



HAL
open science

ArchaeDyn -Atelier 3 Dynamiques de circulation et de consommation de produits bruts et manufacturés : recherches méthodologiques

Estelle Gauthier, Olivier Weller, Pierre Pétrequin, Maréva Gabillot, Robin
Brigand

► **To cite this version:**

Estelle Gauthier, Olivier Weller, Pierre Pétrequin, Maréva Gabillot, Robin Brigand. ArchaeDyn -
Atelier 3 Dynamiques de circulation et de consommation de produits bruts et manufacturés : recherches
méthodologiques. 2019. hal-02127300

HAL Id: hal-02127300

<https://hal.science/hal-02127300v1>

Preprint submitted on 13 May 2019

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.

ArchaeDyn - Atelier 3

Dynamiques de circulation et de consommation de produits bruts et manufacturés : recherches méthodologiques

Auteurs : Estelle Gauthier¹, Olivier Weller², Pierre Pétrequin³, Maréva Gabillot⁴, Robin Brigand⁵

avec la collaboration de Jehanne Affolter⁶, Pierre Allard⁷, Jessica Giraud⁸, Emeline Le Goff⁹, Thierry Logel¹⁰, Laure Nuninger¹¹, Laurie Tremblay Cormier¹².

Table des matières

Introduction	3
1. Les jeux de données et leur exploitabilité.....	6
1.1. Les cas d'étude et la structuration des données	6
1.1.1. Une grande variété de cas d'étude	6
1.1.2. Tables de données et spatialisation	8
1.2. Évaluation de la fiabilité des répartitions	11
1.2.1. Un nécessaire travail de fond sur l'inventaire	11
1.2.2. Des critères spécifiques.....	15
1.2.3. Évaluer le potentiel de découverte fortuite ? Le cas des dépôts métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine	24
2. La diffusion des produits : modélisation des concepts et réflexion sur la structuration des données	34
2.1. Introduction : concevoir une étude des modes de diffusion malgré l'hétérogénéité des données ?	34
2.2. Modélisation thématique : vocabulaire et concepts	35
2.2.1. Le cycle de vie des produits : modèle temporel.....	35
2.2.2. Le parcours de l'artefact : modèle spatial	38
2.2.3. Différentes actions / différents types de lieux : modèle fonctionnel.....	39
2.2.4. Nécessité d'une étude tri-dimensionnelle : temps, espace, fonctions.....	41
2.2.5. Modélisation de l'histoire et du parcours d'un objet : l'exemple de l'ébauche de haches en jade alpin de Lugrin (Haute-Savoie, France)	43
2.3. Du Modèle Conceptuel de Données à la géodatabase	45
2.4. Mise en application et perspectives	49

¹ Maître de Conférences, UMR 6249 Chrono-Environnement et MSHE C. N. Ledoux, Besançon.

² Chargé de Recherches CNRS, UMR 8215 Trajectoires, Paris-Nanterre.

³ Directeur de Recherches CNRS émérite, MSHE C. N. Ledoux, Besançon.

⁴ Chargée de Recherches CNRS, UMR 6298 ArTeHiS, Dijon.

⁵ Post-doctorant, UMR 8215 Trajectoires, Paris-Nanterre.

⁶ Chercheur associée, UMR 6298 ArTeHiS, Dijon.

⁷ Chargé de Recherches CNRS, UMR 7055 Préhistoire & Technologie, Nanterre.

⁸ Chercheur associée, UMR 7041 Arscan, Ifpo, Paris.

⁹ Référente SIG et topographie, INRAP Grand-Ouest.

¹⁰ Délégué scientifique régional, Eveha ; chercheur associé UMR 6298 ArTeHiS, Dijon.

¹¹ Chargée de Recherches CNRS, UMR 6249 Chrono-Environnement et MSHE C. N. Ledoux, Besançon.

¹² Responsable des collections d'archéologie, Musée-Château d'Annecy ; chercheur associée, UMR 6298 ArTeHiS, Dijon.

3. La diffusion depuis les gîtes	51
3.1. Le cas des haches alpines : une apparente unité mais des processus complexes.....	51
3.1.1. Des phénomènes de sélection	52
3.1.2. La distance à la source : tests du modèle down-the-line	61
3.1.3. Des transformations au cours des transferts	77
3.2. Le cas des haches à talon normandes dans la basse vallée de la Seine.....	83
4. Les dynamiques spatio-temporelles des zones de consommation	88
4.1. Des places centrales pour la consommation/redistribution des haches en jades alpins	90
4.2. Dynamiques de la consommation du métal en France orientale au Bronze moyen et final.....	97
4.3. Comparaison des aires de consommation pour plusieurs jeux de données	102
4.3.1. Modélisation des dynamiques spatio-temporelles des aires de consommation : l'exemple de la consommation du métal à l'âge du Bronze en France orientale.....	102
4.3.2. Confronter directement deux jeux de données ?	106
5. Le contrôle des ressources : le cas de la production du sel et peuplement préhistorique en Moldavie sous-carpatique (Roumanie), 6000-3500 BC.....	112
5.1 Bases de données et fiabilité des répartitions.....	114
5.1.1. Les bases de données.....	114
5.1.2. Représentation et fiabilité des données archéologiques	116
5.2. La densité du peuplement	119
5.2.1. Espacement moyen et agrégation.....	119
5.2.2. Densité et dynamique	120
5.3. Les paramètres dérivés de la topographie	122
5.3.1. La visibilité.....	122
5.3.2. Autres variables topographiques	125
5.3.3. Accessibilité aux sources salées	126
5.3.4. Construction d'un modèle prédictif	130
5.4. Synthèse	136
5.4.1. La dynamique du peuplement.....	136
5.4.2. Sel et polarisation du peuplement	138
6. Le rôle des axes de circulation : une réflexion méthodologique	141
6.1. Étudier des réseaux	141
6.2. Appréhender la circulation des produits pour les périodes anciennes	143
6.3. Évaluer l'importance relative des différents axes de circulation.....	145
6.3.1. Quantifier les données dans un espace linéaire.....	145
6.3.2. Quels paramètres utiliser ?	146
6.4. L'étude de la diffusion des haches à talon de type normand dans la basse vallée de la Seine au Bronze moyen : un cas d'étude à l'échelle micro-régionale	147
6.5. L'étude de la consommation du bronze en France orientale: un cas d'étude à l'échelle suprarégionale.....	153
6.5.1. Première approche de la hiérarchie du réseau	153
6.5.2. Considérer d'autres critères ?	159
6.5.3. Tentative de modélisation.....	162
6.5.4. Focus sur deux fenêtres d'étude : les vallées de la Saône et du Rhin	163
6.6. Analyse des flux de haches en jades alpins : un cas d'étude à l'échelle européenne	170
6.6.1. Reconstitution du réseau	171
6.6.2. Validation du réseau.....	176
6.6.3. Modélisation des parcours et quantification des flux	177
6.6.4. Analyse de la structure du réseau : objectifs et principes.....	181
6.6.5. Analyse de la structure du réseau : application au cas des haches en jades alpins	184
Conclusion/synthèse	192
Références	192
Liste des figures.....	223

Introduction

Le troisième atelier d'ArchaeDyn est dédié à la modélisation des dynamiques spatiales liées à la production, à la consommation et aux transferts¹³ de matières premières et de produits manufacturés (Gauthier *et al.* 2012). Après les aires d'approvisionnement et le peuplement, cette thématique représente une autre approche des territoires et des relations entre les populations anciennes et leur environnement, cette fois-ci, à petite échelle (régionale à européenne) et en prenant comme objet d'étude la matière brute ou mise en forme manipulée par les hommes. Ces produits participent à la vie quotidienne mais ils touchent aussi au domaine de l'économie, de la représentation sociale, parfois de la religion. L'atelier s'intéresse plus spécifiquement à l'identification d'organisations spatiales dans la gestion des produits et à leurs évolutions sur la longue durée, ainsi qu'aux modes de transferts et aux processus économiques et sociaux dont ils résultent.

Il s'agit de prendre en considération les différents lieux par lesquels les objets sont passés : tout d'abord ceux situés en début de chaîne, liés à la production, à l'exploitation de la matière première et à la mise en forme, en nous interrogeant sur les choix des gîtes et le positionnement des ateliers. A l'autre extrémité des réseaux de transferts se trouvent les lieux de consommation. Par ce terme, nous entendons toutes les formes d'utilisation qu'elle soit active, comme la manipulation des outils, le port de parures, ou bien passive, comme le simple fait de thésauriser des objets ou même de les déposer comme offrandes funéraires ou cultuelles. On tentera donc de définir des méthodes pour mettre en évidence l'organisation spatiale de cette consommation, la qualifier, la quantifier, identifier des aires privilégiées, comprendre leurs facteurs de développement, et percevoir leurs dynamiques au cours du temps. L'attractivité de certains secteurs et l'existence de stratégies d'implantation font notamment partie de nos préoccupations. Mais ce sont avant tout les liens entre ces différents lieux qui sont au cœur de nos investigations.

En effet, la notion de mobilité caractérise notre sujet d'étude : tout à tour transformé, échangé, déposé, l'objet est à de multiples reprises déplacé. Il ne s'agit donc pas seulement d'étudier les mutations d'un territoire sur le temps long mais aussi les modes de transferts des objets d'un lieu à un autre à l'échelle de leur « biographie ». De multiples questions se posent : comment s'organisent les réseaux de transferts ? Quels sont les axes de circulation empruntés ? Quels sont les modes de diffusion ? Quels mécanismes sous-tendent les transferts ?

Pour tenter de répondre à ces questions, des indicateurs spécifiques devront être recherchés et des techniques issues des géostatistiques et de la modélisation spatiale seront mobilisées. Nous tenterons de proposer des méthodes d'analyse adaptées aux données archéologiques.

Alors que la recherche française étudie « traditionnellement » la diffusion des produits essentiellement par le biais de la cartographie des répartitions, elle a maintenant de plus en plus souvent recours à la quantification et aux statistiques pour modéliser les processus spatiaux (par ex.

¹³ Dans la suite, nous regroupons ces termes sous l'expression « systèmes de diffusion des produits », désignant l'ensemble des processus mis en œuvre au cours du cycle de vie de l'objet. Cette expression recouvre plus que le « production system » de I. Hodder (1982, p. 207), car elle inclut aussi les étapes de la consommation et de l'abandon. Impliquant à la fois des déplacements dans l'espace et des changements dans le temps, elle est appropriée pour traiter des dynamiques spatiales aux trois étapes principales du cycle de vie des produits.

Hodder et Orton 1976, Favory et al. 1998, Mordant 2001, Nuninger et Sanders 2006, Zaksek et al. 2008, Rodier et al. 2012). Certains modèles empruntés à la géographie (Christaller 1933), aux mathématiques (Voronoi 1907), aux sciences économiques et sociales (Von Thünen 1826, Weber 1929, Reilly 1931, Lösch 1940) ou encore à l'ethnologie (Mauss 1923-1924, Godelier 1996, Pétrequin, Pétrequin et al. 2006, Pétrequin et Pétrequin 2017a) sont également couramment utilisés en Archéologie. La Géographie propose notamment un ensemble de méthodes et de modèles adaptés à des phénomènes actuels (par ex. Bailly et Béguin 1998, Pumain et Saint-Julien 2001) auxquels on peut envisager de confronter les données archéologiques. Néanmoins les méthodes élaborées pour mettre en évidence ces modes de diffusion reposent sur des échantillons auxquels on ne peut avoir accès en Archéologie. Par ailleurs, les modèles trop généraux et souvent basés sur des économies de marchés ne correspondent que très rarement aux données anciennes (par ex. Renfrew 1974, 1975). Ils doivent être limités à des phénomènes de diffusion bien précis (par ex. Pétrequin, Cassen et al. 2012c). Il sera donc préférable de proposer des modèles plus spécifiques qui prennent aussi en compte la valeur sociale des objets considérés. Sur ce point, notre vision repose très largement sur les travaux de chercheurs anglo-saxons (Favory et al. 2016), principaux acteurs de la réflexion sur les modes de circulation et les mécanismes à l'œuvre lors des transferts (par ex. Schiffer 1972, Hodder 1974, Renfrew 1975, Kopytoff 1986, Tringham 1994, Earle 2000), et sur l'apport de l'ethnographie qui est également essentiel sur ces aspects (par ex. Pétrequin et Pétrequin 1993, 2006, 2017a).

Il est évident que toutes les questions que recouvre le sujet abordé par notre atelier ne pouvaient pas être traitées dans le cadre du programme ANR. Chaque cas que nous proposons d'examiner possède ses particularités et chacun aurait nécessité une étude indépendante. Or l'enjeu du programme ArchaeDyn étant de travailler à partir de données préexistantes et déjà disponibles, l'atelier a disposé de jeux de données très hétérogènes, portant sur des matériaux ou des produits variés, les espaces et les périodes concernées ne se recouvrant pas nécessairement, si bien que les comparaisons n'étaient pas toujours possibles¹⁴. Il est donc important de souligner que nous ne présenterons pas ici un examen global de ces cas d'étude, mais qu'il s'agira de proposer des approches et des méthodes portant sur des points bien précis en nous appuyant sur les exemples les plus appropriés choisis parmi nos jeux de données. Ce chapitre rassemble ainsi des approches théoriques et conceptuelles communes à notre thématique et des recherches méthodologiques plus spécifiques.

Parmi les jeux de données qui ont servi de support à ces recherches méthodologiques, l'un d'eux occupe une place très particulière : l'inventaire les longues haches en jades alpins du Néolithique qui font l'objet des recherches intensives de la part de Pierre et Anne-Marie Pétrequin depuis plus d'une trentaine d'années. Alors qu'un inventaire était déjà constitué dès la fin des années 1990, deux projets ANR successifs ont permis d'approfondir considérablement les connaissances sur ces produits socialement valorisés dont les modes de production et de diffusion sont loin d'être unitaires. Un premier programme ANR « JADE » (2006-2010, P. Pétrequin dir. ; Pétrequin, Sheridan et al. 2011, Pétrequin, Cassen et al. 2012a) a non seulement permis de compléter l'inventaire que l'on considère comme pratiquement exhaustif à l'échelle de l'Europe occidentale, et qui a aussi permis des avancées majeures sur les exploitations alpines (Pétrequin, Errera et al. 2006, Pétrequin, Pétrequin et al. 2007), les procédés de mise en forme (Pétrequin, Pétrequin et al. 2008, Pétrequin, Errera et al. 2009) et les réseaux de diffusion (Pétrequin, Errera et al. 2012, Pétrequin, Cassen et al. 2012b). Une méthode originale et non destructive de détermination pétrographique - par analyse spectroradiométrique en réflectance diffuse - a été mise au point pour constituer un référentiel,

¹⁴ Néanmoins ces jeux de données concernent essentiellement l'Europe occidentale, en particulier la France, et ils portent en majorité sur le Néolithique et l'âge du Bronze.

permettant de déterminer l'origine des haches mises en circulation (Errera et al. 2006). Le second programme ANR « JADE 2 » (2013-2017, P. Pétrequin et E. Gauthier dir., Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017) a été davantage tourné vers l'identification des fonctionnements sociaux et des représentations idéelles qui ont sous-tendu leur diffusion à travers l'Europe (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d). Il a également permis de rechercher les limites orientales du phénomène et d'appréhender les liens entre l'Europe du jade et l'Europe du cuivre et de l'or (Pétrequin, Errera et al. 2017, Sørensen et al. 2017). La représentativité de cet inventaire, la qualité des données acquises concernant les modes d'exploitation, de production et de consommation des haches en jade en font un cas d'étude exceptionnel. C'est pourquoi nous l'avons abondamment sollicité pour les travaux de notre atelier. Ce cas d'étude a été une source d'inspiration pour proposer des approches cartographiques adaptées et a donc souvent servi de socle pour nos recherches méthodologiques (voir ci-après les parties 2.2.5, 3.1, 4.1 et 6.6) que nous avons ensuite appliquées à d'autres cas d'étude, en particulier la consommation du métal à l'âge du Bronze à différentes échelles et dans différentes zones tests.

Ainsi, après avoir présenté les jeux de données disponibles, la seconde partie de ce chapitre sera consacrée à l'ensemble des pré-requis indispensables à la mise en œuvre des études spatiales : l'évaluation de la qualité des données, la définition des concepts en jeu et la recherche d'une structuration appropriée des données. Puis seront présentées successivement plusieurs questions spécifiques relatives à la diffusion depuis les gîtes et les ateliers, aux dynamiques spatio-temporelles des zones de consommation, au contrôle des ressources, au rôle des axes de circulation dans la diffusion et la consommation des produits.

1. Les jeux de données et leur exploitabilité

1.1. Les cas d'étude et la structuration des données

1.1.1. Une grande variété de cas d'étude

Le challenge d'ArchaeDyn était d'effectuer une recherche méthodologique uniquement à partir de jeux de données préexistants. Il aurait été bien sûr idéal de travailler sur des données collectées spécialement pour les objectifs de cette étude ; elles auraient ainsi pu être mieux maîtrisées. Mais la constitution d'un tel corpus aurait demandé un temps considérable. L'utilisation d'inventaires provenant de programmes de recherche récents ou en cours permettait de travailler immédiatement sur les explorations méthodologiques. Ainsi l'atelier était constitué de chercheurs volontaires qui disposaient déjà d'un inventaire constitué sur un des thèmes liés aux systèmes de diffusion des produits.

On soulignera la très grande diversité des cas d'étude (Fig. 1), sur tous les aspects : les matériaux (silex, roches vertes, grès, bronze, fer, céramique, sel), les catégories fonctionnelles (haches, épées, épingles, vaisselle, meules, outils, moules, etc.), les contextes (habitats, sépultures, dépôts, trouvailles de rivières, etc.), les périodes (Néolithique et âge du Bronze principalement), la résolution temporelle (de 200 à 300 ans dans certains cas, de 500 à 2000 ans dans d'autres), les zones étudiées (France orientale, façade atlantique, Transdanubie, Benelux, etc.) et les échelles d'analyse enfin (de la micro-région à l'Europe occidentale).

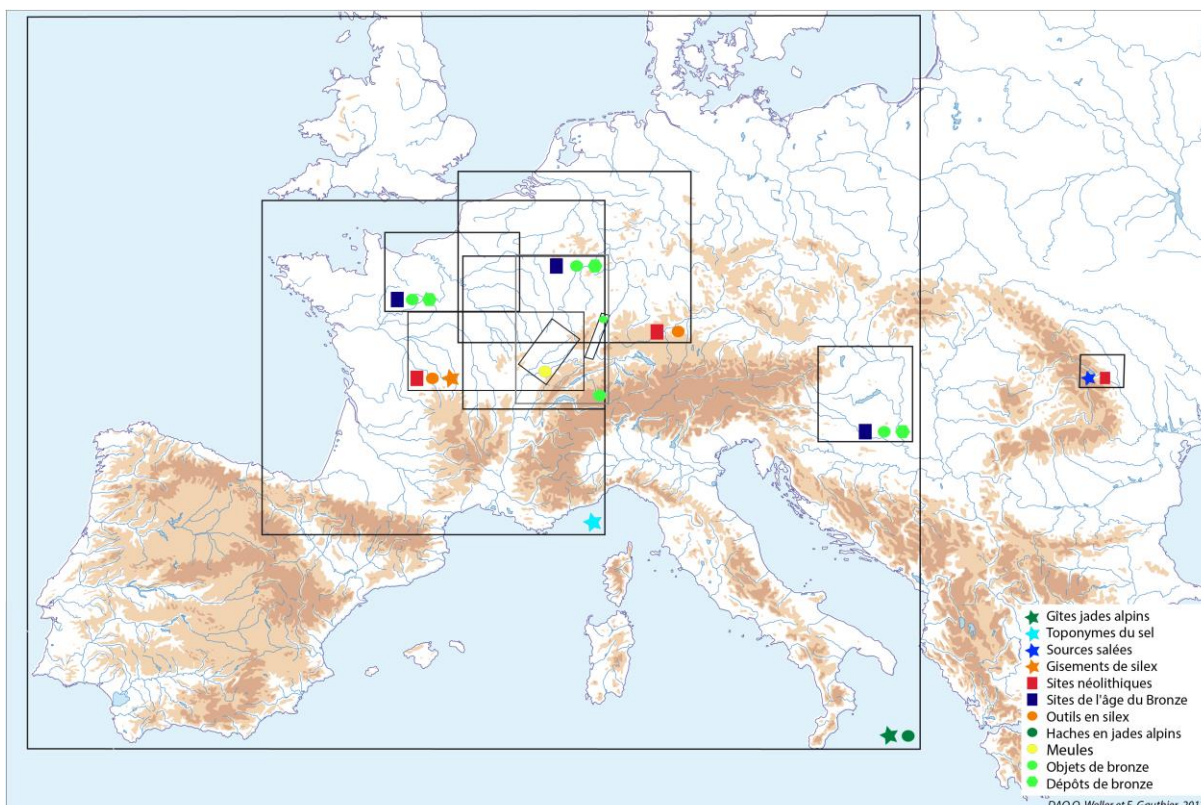


Fig. 1. Extension des programmes impliqués dans l'atelier 3 d'ArchaeDyn (DAO : O. Weller et E. Gauthier, 2012).

Ces jeux de données brutes ne pouvaient être complétés, sur la durée du programme ANR, ni par des prospections ni même par des dépouillements bibliographiques supplémentaires. Cela a posé d'importants problèmes d'hétérogénéité puisque les inventaires n'étaient pas uniformes tant du point de vue des méthodes de collecte, que des renseignements enregistrés et de leur précision. Un bilan des conditions dans lesquelles ces inventaires ont été constitués (problématiques, hypothèses sous-jacentes) s'est d'ailleurs révélé nécessaire afin d'identifier les choix réalisés en amont pouvant avoir une influence sur la lecture des résultats des analyses spatiales qui seront effectuées.

Il résulte de cette diversité à la fois thématique, géographique (Fig. 1) et temporelle une impossibilité de comparer directement les jeux de données. Chacun correspond d'ailleurs à des questionnements spécifiques et implique donc une approche différente. Nous ne pouvons donc pas envisager de comparer directement les résultats d'analyses, ni même de les réaliser selon des paramètres identiques. Chaque jeu de données a par conséquent été mobilisé de façon indépendante. Les méthodes ont été adaptées à la nature des données et aux objectifs spécifiques de chaque cas d'étude. Il s'agissait avant tout de mettre en évidence des comportements et des fonctionnements qui pouvaient être ensuite comparés.

Malgré la diversité des données mises en œuvre, les chercheurs impliqués dans ce programme se sont retrouvés autour des trois axes suivants qui couvrent les différents moments du cycle de vie des produits (Fig. 2) :

- le premier concerne l'approvisionnement et la production. Cet axe permet d'appréhender les liens entre les gîtes, les ateliers et les lieux de consommation. Il s'agit de comprendre les choix relatifs aux gîtes et à l'implantation des ateliers, le fonctionnement de la diffusion depuis un centre de production, ou à l'inverse, de mettre en évidence au sein d'une aire de consommation des stratégies d'approvisionnement ou encore de contrôle des ressources (accessibilité, visibilité, inter-visibilité).
- Le second envisage la question de la diffusion sous l'angle de la mobilité : l'analyse des transferts de matériaux, objets, types ou techniques, l'identification des modes de diffusion, la quantification des flux, la détermination des axes de circulation, la compréhension de l'organisation des réseaux.
- Le troisième vise une approche diachronique de la consommation des produits à travers l'identification des principales aires de consommation et la mise en évidence de leurs dynamiques spatio-temporelles.

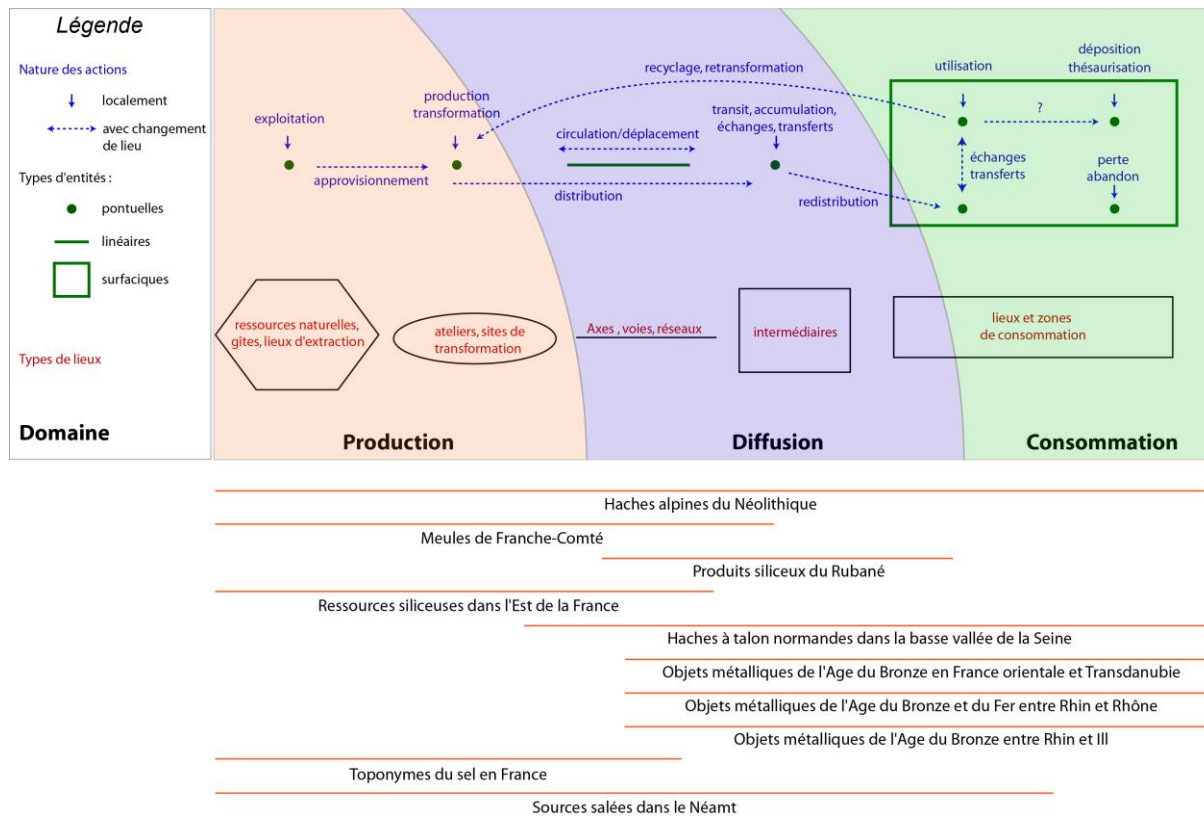


Fig. 2. Positionnement des différents programmes au sein des trois thématiques de l'atelier (DAO : E. Gauthier et O. Weller, 2012).

1.1.2. Tables de données et spatialisation

Dans le cas de notre atelier, un regroupement des multiples corpus fournis en une seule et unique base de données était bien sûr impossible. Leurs limites géographiques et temporelles n'offrant aucune continuité, les échelles temporelles et spatiales étant aussi trop disparates et les hiatus trop nombreux, les jeux de données mobilisés ne pouvaient dès lors qu'être confrontés et non associés.

La manière la plus habituelle de travailler sur la question de la diffusion d'un produit consiste à réaliser tout d'abord un inventaire des découvertes le plus exhaustif possible, qui se fonde le plus souvent essentiellement sur des dépouillements bibliographiques et des recherches dans les collections muséologiques. Dans la plupart des cas, cet inventaire prend la forme d'une table de données dans laquelle chaque entrée correspond à un objet mis au jour. Se pose alors la question du rapprochement entre les objets provenant d'un même site, voire d'un même ensemble clos, que seule une base de données relationnelle peut gérer correctement.

Parmi les caractéristiques renseignées sur les produits se trouvent des informations chronologiques, typologiques, sur les contextes d'enfouissement (dépôts, trouvailles de rivières), l'état des objets (fragmentation volontaire par ex.), les matériaux et leur origine ou encore les niveaux de finition, qui seront autant de critères qui pourront être intégrés aux analyses afin d'identifier des particularités chronologiques ou régionales dans la distribution des découvertes.

