* s'est naturellement imposée. D'une part, s'agissant d'un logiciel libre, possibilité est offerte de vérifier l'ensemble des fonctions sans que demeure une quelconque zone d'ombre quant à la façon dont les résultats sont obtenus. D'autre part, les nombreux modules complémentaires additionnels disponibles – notamment dédiés à l'analyse de données de composition – en font un outil des plus complets.

398 R Core Team (2013).

399 Fox & Weisberg (2011).

400 Keitt (2012).

401 van den Boogaart & Tolosana-Delgado (2008), van den Boogaart, Tolosana & Bren (2013).

402 Husson *et al.* (2013).

403 Adler & Murdoch (2013).

404 Venables & Ripley (2002).

II. Données de composition

A. Transformation des données

Définitions

Les données quantitatives obtenues par XRD et WDS-XRF et exploitées dans la présente étude ont été préalablement transformées en vue de leur analyse. Cette étape est rendue nécessaire par la nature de ces données dites compositionnelles, qui décrivent les parties d'un tout comme mutuellement exclusives et exhaustives (un objet de masse totale m peut ainsi être décomposé en ses différents constituants, de masses m_1, m_2, \dots, m_D)⁴⁰⁵. Une composition x est donc définie comme un vecteur de longueur D dont tous les *composants* (x_1, x_2, \dots, x_D) sont des réels strictement positifs (*teneurs*) :

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_D] = \frac{[m_1, m_2, \dots, m_D]}{\sum_{i=1}^D m_i} \quad (37)$$

Deux particularités se font jour : d'une part, les rapports considérés mettent en jeu des parties communes au numérateur et au dénominateur et, d'autre part, les composants considérés portent une information relative : la somme k des teneurs du vecteur composition est sans intérêt (*infra*). Cette dernière peut être contrainte par l'opération de fermeture du vecteur x (**éq. 38**) : la somme est alors constante pour tout le jeu de données et généralement égale à 1 ou 100, selon que l'on considère des parts d'une unité ou des pourcentages. Ces vecteurs dits compositions appartiennent alors à l'univers des possibles ou simplex défini par la relation **39**⁴⁰⁶.

$$F(x) = \left[\frac{k \cdot x_1}{\sum_{i=1}^D x_i}, \frac{k \cdot x_2}{\sum_{i=1}^D x_i}, \dots, \frac{k \cdot x_D}{\sum_{i=1}^D x_i} \right] \quad (38)$$

405 Aitchison (2005, p. 13).

406 Aitchison (1986, p. 27).

$$S^D = \{x = [x_1, x_2, \dots, x_D] : x_i \in \mathbb{R}^{+*} \forall i \in [1; D]; \sum_{i=1}^D x_i = k\} \quad (39)$$

Pour une composition x donnée, une sous-composition s est définie comme un vecteur construit par la sélection de C composants de x , lequel a subi une opération de fermeture (**éq. 40**)⁴⁰⁷. Il est alors entendu que seules des sous-compositions (fermées à 100 %, hors perte au feu pour les compositions élémentaires) ont été étudiées : celles-ci correspondent aux vecteurs des composants analysés et dont les concentrations sont supérieures aux seuils de détection des instruments mis en œuvre.

$$s = [s_1, s_2, \dots, s_C] = \frac{[x_1, x_2, \dots, x_C]}{\sum_{i=1}^C x_i} \quad (40)$$

De ces particularités, il apparaît que toute analyse de données dites compositionnelles doit respecter les quatre principes que sont « l'invariance d'échelle » (*scale invariance*), « l'invariance de perturbation » (*perturbation invariance*), « l'invariance de permutation » (*permutation invariance*) et la « cohérence de sous-composition » (*subcompositional coherence*)⁴⁰⁸. Autrement formulé, ni la somme des composants du vecteur composition, ni le choix des unités, ni la séquence des composants ou l'étude d'un sous-jeu de données issu d'une composition, ne doivent affecter les résultats de l'analyse. Ces quatre principes impliquent que seuls comptent les *rapports* entre les différents composants⁴⁰⁹. À cela s'ajoutent les points suivants⁴¹⁰ :

- La covariance entre deux composants dépend des autres composants également présents dans le jeu de données ;
- Les matrices de variance sont toujours singulières du fait de la contrainte dite de somme constante ;

407 Pawlowsky-Glahn, Egozcue & Tolosana-Delgado (2007, p. 6).

408 Aitchison (1986).

409 van den Boogaart & Tolosana-Delgado (2013, p. 33).

410 van den Boogaart & Tolosana-Delgado (2013, p. 2).

- Les composants ne peuvent être normalement distribués, le modèle normal ne pouvant décrire des données dont les valeurs appartiennent à un intervalle délimité.

Si bien que dans le cas de données dites compositionnelles, ces contraintes ont des implications y compris dans le cas d'analyses univariées⁴¹¹, et la plupart des méthodes dédiées aux statistiques multivariées sont inapplicables. Le recours à ces dernières nécessite donc une transformation préalable des données, permettant de travailler dans un espace euclidien.

Rapports de logarithmes

J. AITCHISON a proposé deux transformations, dites additive (*additive log-ratio*, *alr*) et centrée (*centered log-ratio*, *clr*), définies comme suit⁴¹² :

$$alr(x) = \left[\ln\left(\frac{x_1}{x_D}\right), \ln\left(\frac{x_2}{x_D}\right), \dots, \ln\left(\frac{x_{D-1}}{x_D}\right) \right] \quad (41)$$

$$clr(x) = \left[\ln\left(\frac{x_1}{g(x)}\right), \ln\left(\frac{x_2}{g(x)}\right), \dots, \ln\left(\frac{x_D}{g(x)}\right) \right] \quad (42)$$

avec $g(x)$ la moyenne géométrique. La transformation additive est asymétrique (dépendante du choix du dénominateur) et non isométrique. La transformation centrée est quant à elle isométrique mais la matrice de données est singulière une fois transformée (la somme de chaque ligne est nulle). À cela s'ajoute une transformation dite isométrique (*isometric log-ratio*, *ilr*) introduite par J. J. EGOZCUE et ses collaborateurs⁴¹³, telle que :

$$ilr(x) = [z_1, z_2, \dots, z_{D-1}] \text{ avec } z = \sqrt{\frac{i}{i+1}} \times \ln\left(\frac{g(x_1), \dots, g(x_i)}{x_{i+1}}\right) \quad (43)$$

411 Une variable isolée d'un jeu de données de composition n'a de sens qu'une fois rapportée aux valeurs des autres composants. Aitchison *et al.* (2000), Filzmoser, Hron & Reimann (2009a).

412 Aitchison (1986).

413 Egozcue *et al.* (2003).

La transformation *ilr* autorise l'utilisation d'une géométrie euclidienne standard ainsi que l'analyse univariée⁴¹⁴, en considérant que pour $D = 2$,

$$ilr(x) = \sqrt{\frac{1}{2}} \times \ln\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad (44)$$

Cependant, la transformation *ilr* perd toute relation directe entre les D variables initiales et les $D-1$ variables transformées, rendant les résultats de l'analyse multivariée difficilement interprétables. Une solution à ce problème consiste à réaliser l'analyse sur les données transformées par *ilr* et de retransformer les résultats pour les projeter dans un espace log-centré⁴¹⁵. C'est l'approche adoptée dans la présente étude lorsqu'il a été fait appel à cette dernière transformation.

L'utilisation des rapports de logarithmes pour l'analyse de données compositionnelles (LRA pour *log-ratio analysis*) issues d'objets archéologiques a été largement débattue au cours des années 2000, pour finalement aboutir à une situation de *statu quo*⁴¹⁶. Il est ainsi avancé par certains auteurs que l'utilisation de données standardisées plutôt que de rapports de logarithmes permet d'obtenir dans certaines situations des résultats plus facilement interprétables. Ceci, en particulier lorsque l'on s'attache à des différences absolues, susceptibles d'être plus significatives en termes archéologiques que des variations relatives⁴¹⁷. Il nous semble cependant que cette affirmation soulève un double problème méthodologique.

D'une part, l'usage des rapports de logarithmes apparaît comme une condition *sine qua non* dès lors qu'ils permettent une transformation des données depuis un espace compositionnel vers un espace euclidien (*supra*). D'autre part, si ces implications théoriques ne sont pas discutées, la spécificité de la discipline est parfois avancée pour justifier l'étude de données non transformées, en arguant que la connaissance en amont des objets étudiés permettrait seule de surmonter la contrainte de la somme constante. Le problème est alors le suivant : la connaissance en amont du ma-

414 Filzmoser, Hron & Reimann (2009a).

415 Filzmoser, Hron & Reimann (2009b), Filzmoser *et al.* (2009). Sur les relations entre les différentes transformations, voir Egozcue *et al.* (2003).

416 Pour une revue de cette question, voir Aitchison, Barceló-Vidal & Pawlowsky-Glahn (2002), Baxter (2006) et les références citées par ces auteurs.

417 Baxter & Freestone (2006, p. 524).

tériel se limite souvent à des *a priori* sur les artefacts tels qu'ils furent produits et non tels qu'ils se présentent actuellement, après deux mille ans d'une existence souterraine. Il est donc indispensable de considérer l'impact d'un certain nombre de phénomènes (souvent mal connus) tels que les problèmes d'altération et de perturbation. Or, l'analyse de rapports de logarithmes est un outil qui a fait ses preuves pour identifier ces phénomènes sous-jacents, suffisamment robuste pour composer avec les perturbations liées aux matières céramiques anciennes⁴¹⁸.

L'altération d'une composition initiale x_0 de longueur D se traduit par la formation d'une composition perturbée x_1 . L'opération de perturbation est alors définie par la relation suivante, où u_i est le vecteur de perturbation et F l'opération de fermeture⁴¹⁹ :

$$x_1 = u_1 \oplus x_0 = F(x_{01}u_{11}, x_{02}u_{12}, \dots, x_{0D}u_{1D}) \quad (45)$$

J. BUXEDA I GARRIGÓS a ainsi montré l'efficacité des rapports de logarithmes pour accentuer et mettre en évidence la présence de perturbations au sein d'une composition, et pour identifier les éléments à utiliser comme dénominateur de la transformation *alr* afin de s'affranchir en partie de cette perturbation⁴²⁰.

B. Analyse de données

Statistique descriptive

Les boîtes à moustaches présentées sont construites selon la définition originale de J. TUKEY⁴²¹. La boîte, au sein de laquelle est indiquée la médiane, est bornée par les premier et troisième quartiles. L'étendue des moustaches correspond aux valeurs inférieures ou égales à 1,5 fois l'écart interquartile depuis les bornes de la boîte.

418 Aitchison (1999), Buxeda i Garrigós (1999).

419 Aitchison (1986). L'opération de perturbation est l'équivalent de l'addition de deux vecteurs dans un espace euclidien.

420 Buxeda i Garrigós (1999).

421 Tukey (1977, p. 506).

Compte tenu de la particularité des données de composition et, notamment, de la contrainte dite de somme constante, des indicateurs propres à la géométrie particulière du simplexe doivent être utilisés.

Une mesure de la dispersion au sein d'un jeu de données de compositions est donnée par la variance totale (ou variance métrique)⁴²² :

$$v_t(X) = \frac{1}{D-1} \sum_{i=1}^D d_A^2(x_i, \bar{x}) \quad (46)$$

où d_A est la distance d'Aitchison :

$$d_A(x, y) = \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \sum_{j>i}^D \left(\ln \frac{x_i}{x_j} - \ln \frac{y_i}{y_j} \right)^2} \quad (47)$$

De plus, la codépendance entre les composants ne peut être exprimée en termes de corrélations ou de covariances. En lieu et place, J. AITCHISON a proposé l'utilisation de la matrice de variation T , définie par la relation 48.

$$T = [\tau_{ij}] = \left[\text{var} \left(\ln \frac{x_i}{x_j} \right) \right] \quad \forall i, j \in [1; D] \quad (48)$$

Une faible valeur de ζ_{ij} dans la matrice de variation correspond donc à une faible variance du logarithme du rapport entre x_i et x_j , soit une bonne proportionnalité entre ces deux composants. En accord avec la méthodologie proposée par J. BUXEDA I GARRIGÓS⁴²³, les matrices de variation présentées ci-après sont complétées de trois indicateurs supplémentaires :

- La somme de chacune des colonnes de la matrice (notée ζ_s).

422 Pawlowsky-Glahn & Egozcue (2001).

423 Buxeda i Garrigós (1999).

- Le rapport entre la variance totale et la somme de chaque colonne de la matrice de variation (notée v_t/ζ_s). La variabilité imposée aux données transformées par l'utilisation du composant x_s comme dénominateur de la transformation *alr* (éq. 41) est alors donnée par la valeur $1-(v_t/\zeta_s)$.
- Le coefficient de corrélation (noté $r_{v,\zeta}$) entre chaque colonne de la matrice de variation et le vecteur des sommes de chaque colonne de la matrice (ζ_s). Ce dernier correspond à une mesure de la distorsion liée aux relations entre les différents composants et celui utilisé comme dénominateur de la transformation *alr* (éq. 41).

Analyse multivariée

Les analyses en composantes principales réalisées dans la présente étude sont systématiquement non normées : les variables sont centrées mais non réduites. Ainsi, la matrice diagonalisée permettant d'obtenir les axes de l'ACP est la matrice de variance-covariance et non de corrélation⁴²⁴.

424 Husson, Lê & Pagès (2009).

Annexe A5 – Granulométrie

Les mesures ont été réalisées par M. A. QUEFFELEC (UMR 5199).

Réf.	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)
15016	48	50	2
15598	10	50	40
15599	62	36	1
15600	68	32	0
15601	23	60	17
15602	19	46	35
15604	97	3	0
15605	25	66	9
15606	13	43	45
15607	28	63	9
15608	20	40	40
15609	16	26	57
15610	8	42	50
15611	7	46	47
15612	32	52	16
15615	20	70	10
15617	8	46	46
16068	24	54	21
16069	10	74	16
16070	36	44	21
16071	45	44	11

Tableau 13 : granulométrie des prélèvements de sols et de roches argileuses.

Réf.	Argiles (%)	Silts (%)	Sables (%)
14722	40	60	0
14723	39	61	0
14724	35	62	3
14725	39	60	1
14726	98	2	0
14727	48	52	0
14728	40	59	1
14729	45	55	0
14914	45	52	3
14917	48	50	2
14919	51	48	0
14923	42	55	3
14925	46	53	1
15030	47	52	1
15031	47	51	2

Tableau 14 : granulométrie des fragments de poteries non cuites provenant de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, Espagne).

Annexe A6 – Compositions élémentaires

Sont présentés ci-après les résultats des analyses par WDXRF (cf. annexe A3, p. 227) pour les différentes catégories de matériaux étudiés. Les mesures ont été réalisées par Mme V. MERLE (UMR 5138). L'ensemble des compositions sont exprimées en pourcentages massiques et fermées à 100 % (hors perte au feu – LOI). Les valeurs inférieures à la limite de détection sont indiquées par la mention *< l. d.*

Le lecteur trouvera dans les tableaux suivants l'intégralité des données acquises. Seules les variables ne présentant pas de valeurs manquantes ont été utilisées dans les traitements statistiques réalisés au cours de la présente étude. De plus, les teneurs en yttrium ont été écartées de nos calculs.

L'yttrium est en effet le plus important contributeur à la dispersion des données et affecte essentiellement le matériel attribué à l'ensemble 1. En réalisant une ACP sur l'ensemble des données de composition, bien que le plan principal n'explique que 52 % de la variance totale, un étalement des données selon le premier axe⁴²⁵, et fortement lié à la distribution de l'yttrium, est nettement visible (**fig. 63**). Seuls

425 Cet étalement est confirmé par le résultat du test de Shapiro & Wilk (1965), qui permet de rejeter, au risque $\alpha = 0,05$, l'hypothèse de normalité quant à la distribution des scores de l'ACP sur la première composante ($p_{crit} = 7,7 \cdot 10^{-7}$).

quelques individus présentent des valeurs très élevées en yttrium (supérieures à 100 ppm) relativement au reste du corpus et, contrairement aux autres variables offrant une contribution importante à la variance totale (lanthane, cérium, strontium et baryum), il ne nous a pas été possible d'identifier la raison de la présence de cet élément (*supra*, p. 145). L'yttrium demeure en effet un élément peu mobile (**fig. 47**, p. 150), et sa présence pourrait être liée à celle de minéraux accessoires. Cette hypothèse n'est cependant que peu satisfaisante au regard de la faible codépendance avec les teneurs en lanthane et cérium – ces deux éléments, au contraire de l'yttrium, ayant tous deux été identifiés par SEM-EDS, au sein de phosphates, dans certains des échantillons étudiés. Enfin, l'éventualité d'un problème analytique ne pouvant être écartée, nous avons fait le choix d'exclure cet élément de nos analyses par prudence.

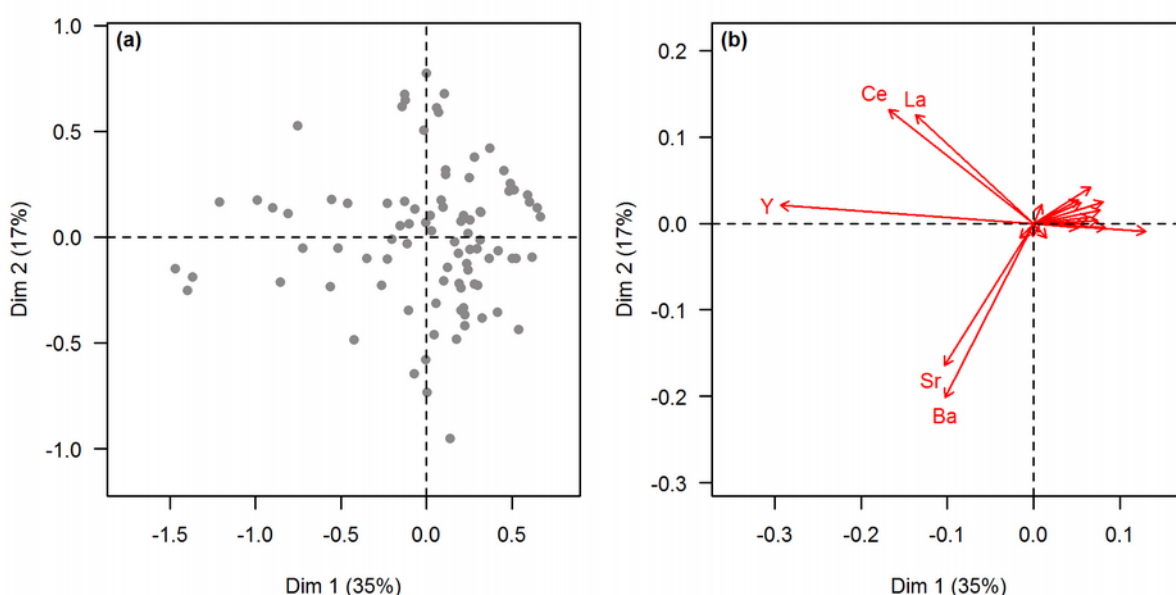


Figure 63 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des tessons de terre cuite.

(a) Projection du nuage des individus résultant de l'ACP. (b) Projection du nuage des variables. Les données ont préalablement été transformées (transformation clr ; cf. annexe A4, p. 235).