La question se pose de la prise en compte des données incertaines. Il s'agit des découvertes pour lesquelles on ne peut assurer qu'elles correspondent bien aux critères de la recherche. Par exemple, il n'est pas toujours évident de faire la distinction entre véritables dépôts et ensembles "recomposés" d'objets dont l'origine est plus ou moins bien identifiée dans les collections

muséologiques. L'incertitude provient surtout des conditions d'investigation du site, de l'ancienneté de la découverte ou de l'absence de fouilles, parfois de pertes d'informations ultérieures. Doit-on envisager de n'étudier que les découvertes assurées ? En les conservant, les sites incertains exposent à la création de fausses tendances. En les écartant, le corpus se limite aux seuls sites jugés "sûrs", dont les effectifs peuvent être insuffisants pour les analyses statistiques ou bien créer des vides artificiels. Dans les deux cas les résultats risquent de ne pas être représentatifs de la réalité ancienne mais de correspondre uniquement à l'état de la recherche. Une solution, malgré tout assez chronophage, est d'effectuer le plus souvent possible des comparaisons entre les résultats d'analyses avec ou sans les sites incertains.

Si l'étude de la diffusion des produits est bien entendu une question d'espace, c'est aussi une question de temps. Or la prise en compte de cette dimension majeure pose différents problèmes récurrents. Tout d'abord, on observe à l'instar de l'identification des sites, des problèmes d'incertitude, qui se traduisent par des attributions chronologiques de faible précision. La qualité des datations est par conséquent fortement hétérogène y compris à l'intérieur d'un même corpus.

Par ailleurs, il peut exister un décalage important entre la date de production, la période d'utilisation et le moment de l'abandon ou du dépôt du produit étudié. La datation que l'on détermine à partir de l'objet est généralement celle de la production (typo-chronologie) tandis que celle de la mise en terre, donc du contexte de découverte, est assez rarement identifiée par des méthodes de datation absolue ; elle est plus généralement assimilée à celle de l'objet le plus récent découvert. Des transformations ou des réutilisations de certaines pièces prouvent parfois que leur durée d'utilisation a pu être relativement longue. Le cas le plus parlant est celui de la circulation des jades alpins à travers l'Europe qui montre un décalage chronologique de plusieurs centaines d'années entre les exemplaires d'un même type abandonnés en début de chaîne opératoire, à proximité des gîtes, et ceux trouvés à quelques 2 000 km à vol d'oiseau, en contexte carnacéen, en Allemagne, en Grande Bretagne ou encore au Danemark¹⁵. Ce décalage peut résulter d'une diffusion lente des produits et/ou de leur conservation sur plusieurs générations (Pétrequin, Cassen et al. 2012b, Edmonds 2012). Quelques dépôts associent ainsi des objets produits à des périodes différentes, certains ayant peut-être été thésaurisés longtemps avant leur mise en terre. Bien qu'ils puissent être identifiés selon différents critères (Lillios 1999), les phénomènes d'héritage et de "transmission intergénérationnelle" perturbent notre vision de la durée de vie "habituelle" de l'objet.

L'autre problème majeur lié aux données est la différence fondamentale entre l'échelle de la vie de l'objet et celle des datations qui sont réalisées le plus souvent par phases ou sous-phases, mais dont la précision reste très insuffisante (du demi au quart de millénaire pour le Néolithique, de deux siècles à un demi-siècle pour l'âge du Bronze). Certains types d'objets concernent d'ailleurs plusieurs phases successives, tandis que les bornes des phases elles-mêmes ne sont d'ailleurs pas toujours datées précisément.

Enfin, comment, pour les analyses spatiales, traiter la question des dynamiques temporelles ? Les phases de la chronologie relative basées sur un découpage chrono-culturel, étant de durées variables, le nombre d'objets découverts au sein de deux phases successives ne peut être comparé directement. Il est nécessaire de relativiser les effectifs par phase en fonction de leur durée respective. Cela suppose de passer par des datations absolues. Peut-on prendre en compte simultanément les problèmes liés à la durée d'utilisation des objets, à l'imprécision de la datation et à la nécessité de rendre comparables les phases étudiées ? Peut-on choisir un pas de temps commun et régulier ?

¹⁵ Voir par exemple l'exemplaire découvert près du Sweet Track dans le Somerset (inv. JADE 2008_35, Sheridan et Pailler 2012).

La solution que nous proposons pour pallier les problèmes d'incertitude ou d'imprécision de la datation est d'enregistrer les informations chronologiques au sein des six champs suivants : la date minimale et son incertitude éventuelle (en nombre d'années), la date maximale et son incertitude éventuelle, le caractère précis ou imprécis de la datation elle-même et la méthode de datation (typo-chronologie, radiocarbone, etc.). S'il n'est sans doute pas possible de faire un découpage chronologique identique pour tous les jeux de données, un pas de 500 ans a été jugé adéquat pour les données concernant le Néolithique et 100 ans pour l'âge du Bronze. Des tests ont été réalisés afin de pondérer la valeur des sites en fonction de l'incertitude de leur datation (Saligny et al. 2008, Gauthier et al. 2012) : chaque objet est compté pour toutes les phases auxquelles il est susceptible d'appartenir mais avec des poids différents selon le degré de probabilité de son appartenance à chacune (Fig. 3 et 4). On peut également envisager de prendre en compte un voisinage chronologique avant et après, sur le principe des fenêtres coulissantes, qui permet de lisser les résultats pour limiter l'impact d'éventuels biais liés à l'imprécision de la datation et aux problèmes liés aux bornes de la chronologie relative. En termes pratiques, cela revient à calculer des fréquences théoriques pondérées qui permettent les comparaisons entre phases et les études diachroniques tout en réduisant les effets des problèmes chronologiques. Certaines difficultés subsistent, notamment pour les périodes extrêmes qui n'ont qu'un demi-voisinage ou encore la proportion élevée de découvertes mal datées qui peuvent écraser les dynamiques spatio-temporelles.

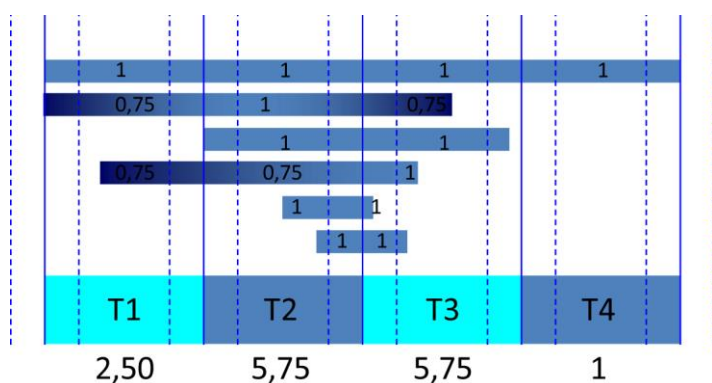


Fig. 3. Modèle de pondération des données en fonction de la précision de leur datation afin de pouvoir adopter un découpage chronologique régulier. (DAO : L. Nuninger, 2010).

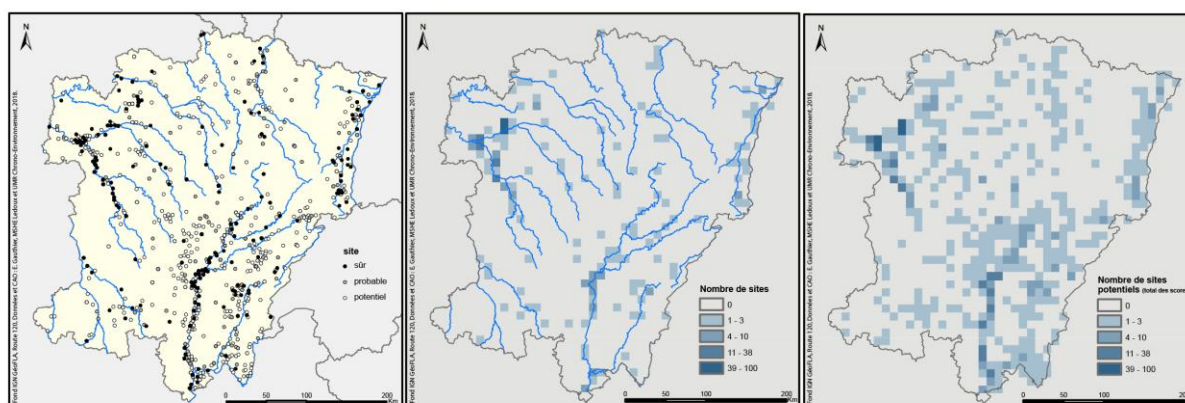


Fig. 4. Exemple d'application d'une pondération des données selon la précision de leur datation pour un calcul de densité des sites de l'âge du Bronze final I en France orientale : a) répartition des sites sûrs, probables et potentiels, b) densité de sites sans pondération, uniquement avec les sites sûrs, c) avec prise en compte des sites probables et potentiels par l'application d'un système de scores (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2018).

Malgré tout, cette méthode ne résout pas la question majeure de la datation de l'utilisation de l'objet plutôt que celle de sa production ou celle de son enfouissement. Il faudrait en effet changer d'échelle chronologique pour privilégier celle de la vie de l'objet, mais cela reste très difficile voire impossible pour les périodes anciennes.

Pour réaliser des analyses spatiales, les données sont intégrées à un Système d'Information Géographique. Les objets/matériaux étudiés sont dans un premier temps représentés par des entités ponctuelles correspondant aux sites de découverte. Sauf si les coordonnées précises des sites étaient connues, un positionnement au centroïde communal a été jugé suffisant dans la plupart des cas. L'imprécision moyenne de la spatialisation des données est alors de l'ordre de 5 kilomètres, une marge qui peut être considérée comme peu significative compte tenu des échelles concernées. Dans de rares cas, la précision de la localisation est inférieure. Par exemple un lot de haches en jades alpins découvertes en Aquitaine mais dont l'origine exacte a été perdue (les étiquettes du Musée d'Aquitaine spécifient à présent "Bordeaux" ou "Aquitaine"), ont dû être localisées au centroïde de la commune de Bordeaux. Il en va de même pour certaines trouvailles dont seule la région de provenance nous est connue. Les données localisées à une précision inférieure (région, pays) n'ont pas été prises en compte.

1.2. Évaluation de la fiabilité des répartitions

1.2.1. Un nécessaire travail de fond sur l'inventaire

Un travail de fond sur l'état de la base documentaire et sur la fiabilité de la répartition des données dans l'espace est un préalable nécessaire à toute analyse spatiale. Il s'agit d'identifier en amont les éventuels biais qui pourraient brouiller la visibilité des phénomènes ou perturber l'interprétation des résultats. Peut-on dire que l'inventaire est suffisamment fiable pour réaliser des analyses spatiales globales ? La distribution des données est-elle représentative des phénomènes anciens ou bien reflète-elle des biais dans la documentation archéologique créés par des conditions de recherche inégales d'un secteur à l'autre ?

Cette évaluation passe par la création en parallèle de deux types de cartes (Ostir et al. 2008) : une carte de représentation d'une part, qui permet de comparer la répartition observée à la situation théorique d'un espace homogène, et une carte de fiabilité, d'autre part, conçue indépendamment des données par l'auteur de l'inventaire.

La création de « cartes de représentation » permet de mettre en évidence l'hétérogénéité spatiale des inventaires, sans présupposer ni commenter la nature archéologique ou non des concentrations et des vides sur les cartes de répartition. En effet, elle dépend uniquement du nombre de données et de la surface étudiée. Elle permet de visualiser les déséquilibres par rapport à une situation où toutes les parties de l'espace étudié auraient la même probabilité d'avoir livré des données (Fig. 5)¹⁶. Les

¹⁶ En pratique, il s'agit de réaliser un maillage de la zone d'étude puis de calculer le nombre de points attendu par maille dans le cas d'une répartition homogène en appliquant la formule suivante : *Valeur théorique* = *Nb sites* / *Nb mailles*. La valeur de représentation est alors calculée pour chaque maille en soustrayant à la valeur réelle la valeur théorique (Ostir et al. 2008, Nuninger et al. 2012). Il reste à distinguer les différents niveaux de représentation (valeurs négatives, nulles ou positives).

cartes ainsi réalisées montrent des zones possédant moins de sites que le nombre "attendu". Ces mailles seront qualifiées de « sous-représentées ». D'autres auront au contraire davantage de points que la valeur théorique et seront « sur-représentées ». Cette variabilité cherchera ses explications dans la carte de fiabilité.

Dans le cas de notre atelier, la variabilité des jeux de données imposait de choisir des paramètres spécifiques à chaque cas. Le maillage, choisi en fonction du nombre de données et de la surface étudiés¹⁷, varie donc fortement entre des cas d'étude à une échelle micro-régionale et d'autres à l'échelle européenne. La discrétisation des valeurs a également été traitée au cas par cas et de façon empirique. Il était notamment important de distinguer les zones n'ayant pas livré de données, celles qui présentent des valeurs proches de la valeur théorique et celles qui possèdent des valeurs exceptionnelles (fortes sur-représentations).

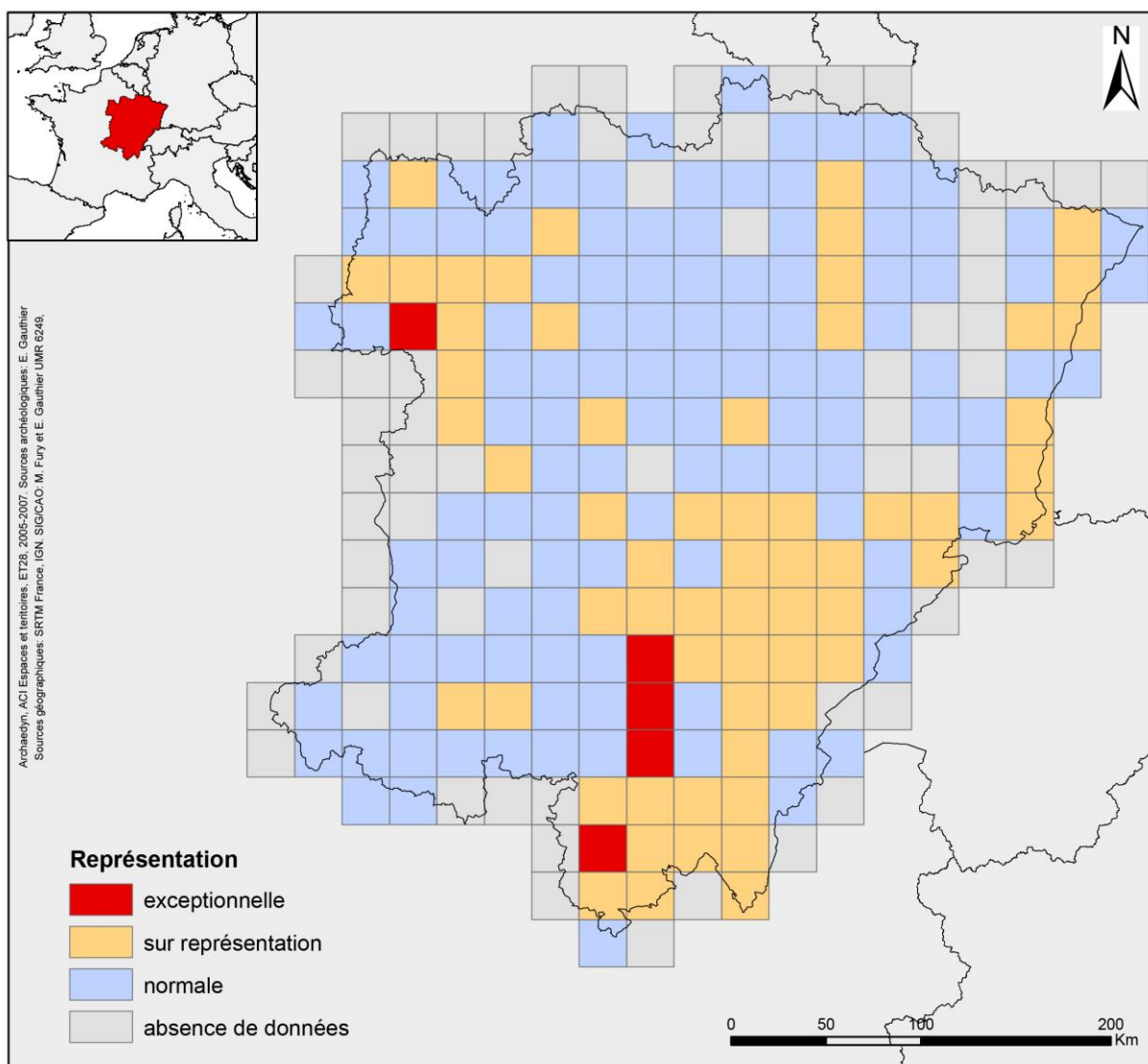


Fig. 5. Exemple de carte de représentation des sites de l'âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).

¹⁷ Pour le calcul de la taille « optimale » des mailles voir [Saligny et al. 2008](#), [Nuninger et al. 2012](#).

Il s'agit ensuite d'interpréter l'hétérogénéité spatiale de la distribution. Pourquoi certaines zones sont-elles faiblement représentées : s'agit-il de zones prospectées mais qui n'ont fourni aucune donnée archéologique ou existe-il des problèmes de représentativité des données (difficulté d'accès à la documentation, absence de recherches, etc.) ? Pourquoi certaines zones apparaissent-elles beaucoup plus riches, d'une façon presque "exagérée" : ont-elles bénéficié de prospections plus systématiques, d'un intérêt particulier, d'un meilleur accès à la documentation, de publications exhaustives, ou au contraire, leur importante attractivité aux périodes anciennes en est-elle la cause ? En d'autres termes, peut-on expliquer les déséquilibres observés simplement par les données archéologiques elles-mêmes (concentrations, vides véritables) ou par les défauts de l'inventaire ? La carte de fiabilité a ainsi pour objectif de qualifier l'état de connaissance des différents espaces composant la zone d'étude et d'identifier les possibles biais documentaires. Elle n'est pas issue d'un traitement des données mais elle est réalisée a priori¹⁸ par l'auteur du corpus en fonction de sa connaissance des conditions dans lesquelles l'inventaire a été réalisé. Il s'agit d'identifier au minimum trois types d'espaces : des zones où l'inventaire est jugé fiable (c'est à dire que les données devraient y être représentatives de la réalité ancienne), d'autres où il est estimé moyennement fiable et d'autres enfin où il est considéré comme peu fiable, avec des données probablement non représentatives de la réalité ancienne. Toute la zone d'étude doit être qualifiée selon ces 3 indices (Fig. 6).

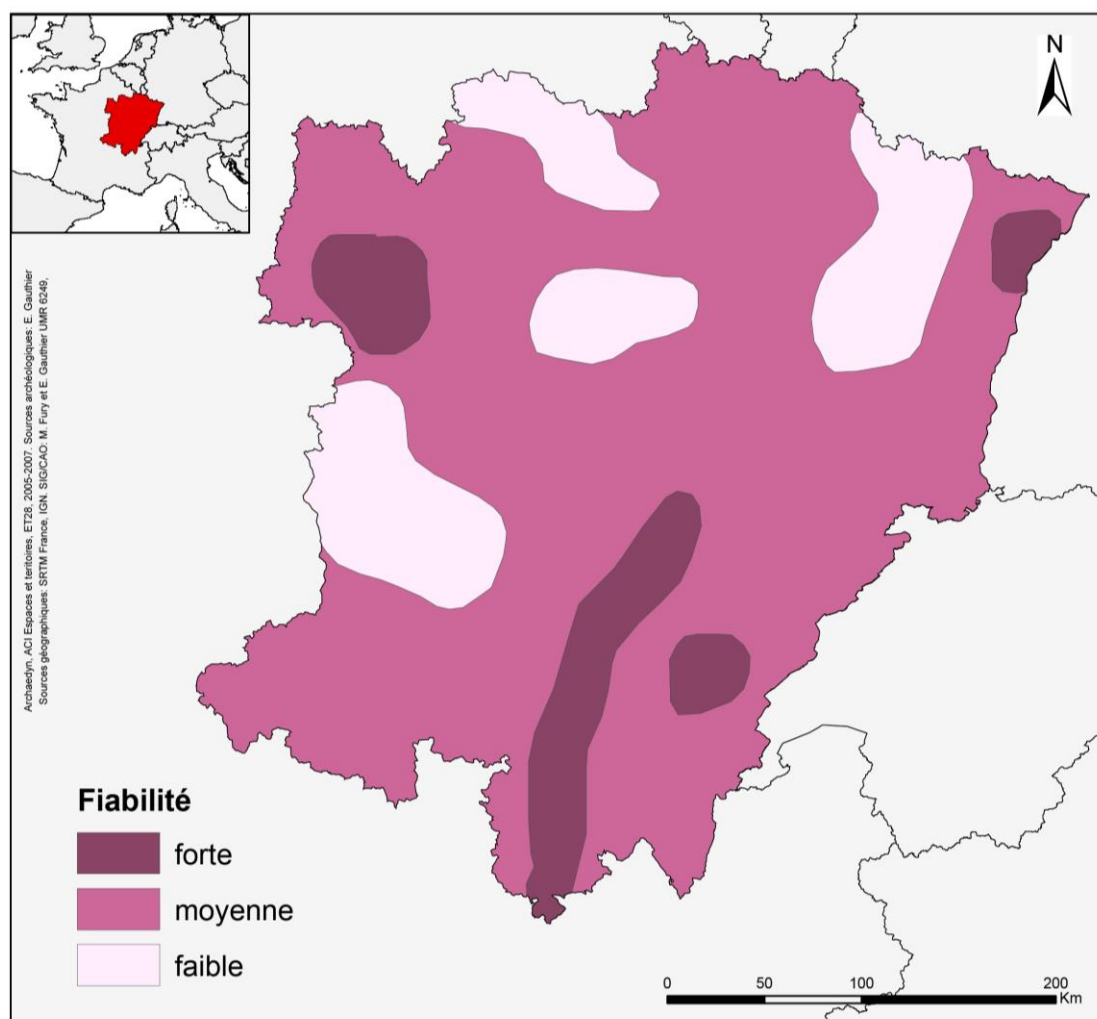


Fig. 6. Exemple de carte de fiabilité des sites de l'âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).

¹⁸ Donc sans s'appuyer sur la répartition des données.

Les cartes de représentation et de fiabilité prises en compte simultanément facilitent ainsi l'évaluation de l'impact de l'hétérogénéité de la documentation sur les données et permettent de mieux interpréter l'inégalité de la distribution des vestiges, en distinguant notamment vides archéologiques et vides documentaires. Mais l'analyse conjointe des deux cartes est difficile, c'est pourquoi il est beaucoup plus intéressant de les combiner afin d'en créer une troisième, la carte de confiance, certes plus complexe à la lecture mais sur laquelle les deux paramètres sont présentés conjointement (Saligny et al. 2008, p. 25-44)¹⁹. Les biais dans la recherche archéologique et leur impact sur la répartition des données sont ainsi mis clairement en évidence (Fig. 7).

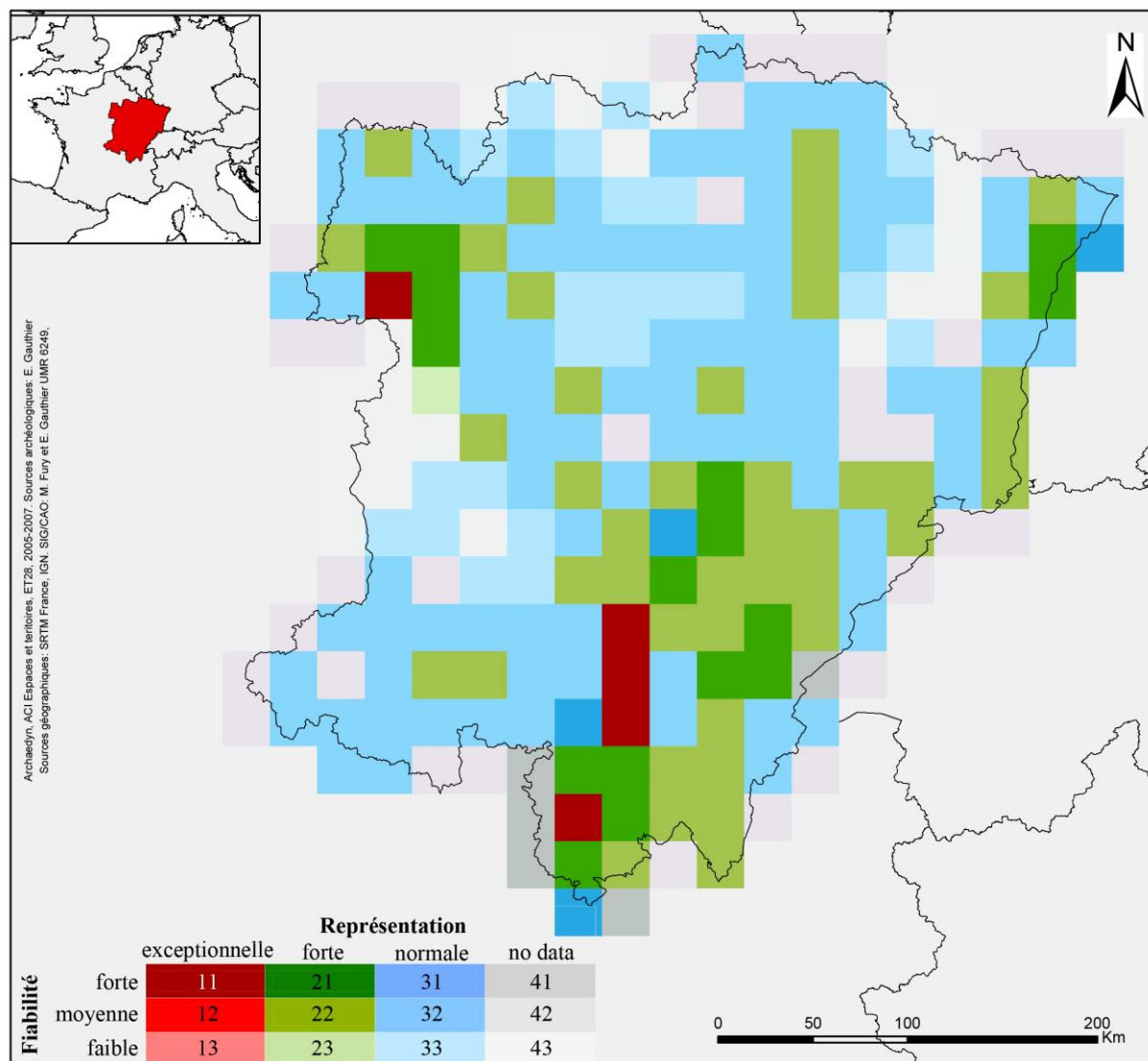


Fig. 7. Exemple de carte de confiance des sites de l'âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).

S'il est plus aisé de pointer les manques liés aux biais documentaires, l'interprétation de la carte de répartition reste complexe. Les zones à forte fiabilité et qui ont livré une très forte densité de vestiges correspondent généralement à des zones mieux connues en raison de la multiplication des facteurs favorables (davantage de possibilités de découverte, une meilleure conservation, un meilleur accès aux données, etc.). La présence d'un grand nombre de découvertes est la preuve

¹⁹ Pour le détail de la méthode, voir Nuninger et al. 2012.

d'une activité ancienne importante, mais les conditions d'enregistrement bien meilleures qu'ailleurs impliquent parfois une sur-représentation des données qui a pour effet d'écraser toutes les autres tendances alentours. A quel point peut-on dire que l'image donnée sur l'ensemble de la zone d'étude est alors représentative de la réalité ancienne ? Il existe aussi des déséquilibres qualitatifs qu'il est difficile de maîtriser.

Les zones classées comme fiables mais qui ont livré peu de vestiges peuvent par contre être identifiées de façon crédible comme des zones de moindre activité ou présence. A l'inverse, sur un territoire très peu remanié ou étudié, il est pour ainsi dire "normal" de trouver peu de vestiges ; une quantité supérieure de découvertes revêt alors une plus grande importance puisqu'elle est peut-être révélatrice d'un phénomène archéologique particulier qui peut apparaître néanmoins comme secondaire voire très discret sur une carte de répartition non critiquée. Le rôle de la carte de confiance prend alors tout son sens, puisqu'elle fait évoluer la manière de lire la distribution des données en réajustant, dans les différents espaces de la zone étudiée, l'impression donnée par la quantité des vestiges enregistrés.

La carte de confiance garde somme toute une ambition modeste, celle d'aider à commenter la distribution des données. La relativisation des valeurs par une véritable pondération s'avèrerait beaucoup plus complexe car il reste difficile d'estimer à quel point les données sont sur- ou sous-représentées et il est plus délicat encore de combler les lacunes...