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂						P ₂ O ₅	Zr													
						Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	(ppm)																
15032	13,1	14,16	4,61	0,98	1,82	54,62	20,04	3,36	0,04	< l. d.	0,15	247	711	92	55	81	35	90	463	111	180	41	< l. d.	32	24	
15033	14,9	15,36	4,51	0,96	1,78	54,19	19,49	3,24	0,04	< l. d.	0,18	248	811	88	55	84	26	95	678	94	150	41	< l. d.	33	25	
15034	13,3	17,64	4,19	1,00	2,11	51,80	19,11	3,69	0,05	< l. d.	0,18	251	680	113	70	87	34	83	563	127	191	104	< l. d.	30	23	
15035	13,0	15,46	4,46	0,96	1,83	54,00	19,59	3,24	0,04	< l. d.	0,18	246	745	91	53	89	36	95	589	96	158	42	< l. d.	29	27	
15036	13,8	16,11	5,30	0,99	1,71	50,76	20,29	4,43	0,04	< l. d.	0,17	217	561	88	59	94	31	47	489	123	106	35	< l. d.	21	20	
15037	6,8	16,61	5,03	1,03	1,80	50,35	21,44	3,34	0,04	< l. d.	0,17	221	612	97	56	90	28	73	514	96	66	30	< l. d.	31	22	
15038	7,8	15,32	4,20	0,99	1,84	53,30	20,19	3,75	0,04	< l. d.	0,16	245	620	104	56	88	27	80	497	92	195	50	< l. d.	32	25	
15039	11,8	16,15	4,99	1,00	1,83	52,60	19,99	2,98	0,04	< l. d.	0,17	253	792	95	61	87	29	58	735	97	132	48	< l. d.	29	26	
15040	14,8	14,83	4,24	1,02	1,84	54,56	20,83	2,25	0,03	< l. d.	0,17	254	818	91	59	84	27	93	611	91	209	40	< l. d.	39	24	
15041	11,3	16,16	5,39	1,00	1,76	50,70	20,44	4,18	0,04	< l. d.	0,15	219	582	94	54	83	31	24	423	120	94	29	< l. d.	29	17	
15042	14,4	14,28	4,37	1,08	2,14	54,53	20,65	2,41	0,04	< l. d.	0,19	262	906	109	77	91	43	76	892	135	209	135	< l. d.	29	23	
15043	14,8	14,70	4,41	1,08	2,10	54,09	20,63	2,44	0,04	< l. d.	0,21	256	849	108	84	90	44	80	851	127	209	131	< l. d.	26	23	
15044	10,9	17,57	5,79	0,94	1,89	52,43	18,17	2,85	0,04	< l. d.	0,13	241	514	98	54	79	29	39	479	123	73	31	< l. d.	31	20	
15045	10,8	19,22	4,56	0,89	1,55	52,56	16,83	3,93	0,06	< l. d.	0,17	250	737	78	79	77	36	60	577	112	142	98	< l. d.	28	26	
15046	10,1	16,57	4,83	0,96	1,91	51,68	19,97	3,63	0,04	< l. d.	0,18	243	683	102	59	90	26	80	620	104	162	40	< l. d.	37	33	
15047	7,5	16,68	4,94	1,03	1,76	50,36	21,64	3,17	0,04	< l. d.	0,17	221	617	98	53	83	26	59	576	101	105	31	< l. d.	34	26	
15048	5,6	14,39	4,67	1,05	1,89	52,24	22,32	3,02	0,04	< l. d.	0,18	222	513	107	55	87	27	55	482	109	96	34	< l. d.	36	21	
15049	3,2	14,17	4,79	1,07	1,78	52,38	22,60	2,85	0,04	< l. d.	0,16	228	382	104	52	87	27	57	326	95	109	31	16	37	25	
15050	9,5	14,64	4,62	1,02	1,85	52,52	21,61	3,33	0,04	< l. d.	0,17	222	691	99	58	88	28	51	612	98	102	30	< l. d.	35	18	
15051	9,6	15,97	4,60	1,07	1,73	51,93	20,91	3,42	0,04	< l. d.	0,14	232	646	97	51	86	18	48	579	108	88	29	< l. d.	32	18	
15052	10,2	14,88	4,04	1,04	1,90	54,38	20,68	2,66	0,04	< l. d.	0,16	250	658	98	55	79	24	80	543	107	199	62	< l. d.	32	23	
15053	8,9	14,62	4,26	1,09	2,20	53,61	20,78	2,92	0,05	< l. d.	0,21	258	661	128	72	97	29	66	618	155	243	145	< l. d.	30	22	
15054	17,8	14,41	4,93	0,96	1,86	50,64	21,41	5,38	0,04	< l. d.	0,16	206	589	99	67	82	30	57	543	111	118	32	< l. d.	36	28	
15055	7,7	15,62	4,82	1,05	1,84	51,74	21,42	3,13	0,04	< l. d.	0,17	235	554	101	53	83	22	43	517	100	92	31	< l. d.	30	21	
15056	15,0	15,52	4,97	1,06	1,75	52,86	21,32	2,10	0,03	< l. d.	0,16	228	833	84	63	79	38	51	648	96	96	29	< l. d.	33	22	
15057	7,3	16,01	4,94	1,07	1,76	51,25	21,46	3,09	0,04	< l. d.	0,18	229	598	93	56	82	32	48	581	107	95	27	< l. d.	29	21	
15058	14,6	16,06	5,31	1,01	1,69	52,44	20,24	2,80	0,04	< l. d.	0,16	226	890	86	60	76	27	69	769	96	85	25	< l. d.	24	19	
15059	14,9	13,10	4,49	1,14	2,10	54,83	21,64	2,20	0,03	< l. d.	0,19	269	851	107	77	92	41	84	806	131	209	146	< l. d.	32	29	
15060	7,1	16,65	5,42	0,93	2,09	49,70	20,68	4,11	0,05	< l. d.	0,18	202	547	113	72	86	44	55	504	103	111	31	< l. d.	35	32	
15061	10,4	15,17	4,47	1,02	2,03	52,49	19,45	4,90	0,05	< l. d.	0,19	251	643	114	82	88	42	76	558	128	180	108	< l. d.	29	26	

Tableau 15 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 1 (supra, p. 103).

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂						(ppm)													
						Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu	
15445	5,6	16,59	6,33	0,96	2,00	50,63	20,01	3,09	0,05	< l. d.	0,17	208	397	110	58	167	39	50	397	126	116	31	< l. d.	35	26
15446	14,0	19,94	4,68	0,92	1,92	49,62	19,64	2,93	0,04	< l. d.	0,15	201	543	100	57	84	35	59	384	103	115	27	< l. d.	21	28
15447	11,3	13,46	5,44	1,11	1,90	54,48	20,52	2,78	0,03	< l. d.	0,11	248	501	89	48	89	33	43	404	115	108	28	15	38	16
15448	13,5	15,73	5,22	1,00	1,93	52,20	21,08	2,49	0,04	< l. d.	0,14	214	581	100	58	83	24	47	479	102	78	27	< l. d.	30	26
15449	12,0	17,51	5,20	0,97	1,86	50,88	20,60	2,64	0,04	< l. d.	0,13	213	473	102	55	84	30	44	377	111	89	28	16	37	28
15450	6,8	16,88	4,65	0,98	1,80	51,57	20,81	2,97	0,04	< l. d.	0,14	227	392	100	50	80	41	72	307	111	161	31	< l. d.	39	34
15451	9,4	20,46	4,54	0,91	1,93	49,29	19,48	3,03	0,04	< l. d.	0,15	200	526	100	60	71	31	44	406	103	118	27	< l. d.	27	29
15452	8,1	16,60	4,57	0,99	1,84	51,91	21,01	2,73	0,04	< l. d.	0,14	224	423	102	53	80	32	64	382	117	138	29	15	37	34
15453	7,2	17,29	5,13	0,98	1,94	50,98	20,20	3,09	0,04	< l. d.	0,17	229	474	107	61	81	22	73	424	105	125	30	< l. d.	29	19
15454	5,4	15,13	4,80	1,02	1,87	52,50	21,52	2,78	0,04	< l. d.	0,17	236	395	106	57	86	29	80	358	114	158	32	17	46	27
15455	7,1	17,64	4,92	0,97	1,96	50,66	20,44	3,07	0,04	< l. d.	0,16	214	402	107	52	80	43	24	337	106	94	30	< l. d.	29	28
15456	9,8	15,39	4,29	1,02	2,04	53,03	19,84	3,96	0,04	< l. d.	0,18	249	487	111	70	78	38	100	421	128	176	83	< l. d.	27	27
15457	5,8	16,00	4,98	1,02	1,87	50,93	21,66	3,19	0,04	< l. d.	0,15	219	392	100	51	84	37	24	361	109	102	32	16	35	23
15458	14,0	11,65	5,27	1,00	1,94	53,76	20,19	5,75	0,04	< l. d.	0,17	248	753	92	60	73	33	85	560	115	160	33	< l. d.	32	33
15459	6,8	15,62	4,81	1,03	1,87	51,70	21,60	3,00	0,04	< l. d.	0,15	219	440	105	52	82	26	51	434	114	110	30	< l. d.	34	27
15460	5,1	17,18	5,40	1,01	1,79	50,70	20,45	3,09	0,04	< l. d.	0,17	235	431	104	52	80	31	60	450	83	135	31	< l. d.	28	22
15461	9,9	16,27	5,12	0,97	1,78	51,66	19,86	3,90	0,04	< l. d.	0,18	237	561	97	60	80	29	79	588	116	142	32	< l. d.	35	25
15462	8,0	16,08	4,92	1,00	1,59	51,49	20,72	3,78	0,04	< l. d.	0,18	235	537	88	54	78	26	81	490	101	141	31	< l. d.	30	30
15463	5,9	16,47	5,03	1,00	1,90	51,46	20,65	3,08	0,04	< l. d.	0,18	237	487	102	53	75	26	86	588	90	140	32	< l. d.	37	26
15464	5,1	16,83	5,16	0,98	1,89	51,36	20,08	3,27	0,05	< l. d.	0,19	240	473	105	59	81	26	83	533	90	167	32	< l. d.	31	34
15465	7,4	17,09	6,26	0,94	1,94	50,19	19,64	3,52	0,05	< l. d.	0,18	209	448	107	62	84	26	47	480	114	105	30	< l. d.	32	24
15466	7,2	15,44	5,14	0,98	1,75	52,40	19,96	3,86	0,04	< l. d.	0,21	241	594	94	56	75	32	96	564	94	140	32	< l. d.	39	32
15467	10,8	14,09	5,24	1,00	1,74	52,48	20,31	4,68	0,04	< l. d.	0,17	244	646	91	60	79	28	67	733	111	138	31	< l. d.	29	28
15468	12,3	17,06	4,68	0,97	1,77	52,29	20,27	2,55	0,04	< l. d.	0,16	241	561	94	59	88	30	44	827	116	97	34	< l. d.	26	15
15469	5,2	13,26	4,24	1,14	1,66	54,58	22,37	2,44	0,04	< l. d.	0,12	243	408	96	43	86	28	41	481	109	74	31	< l. d.	40	14
15470	3,2	15,56	5,39	1,01	2,00	51,64	20,67	3,32	0,04	< l. d.	0,18	239	448	111	59	75	30	73	517	94	130	32	< l. d.	39	22
15471	6,8	17,39	5,15	0,99	1,91	50,88	20,20	3,07	0,04	< l. d.	0,18	231	451	107	60	83	38	84	548	97	126	34	< l. d.	38	22
15472	8,0	16,55	5,21	0,99	1,71	51,42	20,35	3,39	0,04	< l. d.	0,16	230	494	95	54	75	30	59	476	86	145	30	< l. d.	37	27
15473	16,7	16,31	5,16	1,00	1,67	52,07	19,53	3,83	0,04	< l. d.	0,15	231	769	87	53	62	27	38	892	92	90	26	< l. d.	22	20
15474	8,9	14,66	5,13	1,02	1,57	52,01	20,99	4,18	0,04	< l. d.	0,17	242	622	90	56	81	28	84	729	105	141	33	< l. d.	38	25

Tableau 16 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 2 (supra, p. 103).

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	(%)						(ppm)													
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
15640	7,1	17,04	5,64	1,00	1,84	50,33	20,27	3,41	0,04	0,07	0,20	213	471	99	50	92	26	37	372	103	97	27	< l. d.	28	17
15641	15,2	17,07	4,48	1,03	2,03	52,92	19,67	2,41	0,04	< l. d.	0,14	205	690	104	55	83	34	85	465	106	165	29	< l. d.	38	15
15642	7,4	18,59	4,57	0,99	2,08	50,41	19,48	3,50	0,04	< l. d.	0,16	207	485	106	59	85	41	68	367	112	130	32	< l. d.	24	20
15643	11,0	19,55	4,60	0,91	2,00	49,57	19,84	3,21	0,04	< l. d.	0,13	193	365	103	54	77	30	47	291	107	100	29	< l. d.	< l. d.	32
15644	24,2	18,36	4,71	1,02	1,92	50,84	19,36	3,43	0,04	< l. d.	0,16	222	400	105	53	81	30	89	296	122	181	31	< l. d.	30	16
15645	5,5	15,21	5,52	1,05	1,99	51,16	21,71	2,91	0,04	0,12	0,15	218	356	107	51	95	27	46	310	103	83	28	< l. d.	< l. d.	18
15646	7,5	18,04	4,98	1,03	1,88	51,02	19,43	3,27	0,04	< l. d.	0,15	219	379	106	57	83	27	69	298	119	170	31	< l. d.	< l. d.	12
15647	6,4	16,17	4,85	1,02	1,92	52,70	20,13	2,86	0,04	< l. d.	0,15	234	376	106	55	82	40	80	327	116	164	40	< l. d.	31	17
15648	7,2	22,70	4,55	0,91	1,89	47,98	18,12	3,47	0,04	< l. d.	0,16	206	371	102	58	73	31	75	342	98	171	38	< l. d.	21	14
15649	6,5	16,11	4,96	1,04	2,06	51,54	21,07	2,88	0,04	< l. d.	0,14	218	371	119	43	89	34	64	327	112	109	28	< l. d.	23	24
15650	7,1	18,09	4,92	1,04	1,94	50,88	19,57	3,18	0,04	< l. d.	0,16	224	405	112	57	87	24	97	398	116	188	34	15	31	18
15651	8,3	18,10	4,90	1,03	1,96	50,97	19,40	3,27	0,04	< l. d.	0,16	217	401	110	56	88	31	77	323	120	162	33	< l. d.	28	23
15652	6,7	16,10	5,86	1,01	1,79	50,47	21,20	3,25	0,04	< l. d.	0,13	209	378	101	50	87	17	48	311	113	104	27	< l. d.	25	15
15653	5,9	14,37	5,82	1,04	1,81	52,04	21,56	3,05	0,04	< l. d.	0,12	213	350	104	48	88	27	57	348	125	66	25	< l. d.	25	16
15654	5,8	15,16	5,41	1,03	1,94	51,35	21,84	2,95	0,04	< l. d.	0,13	206	364	105	47	89	24	44	321	116	95	28	< l. d.	20	14
15655	4,8	11,48	6,09	1,13	1,88	52,97	23,48	2,68	0,03	< l. d.	0,12	221	352	98	44	106	22	44	308	130	82	28	16	36	20
15656	4,9	13,16	6,02	1,08	1,93	52,19	22,46	2,84	0,04	< l. d.	0,13	210	358	108	47	99	19	39	329	140	81	27	< l. d.	32	13
15657	6,8	16,17	5,34	0,91	2,15	50,58	20,66	3,76	0,05	< l. d.	0,19	186	573	112	72	84	32	46	546	116	125	31	< l. d.	32	37
15658	7,1	16,49	5,35	0,91	2,09	50,56	20,54	3,62	0,05	< l. d.	0,20	183	620	112	72	86	34	54	448	112	108	30	< l. d.	33	35
15659	9,3	15,85	5,30	0,96	1,94	50,38	21,42	3,75	0,05	< l. d.	0,17	188	613	101	64	77	39	69	430	109	138	33	< l. d.	29	33
15660	5,5	17,79	5,29	0,91	2,05	49,39	20,44	3,72	0,05	< l. d.	0,18	187	468	115	70	89	35	57	438	114	117	32	< l. d.	32	33
15661	6,8	16,46	5,42	1,01	1,88	50,32	21,31	3,20	0,04	< l. d.	0,19	202	475	103	62	92	41	54	407	121	124	27	< l. d.	33	23
15662	9,2	16,78	5,36	0,97	2,03	50,89	20,77	2,78	0,05	< l. d.	0,17	195	543	105	62	86	28	58	650	100	97	27	< l. d.	38	25
15663	5,8	12,90	5,41	1,07	1,73	54,72	21,24	2,56	0,04	< l. d.	0,16	236	460	93	50	89	27	58	432	103	102	30	16	41	24
15664	3,5	16,21	5,28	0,92	2,15	50,29	20,88	3,84	0,05	< l. d.	0,21	186	442	119	74	86	38	56	425	112	117	30	< l. d.	26	26
15665	7,4	16,02	4,82	0,97	1,96	50,74	21,32	3,79	0,04	< l. d.	0,16	192	467	105	63	87	36	50	424	123	98	31	< l. d.	34	25
15666	6,1	13,95	4,64	1,09	1,74	52,80	22,76	2,66	0,03	< l. d.	0,16	216	494	99	47	87	31	57	356	106	107	28	< l. d.	44	23
15667	7,0	15,18	5,25	1,06	1,87	51,97	21,47	2,79	0,04	< l. d.	0,19	215	488	102	56	88	31	42	499	108	101	30	< l. d.	33	19
15668	4,9	16,26	5,34	0,99	1,86	50,44	21,31	3,43	0,05	< l. d.	0,17	202	380	102	60	90	33	72	370	115	123	28	< l. d.	35	25
15669	8,2	14,79	5,28	1,06	1,79	51,98	21,27	3,43	0,04	< l. d.	0,17	208	598	93	53	88	29	67	435	118	103	28	< l. d.	30	24

Tableau 17 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 3 (supra, p. 103).

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂						Zr													
						Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu		
(%)												(ppm)													
14914	19,5	17,23	4,75	1,00	1,72	51,35	20,74	2,86	0,04	< l. d.	0,17	244	252	106	52	88	36	56	299	127	105	34	< l. d.	29	14
14915	18,9	17,21	5,03	0,99	1,63	51,50	19,78	3,51	0,04	< l. d.	0,17	240	239	94	41	91	47	52	293	123	116	33	< l. d.	24	11
14916	20,6	21,01	4,31	0,92	1,67	48,78	19,96	2,98	0,03	< l. d.	0,19	217	274	96	45	88	53	24	294	124	149	31	< l. d.	NA	13
14917	18,8	17,17	4,64	1,01	1,71	51,34	20,89	2,88	0,04	< l. d.	0,19	242	254	104	58	85	28	57	286	114	99	37	< l. d.	37	13
14918	18,9	17,39	4,58	1,00	1,70	51,29	20,77	2,87	0,04	< l. d.	0,22	241	258	104	58	86	30	75	300	120	115	37	< l. d.	34	12
14919	20,1	19,58	4,42	0,95	1,73	49,76	20,27	2,96	0,04	< l. d.	0,15	231	272	108	52	83	19	60	284	116	106	32	15	33	12
14920	18,5	16,51	4,80	1,02	1,74	51,63	21,08	2,87	0,04	< l. d.	0,17	244	242	106	53	89	22	65	312	121	114	34	< l. d.	32	16
14921	18,3	16,49	4,66	1,02	1,72	51,87	20,96	2,88	0,04	< l. d.	0,23	246	247	106	56	92	22	45	313	122	109	38	15	32	16
14922	20,7	21,43	4,32	0,93	1,70	48,56	19,80	2,95	0,03	< l. d.	0,14	225	273	105	55	81	20	39	301	113	99	29	15	31	14
14923	18,6	16,58	4,83	1,02	1,73	51,63	20,94	2,89	0,03	< l. d.	0,20	248	249	106	57	89	30	49	287	123	106	35	16	36	14
14924	18,6	16,77	4,64	1,01	1,73	51,64	20,84	2,92	0,03	< l. d.	0,27	244	257	111	58	85	27	55	295	120	84	35	< l. d.	52	19
14925	18,5	16,72	4,83	1,02	1,71	51,50	20,91	2,88	0,04	< l. d.	0,25	246	284	105	57	90	16	34	332	128	87	35	15	27	17
14926	19,9	19,71	4,90	0,94	1,76	49,60	19,43	3,30	0,04	< l. d.	0,16	223	299	103	52	83	22	75	260	137	158	31	16	37	17
15030	20,0	19,38	4,02	0,95	1,70	50,75	19,99	2,89	0,04	< l. d.	0,13	247	239	108	52	85	23	60	273	112	101	36	15	35	15
15031	20,6	20,66	4,01	0,92	1,72	50,00	19,41	2,96	0,04	< l. d.	0,14	240	246	106	54	82	27	34	277	114	133	33	< l. d.	30	15

Tableau 18 : compositions élémentaires des fragments de poteries non cuites provenant de l'atelier du Mas de Moreno.

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂ Al ₂ O ₃ MgO MnO Na ₂ O P ₂ O ₅						(ppm)													
						%						Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
15670	16,00	22,65	5,73	0,59	4,03	46,92	16,00	3,25	0,04	0,51	0,14	148	608	127	80	60	44	< l. d.	337	103	68	23	< l. d.	< l. d.	26
15671	5,70	13,96	6,18	0,72	3,49	53,46	18,95	2,89	0,03	< l. d.	0,14	208	518	167	93	81	49	51	408	121	110	25	< l. d.	23	16
15672	6,60	13,06	6,79	0,69	3,86	53,28	19,09	2,86	0,03	< l. d.	0,14	190	689	189	97	80	40	35	387	118	97	26	< l. d.	< l. d.	15
15673	4,90	11,47	4,89	1,01	2,65	56,33	19,64	3,14	0,04	0,52	0,18	260	238	104	51	91	38	54	269	117	84	31	< l. d.	27	22
15674	3,40	13,26	5,16	1,08	1,95	53,56	22,03	2,64	0,03	< l. d.	0,13	231	314	96	42	89	31	70	357	100	98	31	16	36	20
15675	7,30	8,81	6,04	0,64	5,43	57,07	16,04	5,64	0,07	< l. d.	0,12	162	267	160	75	67	35	45	381	99	83	28	< l. d.	< l. d.	18
15676	7,70	14,79	5,01	0,94	2,17	53,09	19,97	3,69	0,04	< l. d.	0,15	218	338	95	51	73	31	40	379	108	118	29	< l. d.	26	22
15677	6,80	10,60	4,53	1,20	2,34	56,39	22,2	2,40	0,04	< l. d.	0,14	249	385	92	50	102	23	65	436	119	93	30	< l. d.	41	11
15678	6,30	11,25	6,09	1,09	1,85	52,98	22,59	3,79	0,04	< l. d.	0,16	224	345	95	48	104	26	34	410	133	69	30	< l. d.	36	15
15679	7,40	16,12	4,95	0,93	2,03	52,71	19,84	3,09	0,04	< l. d.	0,13	216	354	100	52	80	34	57	354	105	117	32	< l. d.	35	18
15680	6,30	15,89	5,49	0,97	1,88	51,61	20,89	2,90	0,04	< l. d.	0,16	215	384	98	48	84	36	61	356	109	129	30	15	34	21

Tableau 19 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant du site de Torre Cremada (Valdeltormo, Teruel, Espagne).

Réf. CRP2A	LOI (%)	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂ Al ₂ O ₃ MgO MnO Na ₂ O P ₂ O ₅						(ppm)													
						%						Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
16441	12,80	21,93	5,53	0,63	3,98	46,82	13,80	6,25	0,07	0,53	0,24	150	885	110	76	69	39	30	554	92	88	24	< l. d.	< l. d.	37
16442	3,10	9,54	6,73	0,77	5,08	55,13	20,14	2,08	0,04	< l. d.	0,32	159	347	220	76	96	45	32	484	118	106	33	< l. d.	24	36
16443	16,50	28,77	5,33	0,58	3,05	42,68	13,84	4,46	0,06	0,8	0,29	154	414	93	81	64	38	31	348	83	72	24	< l. d.	< l. d.	48
16444	3,20	7,67	6,29	0,85	4,28	60,65	18,54	1,43	0,03	< l. d.	0,09	246	265	192	70	83	33	40	450	102	99	34	16	28	29
16445	7,90	14,56	6,06	0,83	2,79	51,19	19,70	3,94	0,04	0,55	0,18	195	357	125	93	99	50	50	352	113	114	37	< l. d.	< l. d.	24
16446	14,00	22,38	5,49	0,62	3,73	46,46	13,69	6,42	0,07	0,73	0,22	152	881	98	78	69	39	31	561	94	68	23	< l. d.	< l. d.	32
16447	33,20	14,41	5,40	0,68	3,03	54,65	16,82	4,15	0,03	0,55	0,13	227	483	135	86	77	40	41	375	103	79	26	< l. d.	< l. d.	26
16448	10,10	17,98	2,55	0,93	2,14	56,07	18,04	1,92	0,03	< l. d.	0,17	251	602	85	42	80	21	60	272	75	148	34	< l. d.	< l. d.	25
16449	5,80	15,01	6,56	0,79	3,11	52,29	19,75	2,10	0,05	< l. d.	0,17	174	408	153	76	96	46	50	463	119	106	38	< l. d.	< l. d.	23
16450	6,00	10,31	4,65	1,13	2,06	55,45	24,45	1,08	0,02	0,6	0,11	245	311	65	38	112	35	31	326	118	77	25	16	44	17
16451	11,30	12,34	6,05	0,85	3,36	53,38	19,90	3,17	0,04	0,63	0,13	201	318	119	112	100	50	48	298	102	112	36	15	23	35
16452	10,80	15,23	5,83	0,81	2,81	52,64	18,56	2,97	0,04	0,83	0,13	208	323	113	79	92	44	52	298	103	101	37	< l. d.	< l. d.	20
16453	8,50	17,12	5,96	0,82	2,43	51,26	19,31	2,75	0,05	< l. d.	0,15	202	310	120	73	98	46	42	434	114	106	37	< l. d.	25	29
16454	7,40	10,94	5,45	0,83	2,94	59,77	17,85	1,38	0,04	0,54	0,12	233	360	148	60	73	32	32	312	92	95	34	< l. d.	21	18

Tableau 20 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant du site de El Palao (Alcañiz, Teruel, Espagne).

Réf. CRP2A	LOI (%)	(%)										(ppm)													
		CaO	Fe ₂ O _{3t}	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Y	Th	Pb	Cu
15016	22,50	21,43	5,01	0,68	2,78	45,25	21,82	2,53	0,04	< l. d.	0,23	139	744	172	108	77	39	55	489	117	130	31	< l. d.	34	29
15598	9,90	0,33	4,58	1,20	3,11	69,33	20,24	1,01	0,01	< l. d.	0,05	297	162	191	52	99	28	35	258	128	87	28	24	48	NA
15599	10,60	0,32	6,64	1,04	2,90	65,52	22,32	1,03	0,01	< l. d.	0,07	268	226	197	57	111	36	36	270	122	81	27	20	41	< l. d.
15600	12,00	0,33	3,86	1,06	3,28	63,66	26,55	1,05	0,01	< l. d.	0,05	251	182	233	65	105	29	54	284	136	72	35	22	59	25
15601	23,10	33,86	2,65	0,47	1,35	52,60	7,47	1,44	0,02	< l. d.	0,03	225	221	81	29	29	12	< l. d.	205	49	85	25	< l. d.	< l. d.	26
15602	21,30	35,36	2,93	0,52	1,44	49,45	8,24	1,87	0,04	< l. d.	0,04	236	235	84	38	32	20	< l. d.	224	62	101	28	< l. d.	< l. d.	13
15604	17,50	0,67	3,12	1,36	3,18	55,70	34,13	1,56	0,01	< l. d.	0,07	211	608	180	78	187	50	43	234	286	72	33	< l. d.	72	15
15605	28,40	67,29	2,18	0,26	1,24	18,78	6,84	2,96	0,06	< l. d.	0,10	70	2568	60	37	38	30	< l. d.	103	36	74	< l. d.	< l. d.	< l. d.	22
15606	18,70	36,09	1,91	0,37	1,14	54,48	4,63	1,02	0,03	< l. d.	0,04	229	2339	49	30	35	14	< l. d.	184	31	96	< l. d.	< l. d.	< l. d.	14
15607	27,80	41,47	3,15	0,44	1,62	38,04	8,66	6,35	0,06	< l. d.	0,07	176	440	83	49	41	25	< l. d.	281	54	80	24	< l. d.	< l. d.	22
15608	20,73	28,70	2,23	0,47	1,44	60,11	5,85	1,00	0,04	< l. d.	0,05	284	455	71	30	27	7	< l. d.	223	39	70	20	< l. d.	< l. d.	< l. d.
15609	20,59	26,96	2,04	0,37	1,29	62,63	5,14	1,36	0,03	< l. d.	0,05	187	483	65	26	23	16	< l. d.	339	33	38	16	< l. d.	< l. d.	12
15610	21,95	56,07	1,48	0,36	1,01	35,51	4,40	0,62	0,03	< l. d.	0,07	184	4067	37	29	68	NA	< l. d.	104	20	108	< l. d.	< l. d.	< l. d.	< l. d.
15611	19,92	19,94	5,78	0,85	2,96	47,15	17,19	5,53	0,03	< l. d.	0,36	220	646	160	92	79	32	63	480	107	128	43	< l. d.	23	21
15612	27,23	39,22	2,72	0,43	1,28	46,18	6,33	3,65	0,03	< l. d.	0,05	201	316	70	38	28	20	< l. d.	231	45	66	23	< l. d.	< l. d.	11
15615	5,17	0,21	1,14	1,14	3,32	71,05	22,47	0,48	0,01	< l. d.	0,02	306	87	199	18	120	13	51	569	130	88	42	24	33	35
15617	3,18	0,08	0,89	1,25	2,24	85,52	9,52	0,27	0,01	< l. d.	0,04	862	43	117	15	27	13	73	301	45	126	53	40	38	< l. d.
16068	30,70	55,61	0,98	0,38	0,92	36,91	4,14	0,89	0,05	< l. d.	0,02	269	401	52	15	22	8	< l. d.	95	12	95	25	< l. d.	< l. d.	< l. d.
16069	31,50	57,58	1,15	0,31	0,73	35,90	3,48	0,69	0,05	< l. d.	0,02	194	354	45	19	18	8	< l. d.	38	16	74	18	< l. d.	< l. d.	< l. d.
16070	34,10	61,37	2,21	0,33	1,02	27,56	6,25	1,04	0,05	< l. d.	0,03	138	804	60	22	25	8	< l. d.	60	32	88	20	< l. d.	< l. d.	11
16071	21,10	27,12	4,71	0,56	2,35	50,83	12,71	1,47	0,05	< l. d.	0,08	161	318	128	52	51	25	< l. d.	340	72	72	23	< l. d.	< l. d.	14

Tableau 21 : compositions élémentaires des échantillons d'argiles et de sols.

Annexe A7 – Matrices de variation

	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Cu
CaO		0,023	0,023	0,016	0,017	0,022	0,043	0,014	0,029	0,027	0,089	0,017	0,026	0,029	0,044	0,111	0,104	0,030	0,094	0,073
Fe ₂ O ₃ t	0,023		0,013	0,015	0,012	0,010	0,038	0,016	0,032	0,024	0,094	0,016	0,034	0,014	0,056	0,131	0,102	0,021	0,126	0,076
TiO ₂	0,023	0,013		0,009	0,002	0,002	0,046	0,021	0,024	0,006	0,069	0,010	0,027	0,011	0,046	0,101	0,081	0,013	0,090	0,077
K ₂ O	0,016	0,015	0,009		0,006	0,008	0,041	0,012	0,019	0,016	0,075	0,002	0,015	0,012	0,034	0,099	0,090	0,011	0,080	0,063
SiO ₂	0,017	0,012	0,002	0,006		0,003	0,039	0,015	0,020	0,005	0,060	0,009	0,020	0,011	0,039	0,094	0,074	0,013	0,082	0,064
Al ₂ O ₃	0,022	0,010	0,002	0,008	0,003		0,042	0,019	0,023	0,012	0,074	0,009	0,027	0,011	0,046	0,109	0,086	0,015	0,100	0,066
MgO	0,043	0,038	0,046	0,041	0,039	0,042		0,022	0,039	0,047	0,095	0,043	0,040	0,053	0,068	0,122	0,110	0,046	0,110	0,071
MnO	0,014	0,016	0,021	0,012	0,015	0,019	0,022		0,017	0,024	0,079	0,013	0,014	0,022	0,039	0,107	0,086	0,022	0,090	0,060
P ₂ O ₅	0,029	0,032	0,024	0,019	0,020	0,023	0,039	0,017		0,023	0,054	0,021	0,013	0,029	0,039	0,084	0,060	0,034	0,068	0,053
Zr	0,027	0,024	0,006	0,016	0,005	0,012	0,047	0,024	0,023		0,054	0,019	0,026	0,021	0,048	0,084	0,062	0,021	0,070	0,073
Sr	0,089	0,094	0,069	0,075	0,060	0,074	0,095	0,079	0,054	0,054		0,091	0,050	0,088	0,088	0,119	0,022	0,086	0,107	0,095
Rb	0,017	0,016	0,010	0,002	0,009	0,009	0,043	0,013	0,021	0,019	0,091		0,020	0,013	0,040	0,103	0,101	0,012	0,084	0,067
Zn	0,026	0,034	0,027	0,015	0,020	0,027	0,040	0,014	0,013	0,026	0,050	0,020		0,031	0,030	0,092	0,061	0,024	0,068	0,054
Cr	0,029	0,014	0,011	0,012	0,011	0,011	0,053	0,022	0,029	0,021	0,088	0,013	0,031		0,048	0,117	0,101	0,013	0,103	0,080
Ni	0,044	0,056	0,046	0,034	0,039	0,046	0,068	0,039	0,039	0,048	0,088	0,040	0,030	0,048		0,122	0,109	0,043	0,089	0,066
La	0,111	0,131	0,101	0,099	0,094	0,109	0,122	0,107	0,084	0,084	0,119	0,103	0,092	0,117	0,122		0,136	0,118	0,053	0,125
Ba	0,104	0,102	0,081	0,090	0,074	0,086	0,110	0,086	0,060	0,062	0,022	0,101	0,061	0,101	0,109	0,136		0,103	0,131	0,112
V	0,030	0,021	0,013	0,011	0,013	0,015	0,046	0,022	0,034	0,021	0,086	0,012	0,024	0,013	0,043	0,118	0,103		0,091	0,085
Ce	0,094	0,126	0,090	0,080	0,082	0,100	0,110	0,090	0,068	0,070	0,107	0,084	0,068	0,103	0,089	0,053	0,131	0,091		0,113
Cu	0,073	0,076	0,077	0,063	0,064	0,066	0,071	0,060	0,053	0,073	0,095	0,067	0,054	0,080	0,066	0,125	0,112	0,085	0,113	
ζ _j	0,831	0,851	0,669	0,623	0,585	0,683	1,114	0,692	0,683	0,662	1,490	0,690	0,670	0,806	1,092	2,028	1,730	0,802	1,751	1,475
v _j /ζ _j	0,599	0,585	0,745	0,800	0,851	0,729	0,447	0,719	0,729	0,753	0,334	0,722	0,744	0,618	0,456	0,246	0,288	0,621	0,285	0,338
r _{v,ζ}	0,960	0,957	0,971	0,983	0,983	0,975	0,848	0,964	0,955	0,950	0,090	0,970	0,944	0,966	0,833	-0,344	0,081	0,966	-0,152	0,493
v _t	0,498																			

Tableau 22 : matrice de variation des compositions élémentaires obtenues par WDS-XRF pour l'ensemble des céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno.

	CaO	Fe ₂ O ₃ t	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Zr	Sr	Rb	Zn	Cr	Ni	La	Ba	V	Ce	Cu
CaO		0,029	0,025	0,021	0,019	0,023	0,044	0,020	0,036	0,026	0,165	0,017	0,031	0,028	0,061	0,125	0,137	0,028	0,091	0,112
Fe ₂ O ₃ t	0,029		0,012	0,013	0,011	0,010	0,033	0,015	0,036	0,024	0,130	0,017	0,031	0,014	0,062	0,125	0,107	0,023	0,113	0,087
TiO ₂	0,025	0,012		0,008	0,002	0,002	0,040	0,020	0,028	0,007	0,118	0,009	0,024	0,010	0,055	0,102	0,094	0,013	0,083	0,094
K ₂ O	0,021	0,013	0,008		0,006	0,008	0,036	0,011	0,028	0,017	0,111	0,004	0,014	0,012	0,044	0,099	0,095	0,015	0,072	0,074
SiO ₂	0,019	0,011	0,002	0,006		0,003	0,034	0,014	0,025	0,005	0,111	0,008	0,019	0,010	0,050	0,097	0,089	0,013	0,076	0,083
Al ₂ O ₃	0,023	0,010	0,002	0,008	0,003		0,038	0,018	0,027	0,011	0,125	0,008	0,024	0,009	0,056	0,110	0,100	0,015	0,092	0,086
MgO	0,044	0,033	0,040	0,036	0,034	0,038		0,020	0,045	0,043	0,132	0,039	0,037	0,047	0,071	0,120	0,115	0,044	0,097	0,084
MnO	0,020	0,015	0,020	0,011	0,014	0,018	0,020		0,027	0,024	0,116	0,014	0,014	0,021	0,050	0,106	0,093	0,025	0,081	0,073
P ₂ O ₅	0,036	0,036	0,028	0,028	0,025	0,027	0,045	0,027		0,026	0,135	0,026	0,021	0,031	0,061	0,104	0,098	0,035	0,079	0,093
Zr	0,026	0,024	0,007	0,017	0,005	0,011	0,043	0,024	0,026		0,121	0,017	0,025	0,018	0,061	0,092	0,089	0,019	0,069	0,100
Sr	0,165	0,130	0,118	0,111	0,111	0,125	0,132	0,116	0,135	0,121		0,147	0,093	0,142	0,133	0,150	0,027	0,156	0,140	0,092
Rb	0,017	0,017	0,009	0,004	0,008	0,008	0,039	0,014	0,026	0,017	0,147		0,020	0,011	0,055	0,106	0,119	0,012	0,079	0,091
Zn	0,031	0,031	0,024	0,014	0,019	0,024	0,037	0,014	0,021	0,025	0,093	0,020		0,029	0,047	0,093	0,073	0,026	0,066	0,068
Cr	0,028	0,014	0,010	0,012	0,010	0,009	0,047	0,021	0,031	0,018	0,142	0,011	0,029		0,057	0,120	0,117	0,013	0,095	0,102
Ni	0,061	0,062	0,055	0,044	0,050	0,056	0,071	0,050	0,061	0,061	0,133	0,055	0,047	0,057		0,139	0,123	0,058	0,088	0,094
La	0,125	0,125	0,102	0,099	0,097	0,110	0,120	0,106	0,104	0,092	0,150	0,106	0,093	0,120	0,139		0,142	0,125	0,065	0,134
Ba	0,137	0,107	0,094	0,095	0,089	0,100	0,115	0,093	0,098	0,089	0,027	0,119	0,073	0,117	0,123	0,142		0,130	0,135	0,099
V	0,028	0,023	0,013	0,015	0,013	0,015	0,044	0,025	0,035	0,019	0,156	0,012	0,026	0,013	0,058	0,125	0,130		0,087	0,116
Ce	0,091	0,113	0,083	0,072	0,076	0,092	0,097	0,081	0,079	0,069	0,140	0,079	0,066	0,095	0,088	0,065	0,135	0,087		0,122
Cu	0,112	0,087	0,094	0,074	0,083	0,086	0,084	0,073	0,093	0,100	0,092	0,091	0,068	0,102	0,094	0,134	0,099	0,116	0,122	
ζ_j	1,040	0,891	0,746	0,690	0,675	0,764	1,119	0,763	0,960	0,796	2,343	0,800	0,758	0,888	1,365	2,154	1,983	0,951	1,731	1,804
v/ζ_j	0,558	0,651	0,778	0,841	0,860	0,759	0,519	0,761	0,604	0,730	0,248	0,726	0,766	0,654	0,425	0,269	0,293	0,611	0,335	0,322
$r_{v,\zeta}$	0,964	0,971	0,983	0,992	0,990	0,986	0,916	0,981	0,961	0,971	-0,504	0,982	0,975	0,980	0,803	-0,058	-0,279	0,975	0,254	0,095
v_t																				

Tableau 23 : matrice de variation des compositions élémentaires obtenues par WDS-XRF pour l'ensemble des céramiques et des terres crues provenant de l'atelier du Mas de Moreno.

Annexe A8 – Compositions minéralogiques

Sont présentés ci-après les résultats issus du traitement semi-quantitatif des analyses par XRD par les poudres (*supra*, p. 229). L'ensemble des données compositionnelles sont fermées à 100 %.