1.2.2. Des critères spécifiques

L'élément essentiel de cette lecture critique est la carte de fiabilité car c'est elle qui donne les clés d'interprétation des phénomènes observés. Les critères pris en compte pour l'estimation de la fiabilité de la répartition spatiale des inventaires dans notre atelier se distinguent de ceux issus d'autres problématiques, celles attachées à l'habitat notamment, où les inventaires sont généralement réalisés à des échelles plus grandes et sont fondés plus fréquemment sur des prospections et des fouilles. Pour ceux-là, la visibilité des vestiges, l'aspect systématique des prospections ou les conditions taphonomiques auront un impact fort. Au contraire, pour l'étude de la circulation des produits à petite échelle, le corpus consiste le plus souvent en un large inventaire des découvertes qui repose essentiellement sur des dépouillements bibliographiques plus ou moins approfondis, des investigations dans les musées et les dépôts archéologiques et bien plus rarement directement sur des opérations de terrain spécifiques. Les inventaires tendent généralement à l'exhaustivité de ce qui est "connu" mais sont soumis à différents aléas liés aux conditions de découverte fortuite et de documentation/publicité archéologique.

Ainsi les critères spécifiques que nous avons choisi de prendre en compte sont les suivants (Gauthier *et al.* 2012, 67-68) :

- **Les recherches archéologiques :**
 - La présence de spécialistes de la période sur le secteur étudié
 - La quantité de recherches qui ont eu lieu par le passé (fouilles, prospections...)
 - La qualité de ces recherches (exhaustivité, finesse des fouilles)
 - L'accessibilité et la visibilité des sites (forêts, relief...)
- **La conservation :**
 - Des vestiges (destruction du site, érosion, bâti postérieur)
 - Du matériel et des informations (perte du matériel, dispersion dans des collections privées, accidents sur les collections)
- **Les occasions de découverte fortuite :**
 - Travaux routiers, autoroutiers, voies ferrées...
 - Dragages et carrières
 - Autres travaux (aménagement...)
- **L'accès aux données :**
 - Accès direct aux informations (fouilles, communication avec les inventeurs...)
 - Publications (papier ou Internet)
 - Autres accès à la documentation (SRA, musées, collections privées...)
- **Les choix des concepteurs de la base de données, leur attention sur les différents secteurs**

Dans le cas d'un inventaire global des découvertes à l'échelle d'une région, d'un pays ou d'un territoire plus vaste encore, ce sont surtout les divers aménagements du sol, plus ou moins nombreux, qui conditionnent la fiabilité des répartitions. En effet, on peut considérer que la découverte fortuite est la principale circonstance de découverte, la prospection systématique dans le but de trouver spécifiquement le produit recherché étant, dans notre cas, très marginale (à l'exception des recherches au détecteur de métal qui apportent aujourd'hui davantage de données mais qui restent encore peu fréquentes dans un cadre scientifique ; les autres, illégales, faisant rarement l'objet de signalements). Ce sont ces aléas qui caractérisent le mieux nos objets d'étude, si bien qu'ils sont profondément liés aux activités humaines récentes. Les cartes de répartition reflètent fortement notre peuplement actuel et nos aménagements modernes (routiers, autoroutiers, ferrés, exploitations de matériaux, etc.).

La qualité de la connaissance des différentes régions repose ensuite sur le dynamisme de la recherche dans le domaine étudié (présence de spécialistes, quantité et types d'opérations), et sur les publications qui en ont été faites jusqu'au moment de l'inventaire. L'accessibilité des données est évidemment un critère majeur lorsque les inventaires sont conçus principalement à l'aide de dépouillements bibliographiques. Il existe bien évidemment une différence fondamentale entre les données publiées dans des périodes à portée nationale, les revues strictement locales et les documents inédits (rapports d'opération, mémoires non publiés). La connaissance des vestiges d'un secteur atteint donc des niveaux différents selon la profondeur du dépouillement.

Les conditions de conservation des vestiges, mais aussi du matériel et des informations sont bien entendu à prendre en compte puisqu'elles ont joué à la fois sur les possibilités de découverte et sur l'accessibilité des données. Enfin, il faut aussi considérer le rôle du concepteur de l'inventaire qui généralement souhaite tendre à l'exhaustivité mais se voit parfois confronté à des difficultés matérielles, à un temps ou des moyens insuffisants, ne lui permettant pas d'accorder une attention égale à tous les secteurs.

Cette multitude de facteurs doivent être pris en compte simultanément pour pouvoir estimer la fiabilité de la répartition des données dans une région donnée. D'autre part, tous ces critères peuvent être considérés à la fois du point de vue quantitatif mais aussi qualitatif. Un ensemble de sites connus par plusieurs campagnes de prospections aériennes permettront par exemple de placer un grand nombre de points sur la carte de répartition mais la qualité des informations sur ces sites (datation, fonctions, structures, etc.) n'équivaudra en rien celle d'un site unique connu par des fouilles programmées. La nature, la durée, l'intensité mais aussi l'époque des opérations (fouilles anciennes/récentes) doivent être prises en compte.

Cette évaluation critique des données est un préalable d'autant plus nécessaire que ces facteurs de natures diverses ont pu intervenir inégalement dans différents endroits de la zone étudiée et pour une partie seulement des données. Leur combinaison se révèle dès lors un exercice très complexe (Gauthier 2005a, Tremblay-Cormier 2012). Par exemple, L. Tremblay Cormier propose dans sa thèse d'emboîter différentes échelles d'observation (de la commune à la région, Fig. 8) et de considérer différemment données anciennes et récentes. Pour son cas d'étude (les objets métalliques du Bronze final-Hallstatt entre Lyon et Koblenz), les critères de fiabilité ont uniquement porté sur l'activité de la recherche archéologique : *"Trois critères principaux ont été retenus pour leur influence sur la constitution du corpus : l'activité archéologique ancienne menée par les sociétés érudite des siècles derniers, les fouilles programmées récentes et préventives, et l'accessibilité à l'information (synthèses, musées, rapports de fouille) lors de la création du corpus."* (Tremblay-Cormier 2013, p. 26)

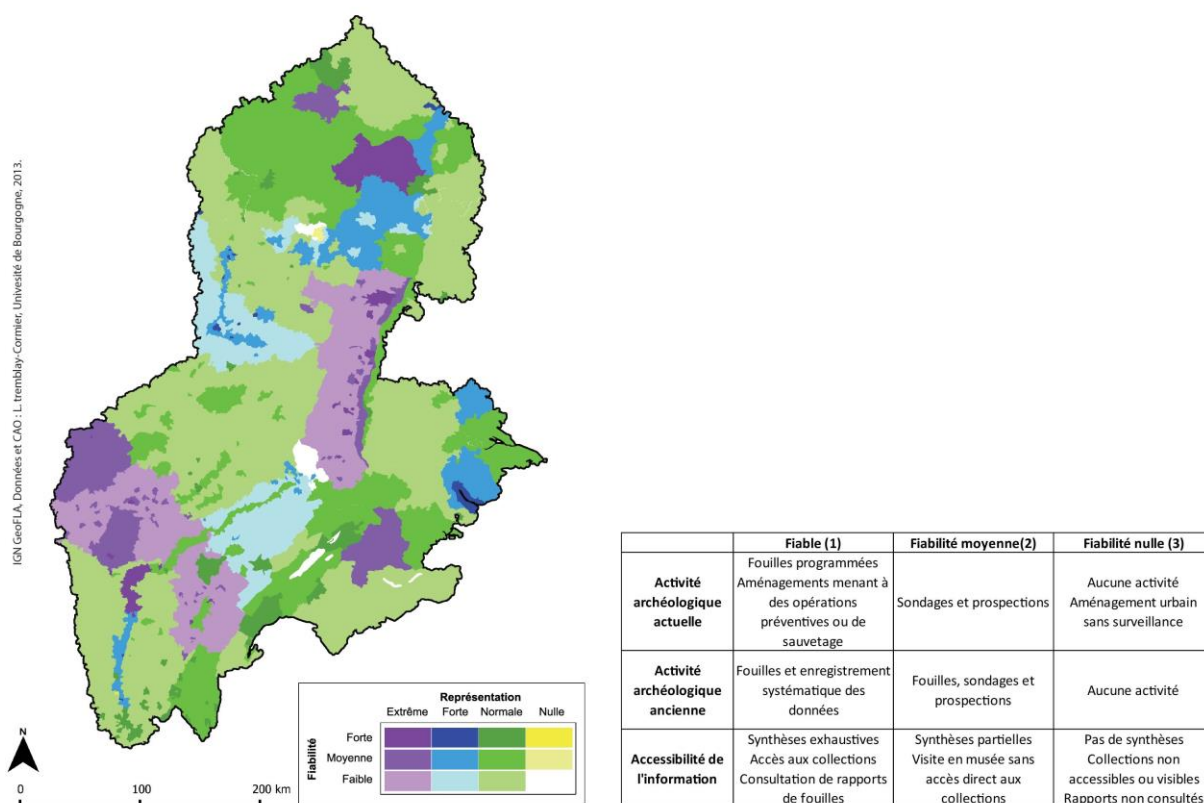


Fig. 8. Carte de confiance des découvertes de l'âge du Bronze et du 1^{er} âge du Fer entre Rhin et Rhône et critères de fiabilité (d'après Tremblay-Cormier 2013, voir aussi en noir et blanc Tremblay-Cormier 2016).

La question s'est aussi posée de la prise en compte du contexte culturel ou géographique, notamment de critères topographiques ou paysagers, mais ces critères sortent du cadre de la seule évaluation de l'état de la recherche afin de distinguer vides archéologiques et biais documentaires

pour entrer dans une première tentative d'explication de la répartition des données, même s'ils permettent de comprendre certains déséquilibres dans les distributions.

Ainsi, pour établir la carte de fiabilité de la répartition des briquetages du sel le long de la façade atlantique, O. Weller a choisi, dans un premier temps, de croiser plusieurs couches d'informations disponibles : l'historique des recherches (inventaire/prospection systématique, archéologie préventive, fouilles programmée), l'hydrographie (zones d'estuaires, plaine littorale), le relief (zones basses et forts reliefs côtiers), le couvert forestier et la pédologie (sols hydromorphes, sols d'alluvions marines et fluviatiles, sols de dune, sols à forte salinité, sols humo-cendreaux et lithosols). Pour chaque secteur, les critères ont été hiérarchisés selon leur importance. *« Les zones fiables sont majoritairement des secteurs de basses côtes ou de marais où les prospections ont été soutenues durant plusieurs années ou grâce à l'archéologie préventive (Autoroute A16, Marais de Dol, Trégor, Golfe du Morbihan, Pays de Retz, Marais de Rochefort). Mais, en dehors des seuls critères liés à la recherche archéologique, le croisement avec les données géographiques a permis de reconnaître certaines zones très peu propices à l'implantation d'ateliers sauniers et donc fiables quant à leur vide documentaire (par exemple les zones de falaises : Pays de Caux, La Hague, nord Pointe du Raz). A l'inverse, il a été aussi possible de suggérer que d'actuelles zones vides renferment probablement de nouveaux ateliers (marais littoraux, zones de dunes et forêt littorale), voire des relations insoupçonnées entre implantation des ateliers et type de sol (adéquation très forte en Bretagne entre les zones d'implantation des ateliers et les sols humo-cendreaux/lithosols) et donc qu'il est possible d'identifier de nouveaux secteurs peu fiables malgré la présence de chercheurs. Même s'il n'a pas été possible de croiser l'information avec les cartes géomorphologiques et celles de dynamiques littorales (bathymétrie, courants, érosion/accumulation sédimentaire...), l'élaboration de la carte de fiabilité avec la définition de 16 secteurs a permis d'offrir une nouvelle lecture des zones sur- ou sous-représentées, en dehors des seuls critères de l'historique des recherches et de l'accès aux données » (voir ci-après la Fig. 10).*

On peut considérer que les facteurs géographiques ou environnementaux sont plus explicatifs que descriptifs de la qualité du corpus de données. Toutefois, quand il s'agit d'étudier la répartition des ressources exploitées, il est difficile de ne pas prendre en considération, en partie au moins, de tels critères qui conditionnent l'implantation des gîtes. Bien entendu, sans ressources, on ne peut pas s'attendre à trouver d'exploitations, la quantité ou la qualité des recherches n'y fait rien. Ainsi la confrontation des zones susceptibles d'avoir fourni les matières premières étudiées et l'évaluation de la recherche archéologique offre une meilleure approche de la fiabilité de ce type de données. Par exemple, dans le cas des exploitations de silex néolithiques dans le centre-est de la France (J. Affolter), *« Of course, this spread is strongly linked to the geological remains. We can see a geological sorting from the west toward the east in this Transect. At the west side (sector 5), we find the good outcrops from the upper Cretaceous flint – including the well-known Grand-Pressigny region. But this region is yet not systematically studied for the raw materials, because of the lack of local prospectors. Toward the east, we come at first across some Jurassic limestone, which are yet not yet really studied. Then I assume that the trust level of the spread in this region is only moderate. Then we arrive into the Morvan Mountain (sector 1), where the field is built of granite and other metamorphic rocks, which cannot contain any flint outcrop. Thus, the trust level is high that the lack of flint outcrops in this region is a reality. After that, we arrive in the Bourgogne (sector 2). The geological potential is high in the north in the middle Jurassic and in the Upper Cretaceous, but it's yet not known. If there are flint outcrops, they may occur on the ridge of the hills, like in the vicinity from the Yonne valley. Therefore, the trust level is low. In the Chalonais (sector 4), we find many secondary deposits of flint from the Upper Cretaceous, and we have local prospectors. But the geomorphologic evolution was high during the Holocene, and there are a lot of agricultural activities, then we cannot assure, that we*

have found all the outcrops. So the trust level is moderate. At the Eastern side of our Transect (sector 3), the geological potential for flint outcrops is high and reaches from the Trias to the upper Jurassic. Some Oligocene's outcrops are known too. I did systematic research, so I think, we have the most outcrops. However, in this region too, the geomorphologic changes during the Holocene let probably disappear some outcrops. Nevertheless, I know raw materials which were used in the archaeological settlements and which are local or regional, but I could not find the outcrops, probably because they are now under the colluviums. Also I give only a moderate trust level for this region » (Fig. 9).

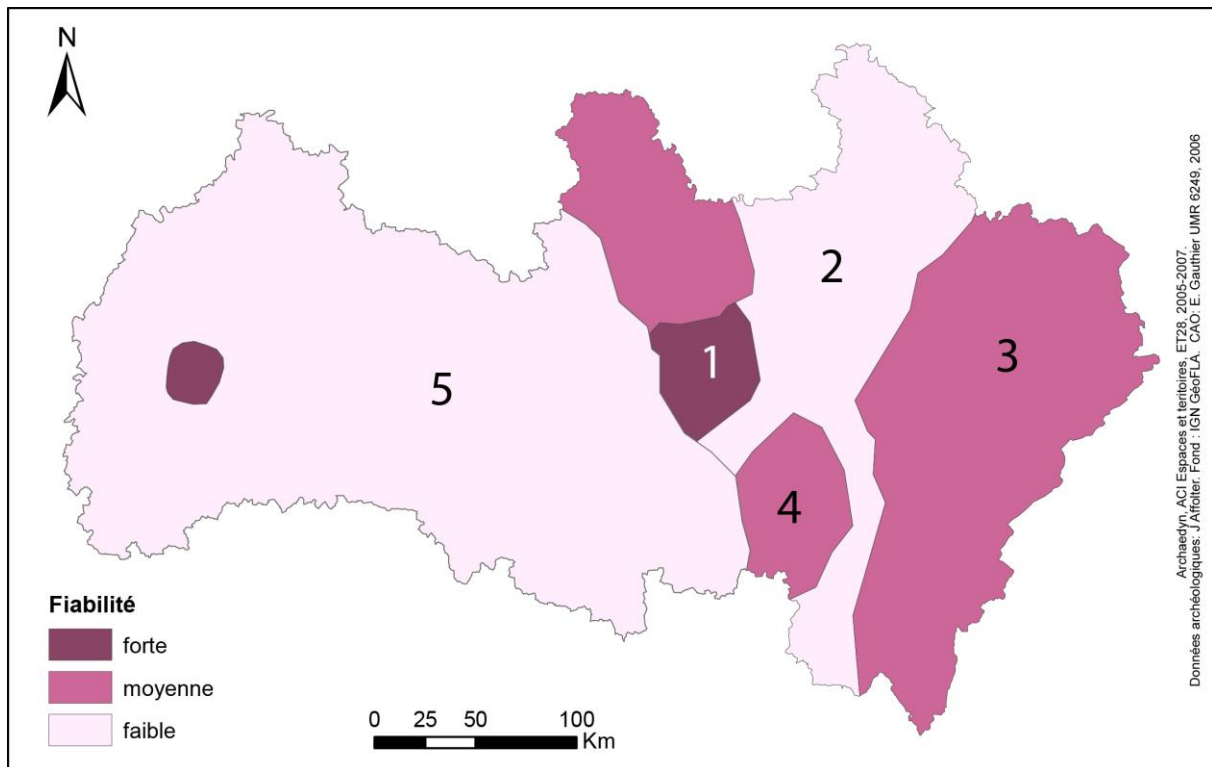


Fig. 9. Carte de fiabilité des exploitations de silex du Néolithique, en Bourgogne, Franche-Comté et dans le centre de la France (IGN GeoFLA, Données J. Affolter, CAO : E. Gauthier, 2007).

Ce travail de réflexion sur les facteurs ayant joué un rôle sur la qualité des données constitue donc un exercice subjectif qui aide à formaliser les problèmes sous-jacents, à exprimer la manière dont les données ont été enregistrées mais aussi la manière dont elles sont perçues par le(s) auteur(s) du corpus. Tous les inventaires ont été acquis de manière différente, il est donc nécessaire d'accompagner la définition des niveaux de fiabilité de commentaires précisant les critères considérés comme les plus déterminants, leur poids et leur impact. Nous proposons de réaliser cette description soit sous la forme d'un texte détaillant les éléments pertinents permettant de comprendre les conditions de constitution de l'inventaire, soit sous la forme d'un tableau dans lequel sont qualifiés les niveaux de fiabilité attribués pour toute la zone d'étude ou bien secteur par secteur (par exemple pour l'inventaire des briquetages atlantiques (données O. Weller), [Tabl. 1](#) et [Fig. 10](#)). Les facteurs considérés comme les plus influents peuvent d'ailleurs varier selon les secteurs. Cette évaluation doit aussi comprendre un bilan des problématiques, des modèles mis en œuvre, des choix opérés lors de l'enregistrement des données (zones d'étude ou fenêtres, matériel, types, identification des sites) et des problèmes rencontrés.

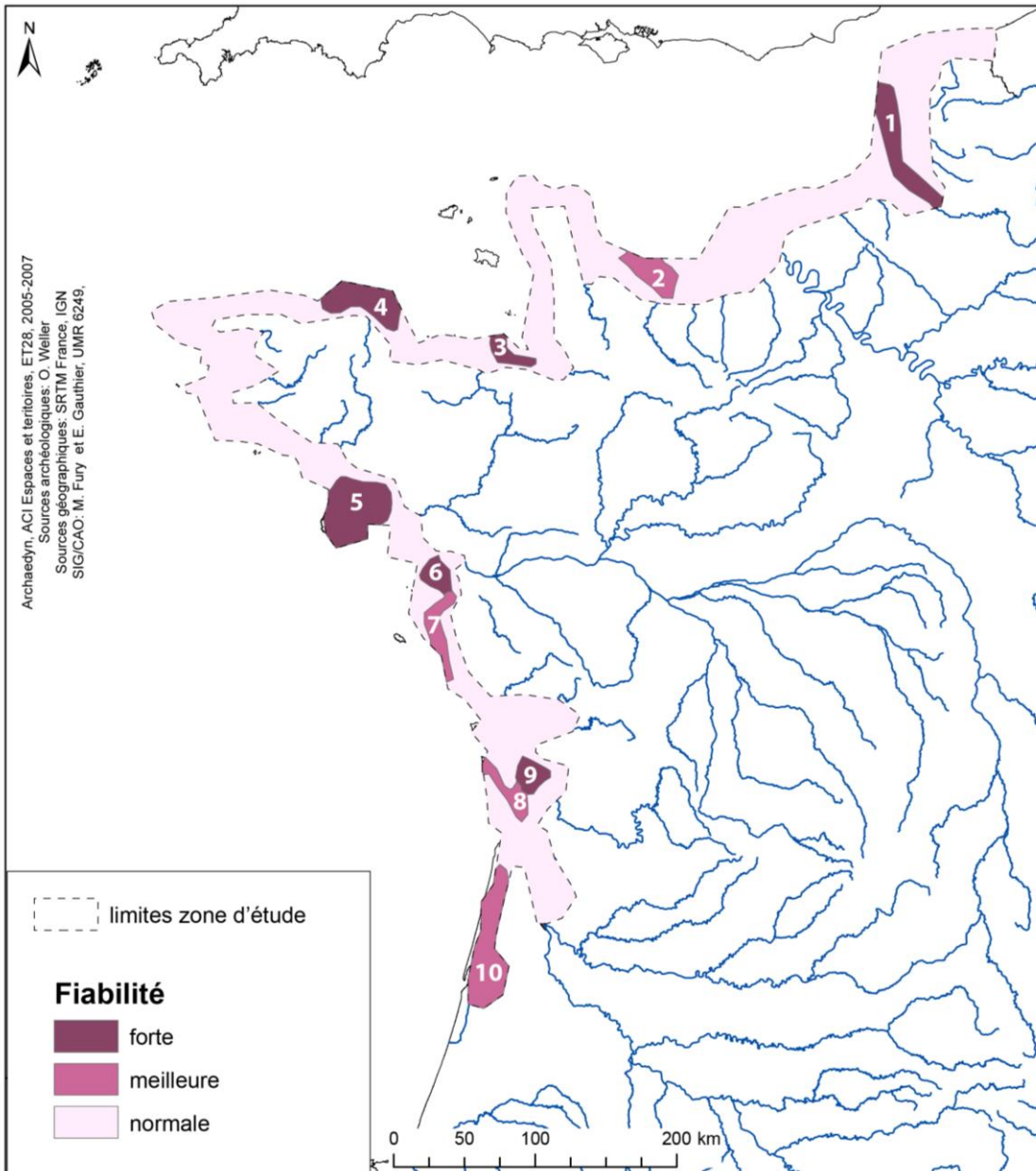


Fig. 10 Carte de fiabilité de la répartition des briquetages du sel le long de la façade atlantique (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données O. Weller, CAO : M. Fury et E. Gauthier, 2007).

Facteurs	Recherches archéologiques				Conservation	Conditions de découverte			Accès aux données			Choix
	présence de chercheurs ou prospecteurs	quantités (fouilles et/ou projections)	qualité (exhaustivité des recherches...)	accessibilité du site	destruction du site (érosion, bâti...)	travaux routiers	dragages et carrières	autres travaux	accès direct aux informations	publications (papier ou Internet)	autres accès à la documentation (SRA, musées, collections privées...)	Attention sur le secteur
Niveau général pour la zone (fiabilité normale)	M (1)	F (2)	F (3)		M (5)							B (4)
Fiabilité												
secteur 1	forte	B (5)	B (3)	TB (2)								B (6)
secteur 2	meilleure	M (2)	B (3)									M (1)
secteur 3	forte	B (2)	B (1)	B (4)						B (3)		B (5)
secteur 4	forte	B (2)	TB (1)	B (3)					M (6)	TB (4)		B (5)
secteur 5	forte	B (5)	TB (2)	TB (1)					B (4)	TB (3)		B (6)
secteur 6	forte	B (2)	B (1)	M (6)					B (5)	B (3)		B (4)
secteur 7	meilleure	F (3)	TF (1)		B (2)							B (4)
secteur 8	meilleure	M (3)	F (1)		B (2)							M (4)
secteur 9	forte	B (2)	TB (1)	B (3)						B (4)		M (5)
secteur 10	meilleure	F (2)	F (3)		TF (1)					M (4)		M (5)

TB : très bon B : bon M : moyen F : faible TF : très faible case laissée vide : facteur non pris en compte
Facteurs classés de 1 à 5 selon leur ordre d'importance

Tabl. 1. Les critères de fiabilité de la répartition des briquetages de sel le long de la façade atlantique (Données O. Weller).

Le degré moyen de fiabilité varie selon les cas d'étude. Dans l'exemple des briquetages de sel le long de la façade atlantique, un niveau jugé « normal » peut être attribué à l'essentiel de la zone d'étude tandis que certaines zones se distinguent par une documentation de meilleure qualité. Parfois, au contraire, on considérera que l'essentiel de la zone étudiée est insuffisamment documenté, tandis que seuls certains secteurs pourront véritablement être exploités. C'est notamment le cas de l'inventaire des meules en Franche-Comté (L. Jaccottey et A. Milleville (Fig. 11) : « L'étude se base sur un inventaire quasi exhaustif des outils de mouture franc-comtois. Les outils sont de deux types : meules et molettes de type « va-et-vient », chronologiquement Néolithique et Protohistorique, et des moulins rotatifs gaulois et romains. Le cadre d'étude, limité à la Franche-Comté n'est pas archéologiquement significatif, et aspire à être élargi. C'est pourquoi sur l'ensemble des cartes de représentation de la répartition des outils, on constate une sous-représentation des zones proches de la limite administrative de l'étude, une sorte d'effet frontière. Concernant le matériel de mouture de type "va-et-vient", la carte de représentation de la répartition des outils reflète l'état de la recherche en Franche-Comté. En effet, notre inventaire est considéré comme exhaustif, les biais ne sont donc pas dans l'inventaire mais dans les découvertes, les lacunes étant attribuables à l'absence de données dans certaines régions. Les zones à représentation très forte sont celles où de nombreuses recherches ont été entreprises (Sites lacustres de Chalain et Clairvaux, 50% des outils inventoriés ; région de Belfort/Montbéliard où les sites de hauteur sont bien connus ; diagonale soulignée par les cours du Doubs et de l'Ognon où les prospecteurs sont nombreux). A l'inverse, des zones sous-représentées correspondent aux zones peu prospectées (Plateaux du Jura...). [...] Concernant les moulins rotatifs, [...] les zones sur-représentées correspondent aux agglomérations et villes principales de l'époque romaine : Besançon (capitale), Mandeure, auxquelles il faut rajouter des zones très intensément prospectées comme la région doloise. [...] Tout comme précédemment, afin d'avoir une zone d'étude homogène, il faut évacuer des cartes de représentativité les zones de vide des plateaux jurassiens (sur la carte : les zones à proximité du Doubs, de sa source à son passage en Suisse), ainsi que le Nord de la région. »

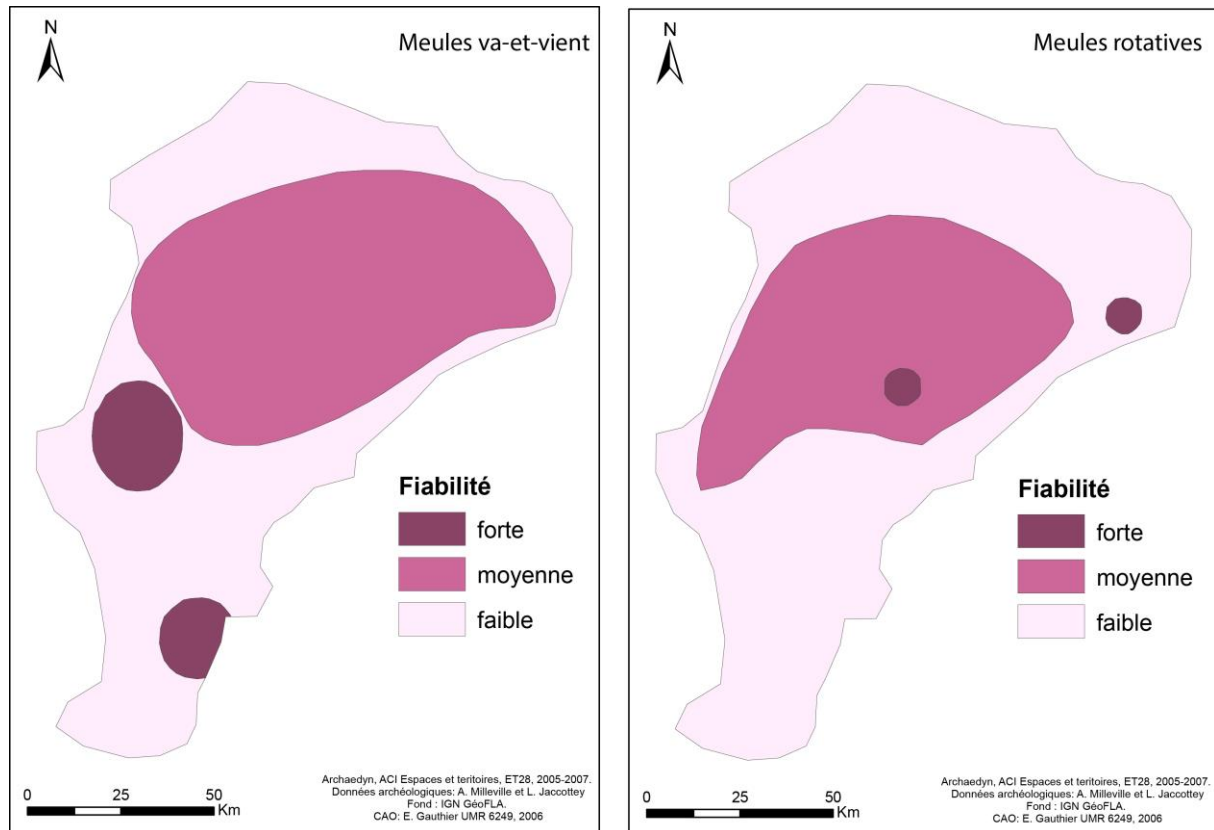


Fig. 11. Carte de fiabilité de la répartition du matériel de mouture en Franche-Comté. A gauche : meules va-et-vient, à droite : meules rotatives (Données : A. Milleville et L. Jaccottey, CAO : E. Gauthier, 2006).