Réf.	Qtz	Cal	Ms	Kfs	Gh	An	Di	Hem	Ant	Rwp
15032	31,65	28,64	11,60	14,56	0,99	8,15	0,36	1,92	2,12	4,78
15033	32,75	25,02	14,30	13,46	0,76	9,21	0,31	2,15	2,04	5,13
15034	26,26	25,00	11,14	12,83	6,68	8,53	6,23	1,82	1,51	5,01
15035	31,46	28,44	12,80	13,90	1,14	8,06	0,25	1,72	2,23	5,24
15036	20,80	18,95	9,52	11,41	12,19	17,39	8,01	1,18	0,55	5,01
15037	18,85	14,17	9,74	13,14	12,56	22,83	5,65	2,88	0,17	6,05
15038	25,64	14,89	9,29	11,12	9,28	22,07	5,49	2,00	0,24	5,57
15040	29,54	29,61	14,84	13,42	0,46	8,44	0,42	1,29	1,99	6,19
15041	23,27	18,20	10,60	16,63	12,29	10,16	3,93	3,82	1,11	5,36
15042	30,43	25,32	18,97	11,85	0,14	8,78	1,61	0,97	1,94	5,77
15043	29,46	28,59	17,54	12,29	0,13	8,58	0,56	0,71	2,14	5,74
15044	29,59	31,67	9,40	10,08	3,60	8,46	4,34	1,10	1,76	4,81
15045	23,43	20,58	7,59	9,53	8,27	14,70	14,60	1,19	0,10	5,09
15053	27,37	22,57	10,41	12,65	6,00	17,10	1,62	0,51	1,77	4,76
15054	18,46	13,39	10,30	14,19	17,26	16,24	5,94	3,49	0,73	5,59

Tableau 24 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 1 (II^e siècle av. J.-C.).

Réf.	Qtz	Cal	Ms	Kfs	Gh	An	Di	Hem	Ant	Rwp
15445	19,72	10,12	7,64	10,21	13,53	26,00	9,67	3,10	0,04	5,04
15446	23,01	35,62	13,51	13,81	0,55	8,42	1,54	1,45	2,09	5,32
15448	24,66	29,90	16,22	14,72	0,44	8,70	1,26	2,01	2,09	5,44
15449	24,05	30,24	15,47	14,07	1,14	7,78	3,47	1,57	2,20	5,40
15450	23,99	15,17	8,66	12,72	16,62	17,25	3,40	1,54	0,66	5,16
15451	23,41	33,61	11,86	14,21	2,14	9,03	2,04	1,72	1,99	4,79
15452	25,78	20,48	8,57	14,92	10,00	12,88	3,85	1,79	1,72	4,67
15453	21,08	14,48	9,39	11,89	12,79	20,49	7,76	1,82	0,29	4,95
15457	18,96	11,84	10,99	13,22	18,45	18,44	6,24	1,63	0,24	5,64
15461	24,22	18,47	10,01	10,72	10,09	17,40	6,80	0,95	1,34	4,28
15464	20,63	6,98	6,72	7,55	13,41	28,72	13,03	2,91	0,05	4,96
15465	20,19	11,27	10,10	12,90	15,15	17,35	10,27	2,61	0,14	5,02
15466	20,77	11,21	11,56	14,35	14,26	14,58	10,05	2,98	0,24	6,01
15468	26,99	28,71	13,04	14,03	1,50	9,65	2,76	1,26	2,06	5,57
15473	28,17	27,88	13,85	14,21	0,99	8,77	0,00	4,17	1,96	4,85

Tableau 25 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 2 (première moitié du I^{er} siècle av. J.-C.).

Réf.	Qtz	Cal	Ms	Kfs	Gh	An	Di	Hem	Ant	Rwp
15640	22,71	11,99	9,11	14,82	17,76	13,66	6,07	3,25	0,62	5,40
15641	26,81	33,66	13,63	12,38	0,28	8,38	0,58	2,35	1,94	5,76
15643	24,85	28,88	12,27	13,78	2,81	8,85	4,78	1,71	2,08	5,55
15644	26,71	18,10	9,04	13,32	12,15	11,41	6,55	1,59	1,14	5,17
15647	25,68	12,16	9,18	12,82	17,36	15,92	4,35	1,99	0,53	5,04
15649	24,09	14,20	9,45	13,55	14,25	17,20	4,10	2,00	1,16	4,67
15651	25,75	18,96	10,55	14,50	10,71	9,66	5,82	2,37	1,69	4,63
15652	20,90	13,07	9,20	13,92	18,99	14,91	4,14	4,28	0,59	4,99
15653	24,86	10,70	6,67	9,89	20,77	19,50	4,63	2,54	0,44	4,63
15654	23,43	11,05	8,23	7,71	20,64	18,43	4,78	5,26	0,47	3,91
15659	19,59	14,43	12,28	18,21	14,19	10,95	4,84	4,13	1,38	5,59
15660	17,00	11,30	7,22	6,71	24,62	24,65	7,40	0,99	0,13	4,45
15661	19,97	14,00	7,94	7,44	18,94	24,71	5,13	1,16	0,72	4,54
15662	24,06	20,16	16,09	17,47	2,51	10,98	1,54	4,93	2,25	5,07
15663	29,89	9,45	8,66	13,54	15,50	13,28	5,19	3,56	0,92	5,04
15664	14,55	3,85	3,48	6,94	13,21	39,24	17,68	1,04	0,01	4,55
15665	18,88	13,48	11,06	12,03	18,30	18,60	6,37	0,86	0,42	5,34
15666	24,57	13,99	10,99	15,15	9,63	18,56	4,29	2,08	0,73	5,88
15668	20,15	7,83	10,49	15,38	22,35	11,58	8,16	3,23	0,84	5,29
15669	23,44	13,03	9,91	13,94	12,95	19,16	5,11	1,73	0,74	5,02

Tableau 26 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 3 (milieu du 1^{er} siècle av. J.-C.).

Réf.	Qtz	Cal	Ms	Kfs	Gh	An	Di	Hem	Ant	Rwp
15671	34,57	14,57	14,94	17,88	1,22	10,57	0,82	2,74	2,69	5,34
15673	27,24	8,31	8,95	11,53	14,03	22,38	5,31	1,53	0,74	4,47
15674	24,27	4,75	9,48	11,92	15,27	27,42	4,48	2,40	0,01	5,77
15675	29,33	8,02	21,97	23,61	0,04	9,09	3,53	3,32	1,09	6,39
15676	26,97	13,38	10,80	13,89	11,73	14,00	7,44	1,36	0,44	5,29
15679	25,31	13,44	10,11	13,10	16,01	13,48	6,59	1,55	0,40	5,12
15680	22,97	9,90	9,96	14,05	17,08	16,33	6,10	3,22	0,39	5,20

Tableau 27 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de Torre Cremada (Valdeltormo, Teruel, Espagne).

Réf.	Qtz	Cal	Ms	Kfs	Gh	An	Di	Hem	Ant	Rwp
16445	22,52	19,71	12,44	15,16	11,04	7,45	6,53	3,62	1,53	4,33
16449	25,16	13,04	16,94	14,97	10,06	13,22	4,25	1,63	0,75	5,55
16451	21,89	23,94	18,56	18,00	0,03	12,21	1,90	1,60	1,89	6,55
16452	28,25	23,71	16,02	17,37	2,13	7,93	1,48	1,51	1,60	6,33
16453	25,16	23,72	10,39	15,75	7,20	8,68	6,44	1,02	1,65	5,21

Tableau 28 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de El Palao (Alcañiz, Teruel, Espagne).

Glossaire

Adhésivité : aptitude de la terre à adhérer aux surfaces qui sont à son contact⁴²⁶.

Anion : atome ayant acquis une charge électrique négative par le gain d'un ou plusieurs électrons.

Arène : sable grossier.

426 « adhésivité », in *Trésor de la Langue Française informatisé*.

Argiles : classe granulométrique ; particules dont la taille est inférieure à 2 µm.

Bassin avant-pays : bassin sédimentaire compressif.

Calcisol : sol caractérisé par une importante accumulation de carbonate de calcium, généralement formé en climat sec⁴²⁷. L'entraînement et l'accumulation des carbonates de calcium et d'éléments alcalins et alcalino-terreux sont liés au fort

427 Jones, Montanarella & Jones (2005, p. 29).

contraste saisonnier, alternant fortes précipitations et importante évapotranspiration.

Capacité calorifique massique : quantité d'énergie nécessaire pour augmenter une unité de masse d'une unité de température.

Capillarité : capacité d'un liquide à se déplacer au travers d'un corps poreux.

Cation : atome ayant acquis une charge électrique positive par la perte d'un ou plusieurs électrons.

Chamotte : fragments de céramiques introduit volontairement dans la préparation argileuse comme agent non plastique.

Complexe argilo-humique : association de minéraux argileux et de molécules organiques formée dans les sols.

Composé : corps chimiquement défini, un élément (carbone, oxygène, fer, etc.) ou un composé chimique (dioxyde de carbone, carbure de fer, etc.).

Conduction : mode de transfert thermique intervenant sans déplacement de matière.

Conglomérat : roche sédimentaire détritique formée, pour plus de la moitié de ses constituants, de fragments (> 2 mm) de roches liés par un ciment⁴²⁸.

Conode : pour une température donnée, ligne reliant les compositions de deux phases en équilibre⁴²⁹.

Convection : mode de transfert thermique dû au déplacement de molécules de différentes température.

Craquage : procédé par lequel des molécules organiques complexes sont cassées en molécules plus simples par rupture des liaisons entre deux atomes de carbone.

Cryptocristallin : se dit d'une roche formée de cristaux dont les dimensions n'excèdent pas quelques micromètres, et dont la superposition dans l'épaisseur de la lame mince les rend difficilement observables au microscope⁴³⁰.

Distillation sèche : procédé au cours duquel est chauffé un solide pour produire des composés gazeux.

Endoréique : absence d'exutoire vers une mer ouverte pour un bassin versant.

428 « conglomérat », *in* Foucault & Raoult (2010).

429 « conode » *in* Hall *et al.* (1964).

430 « cryptocristallin », *in* Foucault & Raoult (2010).

Énergie élastique : énergie emmagasinée par un objet sous l'application d'une contrainte mécanique.

Énergie de surface : énergie nécessaire à la rupture des liaisons intermoléculaires et conduisant ainsi à la formation d'une surface.

Enthalpie de formation : variation de l'énergie totale d'un système thermodynamique intervenant lors de la formation d'un composé*.

Équilibre thermodynamique : condition d'un système telle que ses propriétés ne varient pas au cours du temps et pouvant être atteinte de plusieurs façons au regard des variables du système⁴³¹.

Eutectique (mélange) : combinaison de composés d'un système donné, présentant la température de fusion la plus basse.

Évaporite : dépôt riche en sulfates et chlorures alcalins formé par précipitation, suite à une concentration par évaporation intense⁴³².

Exoréique : présence d'exutoire vers une mer ouverte pour un bassin versant.

Floculation : processus d'agglomération de colloïdes en suspension dans un liquide.

Frittage : procédé au cours duquel les grains d'un matériau se soudent sans que soit atteinte la fusion.

Fusion partielle : coexistence d'une phase liquide et de cristaux.

Kaolin : roche contenant essentiellement de la kaolinite.

Marne : argile dont la teneur en carbonate de calcium est comprise en 35 et 65 %.

Métallique (liaison) : liaison chimique forte, établie entre deux ou plusieurs atomes métalliques, par la mise en commun des électrons de valence.

Métastabilité : condition d'un système lui conférant l'apparence de la stabilité au regard d'une vitesse de transformation particulièrement lente.

Micrite : calcite finement cristalline.

Module d'Young : mesure de la raideur, c'est-à-dire de la résistance d'un corps élastique à la déformation.

431 Bergeron & Risbud (1984, p. 4).

432 « évaporite », in Foucault & Raoult (2010).

Oncoïde : concrétion ovoïde formée de couches concentriques.

Orogenèse : processus de formation des reliefs.

Phase : partie homogène d'un corps, caractérisée par une structure et un arrangement atomique, identiques et délimitée par une surface telle qu'il est possible de séparer mécaniquement différentes phases⁴³³.

Plastique (déformation) : déformation irréversible de la forme d'un objet sous l'application de contraintes.

Polyphasé : constitué de plusieurs phases*.

Porosité : ensemble des volumes à l'intérieur d'un solide pouvant contenir un fluide.

Pyrolyse : décomposition d'un composé par la chaleur.

Rayonnement : mode de transfert thermique par rayonnement électromagnétique.

433 « phase », *in* Hall *et al.* (1964, p. 7).

Régression : baisse du niveau de la mer entraînant l'émersion de terres.

Résistance : contrainte maximale pouvant être supportée par un matériau avant de se rompre⁴³⁴.

Sables : classe granulométrique ; particules dont la taille est comprise entre 50 et 2000 µm.

Silicate : minéral pouvant être décrit par l'agencement de tétraèdres [SiO₄]⁴⁻.

Silts : classe granulométrique ; particules dont la taille est comprise entre 2 et 50 µm.

Subduction : plongée d'une plaque lithosphérique sous une autre.

Sub-liquidus : voir fusion partielle.

Surfusion : maintien d'un état liquide ou gazeux dans des conditions de températures inférieures au point de fusion.

Synclinal : pli dont l'axe correspond aux couches les plus récentes.

434 Baillon & Dorlot (2000, p. 1430).

Transgression : hausse du niveau de la mer au-delà de ses limites antérieures, accompagnée d'une submersion des terres.

Valence : nombre maximal de liaisons que peut former un élément chimique en fonction de sa configuration électronique.

Index des illustrations

Figure 1 : élévation et hydrographie de la Péninsule ibérique.....	11
Figure 2 : élévation et hydrographie de la vallée de l'Èbre.....	11
Figure 3 : localisation des principaux établissements ibériques de l'Âge du Fer sur la rive droite de l'Èbre.....	31
Figure 4 : vue aérienne depuis le sud de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).....	34
Figure 5 : topographie des environs immédiats de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).	34
Figure 6 : plan de la partie haute (zones 1 et 2) de l'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel). D'après Gorgues & Benavente Serrano (2009, p. 8).....	35
Figure 7 : extrait de la carte géologique de l'Espagne au 1:50 000, feuille n°494 (IGME 1974).....	45
Figure 8 : détail de la figure 7.....	45
Figure 9 : légende des figures 7 et 8. © Instituto Geográfico Nacional de España.....	49
Figure 10 : évaporites dans les niveaux du Trias supérieur (Keuper ; Foz-Calanda, Teruel, Espagne)..	49
Figure 11 : (a) affleurement d'oxydes de fer à proximité de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel) ; (b) détail de la goëthite ; (c) détail de l'hématite.....	50
Figure 12 : techniques de façonnage et utilisation de l'énergie cinétique de rotation. Adapté d'après Courty & Roux (1995, p. 23).....	65
Figure 13 : évolution de la capacité calorifique en fonction de la température pour différents teneurs en humidité. D'après Glass & Zelinka (2010, p. 15).....	70
Figure 14 : produits volatils et enthalpie standard de formation* (ΔH_f° en kJ.mol ⁻¹) associée résultant de la pyrolyse de la cellulose. D'après Browne (1958, p. 8).....	71
Figure 15 : Distribution des vitesses de chauffe (vitesse moyenne de montée en température, °C.min ⁻¹) en fonction des durées de cuisson (min) et des températures maximales atteintes (°C) au cours de la cuisson de matériaux céramiques.....	79
Figure 16 : Courbe d'équilibre de la réaction d'inter-conversion de l'hématite et de la magnétite dans le diagramme $P_{O_2} = f(T)$	84

Figure 17 : évolution des pressions partielles de dioxyde et de monoxyde de carbone en fonction de la température, selon l'équilibre de Boudouard ($P_{\text{totale}} = 105 \text{ Pa}$).....	85
Figure 18 : équilibre de Boudouard (éq. 12) et courbe d'équilibre de la réaction de conversion de l'hématite et de la magnétite (éq. 5) en fonction de l'évolution du rapport $P_{\text{CO}}/P_{\text{CO}_2}$ et de la température.....	86
Figure 19 : triangles de compatibilité au sein du système ternaire $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	90
Figure 20 : catégories de matériaux céramiques dans le système $(\text{CaO}+\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, d'après Noll (1991, p. 23-29), Heimann (2010, p. 106).....	91
Figure 21 : diagrammes de phases binaires $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (en haut) et $\text{SiO}_2\text{-CaO}$ (en bas) à 10^5 Pa	93
Figure 22 : (a) courbes d'équilibre des réactions de décomposition thermique de la calcite (réac. 18) dans le diagramme $P_{\text{CO}_2} = f(T)$; (b) équilibre de Boudouard (réac. 12) et courbe d'équilibre de la réaction de décomposition thermique de la calcite (réac. 18) dans le diagramme $P_{\text{CO}_2} = f(T)$, d'après Letsch & Noll (1983).....	97
Figure 23 : courbe d'équilibre de la réaction d'hydratation de la chaux (CaO) en portlandite (Ca(OH)_2 ; réac. 21) dans le diagramme $P_{\text{H}_2\text{O}} = f(T)$	98
Figure 24 : modification de la composition minéralogique au cours de la cuisson de matières calcaires, d'après Peters & Iberg (1978, p. 503).....	100
Figure 25 : synthèse chronologique de l'échantillonnage au sein des productions du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).....	105
Figure 26 : détail de l'échantillonnage en fonction des catégories d'industries céramiques pour les différents ensembles chronologiques étudiés.....	106
Figure 27 : fragments d'artefacts non cuits in situ dans le laboratoire du four n°5 de l'atelier du Mas de Moreno. Cliché A. Gorgues, juillet 2010.....	107
Figure 28 : tesson (BDX14922) d'une petite coupe peinte en terre crue provenant de l'atelier du Mas de Moreno.....	108
Figure 29 : distribution des tailles de grains des tessons non cuits obtenue par granulométrie laser..	112
Figure 30 : lame mince d'un tesson de terre crue (BDX14917) observée en lumière blanche transmise. À gauche, clichés en lumière polarisée non analysée ; à droite, clichés en lumière polarisée analysée.....	114
Figure 31 : lames minces de tessons de céramiques observées en lumière blanche transmise. À gauche, clichés en lumière polarisée non analysée ; à droite, clichés en lumière polarisée analysée.....	115
Figure 32 : compositions élémentaires des terres crues (a) et des terres cuites (b) dans le système ternaire $(\text{CaO}+\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (cf. annexe A6, p. 245).....	116

Figure 33 : diffractogramme d'un tesson non cuit (BDX14914). (a) Diffraction par une poudre ; (b) et (c) diffraction par une préparation orientée après traitements chimiques et thermiques.....	116
Figure 34 : spectres Raman (après correction de la ligne de base) présentant les bandes caractéristiques de l'hématite (indiquées par un astérisque) obtenus sur les décors peints.....	122
Figure 35 : oncoïde* provenant de l'US 12212 de l'atelier du Mas de Moreno (BDX14804). À gauche : vue zénithale ; à droite : vue en coupe.....	124
Figure 36 : diffractogrammes obtenus par la diffraction de rayons X par les poudres de tessons de céramique, illustrant deux stades différents dans l'avancée des transformations minéralogiques. (a) BDX15641, (b) BDX15664.....	127
Figure 37 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno. En haut : diagrammes ternaires des teneurs en quartz et gehlénite (a) et calcite et gehlénite (b). En bas : évolution des rapports entre les teneurs (c) en anorthite et en gehlénite ($R^2 = 0,79$) et (d) en diopside et en gehlénite ($R^2 = 0,78$).....	127
Figure 38 : résultats de l'analyse en composantes principales (non normée) des compositions minéralogiques des matières céramiques provenant du Mas de Moreno.....	130
Figure 39 : compositions élémentaires des terres cuites provenant de Torre Cremada et de El Palao dans le système ternaire (CaO+MgO)-Al ₂ O ₃ -SiO ₂	131
Figure 40 : projection sur le plan principal de l'ACP des individus supplémentaires correspondant aux compositions minéralogiques du matériel provenant de Torre Cremada et El Palao.....	132
Figure 41 : coloration interne des tessons du Mas de Moreno. Sections polies observées à la loupe bino-culaire en lumière blanche réfléchie.....	134
Figure 42 : hypothèse de restitution de l'évolution des transformations et des conditions d'oxydoréduction au sein de la matière céramique fabriquée au Mas de Moreno.....	136
Figure 43 : modification de la distribution d'un composé dans une matière céramique, au cours des diverses phases de son existence. D'après Neff, Cogswell & Ross (2003, p. 202).....	145
Figure 44 : associations entre variables et contributions de chacune à la variance totale.....	147
Figure 45 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres cuites (transformation <i>alr</i>).....	148
Figure 46 : cristallisations secondaires dans les pores des matrices céramiques (microscopie électronique à balayage).....	149
Figure 47 : diagramme de Goldschmidt.....	150
Figure 48 : profil pédologique typique d'un calcisol* à proximité du site du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, Espagne).....	151