Mais cela dépend aussi des perspectives d'évolution du jeu de données. En effet, si les objets ont été répertoriés dans l'optique d'une recherche exhaustive et que très peu d'éléments extérieurs sont venus troubler la conservation ou l'inventaire des données, on considérera comme fiable une situation où l'ajout régulier de nouvelles données modifiera très peu sur le long terme la répartition générale et les configurations spatiales déjà observées. Par exemple, pour l'inventaire des haches en jades alpins en Europe (P. Pétrequin, Fig. 12), le niveau fiable concerne les zones bien prospectées, un bon état des collections, des recherches systématiques depuis 10 ans, un dépouillement détaillé des publications ; le niveau modéré correspond à un état moyen de l'inventaire mais fiable à l'échelle européenne (sans modifications sensibles du nombre et de la qualité des données au fil des ajouts) ; enfin le niveau peu fiable traduit des connaissances incertaines, ce qui peut, mais ne veut pas forcément dire un mauvais d'un point de vue spatial.

"En 1995, P. Pétrequin et S. Cassen lançaient l'idée d'une enquête ambitieuse, à l'échelle de toute l'Europe occidentale, sur les haches en « jades » alpins, en fondant leurs raisonnements sur un inventaire systématique. Ainsi, au moment du démarrage de l'ACI ArchaeDyn, une remarquable base de données était déjà acquise, avec environ 1 500 haches documentées, 800 références bibliographiques, un millier de pièces dessinées, plus de 500 déterminées du point de vue pétrographique et identifiées quant à leur origine dans le massif alpin. D'une manière générale, la répartition des longues haches en jades en Europe est jugée fiable et représentative de tendances réelles pour le Néolithique. Certaines régions ont même une longue tradition -préalable au projet-d'étude et de publication (la Grande-Bretagne, l'Irlande, les Îles anglo-normandes l'Allemagne). Pour les autres régions un long investissement a été réalisé dans la visite systématique des musées et des collections, ainsi qu'un dépouillement bibliographique très poussé (Pays-Bas, Belgique, France, nord de l'Espagne et Portugal, Suisse, Italie du Nord et Bulgarie). Dans ces régions, l'inventaire est devenu très fourni, hormis pour de petites aires géographiques où les haches ont perdu leur identité et leur provenance (musées de Bordeaux et de Clermont-Ferrand), ou bien parce que la documentation y a été peu accessible (front de guerre du nord de la France et Ardennes ; en Lorraine peu d'intérêt porté au sujet par les préhistoriens régionaux). Les autres zones

de fiabilité moyenne correspondent à des régions où une partie de la bibliographie a été dépouillée, avec un contrôle très partiel dans les musées et les collections (sud de l'Espagne et du Portugal, Corse, Sardaigne, Sicile, Italie centrale, Autriche, Slovaquie et Pologne). Dans les zones de faible fiabilité, seuls des tests avaient été réalisés au moment du démarrage d'ArchaeDyn." (voir aussi [Pétrequin, Cassen et al. 2012b](#)).

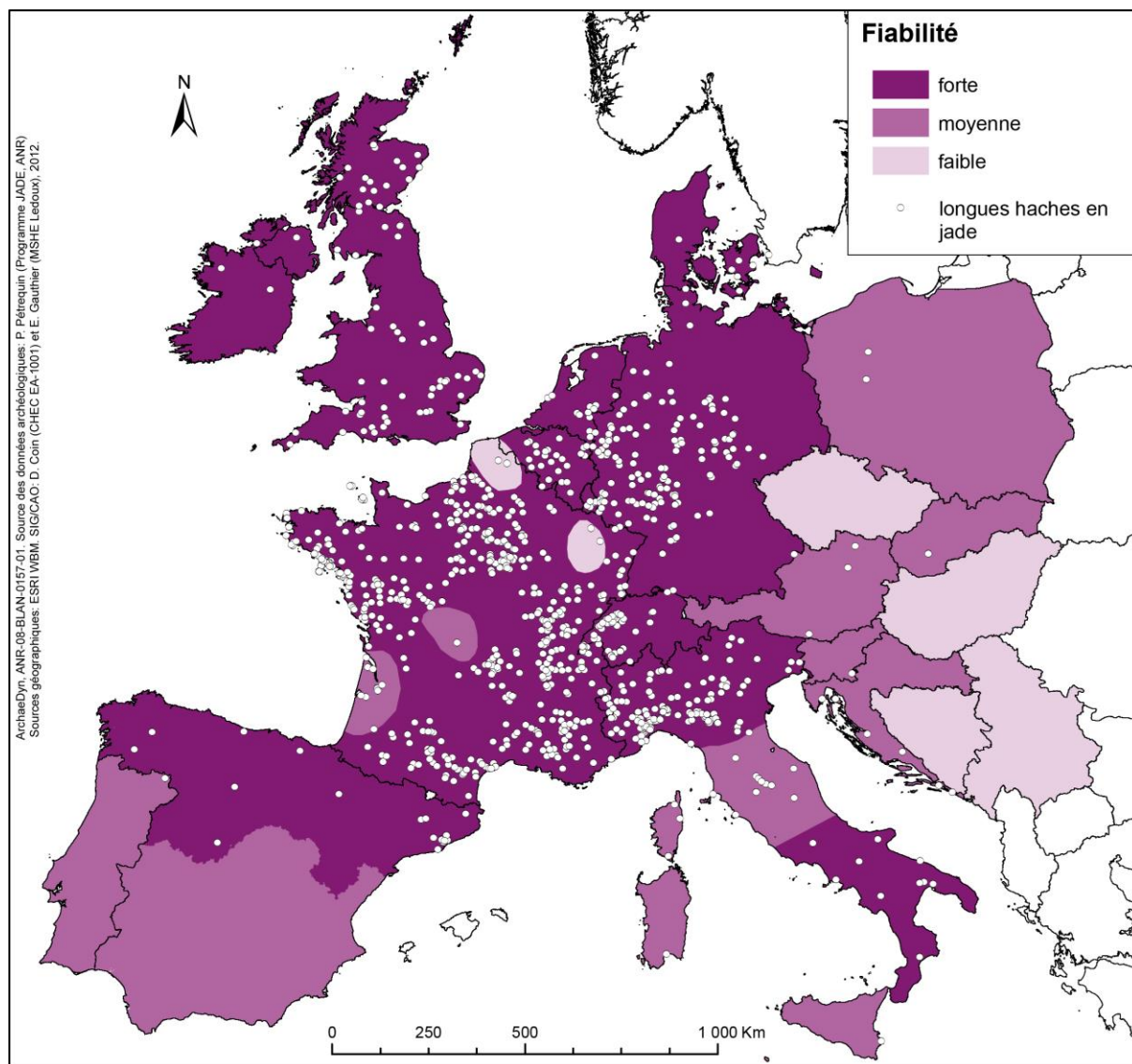


Fig. 12. Carte de fiabilité de la répartition des haches en jades alpins dans l'Europe néolithique (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, état de la documentation en janvier 2010).

Devant la grande diversité des situations rencontrées, il nous est donc apparu très difficile d'établir une définition commune des 3 niveaux de fiabilité. Nous proposons néanmoins le tableau suivant qui résume globalement les critères considérés par les membres de l'atelier (Tabl. 2) :

Niveau 1 (fiable)	Niveau 2 (modérément fiable)	Niveau 3 (peu fiable)
régions ayant fait l'objet d'une attention élevée, où les recherches archéologiques (fouilles, prospections + présence de spécialistes) ont été denses, où les occasions de découvertes ont été nombreuses (travaux agricoles, aménagements, exploitations), où les données sont accessibles et les publications abondantes	régions remplissant seulement certains des critères précédents ou bien régions dans lesquelles les recherches archéologiques, les occasions de découverte, les publications ou l'attention ont été plus modérés	régions dans lesquelles il existe des biais documentaires plus importants : régions peu prospectées, peu creusées, ayant connu des pertes d'information notables ou bien où les données sont peu accessibles

Tabl. 2. Récapitulatif des critères considérés pour définir les niveaux de fiabilité de la répartition des artefacts étudiés.

1.2.3. Évaluer le potentiel de découverte fortuite ? Le cas des dépôts métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine

Nous avons remarqué que dans le cas des inventaires à petite échelle des découvertes de produits bruts ou manufacturés, la qualité des cartes de répartition dépend beaucoup des découvertes fortuites qui ont été faites sur la longue durée, généralement depuis le XIX^e siècle au moins. En effet une grande partie des objets que nous étudions sont sortis de terre lors des divers travaux d'aménagement modernes. Nous proposons donc d'examiner plus précisément l'impact du facteur "occasions de découverte" sur les données archéologiques et plus précisément sur la fiabilité générale de la distribution. Est-il possible d'estimer le potentiel global de chaque commune à avoir livré des découvertes fortuites ? Nous présentons ici les résultats d'un test mené sur les dépôts²⁰ métalliques et les trouvailles isolées du Bronze moyen dans la basse et moyenne vallée de la Seine (Gauthier et Gabillot 2013).

La base de données comprend 153 dépôts volontaires et 524 objets isolés, ce qui représente donc 677 sites au total (Gabillot 2003). La région présente une répartition des données très inégale. On observe de grandes aires de concentration le long de la vallée de la Seine, en particulier près de Rouen, Paris et Compiègne, tandis que le reste de la zone d'étude est pratiquement vide de sites (Fig. 13).

²⁰ Par définition, un dépôt est un ensemble d'objets enfouis ou immergés indépendamment de tout contexte domestique ou funéraire (Vergier 1991).

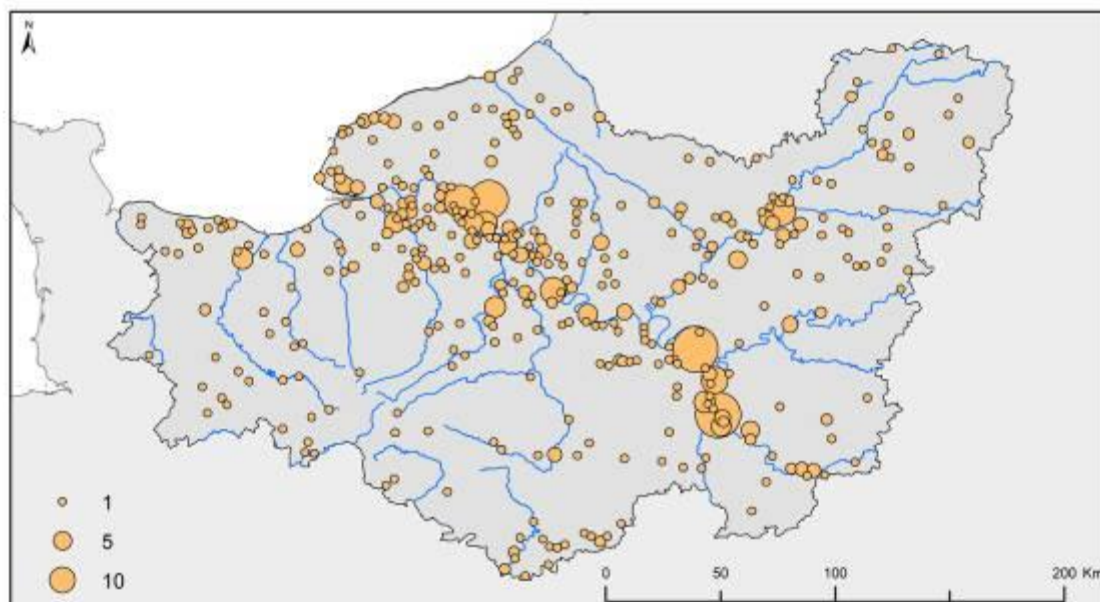


Fig. 13. Répartition des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).

Ce corpus se prête particulièrement bien à ce test car les données proviennent pour l'essentiel de découvertes fortuites faites à l'occasion de travaux (agricoles, aménagements, exploitations de matériaux). En effet, les dépôts sont le plus souvent des ensembles clos enfouis sur des surfaces très limitées et dans des lieux qui ne sont pas nécessairement liés à un contexte d'occupation. Ils ont donc eu de bien plus faibles probabilités de découverte que des habitats ou des nécropoles. Ce type de site est rarement mis au jour au cours de fouilles programmées ou de prospections ciblées (le nombre de trouvailles au détecteur de métaux est négligeable ici, ce jeu de données est essentiellement composé de trouvailles du XIX^e et du début du XX^e siècle). Leur découverte lors d'opérations préventives tient du hasard et l'augmentation de celles-ci ces dernières années n'a quasiment pas eu d'impact sur le nombre de dépôts connus. On peut donc considérer que l'intensité de l'activité archéologique est ici peu significative (Tabl. 3). Pour ce cas d'étude, les données reposent aussi beaucoup sur les publications dont le nombre et la qualité influent fortement sur les données. Néanmoins, l'inventaire a été constitué par une recherche bibliographique qui s'est voulu la plus exhaustive possible (Gabillot 2003). Or du fait de l'intérêt suscité par le bronze, les dépôts - tout au moins ceux qui ont été signalés - sont rarement restés inaperçus et ont en général été publiés.

	recherches archéologiques				conservation		conditions de découverte				accès aux données		choix	
facteurs	présence de spécialistes locaux	quantités (fouilles et/ou prospection)	qualité (exhaustivité des recherches)	accessibilité du site	du site (érosion, destruction)	des objets (perte, dispersion, collections privées)	travaux routiers	travaux agricoles	dragages et carrières	autres travaux (aménagement...)	accès direct aux informations	publications	autre documentation	attention portée au secteur
Importance														

facteur très influent
 facteur avec un impact modéré
 facteur peu influent

Tabl. 3. Critères considérés pour définir les niveaux de fiabilité de la répartition des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (Données : M. Gabillot).

On peut aussi prendre en compte les problèmes éventuels de conservation ou d'accessibilité des découvertes (destructions, recouvrements, pertes, dispersions dans des collections privées). On ne peut malheureusement pas estimer le nombre des bronzes détournés par des particuliers (refonte, privatisation, ventes sur les marchés illégaux).

Ainsi le facteur "occasions de découverte" est le seul critère que l'on peut considérer comme ayant réellement influencé la distribution spatiale de ces données. Si l'on regarde les contextes de mise au jour connus (les deux tiers sont inconnus) (Fig. 14), une large proportion est liée aux dragages et beaucoup aux activités agricoles, aux travaux d'aménagement ou d'extraction. Néanmoins, il faut considérer que les trouvailles de rivière sont plus souvent mentionnées que les trouvailles terrestres (dont les conditions de découverte sont plus rarement précisées) et sont considérées comme autant de trouvailles individuelles ; elles sont par conséquent probablement sur-représentées.

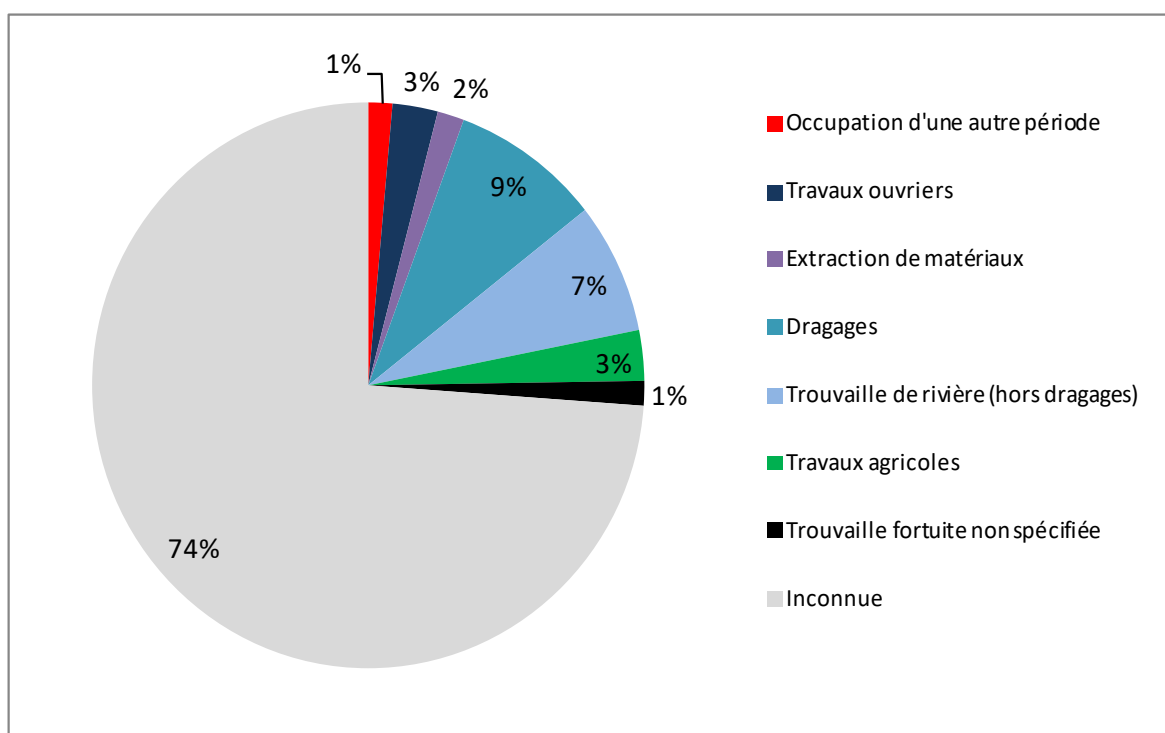


Fig. 14. Condition de découverte des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (DAO : E. Gauthier).

Il s'agit donc d'estimer - indépendamment du corpus - le potentiel de chaque commune à avoir livré des découvertes puis de le confronter au nombre de données réellement connu. Comme les sites sont localisés au niveau communal, nous utilisons les entités polygonales correspondant aux surfaces des communes actuelles.

Estimer la part des sols qui ont été remués suffisamment pour favoriser les découvertes serait une opération complexe d'autant que la sédimentation et les phénomènes d'érosion sont inégaux selon les secteurs. Néanmoins, la majorité des dépôts dont les conditions de découverte sont assez précisément renseignées ont été trouvés en moyenne entre 50 cm et 1 m de profondeur, ce qui est assez faible. Ainsi un bon nombre de dépôts sont sortis de terre dès lors que les labours sont devenus moins superficiels. On peut donc considérer que toutes les occasions où le sol a été remué constituent une chance de mise au jour d'un dépôt.

Nous proposons d'évaluer le potentiel de chaque commune en fonction de leur occupation actuelle car si les zones construites ou exploitées ont tendance à s'étendre, elles se sont plus rarement réduites. La proportion par commune des différents types d'occupation du sol sera examinée successivement en distinguant les secteurs où les activités humaines impliquant des excavations ont été (ou sont) les plus intensives et par extension celles qui ont la plus forte densité d'occupation moderne : les zones urbaines, les axes importants tels que les routes, autoroutes, voies ferrées, qui ont nécessité de vastes travaux d'aménagements, les carrières ou les mines ainsi que les terres cultivées. Ces zones a priori à fort potentiel sont néanmoins sujettes à davantage de problèmes de conservation des vestiges. Au contraire, les forêts, landes, prairies, marais, lacs, etc., devraient être des zones moins remuées, donc moins propices aux trouvailles mais plus protectrices.

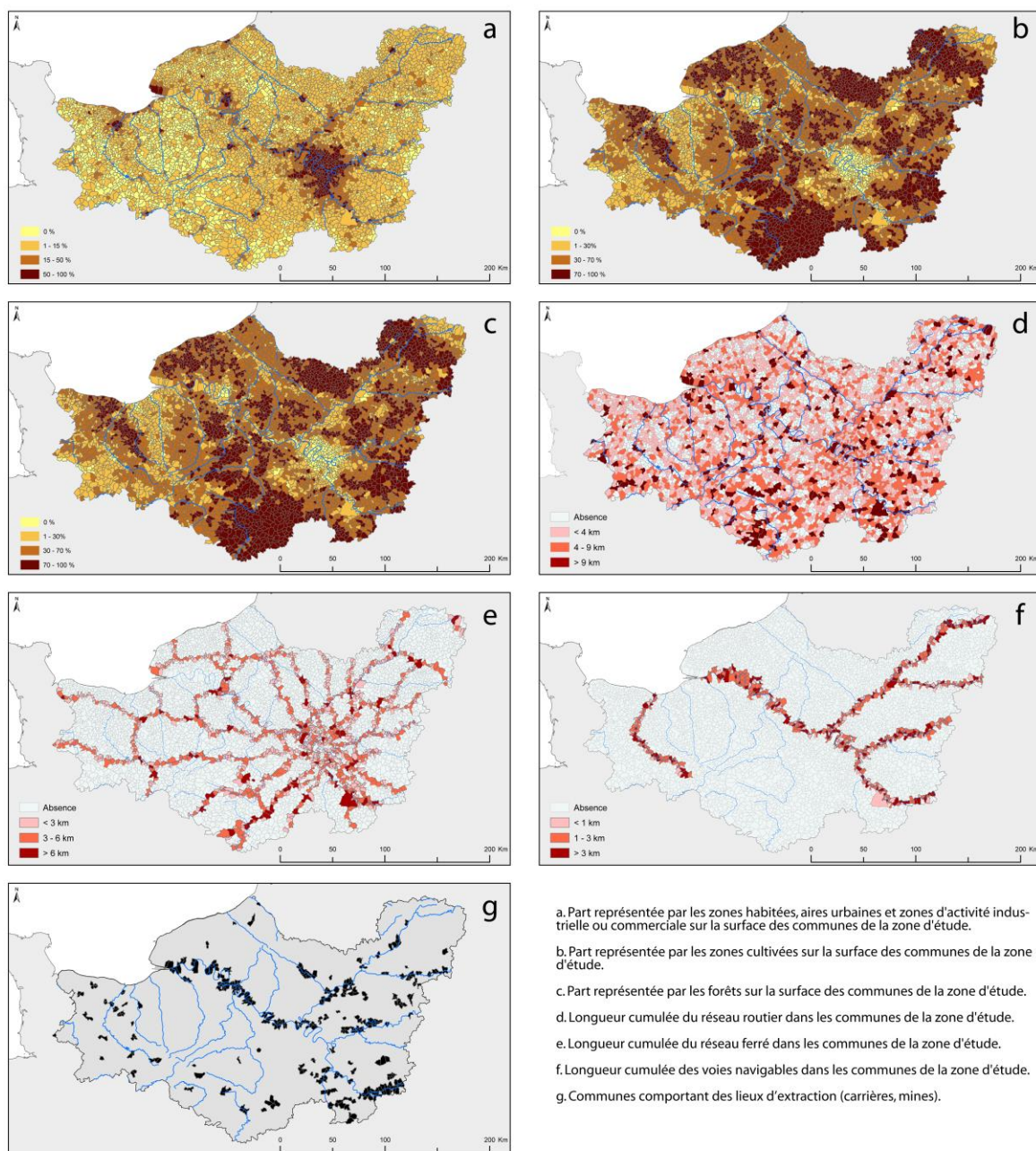


Fig. 15. Part représentée par chaque type d'occupation ou infrastructure considérés au sein des communes de la zone d'étude (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).

Les données concernant les zones habitées et les zones d'activité industrielle ou commerciale sont issues de Corine Land Cover (2006) (« *Territoires artificialisés - Zones urbanisées* » : 111 à 142), de même que les zones cultivées (codes 211 à 243) et les forêts (codes 311 à 324). Ces données sont donc surfaciques. Pour chaque commune, la proportion de la surface cumulée représentée par chaque type d'occupation a été calculée (Fig. 15a, b et c). Pour les routes, de même que pour le réseau ferré et les cours d'eau navigables, qui correspondent à des données de type linéaire de l'IGN Route 120, une longueur cumulée a été calculée pour chaque commune (Fig. 15d, e et f). Pour ce qui concerne les lieux d'extraction de matériaux (ici principalement des carrières de sables et lieux de dragages), la commission départementale des carrières propose en libre accès sur internet le schéma départemental des carrières. Par ailleurs, avec l'aide du Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-marines (DRASSM) et la consultation des données de la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et de l'agence de l'eau, il a été possible d'établir une première liste des exploitations de sables impliquant des dragages. Celle-ci a ensuite été complétée par les zones codées 131 (Extraction de matériaux) du plan d'occupation des sols du Corine Land Cover et les découvertes issues de ce type de contexte signalées dans la base de données. La présence/absence de ces entités ponctuelles au sein de la commune a permis de créer 2 catégories de communes (Fig. 15g).

Les résultats sont ensuite comparés aux données archéologiques afin d'identifier les critères ayant effectivement joué sur les découvertes et d'en mesurer l'impact. Pouvons-nous observer une corrélation de certains de ces critères avec la fréquence des découvertes ? Un simple calcul de corrélation linéaire entre la surface ou la longueur considérée et la densité de découvertes par commune ne donne aucun résultat pertinent car les différents facteurs ont probablement joué de concert et parce que le nombre de découvertes est faible au regard des espaces considérés. Nous choisissons donc d'observer tout d'abord si les communes qui ont livré des découvertes ont des caractéristiques similaires à celles qui n'en ont pas livré.

On constate qu'une part plus importante des communes ayant livré des dépôts du Bronze moyen possèdent davantage d'espaces à forte activité humaine (zones urbaines) que les communes n'en ayant pas livré, en majorité faiblement urbanisées (Fig. 16). Ainsi au-delà de 10% d'espaces urbanisés, les communes semblent donc avoir plus de chance d'avoir livré des découvertes. Les espaces agricoles présentent la tendance inverse. La surface des terres cultivées ne semble donc pas avoir constitué un facteur favorisant les découvertes. La profondeur atteinte est peut-être insuffisante ou bien les bronzes n'ont pas été aussi bien remarqués ou signalés. Il est en effet possible que les objets soient passés inaperçus lors des travaux agricoles mécanisés. Malgré le fait que ce soient des milieux peu perturbés, les forêts semblent représenter un contexte assez favorable de découverte mais le résultat semble moins significatif que dans le cas des espaces urbanisés.

La longueur du réseau routier et dans une moindre mesure celle du réseau ferré semblent également être des facteurs favorables mais la différence entre communes ayant fourni des dépôts et celles qui n'en ont pas livré est plus marquée encore pour les voies navigables qui ont fait l'objet de dragages, en particulier les communes bordant le cours de la Seine (Fig. 17).

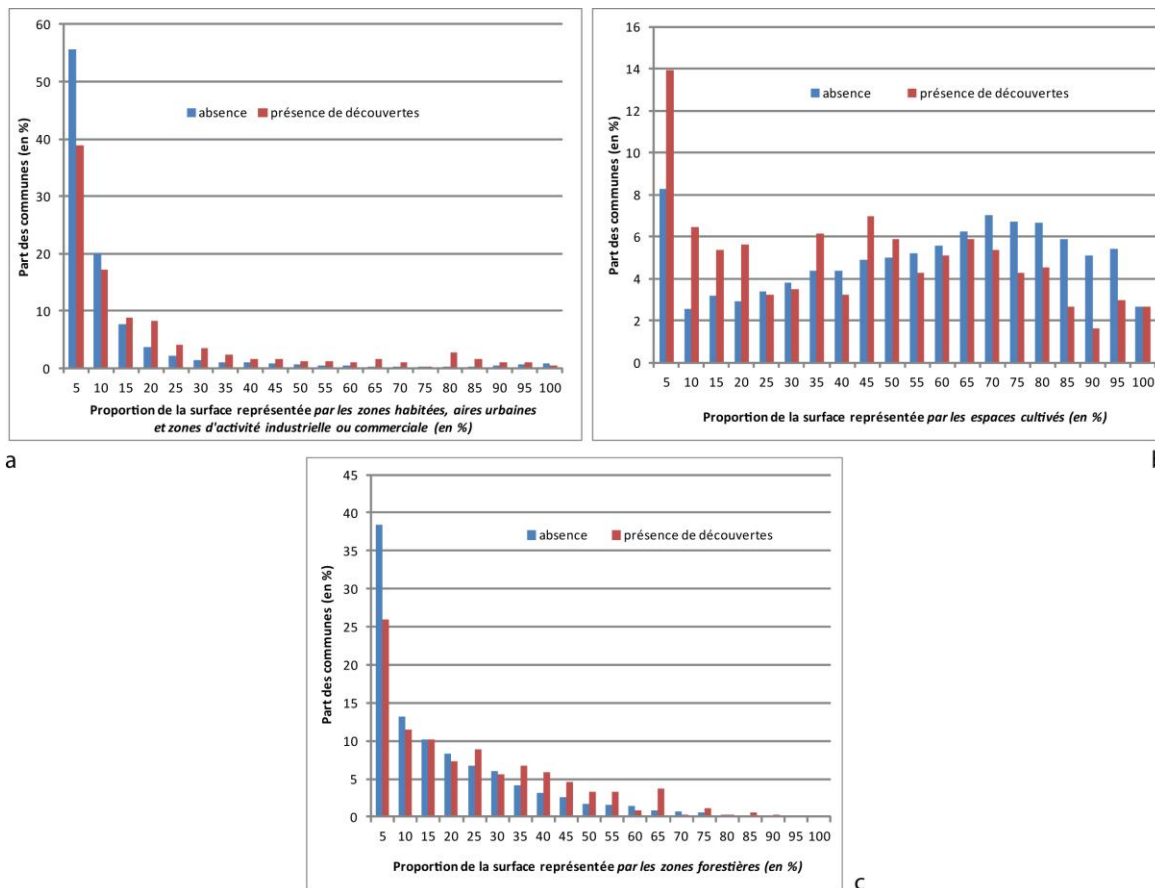


Fig. 16. Variation de la proportion par commune de la surface cumulée représentée par chaque type d'occupation en comparant les communes sur lesquelles des dépôts ont été découverts et celles qui n'en ont pas livré a) les aires urbaines et zones d'activité ; b) les espaces cultivés ; c) les zones forestière (DAO : E. Gauthier).

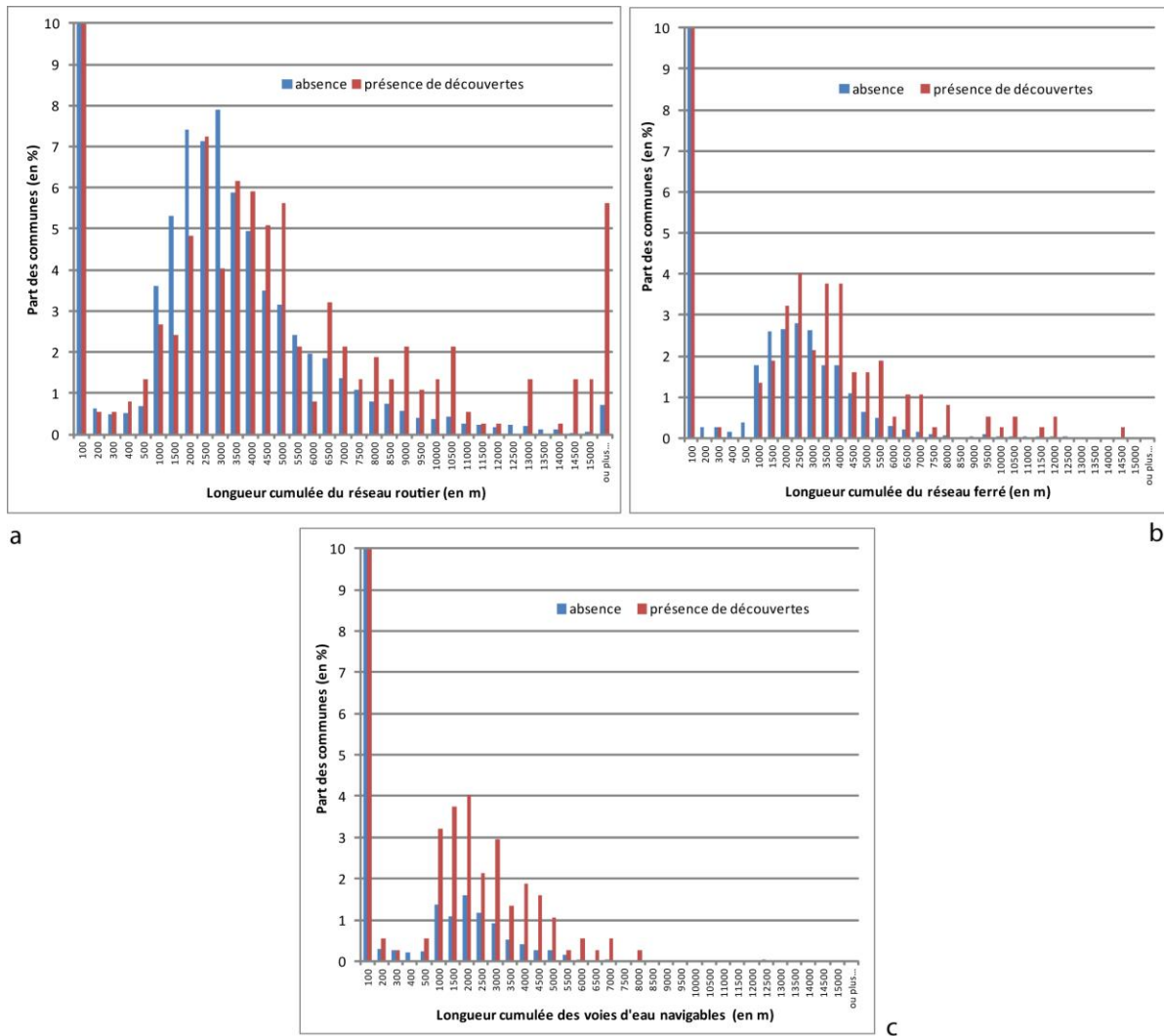


Fig. 17. Variation par commune de la longueur cumulée représentée par chaque type d'infrastructure en comparant les communes sur lesquelles des dépôts ont été découverts et celles qui n'en ont pas livré. a) le réseau routier ; b) le réseau ferré ; c) les voies d'eau navigables (DAO : E. Gauthier).

Pour évaluer l'impact de ces différents facteurs sur la densité de découverte nous réalisons en complément un calcul de χ^2 (voir par exemple [Groupe Chadule 1994, p. 86-87](#)) appliqué aux données réparties par classes. Les communes sont comptabilisées dans un tableau de contingence, puis le nombre réel est comparé au nombre théorique attendu en cas d'indépendance entre la densité des découvertes et le facteur considéré, ce qui révèle les sur-représentations et sous-représentations au sein des différentes classes (Fig. 18). La tendance générale de ces écarts aux valeurs théoriques doit indiquer si le facteur s'avère plutôt favorable/défavorable aux découvertes. Lorsque le nombre de découvertes évolue de concert avec le facteur testé, une corrélation positive peut alors être identifiée. Au contraire, si les deux paramètres évoluent de façon inverse, cela correspond à une corrélation négative.

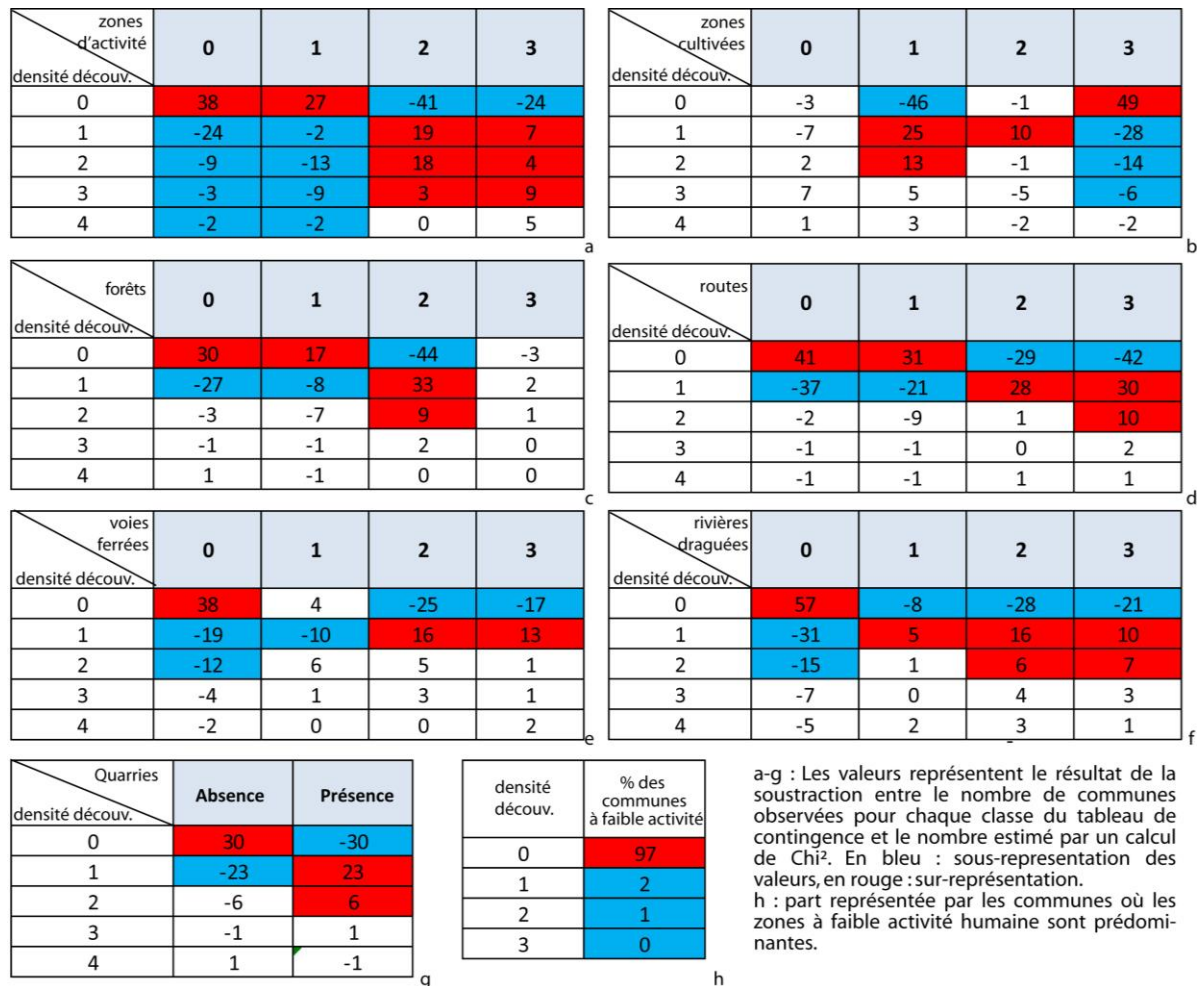


Fig. 18. Croisement entre la densité des découvertes de dépôts et objets isolés avec les différents facteurs testés (DAO : E. Gauthier).

L'observation des résultats montre que les critères suivants semblent effectivement influencer la densité des découvertes : les lieux d'extraction (rivières draguées et carrières), les zones urbaines ou de forte activité humaine, le réseau routier et dans une moindre mesure le réseau ferré et les forêts. Lorsque ces types d'occupation représentent une part conséquente du territoire de la commune, les découvertes sont plus nombreuses. Les résultats paraissent systématiquement peu pertinents pour les communes ayant livré de fortes densités de découvertes tout simplement car elles sont trop peu nombreuses. On note également qu'il existe un seuil à partir duquel une présence accrue du facteur en question n'augmente pas forcément proportionnellement le nombre de découvertes. Ainsi 15% de zones urbaines semblent suffire à créer un contexte favorable aux découvertes. On remarque que 97% des communes dans lesquelles les zones peu modifiées sont prédominantes ont fourni un faible nombre de dépôts et trouvailles isolées du Bronze moyen, un résultat logique qui renforce les observations précédentes.

Cette évaluation des critères jouant sur le nombre de découvertes fortuites permet de proposer un modèle du potentiel global de la zone d'étude sous la forme de scores par commune classés selon 4 niveaux relatifs (Fig. 19) : les communes ayant un très faible potentiel de découvertes fortuites, celles possédant un potentiel faible à moyen, celles ayant un bon potentiel et celles à très fort potentiel.

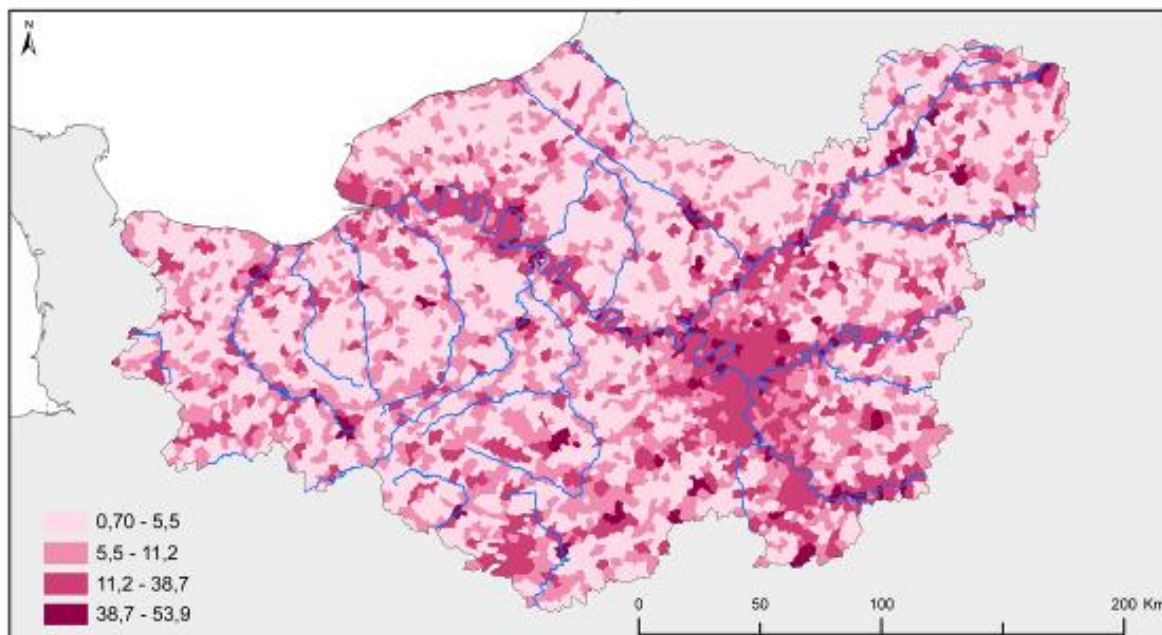


Fig. 19: Potentiel global des communes à avoir livré des découvertes fortuites (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).

L'image obtenue correspond assez bien à celle proposée au préalable, comme une première approche de la fiabilité des données, par M. Gabillot sur la base d'une évaluation empirique de la connaissance des différents espaces composant la zone étudiée (Fig. 20).

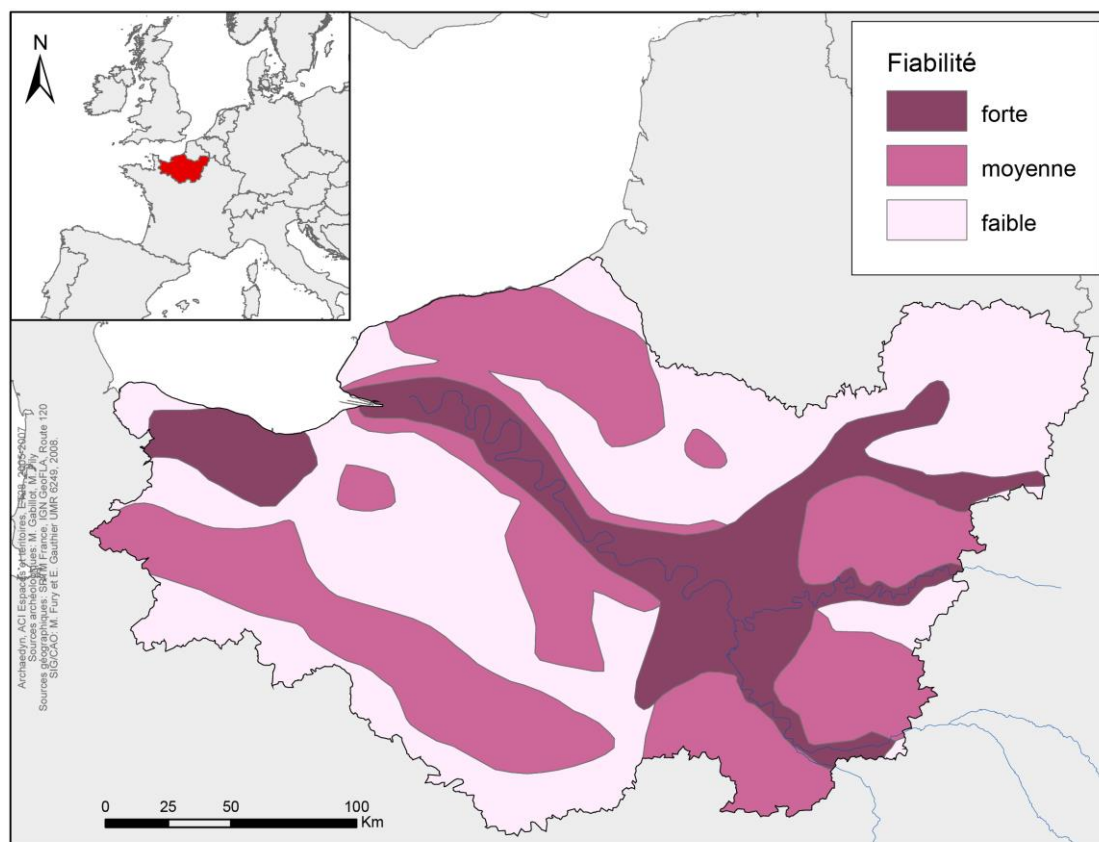


Fig. 20. Carte de fiabilité de la répartition des dépôts métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (IGN GeoFLA, Route 120, Données M. Gabillot, CAO : M. Fury et E. Gauthier, 2008).

Les disparités observées d'une commune à l'autre peuvent donc s'expliquer (partiellement) par la configuration de celles-ci et le développement des activités humaines au sein de chacune d'elle. Certaines communes n'ayant pas bénéficié de chances égales de découvertes, le nombre de données peut donc être considéré comme moins fiable que dans les communes plus propices aux découvertes fortuites.

On observe en effet de nombreuses disparités. L'essentiel du déséquilibre tient au rôle joué par la Seine qui apparaît comme l'axe majeur le long duquel les découvertes sont effectivement les plus nombreuses, de même que le long de ses affluents. La région parisienne ainsi que le secteur de Rouen sont aussi des zones à fort potentiel où l'on observe des sur-représentations des données. A l'inverse des espaces peuvent être considérés comme moins fiables. C'est le cas notamment du département de la Seine Maritime et du centre du département de l'Eure ou encore une partie de celui de l'Aisne où les conditions n'ont pas été aussi favorables aux découvertes.

Néanmoins la présence des villes ne correspond pas toujours à des concentrations de découvertes de dépôts de bronzes. Certaines agglomérations de taille moyenne, plus petites que Rouen ou Paris, ont livré de nombreux dépôts et objets (Compiègne, Mantes-la-Jolie, Caen) alors que d'autres de taille comparable sont peu représentées (Beauvais, Chartres, Laon, Melun). Il faut aussi noter la forte densité des découvertes dans le secteur picard, sur le cours de l'Oise en particulier. On observe ponctuellement des découvertes dans des secteurs plus "inattendus", tandis qu'à l'inverse, de nombreuses communes à fort potentiel ont livré un nombre assez faible de dépôts, par exemple autour de Châteaudun ou de Fontainebleau. La corrélation entre le potentiel de découverte et la densité des sites n'est donc pas systématique, ce qui témoigne sans doute de phénomènes archéologiques particuliers.

En d'autres termes, la répartition et la concentration des découvertes de haches du Bronze moyen dans la moyenne et basse vallée de la Seine ne témoigne pas seulement de biais relatifs à l'historique des recherches, mais bel et bien d'une réalité archéologique. La forte concentration de découvertes autour de Rouen et au Sud-Est du bassin de Paris fera encore l'objet d'interprétations futures, mais on sait à présent que l'on peut se baser sur une certaine fiabilité de la représentation géographique de ces types de haches (haches à talon de type normand). Des récentes recherches en morphométrie ont montré que ce "type normand" pouvait ne pas avoir été fabriqué et/ou "inventé" seulement en Normandie, mais aussi dans d'autres endroits tels que le Centre-Est de la France (Forel et al. 2009, Monna et al. 2013), lieu dans lequel on trouve une surreprésentation de la forme "Standard" du type mais aussi des formes qui dévient de ce standard. Ces recherches géostatistiques menées dans le cadre du programme Archaeodyn font donc naturellement écho à ces résultats morphométriques.

2. La diffusion des produits : modélisation des concepts et réflexion sur la structuration des données

2.1. Introduction : concevoir une étude des modes de diffusion malgré l'hétérogénéité des données ?

Après avoir évalué la qualité des données et la fiabilité de leur répartition, l'organisation et la mise en forme des bases de données est un autre paramètre fondamental à définir au préalable pour une bonne approche du sujet. Comment structurer les données pour répondre au mieux à nos objectifs ?

Dans l'approche traditionnelle qui consiste à intégrer les découvertes inventoriées dans une table ([voir ci-dessus la partie 1.1.2](#)), l'espace est alors seulement enregistré comme un attribut des sites : les coordonnées de l'emplacement de la découverte. Ce type de table aboutit tout naturellement à la réalisation de cartes de répartition, dans lesquelles l'information reste ponctuelle, donc discrète. Par ailleurs l'espace n'intervient que comme support. Il n'entre dans l'analyse des sites qu'au travers des calculs de distances ou de densités. Le même problème se pose pour le temps qui est généralement indiqué sous la forme d'une phase déterminée par la typo-chronologie. Cela ne permet que des comparaisons de phases successives et l'échelle temporelle est inappropriée puisque la précision des datations est très insuffisante pour pouvoir travailler sur le parcours des objets eux-mêmes ([voir ci-dessus la partie 1.1.2](#)). Enfin, la plupart des jeux de données ne prennent pas en compte tous les lieux impliqués dans les processus de diffusion ni l'intégralité de la « biographie » de l'objet. Avec ce type de structuration des données, il est donc difficile de dépasser la simple répartition des découvertes observée pour plusieurs phases successives dans une optique comparative ([Gauthier 2007](#)).

Dans le cas de notre atelier, pour les raisons expliquées plus haut, il n'était pas possible d'envisager de construire une base de données de toutes pièces. Cependant nous avons choisi de mener une réflexion de fond visant à proposer une méthode de structuration des données dans un Système d'Information Géographique qui permettrait de dépasser les simples études de répartition des découvertes. Cette uniformisation de la structuration des données pourrait alors conduire à mettre au point des méthodes communes pour appréhender les systèmes de diffusion même s'il s'agit de matériaux ou d'objets différents.

Pour cela, trois étapes de modélisation sont nécessaires ([Pirrot et Saint-Gérand 2004](#)) : la première est purement thématique, elle vise à identifier et rassembler les différentes composantes des systèmes de diffusion en un modèle organisé présentant leurs interactions (analyse thématique) ; la seconde correspond à la formalisation de cette vision du fonctionnement des phénomènes étudiés en un modèle conceptuel de données (MCD) à l'aide de la méthode *HBDS* ([Bouillé 1977](#)), qui lors de la troisième étape, conduit à la construction d'une géodatabase ([Pirrot et Saint-Gérand 2004, 2005, Labarthe et Pirrot 2008](#)).

2.2. Modélisation thématique : vocabulaire et concepts

Pour pouvoir proposer au final des modèles de diffusion spécifiques aux produits étudiés (modes de diffusion, mécanismes des échanges, dynamiques spatiales), un travail de réflexion globale doit d'abord être mené afin de construire un modèle théorique des systèmes de diffusion²¹ : il s'agit de lister les composantes de ces systèmes, leur organisation, leurs interactions afin de réaliser un premier modèle qui a pour ambition d'être général tout en tenant compte des différentes configurations possibles. Ce modèle vise ainsi à rassembler et définir les concepts de base liés aux processus mis en œuvre lors de la diffusion des produits. C'est aussi pour nous l'occasion de faire un point sur la terminologie et sur la principale bibliographie relative à nos questionnements.

Pour étudier les différents aspects de la circulation des produits²², il est nécessaire de prendre en compte les multiples étapes de leur existence²³ et les différents lieux par lesquels ils sont passés : il faut pour cela retracer leur "biographie"²⁴.

2.2.1. Le cycle de vie des produits : modèle temporel

L'objet de notre étude est l'artefact archéologique²⁵ qui peut être soit une matière première soit un objet manufacturé. L'existence de cet artefact témoigne d'une manipulation par les populations anciennes, ou tout au moins d'une intention de l'utiliser. L'ensemble de ces artefacts constitue globalement la « production », un terme très général qui revêt ici deux sens complémentaires : l'appropriation par extraction, récolte ou éventuellement culture d'une matière issue du milieu naturel²⁶, et éventuellement sa transformation.

Ceux qui n'ont pas encore été délaissés forment le « stock en circulation » (par ex. [Needham 1998](#)). Leur durée d'existence s'apparente à un « cycle de vie »²⁷ ([Fig. 21](#)), depuis la première étape, celle de

²¹ Pour les détails de la construction de ce modèle théorique, voir [Gauthier et al. 2013](#).

²² Nous ne considérons ici que les transferts de biens physiques parmi tous les types possibles d'interactions humaines (équipement, services, informations, échanges verbaux, etc. voir [Renfrew 1975, p. 5](#)) bien que nous incluions des modèles (types) et des moules.

²³ [Kopytoff 1986, p. 66-68](#), [Gosden et Marshall 1999, p. 170](#) : "processes and cycles of production, exchange and consumption had to be looked at as a whole" ; [Bradley 2000, p. 121](#).

²⁴ Nous retrouvons cette notion sous différentes appellations dans la bibliographie, mais elles correspondent à des concepts très similaires : « *use-life* » ([Schiffer 1972, p. 159](#), [Tringham 1994, p. 174-177](#), y compris les bâtiments en tant qu'artefacts finis, [Shott 1998, p. 313-314](#)) ; également « *life history* » ([Tringham 1994, p. 188](#), [Gosden-Marshall 1999, p. 169-170](#)) ; « *product cycle* » ([Brunet et al. 1992, p. 140](#)) ; ou encore « *biographies of artefacts* » ([Bradley 2000, Tringham 1994, p. 188](#), qui utilise aussi ce terme pour les lieux et constructions).

²⁵ M. Schiffer utilise le terme « *elements* » (1972).

²⁶ Par définition, la production est l'action consistant à faire exister, aboutissant à la création d'un bien nouveau ou d'un service ([Larousse, 2011](#)).

²⁷ A l'image du cycle de la vie biologique ([Frois 1997](#)). La définition première d'un cycle est une « série de phénomènes récurrents dans un ordre immuable » ([Larousse, 2011](#)). Dans son sens premier, un cycle implique donc une succession de transformations mais aussi un retour à l'état initial. De ce point de vue, les objets que nous étudions, comme les créatures vivantes dans leur cycle de vie, suivent un cycle dans la mesure où ils passent d'un état où ils ne sont ni acquis ni utilisés de quelque manière que ce soit au même état lorsqu'ils quittent le circuit. Leurs constituants existent et peuvent potentiellement être utilisés, mais ils commencent seulement le cycle à partir du moment où ils intègrent le circuit. Ces deux instants sont les deux étapes immuables du cycle qui se caractérisent par un retour à l'état initial (la même condition, mais pas nécessairement sous le même aspect). Les produits reviennent ensuite dans le circuit sous une nouvelle forme

leur création/acquisition (exploitation, extraction, culture) jusqu'au moment où ils quittent le circuit,²⁸ alors qu'ils sont définitivement perdus, déposés (Bradley 2000, p. 37), abandonnés²⁹, détruits ou entièrement retransformés. Ces derniers entrent en effet dans un nouveau cycle et sont réintégrés dans le circuit sous une forme entièrement nouvelle³⁰ (leur ancienne forme n'ayant pas laissé de trace ou très peu).