Figure 49 : (a) détail des concrétions formées à la surface des matériaux céramiques fabriqués au sein de l'atelier du Mas de Moreno (photographie en lumière naturelle ; BDX15032) ; (b) lame mince d'une section de l'épaisseur d'un vase, la calcite cristallisée en surface est bien identifiable par ses teintes de biréfringence élevées (photographie en lumière transmise, polarisée et analysée ; BDX15646).....	152
Figure 50 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites.....	154
Figure 51 : projection du nuage des individus sur le plan principal de l'ACP des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites et analyse discriminante en fonction des ensembles chronologiques.....	155
Figure 52 : diagrammes ternaires des compositions élémentaires des terres crues et des terres cuites, pour les systèmes (a) $\text{SiO}_2\text{-Sr-}^*$, (b) $\text{SiO}_2\text{-Ba-}^*$ et (c) $\text{SiO}_2\text{-Cu-}^*$	157
Figure 53 : projection du nuage des individus sur le plan principal résultant de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des terres cuites (transformation <i>alr</i>).....	159
Figure 54 : probable bassin de décantation abandonné, lié aux activités potières modernes de la commune de Foz-Calanda (où sont encore visibles les restes d'un important four, en activité dans la seconde moitié du XX^{e} s.).....	164
Figure 55 : minéralogie et compositions élémentaires des prélèvements d'argiles en fonction de la stratigraphie.....	167
Figure 56 : comparaisons des compositions des prélèvements d'argiles et des produits provenant de l'atelier du Mas de Moreno.....	167
Figure 57 : projection de la surface du liquidus dans le système CAS à 10^5 Pa (% massiques).....	173
Figure 58 : détail d'une bulle formée au cours de la cuisson dans l'épaisseur de la paroi d'une jarre de stockage (jarre Ilturatin ; BDX15299).....	175
Figure 59 : décompte des tessons présentant des défauts de cuisson, exprimé en pourcentage du nombre de restes (NR) par unité stratigraphique. D'après Sacilotto (2011, p. 181).....	176
Figure 60 : vue frontale du four n°1 de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel).....	182
Figure 61 : distribution de la perte au feu (pourcentages massiques) en fonction de la chronologie..	183
Figure 62 : classement des événements de risque en fonction de leur gravité et de leur occurrence, d'après Pennequin (2003, p. 269).....	188
Figure 63 : résultats de l'analyse en composante principale des compositions élémentaires des tessons de terre cuite.....	246

Index des tableaux

Tableau 1 : marques retrouvées sur des objets fabriqués au sein de l’atelier du Mas de Moreno et dans des habitats du Bas Aragon.....	36
Tableau 2 : caractéristiques des structures de cuisson d’après Tite (1995, p. 39).....	78
Tableau 3 : Composition moyenne de l’atmosphère terrestre (air sec). D’après Williams (s. d.).....	80
Tableau 4 : classification des modes de cuisson des matériaux céramiques archéologiques en fonction de la succession des phases d’oxydoréduction, d’après Picon (2002).....	88
Tableau 5 : stades de vitrification des matrices céramiques à partir de l’observation de la surface d’une fracture. D’après Tite & Maniatis (1975), Maniatis & Tite (1981, p. 68).....	100
Tableau 6 : justesse de la prédiction d’appartenance des terres cuites à un ensemble chronologique, issue de l’analyse discriminante linéaire des données de composition élémentaire.....	156
Tableau 7 : coordonnées (% massiques) des eutectiques dans le système CAS et températures (°C) associées.....	173
Tableau 8 : probabilités critiques résultant d’un test de Student deux à deux sur la perte au feu en fonction des ensembles chronologiques étudiés.....	183
Tableau 9 : liste des minéraux cités dans le texte.....	202
Tableau 10 : matériel archéologique étudié.....	208
Tableau 11 : matériaux géologiques étudiés.....	209

Tableau 12 : critères d'identification des minéraux argileux par diffraction de rayons X (préparations orientées).....	232
Tableau 13 : granulométrie des prélèvements de sols et de roches argileuses.....	243
Tableau 14 : granulométrie des fragments de poteries non cuites provenant de l'atelier du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, Espagne).....	243
Tableau 15 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 1 (supra, p. 103).....	247
Tableau 16 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 2 (supra, p. 103).....	248
Tableau 17 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 3 (supra, p. 103).....	249
Tableau 18 : compositions élémentaires des fragments de poteries non cuites provenant de l'atelier du Mas de Moreno.....	250
Tableau 19 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant du site de Torre Cremada (Valdeltormo, Teruel, Espagne).....	251
Tableau 20 : compositions élémentaires des tessons de céramiques provenant du site de El Palao (Alcañiz, Teruel, Espagne).....	251
Tableau 21 : compositions élémentaires des échantillons d'argiles et de sols.....	252
Tableau 22 : matrice de variation des compositions élémentaires obtenues par WDS-XRF pour l'ensemble des céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno.....	254
Tableau 23 : matrice de variation des compositions élémentaires obtenues par WDS-XRF pour l'ensemble des céramiques et des terres crues provenant de l'atelier du Mas de Moreno.....	255
Tableau 24 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 1 (iie siècle av. J.-C.).....	258
Tableau 25 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 2 (première moitié du ier siècle av. J.-C.).....	258
Tableau 26 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de l'atelier du Mas de Moreno et attribués à l'ensemble 3 (milieu du ier siècle av. J.-C.).....	259
Tableau 27 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de Torre Cremada (Valdeltormo, Teruel, Espagne).....	259
Tableau 28 : composition minéralogique des tessons de céramiques provenant de El Palao (Alcañiz, Teruel, Espagne).....	259

Index des planches

Planche I : vases de stockage (1 à 7) et couvercles (8 à 10) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 12212).....	210
Planche II : coupes à bords convergents (1 à 4), biseautés (5), divergents (6 et 7), en amande (8 et 9), coupe hémisphérique (10), coupes (11 et 12), cruche (13), gobelet (14), urnes (15 et 16) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 12212).....	211
Planche III : pots à deux anses (1 à 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).	212
Planche IV : coupes (1), à bord droit (2), à bord divergent (3), coupes (4), à bord convergent (5 à 7), coupe (8), grandes coupes à lèvres moulurées (9 et 10) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).....	213
Planche V : kalathos (1 à 4) et couvercles (5 et 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15205 et 15227).....	214
Planche VI : vases de stockage (1 à 3), jarres ilturatin (4 à 6) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 15025 et 15227).....	215
Planche VII : coupes (1 à 8), cruches (9 à 13) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13138 et 21041).....	216
Planche VIII : amphores (1 et 2) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13138).....	217

Planche IX : kalathos (1 à 4), pots à deux anses (5 et 6) et couvercle (7) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13169 et 21041).....	218
Planche X : vases de stockage (1 à 4) provenant de l'atelier du Mas de Moreno (US 13169 et 21041)..	219
Planche XI : dépôts d'argiles bariolées du Trias supérieur.....	220
Planche XII : dépôts d'argiles bariolés du Trias supérieur (suite).....	221
Planche XIII : dépôts d'argiles crétacés (Albien).....	222
Planche XIV : dépôts d'argile néogènes.....	223
Planche XV : dépôts d'argiles néogènes (suite).....	224
Planche XVI : dépôts d'argiles néogènes (suite).....	225
Planche XVII : dépôts d'argiles néogènes (suite).....	226

Sources

Appien, *Histoire romaine*, tome II, livre VI. Texte établi et traduit par P. Goukowsky. Paris : Les Belles Lettres, 1997.

Hérodote, *Histoire*, livre I. Texte établi et traduit par P.-E. Legrand, sixième édition revue, corrigée et augmentée. Paris : Les Belles Lettres, 1993.

Strabon, *Géographie*, tome II, livres III et IV. Texte établi et traduit par F. Lasserre. Paris : Les Belles Lettres, 1966.

Bibliographie

- Adler, D. et Murdoch, D. (2013).** *rgl: 3D visualization device system (OpenGL)*. R package version 0.93.991. Accès : <http://CRAN.R-project.org/package=rgl>.
- Aguilera, M., Espinar, C., Ferrio, J., Pérez, G. et Voltas, J. (2009).** « A map of autumn precipitation for the third millennium BP in the Eastern Iberian Peninsula from charcoal carbon isotopes », *Journal of Geochemical Exploration*, 102, p. 157-165. DOI : 10.1016/j.gexplo.2008.11.019.
- Aitchison, J. (1986).** *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Londres : Chapman and Hall Ltd.. Monographs on Statistics and Applied Probability.
- Aitchison, J. (1999).** « Logratios and natural laws in compositional data analysis », *Mathematical Geology*, 31, p. 563-589. DOI : 10.1023/A:1007568008032.
- Aitchison, J. (2005).** *A Concise Guide to Compositional Data Analysis* [en ligne]. 2nd Compositional Data Analysis Workshop CoDaWork'05 (Girone, Italie ; 19-21 octobre 2005). Accès : http://ima.udg.edu/activitats/codawork05/A_concise_guide_to_compositional_data_analysis.pdf (dernière mise à jour : oct. 2005).
- Aitchison, J., Barceló-Vidal, C., Martín-Fernández, J. A. et Pawlowsky-Glahn, V. (2000).** « Logratio Analysis and Compositional Distance », *Mathematical Geology*, 32, p. 271-275. DOI : 10.1023/A:1007529726302.

- Aitchison, J., Barceló-Vidal, C. et Pawlowsky-Glahn, V. (2002).** « Some comments on compositional data analysis in archaeometry, in particular the fallacies in Tangri and Wright's dismissal of logratio analysis. », *Archaeometry*, 44, p. 295-304. DOI : 10.1111/1475-4754.t01-1-00061.
- Aranegui Gascó, C. (1997a).** « Les Ibères vus de la Péninsule ibérique ». In Aranegui Gascó, C., Mohen, J.-P., Rouillard, P. et Éluère, C. (dir.), *Les Ibères*. Paris : AFAA, p. 23-30. Catalogue de l'exposition tenue aux Galeries nationales du Grand Palais (Paris ; 15 octobre 1997 – 5 janvier 1998).
- Aranegui Gascó, C. (1997b).** « Scènes de la cité ibérique. Les céramiques d'Edeta », *Dialogues d'histoire ancienne*, 23, p. 195-220. DOI : 10.3406/dha.1997.2333.
- Arnold, D. E. (2000).** « Does the standardization of ceramic pastes really mean specialization? », *Journal of Archaeological Method and Theory*, 7, p. 333-375. DOI : 10.1023/A:1026570906712.
- Aurell, M., Robles, S., Badenas, B., Rosales, I., Quesada, S., Meléndez, G. et Garcia-Ramos, J.-C. (2003).** « Transgressive-regressive cycles and Jurassic palaeogeography of northeast Iberia », *Sedimentary Geology*, 162, p. 239-271. DOI : 10.1016/S0037-0738(03)00154-4.
- Baïlon, J.-P. et Dorlot, J.-M. (2000).** *Des matériaux*, troisième édition. Montréal : Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.
- Bale, C. W., Bélisle, E., Chartrand, P., Decterov, S. A., Eriksson, G., Hack, K., Jung, I. H., Kang, Y. B., Melançon, J., Pelton, A. D., Robelin, C. et Petersen, S. (2009).** « FactSage Thermochemical Software and Databases – Recent Developments », *Calphad*, 33, p. 295-311. DOI : 10.1016/j.calphad.2008.09.009.
- Balut, P.-Y. (1982).** « Restauration, restitution, reconstitution », *Revue d'Archéologie Moderne et d'Archéologie Générale*, 1, p. 95-109.
- Bartlett, M. S. (1937).** « Properties of Sufficiency and Statistical Tests », *Proceedings of the Royal Society A*, 160, p. 268-282. DOI : 10.1098/rspa.1937.0109.
- Bats, M. (2013 [2006]).** « L'acculturation et autres modèles de contact en archéologie protohistorique européenne ». In d'Agostino null, B., Boissinot, P., Bouet, A., Brun, J.-P., Chazalon, L., Dietler, M., Gras, M., Greco, E., de Hoz, J., Lombardo, M., Munzi, P., Plana, R., Py, M., Roure, R., Rouillard, P., Schnapp, A., Sourisseau, J.-C., Tréziny, H. et Verdin, F. (dir.), *D'un monde à l'autre : contacts et acculturation en Gaule méditerranéenne*. Naples : Centre Jean Bérard, p. 223-235. Collection du Centre Jean Bérard 42.
- Battaglia, J.-L., Kusiak, A. et Puiggali, J.-R. (2010).** *Introduction aux transferts thermiques*. Paris : Dunod.
- Baxter, M. J. (2006).** « A review of supervised and unsupervised pattern recognition in archaeometry », *Archaeometry*, 48, p. 671-694. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2006.00280.x.

- Baxter, M. J. et Freestone, I. C. (2006).** « Log-ratio compositional data analysis in archaeometry », *Archaeometry*, 48, p. 511-531. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2006.00270.x.
- Beier, T. et Mommsen, H. (1994).** « Modified Mahalanobis filters for grouping pottery by chemical composition », *Archaeometry*, 36, p. 287-306. DOI : 10.1111/j.1475-4754.1994.tb00971.x.
- Belhaj Hassine, N. et Thomas, A. (2001).** « Aversion au risque et décisions de production : l'agriculture irriguée en Tunisie », *Économie rurale*, 266, p. 91-108. DOI : 10.3406/ecoru.2001.5279.
- Benavente, J. A. et Fernández, L. F. (dir.) (2009).** *Iberos en el Bajo Aragón: Guía de la ruta*. Saragosse : Consorcio Patrimonio Ibérico de Aragón.
- Benavente, J. A., Juste, N., Perales, M., Picazo, J. V. et Sancho, A. (1986).** « Tiro de Cañon (Alcañiz): materiales cerámicos II, líticos, metálicos y oseos », *Kalathos*, 5-6, p. 107-150.
- Berducou, M.-C. (1990).** « La céramique archéologique ». In Berducou, M.-C. (dir.), *La conservation en archéologie. Méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*. Paris : Masson, p. 78-119.
- Berenshtein, P. I., Finkel', V. A. et Il'ina, V. P. (1980).** « Sintering kinetics of ceramic tiles for rapid firing », *Glass and Ceramics*, 37, p. 597-599. DOI : 10.1007/BF00698079.
- Bergeron, C. G. et Risbud, S. H. (1984).** *Phase equilibria in ceramics*. Westerville, OH : The American Ceramic Society.
- Bonet, H. et Mata, C. (2008).** « Las cerámicas ibéricas. Estado de la cuestión ». In Bernal Casasola, D. et Ribera i Lacomba, A. (dir.), *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión*, XXVI Congreso Internacional de la Asociación Rei Cretariae Romanae Fautores (Cádiz ; 28 sept. – 5 oct. 2008). Cádiz : Universidad de Cádiz, p. 147-169.
- van den Boogaart, K. G., Tolosana, R. et Bren, M. (2013).** *compositions: Compositional Data Analysis*. R package version 1.30-1. Accès : <http://CRAN.R-project.org/package=compositions>.
- van den Boogaart, K. G. et Tolosana-Delgado, R. (2008).** « “compositions”: A unified R package to analyze compositional data », *Computers & Geosciences*, 34, p. 320-338. DOI : 10.1016/j.cageo.2006.11.017.
- van den Boogaart, K. G. et Tolosana-Delgado, R. (2013).** *Analyzing Compositional Data with R*. Berlin : Springer-Verlag. UseR!.
- Bosch-Gimpera, P. (1915).** *El problema de la cerámica ibérica*. Madrid : Museo Nacional de Ciencias Naturales. Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas 7.
- Bosch-Gimpera, P. (1928).** « Relaciones entre el arte ibérico y el griego », *Archivo de prehistoria levantina*, I, p. 163-177.
- Bosch-Gimpera, P. (1932).** *Etnología de la Península Ibérica*. Barcelone : .

- Bosch-Gimpera, P. (1955).** « Le problème de la céramique ibérique », *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 99, p. 395-401. DOI : 10.3406/crai.1955.10485.
- Bouchet, A., Meunier, A. et Sardini, P. (2000).** *Minéraux argileux : structure cristalline, identification par diffraction de rayons X*. Pau : TOTAL FINA ELF – Elf EP – Éditions. Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod. 23.
- Brindley, G. W. et Lemaitre, J. (1987).** « Thermal, Oxidation and Reduction Reactions of Clay Minerals ». In Newman, A. C. D. (dir.), *Chemistry of Clays and Clay Minerals*. New York : Wiley-Interscience, p. 319-370. Mineralogical Society Monograph 6.
- Browne, F. L. (1958).** *Theories of the combustion of wood and its control. A survey of the literature*. Rapport n°2136. Madison, WIS : Forest Products Laboratory, Forest Service, U. S. Department of Agriculture.
- Bruker AXS (2007).** *Eva* [logiciel]. version 14.0.0.0. Accès : www.bruker-axs.com.
- Bruker AXS (2008).** *Topas* [logiciel]. version 4.1. Accès : www.bruker-axs.com.
- Bruneau, P. (1992).** « Le statut archéologique de la trace », *Revue d'Archéologie Moderne et d'Archéologie Générale*, 10, p. 87-93.
- Bruneau, P. et Balut, P.-Y. (1997).** *Artistique et archéologie*. Paris : Presses de l'Université de Paris-Sorbonne.
- Bunge, M. (1981).** « Analogy between systems », *International Journal of General Systems*, 7, p. 221-223. DOI : 10.1080/03081078108934823.
- Buxeda i Garrigós, J. (1999).** « Alteration and contamination of archaeological ceramics: the perturbation problem », *Journal of Archeological Science*, 26, p. 295-313. DOI : 10.1006/jasc.1998.0390.
- Buxeda i Garrigós, J., Cau, M. A. et Kilikoglou, V. (2003).** « Chemical variability in clays and pottery from a traditional cooking pot production village: testing assumptions in pereruela », *Archaeometry*, 45, p. 1-17. DOI : 10.1111/1475-4754.00093.
- Buxeda i Garrigós, J., Day, P. M. et Kilikoglou, V. (2001).** « Chemical and mineralogical alteration of ceramics from a late bronze age kiln at kommos, crete: the effect on the formation of a reference group », *Archaeometry*, 43, p. 349-371. DOI : 10.1111/1475-4754.00021.
- Buxeda i Garrigós, J., Mommsen, H. et Tsolakidou, A. (2002).** « Alterations of Na, K and Rb concentrations in mycenaean pottery and a proposed explanation using X-ray diffraction », *Archaeometry*, 44, p. 187-198. DOI : 10.1111/1475-4754.t01-1-00052.