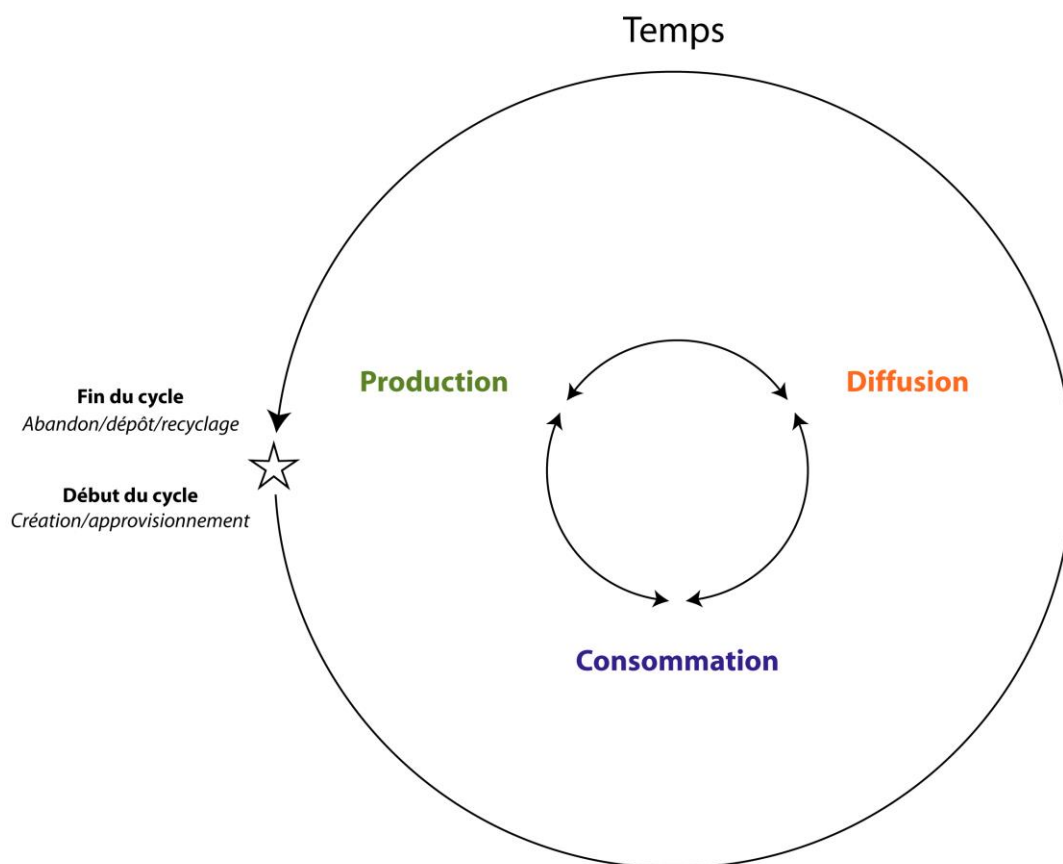


Fig. 21. Modèle temporel représentant le cycle de vie des produits (DAO : E. Gauthier).

Entre ces deux étapes essentielles et minimales, l'entrée et la sortie du circuit, le produit a pu suivre des parcours très divers, passant par une ou plusieurs étapes de production (mise en forme, transformation³¹), de consommation³² (l'utilisation du produit, mais aussi d'autres manipulations qui

par le « recyclage » puis se lancent dans un nouveau cycle. Ici, l'idée de cycle n'implique pas nécessairement une répétition. Notre compréhension du cycle de vie des produits s'apparente au concept employé en marketing et dans le domaine de l'industrie, où l'on se penche sur les étapes successives entre le lancement d'un nouveau produit et son retrait de la chaîne de production et de la vente. Mais dans ce cas précis, le terme s'applique plutôt à un modèle qu'aux objets produits eux-mêmes tandis que pour nous, chaque artefact est considéré individuellement. Ce concept est aussi devenu d'une grande actualité avec le développement du recyclage et des thématiques liées à l'écologie et l'environnement (par exemple l'analyse du cycle de vie dans la perspective du « développement durable », voir par exemple Ademe 2005).

²⁸ Quand l'utilisation et les transferts prennent fin, Bradley 2000, p. 37.

²⁹ Dans son « modèle de flux » pour visualiser le cycle de vie, M. Schiffer (1972, Fig. 1, 2 et 3) considère deux étapes successives: l'objet est rejeté puis refusé (rejet primaire, secondaire ou *de facto*).

³⁰ Cela peut être appelé recyclage : par ex. Schiffer 1972, p. 158, Needham 1998, p. 289.

³¹ Voir Needham 1998, p. 287, fig. 1, Bradley 2000, p. 40-41.

³² Contrairement au modèle de M. Schiffer, nous ne faisons pas de distinction entre les consommables et les biens durables ici car il s'agit uniquement d'étudier des produits qui laissent une trace archéologique. Les modèles qu'il a présentés (Schiffer 1972, p. 157-163, fig. 1 à 3) qui comprennent 4 étapes (approvisionnement, fabrication, utilisation, rejet) sont très similaires au nôtre. Dans ses modèles, le transport n'est pas considéré comme l'un des principaux domaines du cycle de vie des objets, mais comme une possibilité entre chacune des

représentent des formes d'utilisations économiques ou sociales, en particulier la thésaurisation et la déposition ritualisée dans les tombes³³ ou dans les dépôts (par ex. [Bradley 2000, p. 37](#)) ; et de diffusion (acheminement, transferts de différentes natures³⁴).³⁵

Le cycle de vie de l'objet comprend donc un nombre très variable d'étapes pendant lesquelles il subit des traitements variés, parfois des transformations. Il se voit également attribuer une ou plusieurs fonctions qui ont pu évoluer au fil du temps. L'objet possède également une valeur sociale et/ou économique (par exemple [Hodder 1974, 1982, Pydyn 2000, p. 8-11](#))³⁶, qui a pu varier dans le temps et l'espace, en fonction de la personne qui le possédait mais aussi de celles qui voulaient l'acquérir³⁷; ces valeurs sont donc subjectives³⁸. Pour les périodes anciennes, les objets placés dans une tombe ou un dépôt n'ont le plus souvent pas été produits spécialement pour cette finalité. Ils ont auparavant une histoire qui reflète au moins en partie celle de leurs détenteurs successifs (voir par exemple [Bailly et Plisson 2008](#)).

L'objet peut avoir changé de mains de différentes manières : distribution, commerce, don, héritage, vol, appropriation, etc. ; nous parlerons donc d'une façon générale de "transferts" ([Brunet et al. 1992, p. 489](#)). Ces derniers ont pu entraîner des déplacements du produit dans l'espace au cours du temps, ce qui correspond à une "diffusion" (ou selon le terme employé par D. Pumain et Th. Saint-Julien ([2001, p. 157](#)), une "migration").

Ces constatations nous permettent de proposer un premier modèle général que nous qualifierons de « modèle temporel » puisqu'il représente les différents changements d'états d'un objet (produit non fini, produit en circulation, produit thésaurisé, etc.) dans un ordre chronologique.

Il convient ici de souligner que tous les artefacts étudiés sont issus d'un contexte de découverte correspondant à la dernière étape de leur cycle de vie (l'abandon, la perte, l'enfouissement volontaire, etc.)³⁹. Il nous manque l'essentiel de leur histoire, qui doit être reconstituée le mieux possible (ou parfois supposée) grâce aux indices archéologiques. Mais certaines étapes manqueront souvent. Il faut également souligner qu'ils peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble des

autres étapes, ainsi que le stockage que nous n'avons pas pris en compte ici comme un stade spécifique du cycle de vie, mais plutôt comme une forme de consommation. La maintenance lui permet de revenir à une étape d'utilisation, alors qu'ici il s'agit d'une étape à part entière dans le domaine de la production (retransformation). Voir aussi [Frois 1997, p. 11](#) : "Tous les écosystèmes terrestres et aquatiques se basent sur un cycle de vie composé de quatre phases : conception, production, consommation et destruction".

³³ Par exemple, les actes de la table ronde qui s'est tenue à la Maison Méditerranéenne des Sciences de l'homme en octobre 2006, publiés dans le tome 14 de *Préhistoires Méditerranéennes* 2008, sont consacrés à l'analyse du rôle des objets déposés dans les sépultures ([Bailly et Plisson 2008](#)).

³⁴ La notion d'échange est couramment utilisée aussi (e.g. [Hodder 1982, Kopytoff 1986](#)), mais il s'agit d'un type de transfert très spécifique (parmi beaucoup d'autres: [Mauss 1923-1924, Godelier 1996, Bradley et Edmonds 1993, p. 12-13, Needham 1993, fig. 16.1-3](#)).

³⁵ Ces trois étapes principales sont communes à de nombreuses études sur le sujet. Elles peuvent être trouvées notamment dans le travail de I. Hodder ([1982](#)) et R. Bradley ([Bradley et Edmonds 1993, Bradley 2000](#)).

³⁶ Les recherches faites par des ethnologues tels que M. Mauss ([1923-1924, 1950](#)) et M. Godelier ([1996](#)), ainsi que les approches développées par les préhistoriens tels que I. Hodder (par exemple [1982, p. 209](#), sur la nécessité d'incorporer dans l'étude des échanges, les types des objets, leur symbolisme et leur valeur), K. Kristiansen (par exemple, [1998](#), sur l'interprétation des interactions selon la nature des biens et l'échelle des échanges) ou plus récemment les recherches pluridisciplinaires du programme JADE ([Pétrequin, Cassen et al. 2012a, Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017](#)) servent de base fondamentale à notre réflexion.

³⁷ [Bradley et Edmonds 1993, 12-16](#), argumentant l'importance de prendre en compte la valeur des objets et des relations sociales dans les études de diffusion. [Earle 2000, p. 41](#), sur la notion de « biens mobiliers ».

³⁸ La valeur d'un objet est liée aux personnes ou à l'événement auquel l'objet est connecté ([Gosden et Marshall 1999, p. 170, 173](#)).

³⁹ Mais même s'ils ont été retirés du circuit, ils ont encore un effet sur l'économie et le système de diffusion : [Kristiansen 1978, Bradley 1990, Needham 1998, Bradley 2000, p. 37](#).

produits du même genre dans le circuit (quantité, emplacement, etc.). Le recyclage, en particulier, permet à l'objet de commencer un nouveau cycle, mais il n'est pas toujours facile de reconnaître cette pratique et le nombre des objets dans le stock en circulation a pu être beaucoup plus grand que le nombre d'objets découverts (voir par exemple [Needham 1998](#)). C. Renfrew (1975, p. 41), en particulier, met en garde contre la tentation de supposer une corrélation étroite entre le nombre d'objets archéologiques trouvés et l'intensité de l'utilisation des produits.

2.2.2. Le parcours de l'artefact : modèle spatial

Bien que, d'un point de vue thématique, les objets de notre étude sont les artefacts archéologiques, il ne faut pas perdre de vue que ce sont les lieux (les "sites")⁴⁰ par lesquels ils ont transité qui sont les réels objets de l'analyse des systèmes de diffusion, puisque nous souhaitons réaliser une « analyse spatiale ». Les bases de données sur lesquelles reposeront les traitements devront donc être des inventaires non pas des objets mais des lieux concernés.

Les lieux impliqués dans les processus de diffusion correspondent dans le SIG à des entités spatiales⁴¹ qui sont localisées par des coordonnées dans un système défini. A l'échelle de notre étude, ces lieux prennent généralement la forme d'entités ponctuelles. Mais elles peuvent également être surfaciques (zones)⁴² ou linéaires (routes). Toutes les entités spatiales à travers lesquelles les produits passent forment ensemble un réseau de diffusion qui peut être matérialisé sous la forme d'un "graphe" ([Berge 1967, p. 70](#), [Pumain et Saint-Julien 1997, p. 93](#)), chaque sommet (nœud) étant un lieu desservi, tandis que les arêtes sont les polygones correspondant aux axes, routes, voies, pistes ou chemins utilisés pour la diffusion. C'est donc la forme que doit prendre notre second modèle que nous qualifions de « spatial » ([Fig 22](#)).

⁴⁰ Ou « *places* » dans la terminologie de L. R. Binford (« lieux » en français) : *“Viewed from the perspective of a living system, an occupation can be defined as the uninterrupted use of a place by participants in a cultural system.”*; *“The ‘fallout’ from the events that ‘moved across’ fixed places establishes the character of the archaeological remains on sites. To understand the past we must understand places”*, [Binford, 1982, p. 5-6](#). Parmi d'autres exemples, ce terme est utilisé dans le même sens par R. Tringham (1994). M. Schiffer (1972, p. 160) parle de “localisation spatiale”, mais il la différencie clairement du « site ». Voir aussi [Comendador Rey et Manteiga Brea 2011, p. 19](#).

⁴¹ « Unités spatiales » pour [Pumain et Saint-Julien 2001](#) ou « unités géographiques » pour [Béguin et Pumain 1994, p. 36](#).

⁴² Par exemple des zones de forte consommation d'un produit ([Gauthier 2004, p. 345–376](#)).

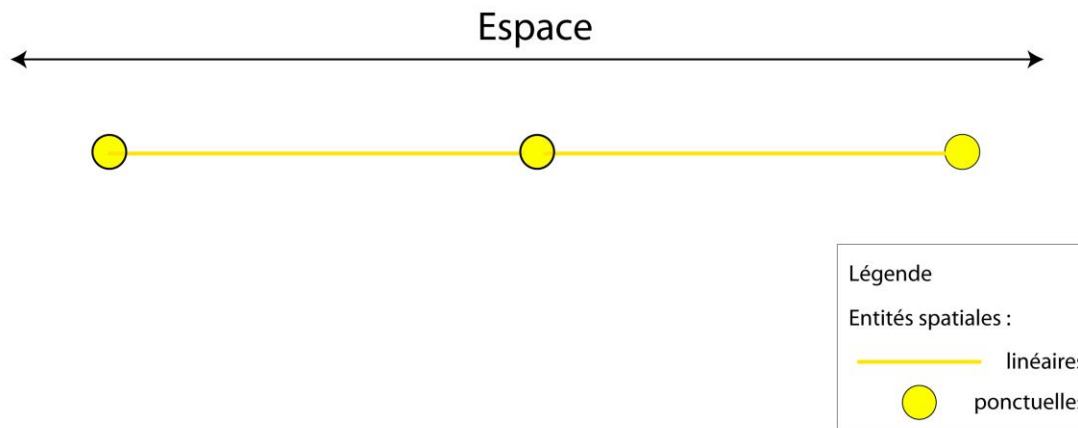


Fig. 22 Modèle spatial sous sa forme la plus épurée. L'organisation des entités spatiales ponctuelles (lieux) et linéaires (routes) correspond à un graphe (DAO : E. Gauthier).

Le terme "diffusion" correspond à la « transmission et à l'adoption graduelles dans le temps et dans l'espace de l'innovation. Ce processus peut évoluer soit par expansion, lorsqu'augmente le nombre de personnes qui adoptent l'information, soit par relocalisation, lorsque des personnes ayant déjà adopté l'innovation déménagent dans une autre aire » (Bailly et Béguin 1998, p. 50). Cette définition peut s'appliquer à la diffusion des produits (matériaux bruts, objets manufacturés), mais aussi à des modèles, des types ou des symboles : elle peut être envisagée comme un ensemble de transferts entre différents lieux. Elle sous-entend un déplacement dans l'espace et donc le passage de produits d'une entité spatiale à une autre. L'ensemble de ces transferts correspond au « flux » qui est une « mesure d'interaction spatiale obtenue par l'addition de déplacements individuels ou d'entités échangées entre deux zones géographiques pour une durée donnée » (Pumain et Saint-Julien 2001, p. 183). Dans notre cas, et pour l'échelle de temps de notre analyse, cela peut correspondre soit à la quantité totale des biens qui ont circulé soit aux évolutions au cours des différentes périodes de la répartition globale des quantités présentes dans une région donnée.

2.2.3. Différentes actions / différents types de lieux : modèle fonctionnel

Chaque entité spatiale impliquée dans le processus de diffusion d'un objet a joué un rôle spécifique dans son cycle de vie (Fig. 23). Les lieux sont le cadre d'actions de différentes natures réalisées sur les objets. Ils ne sont donc pas seulement des entités géographiques mais aussi des entités fonctionnelles. Ce sont par exemple des lieux d'exploitation tels que des mines, des carrières, des lieux de transformation (ateliers), des lieux de distribution ou de redistribution⁴³ comme des marchés, des lieux de stockage temporaire (transit, certains dépôts), des lieux de consommation, ou enfin des lieux de perte ou d'abandon. Ces entités fonctionnelles correspondent généralement aux "contextes" enregistrés comme attributs des objets ou des sites dans les inventaires.

⁴³ Par exemple les "places centrales" de C. Renfrew (1975, p. 5-6) entreraient dans cette catégorie pour certaines de leurs fonctions. Voir aussi la notion de "centre de redistribution" (Renfrew 1975, p. 10).

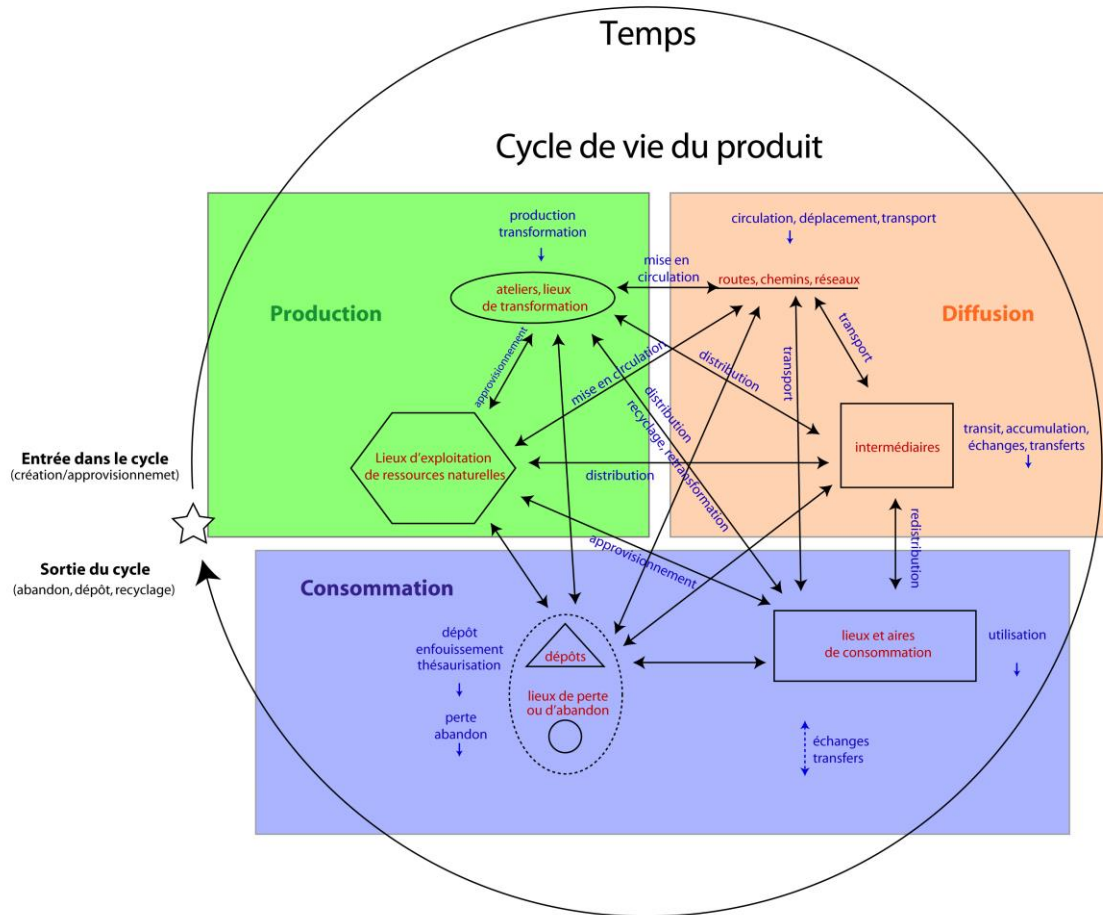


Fig. 23. Modèle théorique complet du cycle de vie d'un produit intégrant les différentes entités fonctionnelles et la nature des actions impliquées dans les transferts des produits (DAO : E. Gauthier).

Chaque entité fonctionnelle correspond donc à une fonction pendant l'une des étapes du cycle de vie de l'objet.⁴⁴ Remarquons qu'un même lieu peut exercer différentes fonctions tout à tour ou simultanément. Ainsi, la même entité spatiale ayant été le cadre de l'exploitation de la matière première et de la production de l'objet fini, de son utilisation et de sa thésaurisation correspond à plusieurs entités fonctionnelles, car elle concerne différents moments du cycle de vie du produit (Fig. 24). La diffusion, quant à elle, qui correspond au passage d'une entité spatiale à une autre implique également des transferts de différentes natures (voir ci-dessus la partie 2.2.2).

⁴⁴ Une idée très similaire apparaît dans Binford 1982, p. 11-16, tableau 1, mais ici le temps est considéré comme une phase du cycle de vie annuel d'une population.

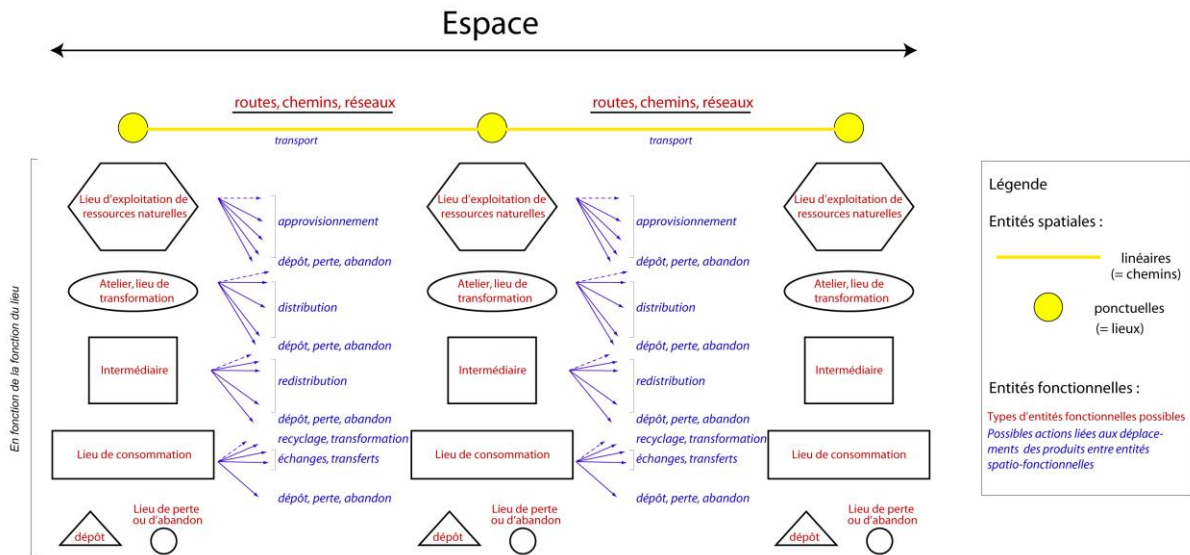


Fig. 24. Modèle Spatio-fonctionnel : nature des actions auxquelles sont soumis les objets durant leurs transferts entre différentes entités spatiales (DAO : E. Gauthier).

2.2.4. Nécessité d'une étude tri-dimensionnelle : temps, espace, fonctions

Ainsi la durée de vie d'un objet est composée d'une succession d'étapes⁴⁵ à la fois au sens temporel et spatial. Pour étudier la diffusion d'un objet, il est donc nécessaire de reconstituer non seulement les phases successives de son cycle de vie, mais aussi son parcours « physique » au cours de ses transferts entre les différentes entités spatiales⁴⁶. Ce sont les entités fonctionnelles qui font le lien entre spatial et temporel et permettent d'analyser ces deux dimensions simultanément, tout en qualifiant ces transferts selon la nature des lieux qu'ils mettent en relation.

Ce premier modèle a ainsi mis en évidence le fait que le sens du terme couramment employé "site" n'est pas suffisamment précis pour caractériser les phénomènes étudiés et qu'on ne peut pas faire une étude détaillée des modes de diffusion sans individualiser les différents rôles qu'un lieu a joués dans le cycle de vie du produit. L'analyse spatiale ne devrait pas seulement impliquer les lieux comme éléments constitutifs de l'espace et matérialisés par des couches de points, lignes ou polygones, mais aussi comme des contextes. L'itinéraire d'un produit peut être appréhendé de manière efficace en distinguant entités spatiales et entités fonctionnelles. C'est une analyse tridimensionnelle qu'il convient de réaliser : le temps (étapes dans le cycle de vie du produit), l'espace (lieux) et la fonction des lieux (contextes) sont trois dimensions à considérer simultanément.

Chaque objet a une biographie qui lui est propre ; celle-ci se compose d'un nombre d'étapes variable et d'un parcours tout aussi varié. Mais la seule solution pour réaliser une étude poussée des modes de diffusion est de reconstituer la biographie et le parcours de chaque objet. Ce parcours peut être illustré sous la forme d'un modèle qui s'apparente à un graphe : il s'agit d'une succession de lieux reliés dans un certain ordre par des routes. Nous proposons ici un exemple -totalement fictif- de

⁴⁵ Les objets peuvent « accumuler des biographies » dans la mesure où ils se déplacent à plusieurs reprises, changent de mains et de contexte (Gosden et Marshall 1999, p. 174).

⁴⁶ Il convient de souligner que notre approche se concentre sur la biographie des artefacts plutôt que sur celle des lieux, notion prise en considération par d'autres comme R. Bradley (2000, p. 48).

modélisation possible pour une série d'objets de même origine mais qui auraient connu des parcours variés (Fig. 25). L'espace est représenté en plan. Une carte peut servir de support quoiqu'il est préférable de ne pas prendre en compte l'espace géographique dans un premier temps pour éviter de compliquer la représentation du parcours de l'objet. La succession chronologique des différentes étapes est portée sous la forme d'indications temporelles relatives (T1, T2, etc.). Les fonctions sont d'une part les attributs des lieux et d'autre part les actions effectuées sur l'objet lors de chaque étape.

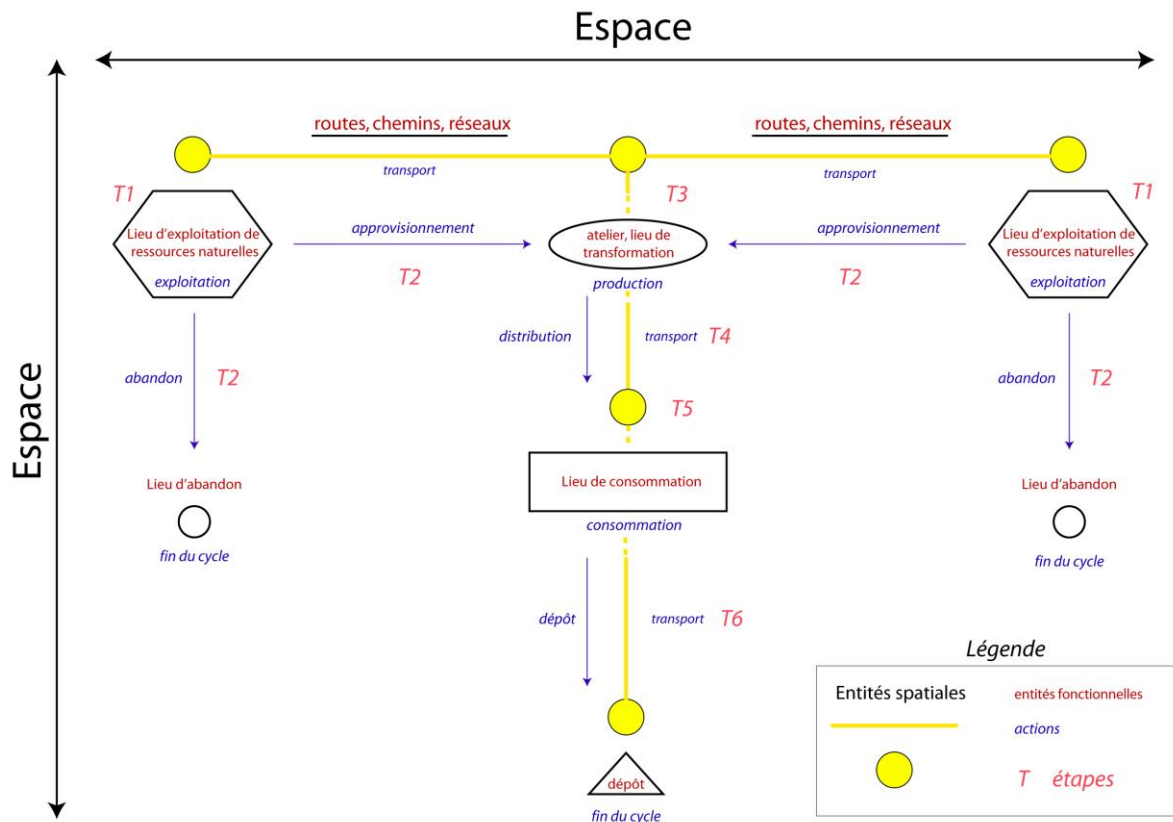


Fig. 25. Exemple fictif de modélisation des transferts de produits (DAO : E. Gauthier).