- Caillère, S., Hénin, S. et Rautureau, M. (1982).** *Minéralogie des argiles – I. Structure et propriétés physico-chimiques*, deuxième édition. Masson. Actualités scientifiques et agronomiques de l'INRA 8.
- Carrión Marco, Y. (2007).** « Woodland in the middle Ebro valley (Spain). Dendrological analysis of archaeological timber from Bell Baker and Iron Age periods », *ArchéoSciences*, 31, p. 151-161.
- Casas-Sainz, A. et de Vicente, G. (2009).** « On the tectonic origin of Iberian topography », *Tectonophysics*, 474, p. 214-235. DOI : 10.1016/j.tecto.2009.01.030.
- Chabal, L. (2001).** « Les Potiers, le bois et la forêt à Sallèles d'Aude (I-IIIe s. ap. J.-C.) ». In Laubenheimer, F. (dir.), *20 ans de recherches à Sallèles d'Aude*, Actes du colloque (Sallèles d'Aude ; 27-28 septembre 1996). Besançon : Presses Universitaires Franc-Comptoises, p. 93-110.
- Chesworth, W. (dir.) (2008).** *Encyclopedia of soil science*. Berlin : Springer.
- Childe, V. G. (1929).** *The Danube in Prehistory*. Oxford : Oxford University Press.
- Cogswell, J., Neff, H. et Glascock, M. (1996).** « The effect of firing temperature on the elemental characterization of pottery », *Journal of Archaeological Science*, 23, p. 283-287. DOI : 10.1006/jasc.1996.0026.
- Cojan, M. et Renard, I. (2006).** *Sédimentologie*, deuxième édition. Paris : Dunod.
- Coll Conesa, J. (2000).** « Aspectos de tecnología de producción de la cerámica ibérica ». In Mata Parreño, C. et Pérez Jordà, G. (dir.), *Ibers. Agricultors, artesans i comerciants*, III Reunió sobre economia en el Món Ibèric (València ; 1999). Valence : Universitat de València, p. 191-209. Saguntum-PLAV Extra-3.
- Collectif (2012a).** *Spectromètre* [en ligne]. Laboratoire archéométrie et archéologie (UMR 5138 – CNRS, Université Lumière Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1). Accès : <http://www.archeometrie.mom.fr/qui-sommes-nous/laboratoire-de-ceramologie/equipements-du-laboratoire-d-analyses-des-materiaux-archeologiques/spectrometre> (dernière consultation : 03 janv. 2013).
- Collectif (2012b).** *Spectromètre – étalons* [en ligne]. Laboratoire archéométrie et archéologie (UMR 5138 – CNRS, Université Lumière Lyon 2, Université Claude Bernard Lyon 1). Accès : <http://www.archeometrie.mom.fr/qui-sommes-nous/axes-de-recherche/equipements-du-laboratoire-d-analyses-des-materiaux-archeologiques/spectrometre/etalons> (dernière consultation : 03 janv. 2013).
- Colombier, N., Denant-Boèmont, L., Lohéac, Y. et Masclat, D. (2008).** « Une étude expérimentale du degré individuel et collectif d'aversion au risque », *Économie et Prévision*, 185, p. 89-101.

- Conde Berdós, M. J. (1998).** « Estado actual de la investigación sobre la cerámica ibérica pintada de época plena y tardía », *Revista de estudios ibéricos*, 3, p. 299-336.
- Cornell, R. M. et Schwertmann, U. (2003).** *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*, deuxième édition. Weinheim : Wiley-VCH.
- Corrie, S. L. et Kohn, M. J. (2008).** « Trace-element distributions in silicates during prograde metamorphic reactions: implications for monazite formation », *Journal of Metamorphic Geology*, 26, p. 451-464. DOI : 10.1111/j.1525-1314.2008.00769.x.
- Costin, C. L. et Hagstrum, M. B. (1995).** « Standardization, Labor Investment, Skill, and the Organization of Ceramic Production in Late Prehispanic Highland Peru », *American Antiquity*, 60, p. 619-639. DOI : 10.2307/282046.
- Courbot, C. (2000).** « De l'acculturation aux processus d'acculturation, de l'anthropologie à l'histoire. Petite histoire d'un terme connoté », *Hypothèse*, 1, p. 121-129.
- Courty, M. A. et Roux, V. (1995).** « Identification of wheel throwing on the basis of ceramic surface features and microfabrics », *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 17-50. DOI : 10.1016/S0305-4403(95)80161-8.
- Cultrone, G., Molina, E., Grifa, C. et Sebastian, E. (2011).** « Iberian ceramic production from Basti (Baza, Spain): first geochemical, mineralogical and textural characterization », *Archaeometry*, 53, p. 340-363. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2010.00545.x.
- Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O. et De La Torre, M. J. (2001).** « Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing », *European Journal of Mineralogy*, 13, p. 621-634. DOI : 10.1127/0935-1221/2001/0013-0621.
- Cuomo di Caprio, N. (1972).** « Proposta di classificazione delle fornaci per ceramica e latelate nell'area italiana », *Sibrium*, XI, p. 371-464.
- Cuomo di Caprio, N. (2007).** *Ceramica in archeologia 2 – Antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi di indagine*. Rome : "L'Erma" di Bretschneider. Studia archaeologica 144.
- Curchin, L. A. (1991).** *Roman Spain – Conquest and Assimilation*. Londres : Routledge.
- Curchin, L. A. (2004).** *The Romanization of Central Spain – Complexity, diversity and change in a provincia hinterland*. Londres : Routledge.
- Currás, A., Zamora, L., Reed, J., García-Soto, E., Ferrero, S., Armengol, X., Mezquita-Joanes, F., Marqués, M., Riera, S. et Julià, S. (2012).** « Climate change and human impact in central Spain during Roman times: High-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl) », *CATENA*, 89, p. 31-53. DOI : 10.1016/j.catena.2011.09.009.

- Deberge, Y., Cabezuelo, U., Cabanis, M., Foucras, S., Garcia, M., Gruel, K., Loughton, M., Blondel, F. et Caillat, P. (2009).** « L'oppidum arverne de Gondole (Le Cendre, Puy-de-Dôme). Topographie de l'occupation protohistorique (La Tène D2) et fouille du quartier artisanal : un premier bilan », *Revue archéologique du Centre de la France*, 48, p. 33-130.
- Deer, W. A., Howie, R. A. et Zussman, J. (1978).** *Single-Chain Silicates*, seconde édition. Londres : The Geological Society. Rock-Forming Minerals 2A.
- Deer, W. A., Howie, R. A. et Zussman, J. (1982).** *Orthosilicates*, seconde édition. Londres : The Geological Society. Rock-Forming Minerals 1A.
- Deer, W. A., Howie, R. A. et Zussman, J. (1986).** *Disilicates and Ring Silicates*, seconde édition. Londres : The Geological Society. Rock-Forming Minerals 1B.
- Defoe, D. (2012 [1719]).** *Robinson Crusoe*. Paris : Albin Michel. Traduction française de F. du Sorbier.
- Demoule, J.-P. (2012).** *On a retrouvé l'histoire de France : comment l'archéologie raconte notre passé*. Paris : Robert Laffont.
- Desbat, A. (2004).** « Les tours de potiers antiques ». In Feugère, M. et Gérold, J.-C. (dir.), *Le tournage des origines à l'an Mil*, Actes du colloque de Niederbronn (octobre 2003). Montagnac : Éditions Monique Mergoïl, p. 137-154. Monographies instrumentum 27.
- Dondi, M., Ercolani, G., Fabbri, B. et Marsigli, M. (1998).** « An approach to the chemistry of pyroxenes formed during the firing of Ca-rich silicate ceramics », *Clay Minerals*, 33, p. 443-452. DOI : 10.1180/000985598545741.
- Downs, R. T. (2006).** « The RRUFF Project: an integrated study of the chemistry, crystallography, Raman and infrared spectroscopy of minerals ». In 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (Kobe, Japon ; 23-28 juillet 2006).
- Duchaufour, P. (1997).** *Abrégé de pédologie*, cinquième édition. Paris : Masson.
- Dufaÿ, B. (2001).** « Le centre de production céramique de la Boissière-Ecole (Yvelines), espaces et fonctionnement : une logique concentrique ». In Laubenheimer, F. (dir.), *20 ans de recherches à Sallèles d'Aude*, Actes du colloque (Sallèles d'Aude ; 27-28 septembre 1996). Besançon : Presses Universitaires Franc-Comptoises, p. 211-228.
- Duhamel, P. (1978-1979).** « Morphologie et évolution des fours céramiques en Europe Occidentale – Protohistoire, monde celtique et Gaule romaine », *Acta Praehistorica et Archaeologica*, 9-10, p. 46-76.

- Duminuco, P., Messiga, B. et Riccardi, M. P. (1998).** « Firing process of natural clays. Some microtextures and related phase compositions », *Thermochimica Acta*, 321, p. 185-190. DOI : 10.1016/S0040-6031(98)00458-4.
- Echallier, J.-C. et Mery, S. (1992).** « L'évolution minéralogique et physico-chimique des pâtes calcaires au cours de la cuisson : expérimentation en laboratoire et application archéologique », *Documents et Travaux IGAL*, 16, p. 87-120.
- Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V., Mateu-Figueras, G. et Barceló-Vidal, C. (2003).** « Isometric Logratio Transformations for Compositional Data Analysis », *Mathematical Geology*, 35, p. 279-300. DOI : 10.1023/A:1023818214614.
- Elliot-Smith, G. (1916).** « The Influence of Ancient Egyptian Civilization in the East and in America », *Bulletin of the John Rylands Library*, 3, p. 48-77.
- Escavy, J. I., Herrero, M. J. et Arribas, M. E. (2012).** « Gypsum resources of Spain: temporal and spatial distribution », *Ore Geology Reviews*, 49, p. 72-84. DOI : 10.1016/j.oregeorev.2012.09.001.
- de Faria, D. L. A. et Lopes, F. N. (2007).** « Heated goethite and natural hematite: can Raman spectroscopy be used to differentiate them? », *Vibrational Spectroscopy*, 45, p. 117-121. DOI : 10.1016/j.vibspec.2007.07.003
- de Faria, D. L. A., Venâncio Silva, S. et de Oliveira, M. T. (1997).** « Raman microspectroscopy of some iron oxides and oxyhydroxides », *Journal of Raman Spectroscopy*, 28, p. 873-878. DOI : 10.1002/(SICI)1097-4555(199711)28:11<873::AID-JRS177>3.0.CO;2-B.
- Farnoux, A. (1995).** « Archéologie de la céramique minoenne et mycénienne », *Revue d'Archéologie Moderne et d'Archéologie Générale*, 15, p. 17-41.
- Filzmoser, P., Hron, K. et Reimann, C. (2009b).** « Principal Component Analysis for Compositional Data with Outliers », *Environmetrics*, 20, p. 621-632. DOI : 10.1002/env.966.
- Filzmoser, P., Hron, K. et Reimann, C. (2009a).** « Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and possibilities », *Science of the Total Environment*, 407, p. 6100-6108. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2009.08.008.
- Filzmoser, P., Hron, K., Reimann, C. et Garrett, R. (2009).** « Robust factor analysis for compositional data », *Computers & Geosciences*, 25, p. 1854-1861. DOI : 10.1016/j.cageo.2008.12.005.
- Fontaine, C. (2011).** *Protocoles de laboratoire pour l'analyse des argiles : extractions, dispersions, séparations, préparations, traitements*. Poitiers : HydrASA (FRE 3114 – CNRS, Université de Poitiers).

- Foster, G. M. (1965).** « The sociology of pottery: Questions and hypotheses arising from contemporary Mexican work ». In Matson, F. R. (dir.), *Ceramics and man*. Chicago : Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research..
- Foster, G. M. (1959a).** « The Coyotepec “Molde” and Some Associated Problems of the Potter’s Wheel », *Southwestern Journal of Anthropology*, 15, p. 53-63.
- Foster, G. M. (1959b).** « The Potter’s Wheel: An Analysis of Idea and Artifact in Invention », *Southwestern Journal of Anthropology*, 15, p. 99-119.
- Foucault, A. et Raoult, J.-F. (2010).** *Dictionnaire de géologie*, septième édition. Paris : Dunod.
- Foussard, J.-N., Julien, E. et Mathé, S. (2010).** *Thermodynamique : bases et applications*, deuxième édition. Paris : Dunod.
- Fox, J. et Weisberg, S. (2011).** *An R Companion to Applied Regression*, deuxième édition. Thousand Oaks, CA : Sage.
- Frèrebeau, N. (2010).** *Origine et provenance des matériaux en contexte archéologique : le cas de la céramique dite de Vassiliki dans la Crète de l’Âge du Bronze*. Mémoire de master inédit de l’Université Paris 4 Sorbonne.
- Frèrebeau, N. et Sacilotto, C. (à paraître).** « On some Iberian unfired pottery shards from the Late Iron Age (2nd c. BC) ». In Gorgues, A., Ambruster, B., Rebay-Salisbury, R. et Rebay-Salisbury, K. (dir.), *Material Chains: Bronze and Iron Age technologies of production in Europe*, 19th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists (Pilsen, République Tchèque ; 4-8 sept. 2013). Bordeaux : Éditions Ausonius.
- Gailledrat, E. (1997).** *Les Ibères de l’Ebre à l’Hérault (VIe-IIIe s. avant J.-C.)*. Lattes : Publications de l’UMR de 154 de Lattes.
- Galwey, A. K. et Brown, M. E. (dir.) (1999).** *Thermal decomposition of ionic solids*. Amsterdam : Elsevier. Studies in Physical and Theoretical Chemistry 86.
- Garcia-Castellanos, D., Vergés, J., Gaspar-Escribano, J. et Cloetingh, S. (2003).** « Interplay between tectonics, climate, and fluvial transport during the Cenozoic evolution of the Ebro Basin (NE Iberia) », *Journal of Geophysical Research*, 108, p. 1-18. DOI : 10.1029/2002JB002073.
- García-Ruiz, J. M. (2010).** « The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review », *CATENA*, 81, p. 1-11. DOI : 10.1016/j.catena.2010.01.001.
- Gibbons, W. et Moreno, T. (dir.) (2002).** *The geology of Spain*. Londres : The Geological Society.
- Glass, V. S. et Zelinka, S. L. (2010).** « Moisture Relations and Physical Properties of Wood ». In Forest Products Laboratory (dir.), *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material*. Madison,

- WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190.
- Godelier, M. (1965).** « Objet et méthodes de l'anthropologie économique », *L'Homme*, 5, p. 32-91.
DOI : 10.3406/hom.1965.366714.
- Godelier, M. (1977).** *Horizon, trajets marxistes en anthropologie, tome I*, deuxième édition. Paris : François Maspero.
- Godelier, M. (1991).** « Économique (système) ». In Bonte, P. et Izard, M. (dir.), *Dictionnaire de l'ethnologie et de l'anthropologie*. Paris : Presses Universitaires de France, p. 218-220.
- Golitko, M., Dudgeon, J. V., Neff, H. et Terrell, J. E. (2012).** « Identification of post-depositional chemical alteration of ceramics from the north coast of Papua New Guinea (Sanduan Province) by time-of-flight-laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (ToF-LA-ICP-MS) », *Archaeometry*, 54, p. 80-100. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2011.00612.x.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B. L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J. et Delgado-Huertas, A. (2008).** « Vegetation changes and hydrological fluctuations in the Central Ebro Basin (NE Spain) since the Late Glacial period: Saline lake records », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259, p. 157-181. DOI : 10.1016/j.palaeo.2007.10.005.
- Gorgues, A. (2013).** « La céramique tournée dans le domaine ibérique (VIe-Ier s. av. J.-C.). Une technologie sous influence ? ». *Mélanges de la Casa de Velasquez*, 43, p. 111-139.
- Gorgues, A. (2009).** « L'épigraphie dans l'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel) : la structure de la production à l'époque ibérique tardive (IIe-Ier s. AC) », *Palaeohispanica*, 9, p. 481-500.
- Gorgues, A. (2010).** *Economie et société dans le Nord-Est du domaine ibérique (IIIe-Ier s. av. J.-C.)*. Madrid : Instituto de Historia – Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Anejos de AEs-pA LII.
- Gorgues, A. et Benavente Serrano, J. A. (2012).** « Organisation du travail et technologie potière dans les ateliers ibériques tardifs du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel) : bilan provisoire des recherches (2005 – 2011) ». In Belarte, M. C., Benavente, J. A., Fatás, L., Diloli, J., Moret, P. et Noguera, J. (dir.), *Iberos del Ebro*, II Congreso internacional (Alcañiz – Tivissa ; 16-19 novembre 2011). Tarragone : Institut Català d'Arqueologia Clàssica, p. 273-290. Serie Documenta 25.
- Gorgues, A. et Benavente Serrano, J. A. (2007).** « Les ateliers de potiers de Foz-Calanda (Teruel, Espagne) aux IIe et Ier s. av. J.-C. », *Mélanges de la Casa de Velasquez*, 37, p. 295-312.

- Gorgues, A. et Benavente Serrano, J. A. (2008).** *L'atelier de potiers tardo-ibérique du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel)*. Rapport d'opération archéologique. Bordeaux : Université Bordeaux 3 Michel de Montaigne.
- Gorgues, A. et Benavente Serrano, J. A. (2009).** *L'atelier de potiers ibérique récent du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, IIe-Ier s. av. J.-C.)*. Rapport d'opération archéologique. Bordeaux : Université Bordeaux 3 Michel de Montaigne.
- Gorgues, A., Benavente Serrano, J. A. et Moret, P. (2007).** *L'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel) – Un atelier ibérique en Bas-Aragon (IIe-Ier s. av. J.-C.)*. Rapport d'opération archéologique. Bordeaux : Université Bordeaux 3 Michel de Montaigne.
- Gosselain, O. P. (1992).** « Bonfire of the enquiries. Pottery firing temperatures in archaeology: what for? », *Journal of Archaeological Science*, 19, p. 243-259. DOI : 10.1016/0305-4403(92)90014-T.
- Gosselain, O. P. (2002).** *Poteries du Cameroun méridional. Style techniques et rapports à l'identité*. Paris : CNRS Éditions.
- Gosselain, O. P. et Livingstone Smith, A. (1995).** « The ceramics and society project: An ethnographic and experimental approach to Technological choices ». In *KVHAA Konferenser*, (Stockholm ; 1995), p. 147-160.
- Gourdin, W. H. et Kingery, W. D. (1975).** « The beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster », *Journal of Field Archaeology*, 2, p. 133-150.
- Grapes, R. H. (2006).** *Pyrometamorphism*. Berlin : Springer.
- Gras, A. (2007).** *Le choix du feu : aux origines de la crise climatique*. Paris : Fayard.
- Gras, A. (2013).** *Les imaginaires de l'innovation technique. Regard anthropologique sur le passé dans la perspective d'un avenir incertain*. Paris : Éditions Manucius.
- Gravereau, P. (2012).** *Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres*. Bordeaux : ICMCB-CNRS.
- Guérin, P. (1986).** « Le problème de la diffusion des céramiques ibériques peintes dans le Sud de la Gaule au IIe et au Ier s. av. J.-C. L'exemple de Ruscino », *Revue archéologique de Narbonnaise*, 19, p. 31-55. DOI : 10.3406/ran.1986.1281.
- de Guillén-García, G.-J. (1899).** « Les Héléens ont-ils colonisé la Catalogne ? Acropole cyclopéenne de Tarragone ». In *Comptes rendus du IVe Congrès scientifique international (Fribourg, Suisse ; août 1897)*.
- Gutiérrez-Elorza, M. et Peña-Monne, J. L. (1998).** « Geomorphology and late Holocene climatic change in Northeast Spain », *Geomorphology*, 23, p. 205-217. DOI : 10.1016/S0169-555X(98)00004-X.

- Hall, F., Insley, H., Levin, E., McMurdie, H. et Robbins, C. (1964).** « General discussion of phase diagrams ». In Levin, E., Robbins, C. et McMurdie, H. (dir.), *Phase diagrams for ceramists*. ACerS, p. 5-36.
- Haudricourt, A.-G. (1987).** *La technologie, science humaine : recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques*. Paris : Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Heimann, R. B. (1982).** « Firing technologies and their possible assessment by modern analytical methods ». In Olin, J. S. et Franklin, A. D. (dir.), *Archaeological ceramics*, Seminar on ceramics as archaeological material (Washington, D.C., USA ; 29 sept.-1er oct. 1980). Washington, D.C. : Smithsonian Institution Press, p. 89-96.
- Heimann, R. B. (1989).** « Assessing the technology of ancient pottery: the use of ceramic phase diagrams », *Archaeomaterials*, 3, p. 123-148.
- Heimann, R. B. (2010).** *Classic and advanced ceramics*. Weinheim : Wiley-VCH.
- Herskovits, M., Redfield, R. et Linton, R. (1936).** « Memorandum for the study of acculturation », *American Anthropologist*, 38, p. 149-152.
- Higueras Arnal, A. (dir.) (1981).** *Geografia de Aragon – Tome I*. Saragosse : Guara editorial.
- Hoard, R. J., O'Brien, M. J., Ghazavy Khorasgany, M. et Gopalaratnam, V. S. (1995).** « A Material-science Approach to Understanding Limestone-tempered Pottery from the Midwestern United States », *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 823-832. DOI : 10.1016/0305-4403(95)90011-X.
- Houseman, J. E. et Koenig, C. J. (1971b).** « Influence of kiln atmospheres in firing structural clay products : I, Maturation and technological properties », *Journal of the American Ceramic Society*, 54, p. 75-82. DOI : 10.1111/j.1151-2916.1971.tb12223.x.
- Houseman, J. E. et Koenig, C. J. (1971a).** « Influence of kiln atmospheres in firing structural clay products: II, Color development and burnout », *Journal of the American Ceramic Society*, 54, p. 82-89. DOI : 10.1111/j.1151-2916.1971.tb12224.x.
- von Humboldt, W. (1821).** *der Untersuchungen über die Ueberwohner Hispaniens vermittelt der Vaskischen Sprache*. Berlin : Bei Ferdinand Dümmler.
- Husson, F., Josse, J., Le, S. et Mazet, J. (2013).** *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R*. R package version 1.25. Accès : <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>.
- Husson F., Lê, S. et Pagès, J. (2009).** *Analyse de données avec R*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes. Didact Statistique.