Cet exemple fictif est proposé pour montrer comment représenter différents cas de figure parmi la multitude de scénarios possibles. Dans ce scénario-ci, des matières premières sont acheminées depuis deux sources distinctes vers un lieu de transformation, alors qu'une partie de la matière première, inapte à être travaillée est rejetée sur le site d'exploitation. La production ainsi mise en forme est ensuite transférée vers le lieu de consommation avant d'être finalement placée dans un dépôt. Cet exemple comporte donc cinq entités spatiales et les objets ou la matière première suivent un parcours en deux à six étapes depuis l'exploitation jusqu'à la sortie du cycle. Ce scénario pourrait par exemple correspondre au parcours de certaines haches néolithiques en jades alpins. Nous proposons ci-après un exemple bien plus concret de modélisation à partir de la biographie d'un objet précis.

2.2.5. Modélisation de l'histoire et du parcours d'un objet : l'exemple de l'ébauche de haches en jade alpin de Lugrin (Haute-Savoie, France)

Comme exemple de la reconstitution et de la modélisation de l'histoire d'un objet, nous pouvons prendre le cas intéressant de l'ébauche découverte à Lugrin (Fig. 26), à proximité du lac Léman (Haute-Savoie, France), et qui a été étudiée par l'équipe du programme JADE (Pétrequin, Errera et al. 2009, p. 47). Cette ébauche de la seconde moitié du Ve millénaire était prévue pour la fabrication de deux haches en jadéite alpine. Cette pièce a été intégrée à un réseau de transferts à longue distance d'objets-signes rares et socialement valorisés. Les transferts des jades sur des distances considérables (jusqu'à 2000 km à vol d'oiseau) ne peuvent en effet pas être expliqués qu'en termes d'efficacité technique ou de stratégies économiques ; au contraire, ils sont basés sur des concepts idéologiques et sociaux et sur des dynamiques historiques. Haches et des anneaux-disques en jades doivent être replacés dans leur contexte, en portant une attention particulière aux conditions de leur enfouissement. Certains d'entre eux ont fait l'objet d'une déposition "rituelle" dans des lieux sacrés. C'est sans doute le cas de l'ébauche de Lugrin.



Fig. 26. L'ébauche de Lugrin, Haute-Savoie, France (Photos et DAO : A.M. et P. Pétrequin).

Une analyse fine de cette ébauche a été réalisée si bien qu'il est possible de distinguer plusieurs étapes de sa biographie (Fig. 27) : dans un premier temps, lors d'une expédition estivale en altitude, un long bloc a été extrait (T1) par choc thermique (Pétrequin, Pétrequin et al. 2008). Il est issu d'un très grand bloc de jadéite trouvé dans la vallée du Porco, en amont de Bigorie, dans le massif du Mont Viso (selon l'analyse par spectroradiométrie en réflectance diffuse, une méthode non destructive d'identification qui permet de comparer les spectres des objets avec une grande collection d'échantillons de référence, Errera et al. 2006, 2012a). Après son extraction et une première étape de mise en forme par débitage, effectuée localement (T2), le bloc a probablement été transporté dans un atelier régional spécialisé (T3), qui pourrait être situé en amont sur le Pô ou sur le Chisone, pour y être transformé par martelage et sciage (T4). L'ébauche a été préparée dans l'idée de produire deux haches de type Durrington ou bien plus probablement du type Altenstadt-Greenlaw (Pétrequin, Errera et al. 2009, p. 589) qui est un modèle septentrional. D'une manière générale, l'absence d'ébauches de ce second type au sein des sites alpins et de Ligurie doit être

⁴⁷ Programmes ANR JADE (2007-2010, P. Pétrequin dir.) et JADE 2 (2013-2016, E. Gauthier et P. Pétrequin dir.)

remarquée. En effet, Pierre Pétrequin et son équipe ont suggéré que ce modèle serait le résultat d'un repolissage à leur arrivée en bassin parisien de haches de types italiens (Durrington et Puymiról en particulier, Pétrequin, Cassen et al. 2012b). L'ébauche de Lugrin fait donc figure d'exception.

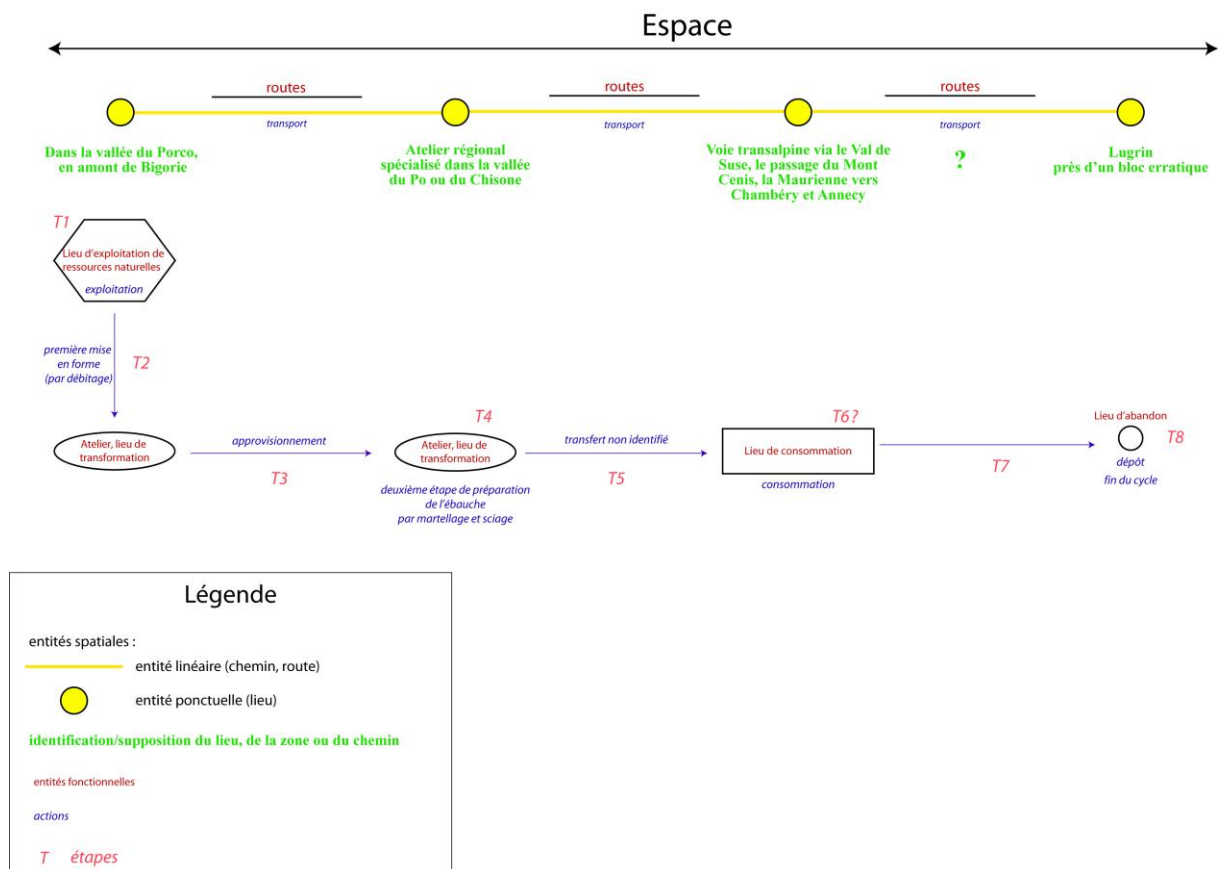


Fig. 27. Modélisation de la biographie de l'ébauche de Lugrin (DAO : E. Gauthier).

Nous pouvons dès lors supposer que la production de l'ébauche de Lugrin peut être associée à la population vivant au nord des Alpes. L'objet aurait emprunté la piste transalpine passant par le Mont Cenis et la vallée de la Maurienne (T5) pour arriver dans la zone située entre Chambéry/Annecy et le lac de Genève (T6?) où elle a terminé son voyage (T7). Puis elle aurait finalement été enfouie sur le site de Lugrin (T8). Cela ne correspond sans doute pas à un simple abandon, mais à une déposition rituelle dans un contexte culturel, à proximité d'un énorme bloc erratique. Cette double ébauche représenterait la « classique » paire de haches, fréquemment observée dans les dépôts (Pétrequin, Errera et al. 2009, p. 595-596) et sur les gravures (Cassen 2012). Ici, loin des principales voies de transferts de longues haches alpines (Fig. 28), cette ébauche aurait eu la valeur d'un objet-signe rare.

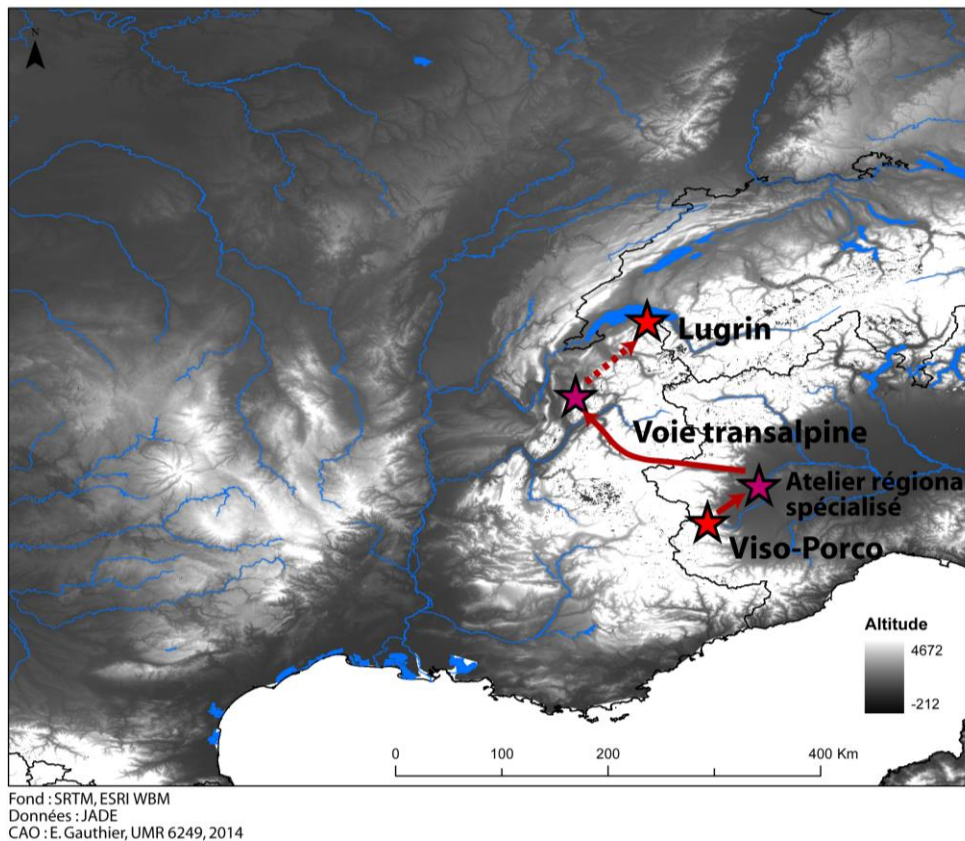


Fig. 28. Représentation cartographiée du parcours de l'ébauche de Lugrin (CAO : E. Gauthier).

On voit bien à travers cet exemple qu'une carte de répartition des seuls sites de découverte ne peut être suffisante pour appréhender convenablement les transferts des produits. Une fois ce modèle réalisé pour chaque objet puis mis en forme au sein d'une géodatabase, il sera dès lors possible d'étudier de façon beaucoup plus appropriée les transferts en analysant les parcours de l'ensemble des objets : quelles directions ou quels chemins ont été privilégiés, quelles quantités ont circulé, combien ont transité par tel ou tel axe de diffusion ou centre de redistribution, etc.

2.3. Du Modèle Conceptuel de Données à la géodatabase

Pour l'étude de la diffusion d'un produit, la première étape doit donc être l'identification et la caractérisation des différents lieux ayant joué un rôle dans le cycle de vie de chacun des artefacts concernés et la détermination de la nature des activités qui se sont déroulées localement. Il est nécessaire de caractériser également les relations (les « interactions spatiales », [Pumain et Saint-Julien 2001, p. 8, 158](#)) entre les lieux impliqués dans les transferts. L'étape suivante doit renforcer notre compréhension des modes de diffusion en donnant un aperçu des causes et des mécanismes

des transferts⁴⁸. Il est notamment intéressant d'examiner de plus près leurs liens avec la structure sociale⁴⁹.

Techniquement, les bases de données dont nous disposons ne peuvent pas être utilisées sous leur forme actuelle pour reconstruire, avec l'aide d'un SIG et d'analyses spatiales, l'histoire et le parcours d'un objet particulier ou pour modéliser les systèmes de diffusion correspondant à tous ces artefacts. Les données ne sont pas directement exploitables pour nos objectifs. Le problème vient du fait que ces bases de données sont trop statiques et ne considèrent les objets que comme des découvertes, vues seulement au travers de cette dernière étape qu'est leur enfouissement, au lieu d'individualiser les différents moments de leur existence.

C'est ce que nous avons tenté de faire dans le modèle conceptuel de données (MCD) que nous proposons ci-après (Fig. 29). Concrètement, il s'agit de reformuler le modèle thématique que nous avons construit sous la forme d'un modèle conceptuel de données en utilisant la méthode *HBDS* (*Hypergraph Based Data Structure*) développée par F. Bouillé (Bouillé 1977, Pirot et Varet-Vitu 2004, Saint-Gérand 2005)⁵⁰. Ce modèle est ensuite traduit en un "modèle logique de données" et ensuite en un "modèle physique de données", c'est à dire intégré dans le SIG sous la forme d'une géodatabase (Pirot et Saint-Gérand 2005).

Ce modèle conceptuel de données est composé de deux parties principales : la première correspond aux entités spatio-fonctionnelles (les lieux et leurs fonctions dans le cycle de vie de l'artefact) tandis que la seconde comprend les entités temporelles et thématiques (c'est à dire les artefacts eux-mêmes ou les indices qu'ils ont laissés et les différentes étapes de leur cycle de vie). Les différents éléments formant le contexte de la diffusion des produits (contexte culturel, géographique, économique, etc.) dépendent plus spécifiquement du sujet de l'étude : du produit, de la période et de la région dont il est question. L'état de la recherche est aussi pris en compte dans le modèle. Il sera ainsi directement intégré au SIG sous la forme de niveaux de fiabilité, de représentation et de confiance (voir ci-dessus la partie 1.2) afin de pouvoir en parallèle aux analyses, prendre en compte les différences de qualité des données dans l'espace et les éventuels biais documentaires⁵¹. Bien entendu, les entités spatiales et les entités spatio-fonctionnelles sont liées par une relation de type 1 à n⁵² et il en est de même pour les objets étudiés et les stades de leur cycle de vie. Chaque étape du cycle de vie sera spatialisée via une entité spatio-fonctionnelle en tenant compte à la fois du rôle de ce lieu dans l'histoire de la vie de l'objet et de la chronologie des étapes. Un lien de type 1 à 1 est donc créé entre la liste des étapes et les entités spatio-fonctionnelles⁵³.

⁴⁸ Les trois principaux domaines du cycle de vie d'un objet (production, circulation, consommation) sont intimement liés les uns aux autres dans la vie d'une société (Kopytoff 1986, Bradley et Edmonds 1993, p. 16). R. Bradley fait remarquer l'importance de considérer les stratégies à la fois dans le choix des lieux et dans les mécanismes mis en œuvre dans les processus de diffusion. (2000, p. 37-41).

⁴⁹ Par ex. Hodder 1978, Steponaitis 1978.

⁵⁰ Combinant la théorie des ensembles et la théorie des graphes et des hypergraphes (Berge 1970).

⁵¹ Sur la méthode, voir Ostir et al. 2008.

⁵² Une même entité spatiale peut avoir eu plusieurs fonctions.

⁵³ A chaque étape ne peut correspondre pour un même objet qu'une seule entité spatio-fonctionnelle.

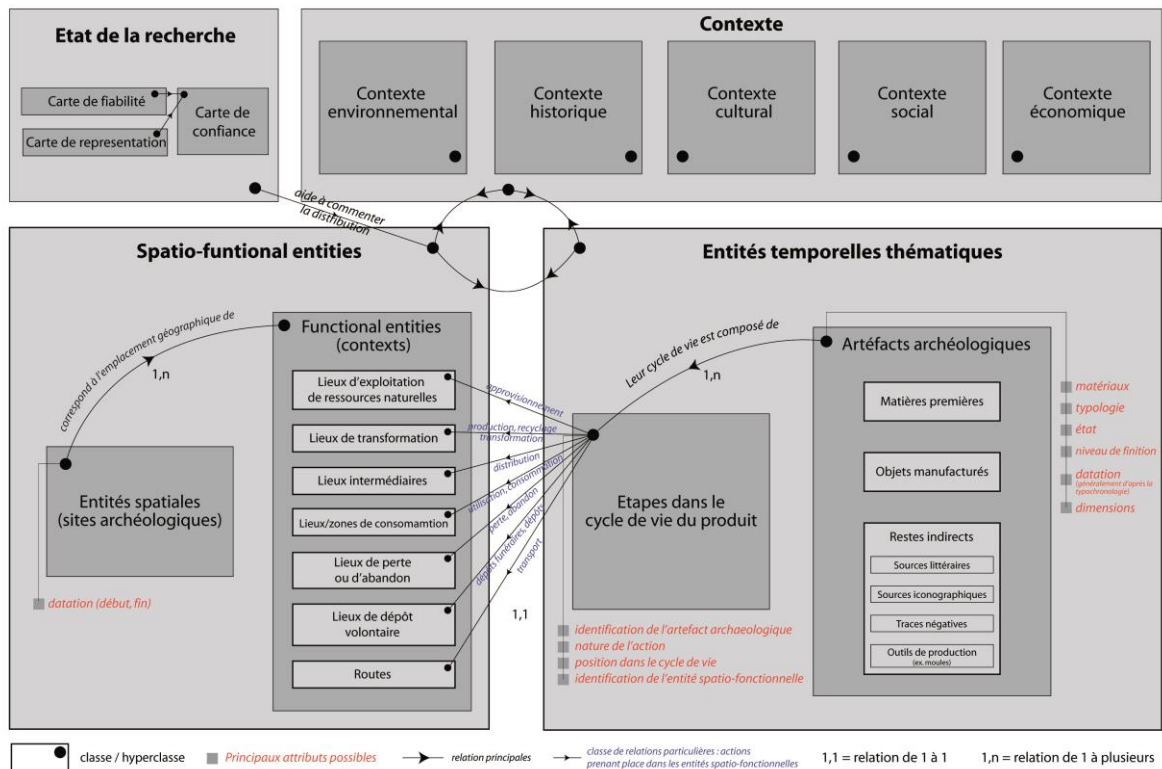


Fig. 29. Modèle conceptuel de données conçu pour étudier un processus de diffusion (DAO : E. Gauthier).

La géodatabase est créée à partir de ce modèle conceptuel de données. Les hyperclasses du MCD constituent différents « jeux de classes d'entités » (*feature datasets*) et les classes du MCD, des « classes d'entités » (*feature class*) (Pirost et Saint-Gérard 2004). La géodatabase comprend, hormis les données liées au contexte et à la fiabilité des répartitions, trois types d'éléments spécifiques : une table de données des objets liée à une table de données des étapes de leur cycle de vie, un ensemble de couches correspondant aux entités spatio-fonctionnelles. Le corpus d'objets n'a donc pas besoin d'être spatialisé en tant que tel, il est intégré sous la forme d'une table à laquelle est liée la table des différentes étapes du cycle de vie de tous les artefacts. C'est par une relation entre cette table des étapes et la classe des entités fonctionnelles que l'on confère aux étapes du cycle de vie une dimension spatiale. C'est de fait ce lien qui est le plus important et novateur dans notre approche.

Une fois la géodatabase approvisionnée en données, l'étude des processus de diffusion repose alors sur l'analyse spatiale des entités fonctionnelles et de leurs liens avec les étapes du cycle de vie des produits. Cette manière d'appréhender les données permet d'intégrer le temps (un temps qui restera relatif, donc). Ce modèle de géodatabase s'adapte cependant dans les détails au sujet d'étude, en particulier en ce qui concerne les données relatives au contexte. Nous proposons ici un exemple de structuration possible de la géodatabase dont les éléments ne sont ni obligatoires ni exclusifs (Fig. 30).

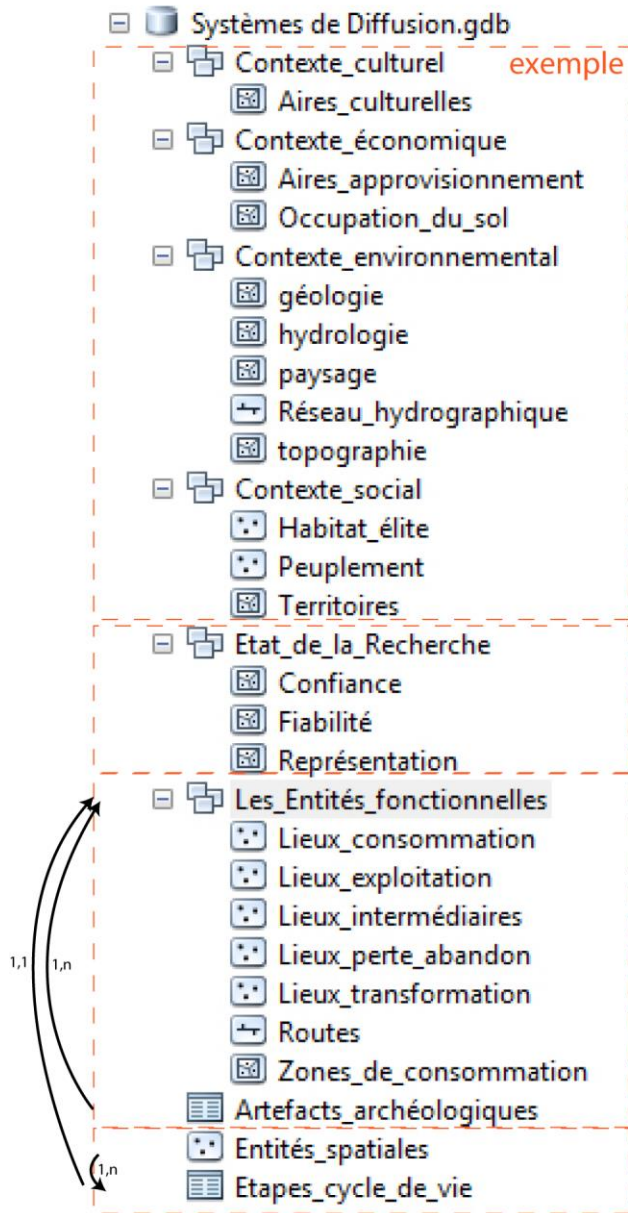


Fig. 30. Modèle de géodatabase avec exemples des classes d'entités (réalisé sur ArcGis 10.4, E. Gauthier).

Les avantages de ce modèle de géodatabase résident dans le fait qu'il intègre les données de façon standardisée et qu'il "décompose" les informations par l'individualisation de chaque entité fonctionnelle et de chaque étape du cycle de vie des artefacts étudiés (et pas seulement la dernière étape et le dernier endroit connus). L'espace n'est plus considéré comme un attribut, la topologie est intégrée dans la structure interne de l'information spatiale, l'espace topologique soutenant ainsi les données (Bouillé 1978, Pirot et Saint-Gérand 2004, 2005). Un autre avantage de ce modèle est qu'il est adaptable à chaque produit, période et région étudiés.

2.4. Mise en application et perspectives

A travers la création d'une géodatabase "tridimensionnelle", prenant en compte simultanément et imbriqués de façon étroite, l'espace (les lieux étapes du parcours de l'objet), le temps (les étapes du cycle de vie des objets) et la fonction des lieux (extraction, transformation, consommation, déposition, etc.), nous arrivons à un résultat satisfaisant. Une géodatabase de ce type doit permettre d'aller bien plus loin que les traditionnels inventaires de découvertes parce qu'il décompose des éléments complexes (l'histoire cumulée des artefacts) en éléments simples (unités étape/lieu/fonction).

Toutefois un problème majeur subsiste : comment intégrer le temps absolu ? Comment gérer sa précision variable ? Comment dépasser les contraintes liées à la datation des artefacts ? La datation du moment de la production est souvent estimée, mais cela est très réducteur si nous pensons à l'histoire de l'objet lui-même. Les objets sont souvent datés selon la typologie, mais on obtient une phase généralement très imprécise, beaucoup plus grande que la durée de vie réelle de l'objet. Il en va de même pour la date d'abandon ou d'enfouissement volontaire. Bien qu'il soit possible d'obtenir des datations absolues des sites ou même des niveaux d'enfouissement des artefacts, cette datation est généralement trop large, trop imprécise par rapport à la durée d'utilisation de l'objet et par ailleurs, cela ne peut correspondre qu'à une très courte étape de la vie de l'objet. Il y a une différence fondamentale entre l'échelle de la datation de l'objet et celle de la datation du site ; c'est un problème qu'il n'est pour l'instant pas possible de dépasser. Nos données (concernant surtout le Néolithique et l'âge du Bronze) sont enregistrées par phases d'une durée de 50 à 500 ans. Nous sommes confrontés à un double problème d'échelle et de précision des datations qui ne nous permettent pas de replacer en chronologie absolue les étapes du cycle de vie du produit. Il ne semble pour le moment pas possible d'intégrer le temps autrement que comme un attribut des objets ou des sites. Il est donc nécessaire de travailler en grande partie en chronologie relative, celle qui correspond à la succession des étapes du cycle de vie des objets. Cela signifie qu'il ne sera pas possible d'analyser dans le temps absolu les dynamiques spatio-temporelles des processus de diffusion des produits, ou tout au moins ces analyses seront limitées à la précision des datations.

Enfin une autre contrainte, non des moindres, est liée au fait que l'intégration des données dans cette géodatabase à trois dimensions implique de retracer la biographie de chaque objet concerné. Mais la reconstruction de cet historique uniquement sur la base d'indices archéologiques est une entreprise complexe. Les lacunes sont nombreuses. Même s'il est possible de reconstituer certaines étapes, il est rare que l'on puisse détailler le parcours d'un objet, a fortiori de tous les objets d'un corpus. Le modèle doit tenir compte d'étapes, de lieux et d'actions qui ont laissé pas ou peu de traces. Une longue phase d'analyses des artefacts et également d'analyses spatiales doit donc être réalisée en amont afin de pouvoir émettre des hypothèses sur les différentes étapes du parcours de chaque objet étudié.

A la fin du programme ANR ArchaeDyn II, l'équipe n'en était qu'à une phase conceptuelle et théorique, la mise en place de géodatabases tri-dimensionnelles restant difficile du fait de la nécessité de rechercher de nouvelles informations pour pouvoir structurer les bases de données selon notre modèle. Dans la plupart des cas, les bases de données dont nous disposions renseignaient uniquement les lieux de découverte, soit la dernière étape du cycle de vie et au mieux nous avions également l'origine des produits, ce qui correspond à la première étape de leur cycle de vie.

Seul le cas d'étude portant sur les longues haches en jades alpins était susceptible de se prêter à de premiers essais, étant donné l'état d'avancement de la base de données mais aussi de la quantité et de la qualité des connaissances acquises sur l'exploitation, la mise en forme et l'utilisation des objets, grâce à plus de trente années de recherches intensives (Pétrequin, Cassen et al. 2012a). Ce sont également les informations réunies sur le fonctionnement des transferts qui nous ont permis d'émettre des hypothèses pour reconstituer certains maillons intermédiaires de la biographie des objets. Ces hypothèses reposent sur des études spatiales faisant appel à la cartographie et aux statistiques spatiales (Gauthier et Pétrequin 2017b). Elles ont été réalisées dans le cadre des programmes ArchaeDyn I et II, Jade I et II. Chacune avait pour but de comprendre certains aspects particuliers des mécanismes des transferts des jades. Il s'agit d'identifier des fonctionnements spécifiques au sein des processus de diffusion afin de percevoir certaines étapes de la biographie des artefacts à partir d'indices non évidents. Ce préalable nécessaire nous a permis d'une part d'avancer sur la connaissance et la comparaison des modes de diffusion et d'autre part de proposer des hypothèses pour reconstituer le parcours des objets et ainsi pouvoir créer la géodatabase telle que nous la proposons afin de modéliser ensuite plus globalement la diffusion des jades.