- ICDD (2004).** *PDF-2* [base de données]. International Centre for Diffraction Data. Kabekkodu, S. (éd.). Accès : www.icdd.com.
- IGME (1972).** *Tortosa*. Mapa de rocas industriales escala 1:200.000, n°41. Madrid : Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1974).** *Calanda*. Mapa geológico de España escala 1:50.000, n°494. Madrid : Instituto Geológico y Minero de España.
- Johnson, J. S., Clark, J., Miller-Antonio, S., Robins, D., Schiffer, M. B. et Skibo, J. M. (1988).** « Effects of firing temperature on the fate of naturally occurring organic matter in clays », *Journal of Archaeological Science*, 15, p. 403-414. DOI : 10.1016/0305-4403(88)90038-6.
- Jones, A., Montanarella, L. et Jones, R. (dir.) (2005).** *Soil atlas of Europe*. Luxembourg : European Commission, Office for Official Publications of the European Communities.
- Jones, R. E. (1984).** « Greek potters clay: questions of selection, availability and adaptation ». In *Ancient greek and related pottery*, International vase symposium (Amsterdam ; 12-15 avril 1984). Amsterdam : Allan Pierson Museum, p. 21-30. Allan Pierson series: studies in ancient civilization 5.
- Kaenel, G., Paunier, D., Maggetti, M. et Galetti, G. (1982).** « Les ateliers de céramique gallo-romaine de Lousanna (Lausanne-Vidy VD) : analyses archéologiques, minéralogiques et chimiques », *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urund Frühgeschichte*, 65, p. 93-132. DOI : 10.5169/seals-116530.
- Keitt, T. (2012).** *colorRamps: Builds color tables*. R package version 2.3. Accès : <http://CRAN.R-project.org/package=colorRamps>.
- Kilikoglou, V., Vekinis, G. et Maniatis, Y. (1995).** « Toughning of ceramic earthenearth by quartz inclusions: an ancient art revisited », *Acta Metallurgica et Materialia*, 43, p. 2959-2965. DOI : 10.1016/0956-7151(95)00006-H.
- Kilikoglou, V., Vekinis, G., Maniatis, Y. et Day, P. M. (1998).** « Mechanical performance of quartz-tempered ceramics: Part I, strength and toughness », *Archaeometry*, 40, p. 261-279. DOI : 10.1111/j.1475-4754.1998.tb00837.x.
- Kreimeyer, R. (1987).** « Some notes on the firing colour of clay bricks », *Applied Clay Science*, 2, p. 175-183. DOI : 10.1016/0169-1317(87)90007-X.
- Kretz, R. (1983).** « Symbols for rock-forming minerals », *American Mineralogist*, 68, p. 277-279.
- Laetsch, T. et Downs, R. T. (2006).** « Software For Identification and Refinement of Cell Parameters From Powder Diffraction Data of Minerals Using the RRUFF Project and American Mineralogist Crystal Structure Databases ». In 19th General Meeting of the International Mineralogical Association (Kobe, Japon ; 23-28 juillet 2006).

- Lagneau, G. (1867).** « Sur l'ethnologie des peuples ibériens », *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, 2, p. 146-161.
- Lantier, R. (1917).** « Pedro Bosch Gimpera. El Problema de la Ceramica Iberica. Comision de Investigaciones paleontologicas y prehistoricas. Memoria, n° 7 », *Journal des savants*, 15, p. 183-185.
- Laubenheimer, F. et Gisbert Santonja, J. A. (2001).** « La standardisation des amphores Gaulois 4, des ateliers de Narbonnaise à la production de Denia (Espagne) ». In Laubenheimer, F. (dir.), *20 ans de recherches à Sallèles d'Aude*, Actes du colloque (Sallèles d'Aude ; 27-28 septembre 1996). Besançon : Presses Universitaires Franc-Comptoises, p. 33-50.
- Le Meaux, H. (2004).** « L'ensemble céramique de la pièce singulière du poblado ibérique de Cabezo de la Guardia (Alcoriza, Teruel) ». In Olmos Romera, R. et Rouillard, P. (dir.), *La vajilla Ibérica en época helenística (siglos IV-III al cambio de era)*. Madrid : Casa de Velázquez, p. 153-149. Collection de la Casa de Velázquez 89.
- Le Roux, P. (2010).** *La Péninsule ibérique aux époques romaines (fin du IIIe s. av. n. è. – début du VIe s. de n. è.)*. Paris : Armand Colin. Collection U.
- Leach, B. (2003 [1940]).** *Le livre du potier*, deuxième édition (traduction révisée). Éditions La Revue de la céramique et du verre.
- Legodi, M. A. et de Waal, D. (2007).** « The preparation of magnetite, goethite, hematite and maghemite of pigment quality from mill scale iron waste », *Dyes and Pigments*, 74, p. 161-168. DOI : 10.1016/j.dyepig.2006.01.038.
- Lemonnier, P. (1976).** « La description des chaînes opératoires : contribution à l'analyse des systèmes techniques », *Techniques & Culture*, 1, p. 100-151.
- Lemonnier, P. (1983b).** « A Propos de Bertrand Gille : la notion de "système technique" », *L'Homme*, 23, p. 109-115. DOI : 10.3406/hom.1983.368375.
- Lemonnier, P. (1983a).** « L'étude des systèmes techniques. Une urgence en technologie culturelle », *Techniques & culture*, 1, p. 11-26.
- Lemonnier, P. (1993).** « Introduction ». In Lemonnier, P. (dir.), *Technological choices: Transformation in material cultures since the Neolithic*. Londres : Routledge, p. 1-35.
- Leon, Y., Lofrumento, C., Zoppi, A., Carles, R., Castelluccic, E. M. et Sciau, P. (2010).** « Micro-Raman investigation of terra sigillata slips: a comparative study of central Italian and southern Gaul productions », *Journal of Raman Spectroscopy*, 41, p. 1550-1555. DOI : 10.1002/jrs.2678.
- Leroi-Gourhan, A. (1964).** *Le geste et la parole. I – Technique et Langage*. Paris : Albin Michel.

- Leroi-Gourhan, A. (1965).** *Le geste et la parole. II – La mémoire et les rythmes*. Paris : Albin Michel.
- Letsch, J. et Noll, W. (1978).** « Material und Herstellung antiker C-Schwarz-Keramik, Teil I », *Be-richte der Deutschen Keramische Gesellschaft*, 55, p. 163-192.
- Letsch, J. et Noll, W. (1983).** « Phase formation in several ceramics subsystems at 600 °C – 1000 °C as a function of oxygen fugacity », *cfi/Ber. DKG*, 7, p. 259-267.
- Levi Strauss, C. (1985).** *La potière jalouse*. Paris : Plon.
- Livingstone Smith, A. (2000).** « Processing clays for pottery in northern Cameroon: social and technical requirements », *Archaeometry*, 42, p. 21-42. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2000.tb00864.x.
- Livingstone Smith, A. (2001b).** « Bonfire II: the return of pottery firing temperatures », *Journal of Archaeological Science*, 28, p. 991-1003. DOI : 10.1006/jasc.2001.0713.
- Livingstone Smith, A. (2001a).** *Chaîne opératoire de la poterie. Références ethnographiques, analyses et reconstitution*. Thèse de doctorat inédite de l'Université Libre de Bruxelles.
- Livingstone Smith, A. (2010).** « Reconstitution de la chaîne opératoire de la poterie : Bilan et perspective en Afrique sub-saharienne », *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 119, p. 9-12.
- London, G. (1981).** « Dung-Tempered Clay », *Journal of Field Archaeology*, 8, p. 189-195. DOI : 10.2307/529413.
- López-Sáez, J. A., Abel-Schaad, D., Pérez-Díaz, S., Blanco-González, A., Alba-Sánchez, F., Dorado, M., Ruiz-Zapata, B., Gil-García, M. J., Gómez-González, C. et Franco-Múgica, F. (2014).** « Vegetation history, climate and human impact in the Spanish Central System over the last 9000 years », *Quaternary International*, 353, p. 98-122. DOI : 10.1016/j.quaint.2013.06.034.
- Maggetti, M. (1982).** « Phase analysis and its significance for technology and origin ». In Olin, J. S. et Franklin, A. D. (dir.), *Archaeological ceramics*, Seminar on ceramics as archaeological material (Washington, D.C., USA ; 29 sept.-1er oct. 1980). Washington, D.C. : Smithsonian Institution Press, p. 121-133.
- Maggetti, M. (1986).** « Majolika aus Mexiko – ein archäometrische Fallbeispiel », *Fortschritte der Mineralogie*, 64, p. 87-103.
- Maggetti, M., Neururer, C. et Ramseyer, D. (2011).** « Temperature evolution inside a pot during experimental surface (bonfire) firing », *Applied Clay Science*, 53, p. 500-508. DOI : 10.1016/j.clay.2010.09.013.

- Mangueira, G., Toledo, R., Teixeira, S. et Franco, R. W. A. (2011).** « A study of the firing temperature of archeological pottery by X-ray diffraction and electron paramagnetic resonance », *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 72, p. 90-96. DOI : 10.1016/j.jpics.2010.11.005.
- Maniatis, Y. (2009).** « The emergence of ceramic technology and its evolution as revealed with the use of scientific techniques ». In Shortland, A. J., Freestone, I. C. et Rehren, T. (dir.), *From mine to microscope: advances in the study of ancient technology*. Oxford : Oxbow Books, p. 11-28.
- Maniatis, Y., Simopoulos, A. et Kostikas, A. (1983).** « Effect of reducing atmosphere on mineral and iron oxides developed in fired clays: the role of Ca », *Journal of the American Ceramic Society*, 66, p. 773-781. DOI : 10.1111/j.1151-2916.1983.tb10561.x.
- Maniatis, Y. et Tite, M. S. (1981).** « Technological Examination of Neolithic-Bronze Age Pottery from Central and Southeast Europe and from the Near East », *Journal of Archaeological Science*, 8, p. 59-76. DOI : 10.1016/0305-4403(81)90012-1.
- Marcotte, D. (2006).** « De l'Ibérie à la Celtique : géographie et chronographie du monde occidental avant Polybe ». In Cruz Andreotti, G., Le Roux, P. et Moret, P. (dir.), *La invención de una geografía de la Península Ibérica. I. La época republicana*, Actas del Coloquio Internacional celebrado en la Casa de Velázquez de Madrid (Madrid ; 3-4 mars 2005). Málaga-Madrid : Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga & Casa de Velázquez, p. 31-38.
- Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A. et Russo, U. (2006).** « Influence of firing conditions on ceramic products: experimental study on clay rich in organic matter », *Applied Clay Science*, 31, p. 1-15. DOI : 10.1016/j.clay.2005.08.007.
- Marshall, C. P. et Marshall, A. O. (2011).** « Hematite and carbonaceous materials in geological samples: a cautionary tale », *Spectrochimica Acta*, 80, p. 133-137. DOI : 10.1016/j.saa.2011.03.006.
- Martín Ruiz, J. A. (2004).** *Los Fenicios en Andalucía*. Séville : Junta de Andalucía, Consejería de Cultura.
- Mata, C. et Bonet, H. (1992).** « La cerámica ibérica ensayo de tipología ». In Servicio de Investigación Prehistórica, D. P. d. V. (dir.), *Estudios de arqueología ibérica y romana : homenaje a Enrique Pla Ballester*. Valence : Diputación Provincial de Valencia, p. 117-173. Serie de Trabajos Varios 89.
- Mélida, J. R. (1883).** « Las antigüedades de la exposición de minería », *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, IX, p. 354-358, 386-398.
- Meunier, A. (2002).** *Argiles*. Paris : GB Science Publisher.
- Mirti, P. et Davit, P. (2004).** « New developments in the study of ancient pottery by colour measurement », *Journal of Archaeological Science*, 31, p. 741-751. DOI : 10.1016/j.jas.2003.11.006.

- Molera, J., Pradell, T. et Vendrell-Saz, M. (1998).** « The colours of Ca-rich ceramic pastes: origin and characterization », *Applied Clay Science*, 13, p. 187-202. DOI : 10.1016/S0169-1317(98)00024-6.
- Moore, D. M. et Reynolds, R. C. J. (1989).** *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford : Oxford University Press.
- Moret, P. (2002a).** « Maisons phéniciennes, grecques et indigènes : dynamiques croisées en Méditerranée occidentale (de l'Hérault au Segura) », *PALLAS*, 58, p. 329-356.
- Moret, P. (2002b).** « Reflexiones sobre el período ibérico pleno (siglos V a III a.C.) en el Bajo Aragón y zonas vecinas del curso inferior del Ebro ». In *Ibers a l'Ebre. Recerca i interpretació*, I Jornades d'Arqueologia de Tivissa (Tivissa ; 23-24 novembre 2001), p. 111-136. Ilercavònia 3.
- Moret, P. (2005).** « Ibérisation archéologique, ibérisation linguistique : le cas du Bas Aragon », *Palaeohispanica*, 5, p. 273-294.
- Moret, P. (2005-2006).** « La época ibérica en El Palao (Alcañiz, Teruel) », *KALATHOS*, 24-25, p. 155-175.
- Moret, P. (2006).** « La formation d'une toponymie et d'une ethnonymie grecque de l'Ibérie : étapes et acteurs ». In Cruz Andreotti, G., Le Roux, P. et Moret, P. (dir.), *La invención de una geografía de la Península Ibérica. I. La época republicana*, Actas del Coloquio Internacional celebrado en la Casa de Velázquez de Madrid (Madrid ; 3-4 mars 2005). Málaga-Madrid : Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga & Casa de Velázquez, p. 39-76.
- Moret, P., Benavente Serrano, J. A. et Gorgues, A. (2006).** *Iberos del Matarraña. Investigaciones arqueológicas en Valdelortmo, Calaceite, Cretas y La Fresneda (Teruel)*. Alcañiz : Taller de arqueología de Alcañiz y Casa de Velázquez. Āl-Qanniš, boletín del taller de arqueología de Alcañiz 11.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. et Gottardi, G. (1989).** « Nomenclature of pyroxenes », *Canadian Mineralogist*, 27, p. 143-156.
- Müller, N. S., Kilikoglou, V., Day, P. M. et Vekinis, G. (2010).** « The influence of temper shape on the mechanical properties of archaeological ceramics », *Journal of the European Ceramic Society*, 30, p. 2457-2465. DOI : 10.1016/j.jeurceramsoc.2010.04.039.
- Munsell Color (2009).** *Munsell soil color book*, édition révisée. Grand Rapids, MI :.
- Murad, E. et Wagner, U. (1996).** « The Thermal Behaviour of an Fe-rich Illite », *Clay Minerals*, 31, p. 45-52.

- Mysen, B. O., Virgo, D., Neumann, E.-R. et Seifert, F. A. (1985a).** « Redox equilibria and the structural states of ferric and ferrous iron in melts in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Fe-O: relationships between redox equilibria, melt structure and liquidus phase equilibria », *American Mineralogist*, 70, p. 317-331.
- Mysen, B. O., Virgo, D., Scarfe, C. M. et Cronin, D. J. (1985b).** « Viscosity and structure of iron- and aluminium-bearing calcium silicate melts at 1 atm », *American Mineralogist*, 70, p. 487-498.
- Neff, H., Cogswell, J. W. et Ross, L. M. J. (2003).** « Supplementing Bulk Chemistry in Archaeological Ceramic Provenance Investigations ». In van Zelst, L. (dir.), *Patterns and process: a Festschrift in honor of Dr. Edward V. Sayre*. Suitland, MD : Smithsonian Center for Materials Research and Education, p. 201-224.
- Nicholson, P. T. et Patterson, H. L. (1985).** « Pottery Making in Upper Egypt: An Ethnoarchaeological Study », *World Archaeology*, 17, p. 222-239. DOI : 10.1080/00438243.1985.9979964.
- Nicholson, P. T. et Patterson, H. L. (1989).** « Ceramic technology in Upper Egypt: a study of pottery firing », *World Archaeology*, 21, p. 71-86. DOI : 10.1080/00438243.1989.9980091.
- Nicklin, K. (1971).** « Stability and Innovation in Pottery Manufacture », *World Archaeology*, 3, p. 13-48. DOI : 10.1080/00438243.1971.9979490.
- Noble, J. V. (1988).** *The techniques of painted Attic pottery*, édition revue et augmentée. Londres : Thames and Hudson.
- Nodari, L., Marcuz, E., Maritan, L., Mazzoli, C. et Russo, U. (2007).** « Hematite nucleation and growth in the firing of carbonate-rich clay for pottery production », *Journal of the European Ceramic Society*, 27, p. 4665-4673. DOI : 10.1016/j.jeurceramsoc.2007.03.031.
- Nodari, L., Maritan, L., Mazzoli, C. et Russo, U. (2004).** « Sandwich structures in the Etruscan-Padan type pottery », *Applied Clay Science*, 27, p. 119-128. DOI : 10.1016/j.clay.2004.03.003.
- Noll, W. (1991).** *Alte KeKeramik und ihre Pigmente*. Stuttgart : E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Nöller, R. et Knoll, H. (1985).** « Diopside (CaMgSi₂O₆) as a host lattice for Fe-O », *Crystal Lattice Defects and Amorphous Materials*, 11, p. 159-163.
- Norton, F. H. et Hodgdon, F. B. (1931).** « The influence of time on the maturing temperature of whiteware bodies. I. », *Journal of the American Ceramic Society*, 14, p. 177-191. DOI : 10.1111/j.1151-2916.1931.tb16930.x.

- Oh, S. J., Cook, D. C. et Townsend, H. E. (1998).** « Characterisation of iron oxides commonly formed as corrosion products on steel », *Hyperfine Interactions*, 112, p. 59-66. DOI : 10.1023/A:1011076308501.
- Olmos, R. (1997).** « L'invention de la culture ibérique ». In Aranegui Gascó, C., Mohen, J.-P., Rouillard, P. et Éluère, C. (dir.), *Les Ibères*. Paris : AFAA, p. 59-65. Catalogue de l'exposition tenue aux Galeries nationales du Grand Palais (Paris ; 15 octobre 1997 – 5 janvier 1998).
- Overstreet, W. C. (1967).** *The Geologic Occurrence of Monazite*. Washington, D.C. : United States Government Printing Office. Geological Survey Professional Paper 530.
- Paris, P. (1904).** *Essai sur l'art et l'industrie de l'Espagne primitive – Tome second*. Paris : Ernest Leroux.
- Paris, P. (1907).** « Note sur la céramique pseudo-mycénienne. Réponse à l'article de M. Louis Siret "A propos de poteries pseudo-mycénienne" », *L'Anthropologie*, XVIII, p. 626-632.
- Pastor, L. (2010).** *Les ateliers de potiers de la Meuse au Rhin à La Tène Finale et durant l'époque gallo-romaine (volume I)*. Thèse de doctorat inédite de l'Université de Strasbourg.
- Pauling, L. (1932).** « The nature of the chemical bond. IV. The energy of the single bonds and the relative electronegativity of atoms », *Journal of the American Chemical Society*, 54, p. 3570-3582. DOI : 10.1021/ja01348a011.
- Pawlowsky-Glahn, V. et Egozcue, J. J. (2001).** « Geometric approach to statistical analysis on the simplex », *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 15, p. 384-398. DOI : 10.1007/s004770100077.
- Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J. J. et Tolosana-Delgado, R. (2007).** *Lecture Notes on Compositional Data Analysis* [en ligne]. Accès : <http://www.sediment.uni-goettingen.de/staff/tolosana/extra/CoDa.pdf> (dernière mise à jour : avril 2007).
- Peña, J. T. et McCallum, M. (2009).** « The Production and Distribution of Pottery at Pompeii: A Review of the Evidence; Part 1, Production », *American Journal of Archaeology*, 113, p. 57-79. DOI : 10.3764/aja.113.1.57 .
- Pennequin, M. (2003).** « Problèmes méthodologiques : le risque opérationnel », *Revue d'économie financière*, 73, p. 265-277.
- Perrot, G. et Chipiez, C. (1894).** *Histoire de l'art dans l'antiquité : Phénicie, Égypte, Assyrie, Judée, Asie Mineure, Perse, Grèce. Tome VI : La Grèce primitive, l'art mycénien*. Paris : Librairie Hachette et Cie.
- Peters, T. et Iberg, R. (1978).** « Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays », *Ceramic Bulletin*, 57, p. 503-509.

- Petit-Dominguez, M. D., Garcia-Giménez, R. et Rucandio, M. I. (2003).** « Chemical characterization of Iberian amphorae and tannin determination as indicative of amphora contents », *Microchimica Acta*, 141, p. 63-68. DOI : 10.1007/s00604-002-0930-8.
- Picon, M. (2002).** « Les modes de cuisson, les pâtes et les vernis de la Graufesenque : une mise au point ». In Genin, M. et Vernhet, A. (dir.), *Céramiques de la Graufesenque et autres productions d'époque romaine. Nouvelles recherches. Hommages à Bettina Hoffman*. Montagnac : Éditions Monique Mergoïl, p. 139-164. Archéologie et Histoire romaine 7.
- Picon, M. (1976).** « Remarques préliminaires sur deux types d'altération de la composition chimique des céramiques au cours du temps », *Figlima*, 1, p. 159-166.
- Picon, M. (1985).** « Un exemple de pollution aux dimensions kilométriques : la fixation du baryum par les céramiques », *Revue d'Archéométrie*, 9, p. 27-29.
- Picon, M. (1991).** « Quelques observations complémentaires sur les altérations de composition des céramiques au cours du temps : cas de quelques alcalins et alcalino-terreux », *Revue d'Archéométrie*, 15, p. 117-122.
- Pina Polo, F. (2000).** « Las fuentes de información ». In Beltrán Lloris, F., Martín-Bueno, M. et Pina Polo, F. (dir.), *Roma en la Cuenca Media del Ebro. La Romanización en Aragón*. Saragosse : Caja de Ahorros de la Inmaculada de Aragón, p. 167-173. Colección « Mariano de Pano y Ruata » 19.
- Plácido, D. (1997).** « Les Ibères dans les textes anciens ». In Aranegui Gascó, C., Mohen, J.-P., Rouillard, P. et Éluère, C. (dir.), *Les Ibères*. Paris : AFAA, p. 51-58. Catalogue de l'exposition tenue aux Galeries nationales du Grand Palais (Paris ; 15 octobre 1997 – 5 janvier 1998).
- Poppe, L., Paskevich, V., Hathaway, J. et Blackwood, D. (2001).** *A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction* [en ligne]. U. S. Geological Survey. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041. Accès : <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-041/index.htm> (dernière mise à jour : oct. 2001).
- Pottier, E. (1918).** « Le problème de la céramique ibérique », *Le journal des savants*, 16, p. 281-294.
- R Core Team (2013).** *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienne : R Foundation for Statistical Computing. Accès : <http://www.R-project.org>.
- Rasmussen, K. M., de La Fuente, G. A., Bond, A. D., Mathiesen, K. K. et Vera, S. D. (2012).** « Pottery firing temperatures: a new method for determining the firing temperature of ceramics and burnt clay », *Journal of Archaeological Science*, 39, p. 1705-1716. DOI : 10.1016/j.jas.2012.01.008.
- Rathossi, C. et Pontikes, Y. (2010).** « Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure

- and colour », *Journal of the European Ceramic Society*, 30, p. 1841-1851. DOI : 10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.002.
- Rathossi, C., Pontikes, Y. et Tsolis-Katagas, P. (2010).** « Mineralogical differences between ancient sherds and experimental ceramics: indices for firing conditions and post-burial alteration », *Bulletin of the Geological Society of Greece*, XLIII, p. 856-865.
- Ribas i Bertran, M. (1983).** « Un taller d'àmfores a Mataró », *Pyrenae*, 19-20, p. 281-285.
- Riccardi, M., Messiga, B. et Duminuco, P. (1999).** « An approach to the dynamics of clay firing », *Applied Clay Science*, 15, p. 393-409. DOI : 10.1016/S0169-1317(99)00032-0.
- Rice, P. M. (1992).** « Specialization, Standardization, and Diversity: A Retrospective ». In Bishop, R. L. et Lange, F. W. (dir.), *The Ceramic Legacy of Anna O. Shepard*. Niwot, CO : University Press of Colorado, p. 257-279.
- Richer de Forges, A., Feller, C., Jamagne, M. et Arrouays, D. (2008).** « Perdus dans le triangle des textures », *Étude et Gestion des Sols*, 15, p. 97-111.
- Robie, R. A. et Hemingway, B. S. (1995).** *Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar (10^5 Pascals) pressure and at higher temperatures*. Washington, D.C. : United States Government Printing Office. U.S. Geological Survey Bulletin 2131.
- Rocobois, P., Pontoire, J. N., Lehmann, J. et Gaye, H. (2001).** « Crystallization kinetics of Al₂O₃-CaO-SiO₂ based oxide inclusions », *Journal of Non-Crystalline Solids*, 282, p. 98-109. DOI : 10.1016/S0022-3093(01)00332-5
- Roux, V. et Corbetta, D. (1989).** *The Potter's Wheel: Craft Specialization and Technical Competence*. Oxford : Oxford & IBH Publishing CO. PVT. LTD..
- RRUFF Project (2006).** *Database of Raman spectroscopy, X-ray diffraction and chemistry of minerals* [base de données en ligne]. Department of Geosciences, University of Arizona. Accès : <http://rruff.info> (référence du 6 décembre 2013).
- Ruiz, A. et Molinos, M. (1998).** *The Archaeology of the Iberian*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Ruiz, A., Sánchez, A. et Pedro Bellón, J. (2003).** « Aventuras y desventuras de los Iberos durante el franquismo ». In Wulff Alonso, F. et Álvarez Martí-Aquilar, M. (dir.), *Antigüedad y franquismo (1936-1975)*. Málaga : Servicio de publicaciones, Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, p. 161-188.
- Rye, O. S. (1976).** « Keeping Your Temper under Control: Materials and the Manufacture of Papuan Pottery », *Archaeology & Physical Anthropology in Oceania*, 11, p. 106-137.

- Rye, O. S. (1981).** *Pottery technology: principles and reconstruction*. Taraxacum. Manuals on archaeology 4.
- Sacilotto, C. (2011).** *De l'argile à la terre cuite, le traitement des productions sur un atelier de poteries ibériques à la fin de l'Age du Fer. Étude de l'atelier de potiers du Mas de Moreno (Foz-Calanda, Teruel, Espagne) des IIe et Ier siècles a.C.*. Mémoire de master inédit de l'Université Bordeaux 3 Michel de Montaigne.
- Sanchez-Navas, A. (1999).** « Sequential kinetics of a muscovite-out reaction: a natural example », *American Mineralogist*, 84, p. 1270-1286.
- Sanderson, D. C. W. et Spencer, J. Q. G. (2012).** « Decline in firing technology or poorer fuel resources? High-temperature thermoluminescence (HTTL) archaeothermometry of Neolithic ceramics from Pool, Sanday, Orkney », *Journal of Archaeological Science*, 39, p. 3542-3552. DOI : 10.1016/j.jas.2012.05.036
- Schultz, L. G. (1969).** « Lithium and potassium absorption, dehydroxylation temperature, and structural water content of aluminous smectites », *Clays and Clay Minerals*, 17, p. 115-149.
- Schwedt, A. et Mommsen, H. (2007).** « On the influence of drying and firing of clay on the formation of trace element concentration profiles within pottery », *Archaeometry*, 49, p. 495-509. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2007.00316.x.
- Schwedt, A., Mommsen, H. et Zacharias, N. (2004).** « Post-depositional elemental alterations in pottery: neutron activation analyses of surface and core samples », *Archaeometry*, 46, p. 85-101. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2004.00145.x.
- Schwedt, A., Mommsen, H., Zacharias, N. et Garrigós, J. B. (2006).** « Analcime crystallization and compositional profiles – Comparing approaches to detect post-depositional alterations in archaeological pottery », *Archaeometry*, 48, p. 237-251. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2006.00254.x.
- Secco, M., Maritan, L., Mazzoli, C., Lampronti, G. I., Zorzi, F., Nodari, L., Russo, U. et Mattioli, S. P. (2011).** « Alteration processes of pottery in lagoon-like environments », *Archaeometry*, 53, p. 809-829. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2010.00571.x
- Sedmale, G., Sperberga, I., Sedmalis, U. et Valancius, Z. (2006).** « Formation of high-temperature crystalline phases in ceramic from illite clay and dolomite », *Journal of the European Ceramic Society*, 26, p. 3351-3355. DOI : 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.10.01.
- Shapiro, S. S. et Wilk, M. B. (1965).** « An analysis of variance test for normality (complete samples) », *Biometrika*, 52, p. 591-611. DOI : 10.1093/biomet/52.3-4.591.

- Sheehy, J. J. (1988).** « Ceramic ecology and the clay/fuel ratio: modeling fuel consumption in Tlajinga 33, Teotihuacan, Mexico ». In Kolb, C. C. (dir.), *Ceramic ecology revisited, 1987: the technology and socioeconomics of pottery*. Oxford : Archaeopress, p. 199-226. BAR International Series 436.
- Shepard, A. O. (1936).** « The Technology of Pecos Pottery ». In Kidder, A. V. et Shepard, A. O. (dir.), *The Pottery of Pecos, Volume II*. New Haven : Yale University Press, p. 389-587. Papers of the Southwestern Expedition 7.
- Shepard, A. O. (1977).** « Beginnings of Ceramic Industrialization: An Example from the Oaxaca Valley ». In Shepard, A. O., Gottlieb, H. B., Andrews, E. W. et Pollok, H. E. D. (dir.), *Notes from a Ceramic Laboratory*. Washington, D.C. : Carnegie Institution of Washington, p. 1-24.
- Shepard, A. O. (1956).** *Ceramics for the archaeologist*. Washington, D.C. : Carnegie Institution of Washington.
- Shoval, S. (2003).** « Using FT-IR spectroscopy for study of calcareous ancient ceramics », *Optical Materials*, 24, p. 117-122. DOI : 10.1016/S0925-3467(03)00114-9
- Sigaut, F. (1987).** « Préface ». In Haudricourt, A.-G. (dir.), *La technologie, science humaine : recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques*. Paris : Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, p. 9-34.
- Sigaut, F. (1991).** « Un couteau ne sert pas à couper, mais en coupant. Structure, fonctionnement et fonction dans l'analyse des objets ». In *25 ans d'études technologiques en préhistoire*, XIe Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Juan-les-Pins : Éditions APDCA, p. 21-34.
- Siivola J et Schmid, R. (2007).** *A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 12. List of mineral abbreviations* [en ligne]. IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. Accès : http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf (dernière mise à jour : fév. 2007).
- Sillanpää, M. (1979).** *Trace elements in soils and agriculture*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Soils Bulletin 17.
- Siret, L. (1907).** « A propos de poteries pseudo-mycénienne », *L'Anthropologie*, XVIII, p. 277-299.
- Siret, L. (1908).** « Nouvelle note sur la céramique ibérique. Réponse de M. Siret aux observations de M. Paris », *L'Anthropologie*, XIX, p. 88-91.
- Siret, L. (1908).** « Origine de la Civilisation néolithique (Turdétans et Égéens) ». In *Communications et discussions. Deuxième partie : questions générales (suite et fin)*, XIIIe congrès international d'anthropologie et d'archéologie préhistoriques : compte rendu de la treizième session (Monaco ; 1906). Monaco : Imprimerie de Monaco, p. 5-31.

- Sokolář, R., Vodová, L., Grygarová, S., Štubňa, I. et Šín, P. (2012).** « Mechanical properties of ceramic bodies based on calcite waste », *Ceramics International*, 38, p. 6607-6612. DOI : 10.1016/j.ceramint.2012.05.046.
- Swan, V. G. (1984).** *The Pottery Kilns of Roman Britain*. Londres : Royal Commission on Historical Monuments. Supplementary Series 5.
- Tarradell, M. et Sanmarti, E. (1980).** « L'état actuel des études sur la céramique ibérique ». In Lévêque, P. et Morel, J.-P. (dir.), *Céramiques hellénistiques et romaines*. Paris : Les Belles Lettres, p. 303-330. Annales Littéraires de l'Université de Besançon 242.
- Tite, M. S. (1969).** « Determination of the firing temperature of ancient ceramics by measurement of thermal expansion: a reassessment », *Archaeometry*, 11, p. 131-143. DOI : 10.1111/j.1475-4754.1969.tb00636.x.
- Tite, M. S. (1995).** « Firing temperature determinations – How and why? ». In Lindahl, A. et Stilborg, O. (dir.), *The aim of laboratory analyses of ceramics in archaeology*, KVHAA Konferenser 34 (Lund, Suède ; 7-9 avril 1995). Stockholm : Kungl. Vitterhets Historie och Antikivitetens Akademien, p. 37-42.
- Tite, M. S. (1999).** « Pottery production, distribution, and consumption: the contribution of the physical sciences », *Journal of Archaeological Method and Theory*, 6, p. 181-233. DOI : 10.1023/A:1021947302609.
- Tite, M. S., Kilikoglou, V. et Vekinis, G. (2001).** « Strength, toughness and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice », *Archaeometry*, 43, p. 301-324. DOI : 10.1111/1475-4754.00019.
- Tite, M. S. et Maniatis, Y. (1975).** « Examination of ancient pottery using the scanning electron microscope », *Nature*, 257, p. 122-123. DOI : 10.1038/257122a0.
- Trésor de la Langue Française informatisé.** [en ligne]. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRS – atilf), 2012. Accès : <http://www.cnrtl.fr> (dernière consultation : fév. 2014).
- Traoré, K., Kabré, T. S. et Blanchart, P. (2000).** « Low temperature sintering of a pottery clay from Burkina Faso », *Applied Clay Science*, 17, p. 279-292. DOI : 10.1016/S0169-1317(00)00020-X.
- Traoré, K., Kabré, T. S. et Blanchart, P. (2003).** « Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix », *Ceramics International*, 29, p. 377-383. DOI : 10.1016/S0272-8842(02)00148-7.
- Treiman, A. H. et Essene, E. J. (1983).** « Phase equilibria in the system CaO-SiO₂-CO₂ », *American Journal of Science*, 283-A, p. 97-120.

- Trindade, M. J., Dias, M. I. et Rocha, F. (2009).** « Mineralogical transformations of calcareous rich clays with firing: a comparative study between calcite and dolomite rich clays from Algarve, Portugal », *Applied Clay Science*, 42, p. 345-355. DOI : 10.1016/j.clay.2008.02.008.
- Tsuchiyama, A. (1983).** « Crystallization kinetics in the system $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: the delay in nucleation of diopside and anorthite », *American Mineralogist*, 68, p. 687-698.
- Tukey, J. (1977).** *Exploratory data analysis*. Reading, MA : Addison-Wesley.
- Tunesi, S., Poggi, V. et Gessa, C. (1999).** « Phosphate adsorption and precipitation in calcareous soils: the role of calcium ions in solution and carbonate minerals », *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 53, p. 219-227. DOI : 10.1023/A:1009709005147.
- Valanciene, V., Siauciuonas, R. et Baltusnikaite, J. (2010).** « The influence of mineralogical composition on the colour of clay body », *Journal of the European Ceramic Society*, 30, p. 1609-1617. DOI : 10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.017.
- Van Geel, B., Buurman, J. et Waterbolk, H. T. (1996).** « Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP », *Journal of Quaternary Science*, 11, p. 451-460. DOI : 10.1002/(SICI)1099-1417(199611/12)11:6<451::AID-JQS275>3.0.CO;2-9.
- Vandenbergh, R. E. (1991).** *Mössbauer spectroscopy and applications in Geology*. Gent : International Training Center for Post-graduate Soil Scientists, Gent University.
- VanScoyoc, G. E., Serna, C. J. et Ahlrichs, J. L. (1979).** « Structural changes in palygorskite during dehydration and dehydroxylation », *American Mineralogist*, 64, p. 215-223.
- Vasseur, G. (1907).** « La poterie ibérique pseudo-mycénienne aux environs d'Arles », *Bulletin de la Société archéologique de Provence*, 8, p. 54-57.
- Vedder, W. et Wilkins, R. W. T. (1969).** « Dehydroxylation and rehydroxylation, oxidation and reduction of micas », *American Mineralogist*, 54, p. 482-509.
- Velde, B. (1966).** « Upper stability of Muscovite », *American Mineralogist*, 51, p. 924-929.
- Velde, B. et Druc, I. C. (1999).** *Archaeological ceramic materials*. Berlin : Springer.
- Venables, W. N. et Ripley, B. D. (2002).** *Modern Applied Statistics with S*, quatrième édition. Berlin : Springer.
- Verne, J. (2010 [1882]).** « L'École des Robinsons ». In Verne, J., *Les romans des îles*. Paris : Omnibus, p. 703-831.
- Vernhet, A. (1981).** « Un four de la Graufesenque (Aveyron) : la cuisson des vases sigillés », *Gallia*, 39, p. 25-43.

- Wang, L., Zhu, J., Yan, Y., Xie, Y. et Wang, C. (2009).** « Micro-structural characterization of red decorations of red and green color porcelain (Honglvcai) in China », *Journal of Raman Spectroscopy*, 40, p. 998-1003. DOI : 10.1002/jrs.2218.
- Weigand, P. C., Harbottle, G. et Sayre, E. (1977).** « Turquoise Sources and Source Analysis : Mesoamerica and the Southwestern U.S.A. ». In Ericson, J. et Earle, T. K. (dir.), *Exchange Systems in Prehistory*. New York : Academic Press, p. 15-34.
- White, R. H. et Dietsberger, M. A. (2010).** « Fire Safety of Wood Construction ». In Forest Products Laboratory (dir.), *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material*. Madison, WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190.
- Widemann, F. (1981).** « Problèmes d'origine : échantillonnage, groupes de références ». In Hackens, T. et Schvoerer, M. (dir.), *Datation-caractérisation des céramiques anciennes*. Paris : Presses du CNRS, p. 407-423. PACT 10.
- Wiedemann, H.-G. et Bayer, G. (1987).** « Note on the thermal decomposition of dolomite », *Thermochimica Acta*, 121, p. 479-485. DOI : 10.1016/0040-6031(87)80195-8.
- Williams, D. R. (s. d.).** *Earth Fact Sheet* [en ligne]. National Space Science Data Center, NASA. Accès : <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (dernière mise à jour : juil. 2013).
- Wilson, M. J. (2013).** *Sheet Silicates: Clay Minerals*, seconde édition. Londres : The Geological Society. Rock-Forming Minerals 3C.
- Wulff Alonso, F. et Álvarez Martí-Aguilar, M. (dir.) (2003).** *Antigüedad y franquismo (1936-1975)*. Málaga : Servicio de publicaciones, Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga.
- Yeskis, D., van Groos, A. F. K. et Guggenheim, S. (1985).** « The dehydroxylation of kaolinite », *American Mineralogist*, 70, p. 159-164.
- Yon, M. (1981).** *Dictionnaire illustré multilingue de la céramique du Proche-Orient ancien*. Lyon : Maison de l'Orient Méditerranéen.
- Zhu, X. K. et O'Nions, R. K. (1999).** « Zonation of monazite in metamorphic rocks and its implications for high temperature thermochronology: a case study from the Lewisian terrain », *Earth and Planetary Science Letters*, 171, p. 209-220. DOI : 10.1016/S0012-821X(99)00146-6.
- Zoppi, A., Lofrumento, C., Castellucci, E. M. et Sciau, P. (2007).** « Al-for-Fe substitution in hematite: the effect of low Al concentrations in the Raman spectrum of Fe₂O₃ », *Journal of Raman Spectroscopy*, 39, p. 40-46. DOI : 10.1002/jrs.1811.