Dans les parties qui suivent, nous présentons donc des études thématiques, dont certaines porteront sur l'exemple des haches en jades, mais également sur d'autres cas d'étude. Nous traiterons tour à tour de la diffusion depuis un gîte connu, du choix des lieux de consommation en fonction de l'implantation de ressources, de l'identification des zones de consommation et enfin de l'étude des voies de diffusion. Pour chacun de ces axes de réflexion, nous présenterons des approches utiles pour la mise en évidence et la compréhension des phénomènes spatiaux.

Suite à ces études, une première mise en application de la modélisation des transferts des haches en jade et la quantification des flux a pu être proposée dans le programme ANR JADE 2 (Gauthier et Pétrequin 2017a), directement inspirées de la méthode de structuration des données mise au point dans ArchaeDyn II. Cette application sera présentée dans la dernière partie (6.6) consacrée aux axes de transferts et à la modélisation des flux.

3. La diffusion depuis les gîtes

Plusieurs des jeux de données à notre disposition concernent l'étude d'un matériau ou d'un objet spécifique dont l'origine est identifiée. On connaît dans ce cas un point de départ et un point d'arrivée et il est alors possible d'étudier la manière dont les objets sont parvenus du gîte au dernier lieu de consommation, sans nécessairement connaître exactement le parcours physique - les voies empruntées - et sans savoir s'il existait d'éventuels intermédiaires. Cette approche vise à reconstituer les modes de diffusion : pourquoi et comment sont diffusés les produits, quels produits en particulier (quelle partie de la production globale), combien, dans quelles directions... ? Ce sont les mécanismes des transferts qui nous intéressent notamment les phénomènes de sélection et/ou, dans certains cas, des transformations que l'on peut supposer avoir eu lieu au cours de la diffusion. Cela permettra de comprendre les choix faits en fonction des cultures, des organisations sociales, de la distance séparant le gîte du lieu de consommation, témoignant par exemple de goûts différents ou bien d'une valeur ajoutée au produit.

Le premier cas qui sera développé ici concerne les haches néolithiques en jades alpins. Nous présentons ci-dessous l'ensemble du raisonnement qui s'appuie à la fois sur les données issues des recherches systématiques des membres du programme JADE depuis les années 1990 et sur un ensemble d'analyses spatiales faisant appel tantôt à la cartographie des répartitions, tantôt à la modélisation et aux statistiques spatiales.

3.1. Le cas des haches alpines : une apparente unité mais des processus complexes

Tirées de carrières en altitude dans les Alpes italiennes, plus précisément dans le massif du Mont Viso près de Turin, et dans celui du Mont Beigua au nord de Gênes, les haches en jade ont circulé à travers toute l'Europe occidentale, sur des distances considérables, atteignant 2 000 km à vol d'oiseau, jusqu'aux rivages atlantiques d'une part et jusqu'à la mer Noire d'autre part (Fig. 31). Leur répartition couvre ainsi toute l'Europe occidentale, de la péninsule ibérique jusqu'au Danemark, avec néanmoins une forte concentration en France (notamment dans le Bassin parisien et la vallée du Rhône) qui s'explique par la position privilégiée de cette région dans les circulations mais aussi un accès plus important aux données, tandis que les vides ou les effectifs plus faibles s'expliquent tantôt par leur position plus marginale ou lointaine le long des axes de circulation principaux tantôt par des biais documentaires ou des effets de la recherche⁵⁴. Mais dans l'ensemble si l'on tient compte des effets de ces deux phénomènes conjugués (position dans les réseaux et biais de la recherche), on pourrait estimer que la diffusion des jades alpins est relativement uniforme. L'espace est assez bien couvert et les plus faibles effectifs aux périphéries peuvent naturellement s'expliquer par une décroissance avec la distance induite par une diffusion de proche en proche.

⁵⁴ Voir [partie 1.2.2 \(Fig. 11\)](#), la description de la carte de fiabilité de la répartition des données de ce corpus. Par exemple à cette étape du programme, la péninsule ibérique ou l'Italie méridionale avaient encore été peu prospectées de même que l'Europe centrale. Ces vides documentaires ont été comblés depuis grâce au programme ANR JADE 2 (Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017).

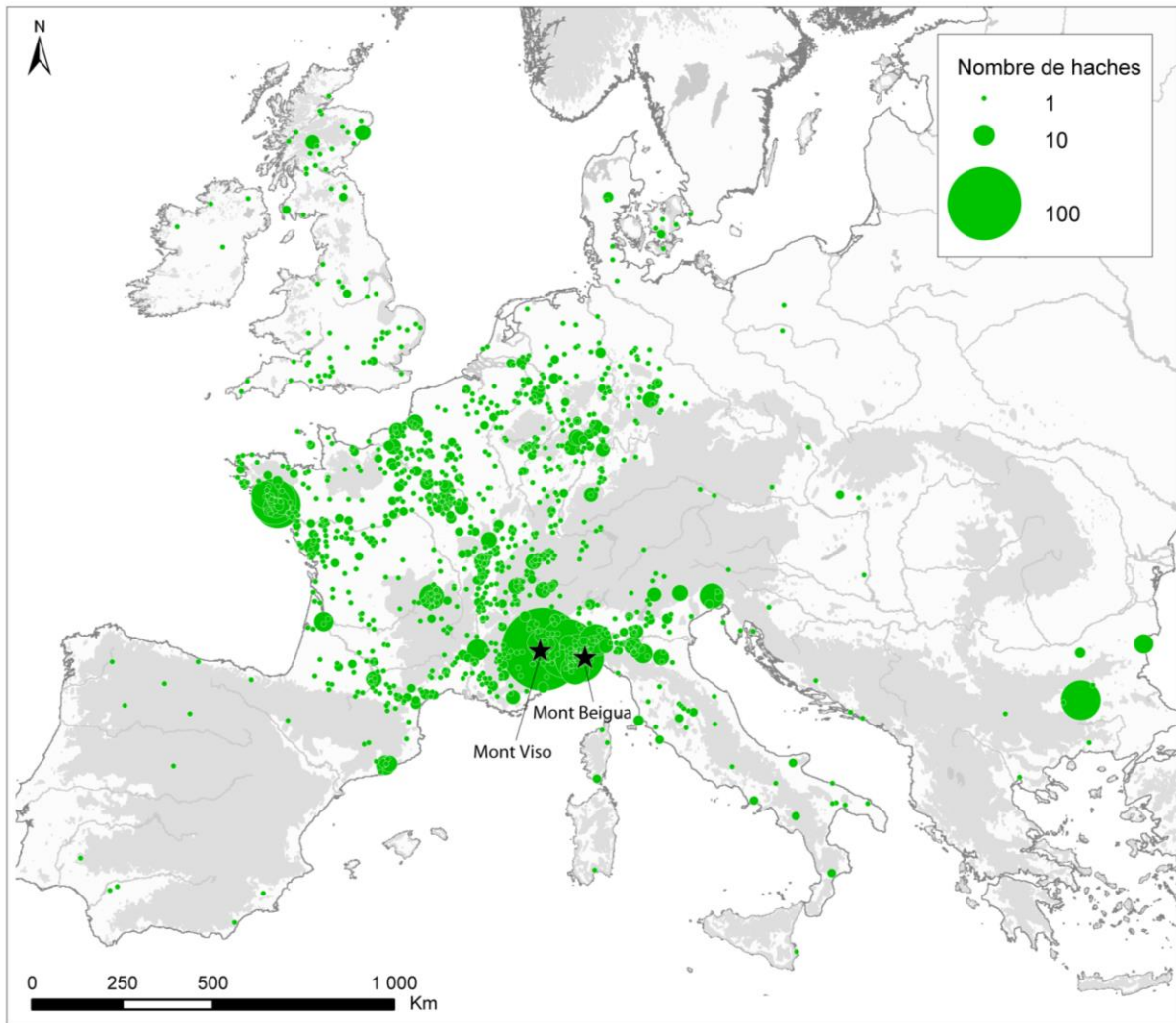


Fig. 31. Répartition générale des longues haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

3.1.1. Des phénomènes de sélection

Mais en arrière-plan de l'apparente unité de ces réseaux de transfert, à partir d'un centre unique, se dessinent des modes de diffusion bien plus complexes. Il faut pour cela porter un regard plus fin sur les répartitions. La prise en compte de différents descripteurs doit ici permettre de mieux comprendre les mécanismes de la diffusion en faisant apparaître notamment des différences chronologiques ou régionales (Renfrew 2005). Les facteurs de distinction considérés ici sont : le type (Pétrequin, Sheridan *et al.* 2008, Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b), la longueur, le matériau (roches sombres/roches claires, Pétrequin, Sheridan *et al.* 2011, Coccato *et al.* 2013) et son origine (Beigua/Viso, Pétrequin, Errera *et al.* 2012), les niveaux de finition (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b) et le contexte d'enfouissement (Cassen *et al.* 2012, Pétrequin, Pétrequin *et al.* 2017d). Chacun de ces facteurs peut être considéré seul ou bien pris deux à deux⁵⁵.

Bien qu'une simple cartographie des répartitions soit tout à fait à même de montrer les phénomènes spatiaux particuliers à ces différents descripteurs, une modélisation des points moyens accompagnés

⁵⁵ Au delà de deux, la difficulté réside dans le trop faible nombre d'individus recensés.

de leurs ellipses de déviation standard fera davantage ressortir ces phénomènes (Hodder et Orton 1976, p. 207-208, Pumain et Saint-Julien 1997, p. 54, Nuninger et al. 2012), en résumant la distribution en un point unique qui correspond à la tendance principale et en représentant, par les ellipses, l'amplitude et la direction de cette tendance⁵⁶. Le point moyen constitue en effet "un premier indice synthétique de la direction principale prise dans l'espace par le processus de diffusion" (Pumain et Saint-Julien 2001, p. 166). Bien entendu il faut se souvenir que cette méthode simple permet de créer un point qui n'a qu'une valeur statistique et présente seulement une tendance très générale. Ainsi un point moyen situé plutôt au centre de la distribution, avec une ellipse de déviation standard large et circulaire, indique une distribution vaste et relativement uniforme. Au contraire, un point moyen éloigné du centre avec une ellipse de taille réduite correspond à une répartition régionalisée, et si l'ellipse est ovale, la distribution tend à privilégier une direction en particulier. La méthode des points moyens, bien qu'elle lisse les détails, est donc un bon outil de visualisation des tendances. Cela permet en outre, par la clarté de ce mode de représentation, d'afficher sur une même carte un nombre de critères relativement important (les types, par exemple sont ici au nombre de 18, il n'est pas pensable de représenter sur une même carte toutes ces distributions). Il est ainsi plus aisé de les comparer.

Pour les différents facteurs considérés, des tendances nettes apparaissent. On constate tout d'abord que la distinction des critères liés au matériau et à son origine (déterminés par comparaison entre les analyses des lames polies et celle des échantillons naturels d'un référentiel européen, Prichystal et Trnka 2001 ; Errera et al. 2006 ; Prichystal 2013) laissent apparaître un double système d'opposition à petite échelle :

- les roches claires (jadéites) sont plutôt dans la partie septentrionale (Bassin parisien, Allemagne, Grande Bretagne, etc.) du domaine de diffusion des jades alpins et les roches sombres (omphacites, écloğites) dans la zone méridionale (midi de la France, Italie, Espagne), créant ainsi une opposition nord-sud en Europe occidentale (Fig. 32, Pétrequin, Sheridan et al. 2011). Pour les écloğites, l'essentiel des artefacts se situe près des carrières, avec une diminution rapide, suivie d'une diffusion régulière mais en faible nombre. Au contraire, les jadéites sont peu représentées dans les gîtes et montrent une concentration remarquable entre 650 et 1 000 km⁵⁷. L'idée d'un mode de diffusion différent entre écloğites et jadéites vient immédiatement à l'esprit, mais ce n'est probablement pas le meilleur –et en tout cas pas le seul– système explicatif. Les sondages dans les carrières du Mont Viso / Bulè en septembre 2007 (Pétrequin, Pétrequin et al. 2007) ont montré que la jadéite était globalement plus rare et plus précieuse que l'écloğite dans les gisements primaires eux-mêmes (Pétrequin, Sheridan et al. 2011). La valorisation sociale de la jadéite était déjà telle, dans les carrières, que même les plus petites ébauches étaient redescendues en vallée, tandis que des ébauches de haches en écloğite de 15 cm de longueur ou davantage étaient abandonnées sur les postes de taille si elles n'étaient pas parfaites. L'hypothèse de deux modes de diffusion n'est probablement pas fautive, mais reste donc à un niveau très superficiel des systèmes explicatifs, tandis que la valorisation sociale différente de l'un et l'autre groupe de roches permet de mieux comprendre la gestion différente des ébauches et des outils. D'autres approches archéologiques ont également démontré que les deux groupes de carrières du Mont Viso, l'un surtout avec de l'écloğite, l'autre surtout avec de la jadéite, avaient été exploités par deux groupes humains et culturels différents (Pétrequin, Pétrequin à paraître).

⁵⁶ Pour des exemples en archéologie : Bertoncetto et al. 2012, Gauthier 2004, Nuninger et al. 2012, Poirier 2010.

⁵⁷ Les préférences pouvant varier selon le type de lame polie (Pétrequin, Cassen et al. 2012b)

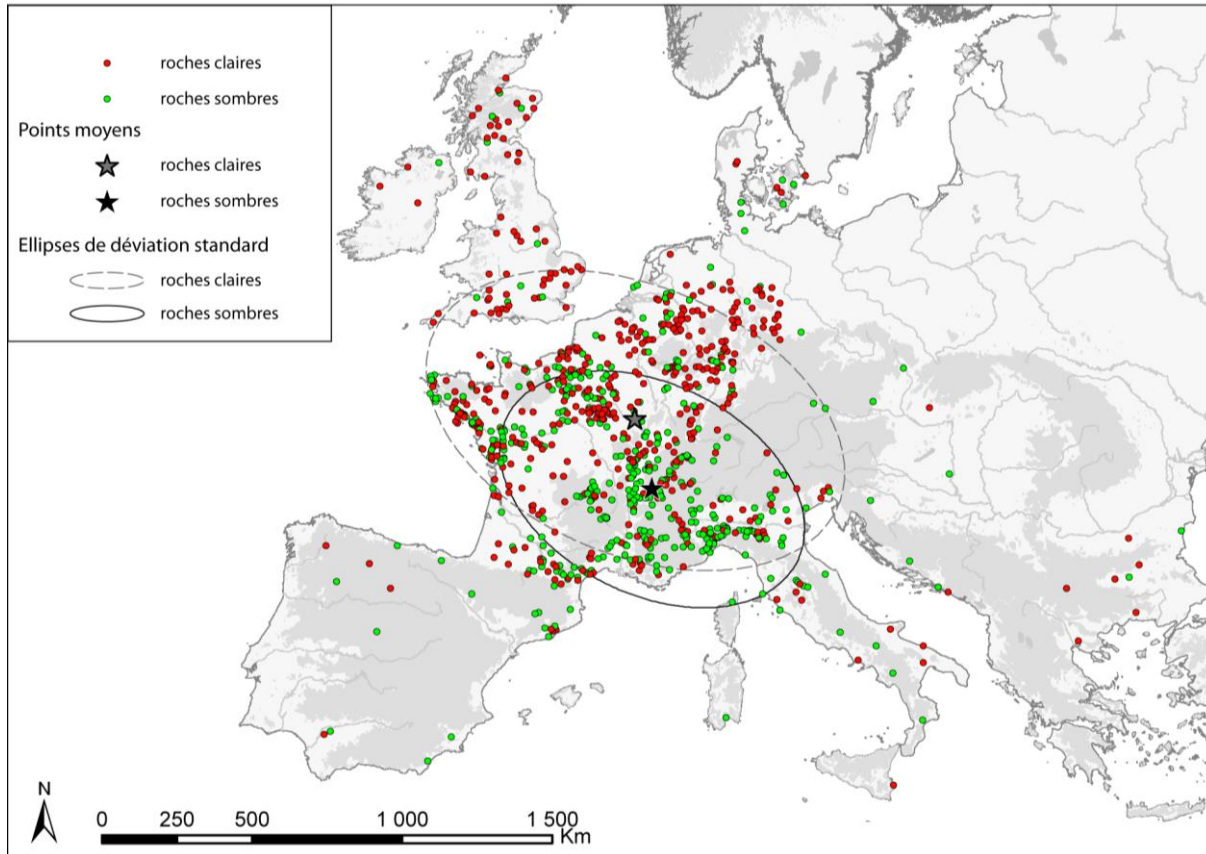


Fig. 32. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des roches claires et roches sombres. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

- tandis que les productions du Viso se retrouvent dans toute l'Europe occidentale, ce sont surtout les productions issues des carrières du Mont Beigua qui semblent avoir été choisies pour la diffusion des jades alpins en direction de la mer Noire (Fig. 33). Des connexions spécifiques des réseaux de transferts sont sans doute à l'origine de cette préférence et de ce qui apparaît ainsi comme une opposition est-ouest (Errera *et al.* 2006, Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b)

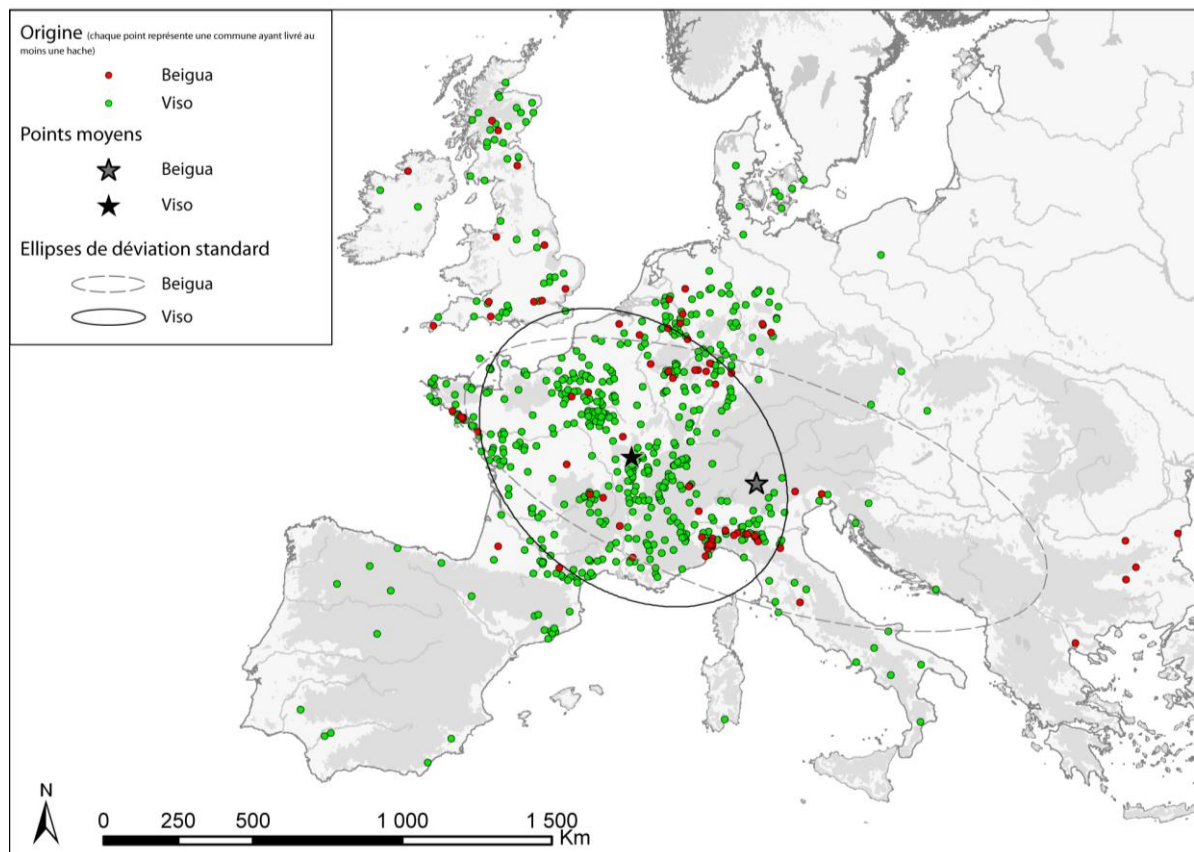


Fig. 33. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des haches en jade originaires du Mont Viso et du Mont Beigua. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

- On se doute, bien sûr, qu'au cours du millénaire que compte le cycle social de circulation des haches en roches alpines, ces objets valorisés ont subi des variations de forme, phénomène classique de l'affichage des inégalités sociales dans un système d'objets-signes (Pétrequin et Pétrequin 2006, Chancerel *et al.* 2015, Pétrequin, Pétrequin *et al.* 2015, 2017d). Différents groupes typologiques ont été identifiés dès 1998 (Pétrequin, Croutsch et Cassen 1998, Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b, Gauthier et Pétrequin 2017a). Alors que certains types ont une diffusion large (Puy, Durrington, Chelles), d'autres ont une diffusion bien plus limitée (Fig. 34) : Bégude à proximité des gîtes alpins, Saint-Michel et Tumiac en Bretagne, Pauilhac dans le midi de la France. Ainsi des types régionaux se distinguent: certains peuvent être qualifiés de « méridionaux » (Bégude, Pauilhac), car ils sont surtout présents en Italie et dans le sud de la France. D'autres sont dits « septentrionaux » (Altenstadt-Greenlaw et Chenoise), car ils se retrouvent surtout du Bassin parisien à la Grande Bretagne et au Danemark, avec une concentration importante en Allemagne. Enfin certains sont nommés « carnacéens » (Bernon, Tumiac, Saint-Michel) car ils se trouvent pour l'essentiel en Bretagne.

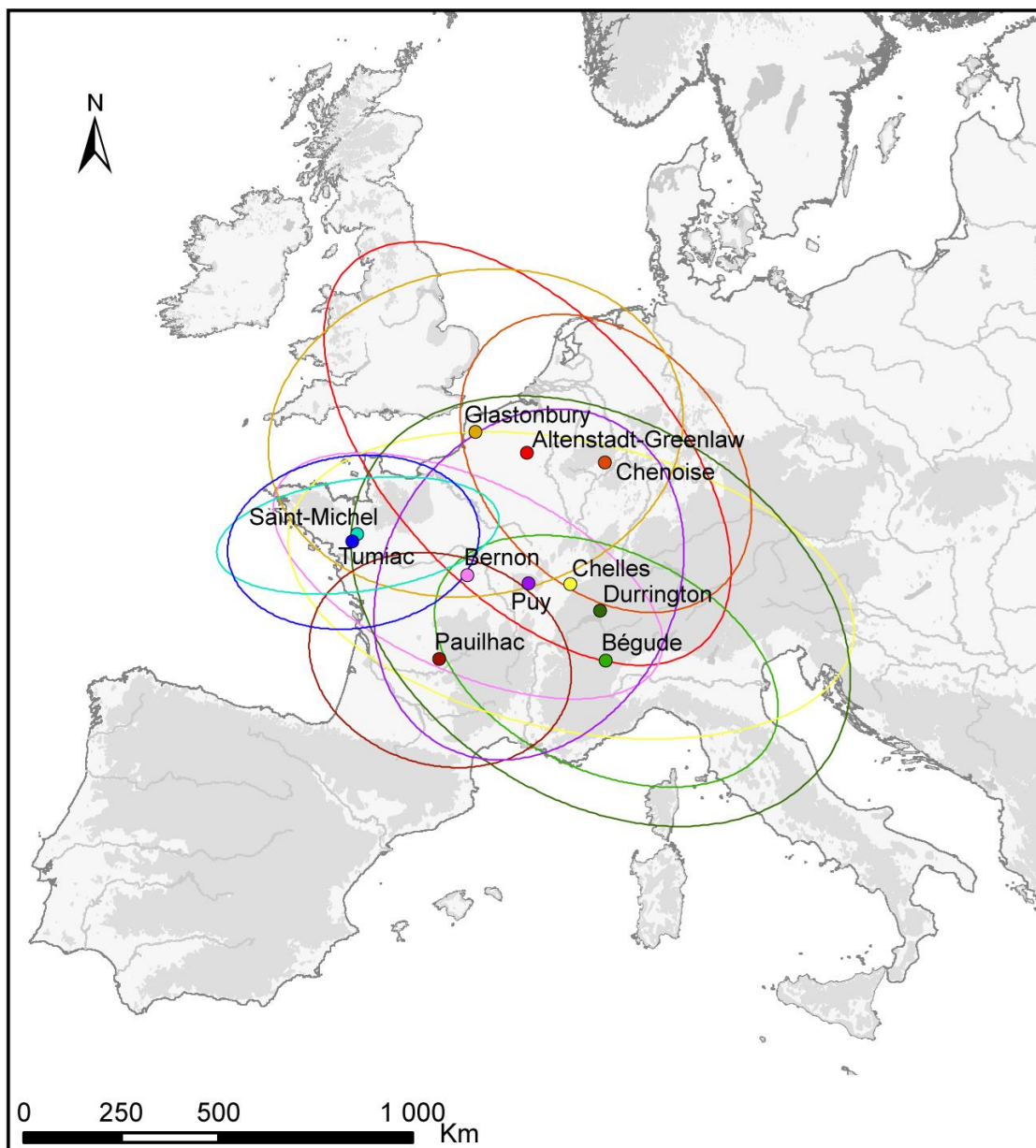


Fig. 34. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des principaux types de haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

Si des préférences régionales peuvent expliquer ces tendances, des raisons chronologiques sont aussi en cause. La prise en compte de la typo-chronologie⁵⁸ montre tout d'abord une expansion progressive du phénomène vers le nord-ouest, par étapes, avec sur la fin des phases de repli (Pétrequin, Sheridan *et al.* 2015). Pendant le V^e millénaire, les haches en jade ont en effet suivi la frontière entre cultures méridionales et danubiennes en direction de la Bretagne, puis l'expansion du Michelsberg depuis le Bassin parisien vers l'Allemagne à partir de 4300 av. J.-C. (Jeunesse *et al.*

⁵⁸ Une argumentation serrée a permis progressivement de dater les évolutions des différents types si bien que l'on en connaît aujourd'hui la succession en termes de chronologie relative (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b). Mais il serait bien aventureux de vouloir lui attribuer des valeurs absolues, en années solaires, sur les 2 600 km que compte la circulation de ces objets entre la Sicile et l'Irlande.

2003), enfin la colonisation néolithique de la Grande-Bretagne et de l'Irlande au début du IV^e millénaire (Klassen *et al.* 2009, Pailler et Sheridan 2009, Pétrequin, Sheridan *et al.* 2008). Le type Bégude étant le plus ancien, il a connu une diffusion surtout régionale, qui ne dépassait guère 800 km à vol d'oiseau, alors même que se mettait tout juste en place la circulation des jades alpins. Au contraire, Tumiac, Saint-Michel, Altenstadt, conçus au moment de l'intensification de la circulation, sont les plus éloignés des carrières. Le type Puy est parmi les plus récents et les plus largement diffusés le long de réseaux de transferts qui se restreignent toutefois au continent à cette époque (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b, p. 699).

- l'équipe du programme JADE a très tôt reconnu l'importance pour ces objets socialement valorisés de la plus ou moins grande régularité des haches polies et de la qualité de la finition et du polissage. Six catégories ont ainsi été distinguées (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b), depuis les ébauches (niveaux 1, non polies et 2, à polissage partiel), les outils d'abattage (niveaux 3, à bouchardage et polissage partiel et 4, à polissage total irrégulier), jusqu'aux exemplaires polis à glace (niveau 5) ou même décorés ou perforés (niveau 6). La cartographie des centres de gravité des répartitions par niveau de finition (toutes les haches à l'échelle de l'Europe – Fig. 35), montre bien que, schématiquement, la qualité du polissage croît depuis les carrières (niveau 1) en direction de la Bretagne (niveaux 5 et 6). Les exemplaires qui ont subi un polissage plus intensif se retrouvent ainsi plus fréquents loin des gîtes alpins. Cette augmentation est progressive depuis la zone alpine en direction du nord et de l'ouest, mais elle ne se fait pas partout à la même vitesse : lente d'abord sur les 500 premiers kilomètres, puis de façon exponentielle entre 800 et 1 210 km. La diffusion devient donc beaucoup plus lointaine pour les exemplaires ayant le plus haut degré de finition, qui se déplacent beaucoup plus « rapidement » loin de la source que pour les haches affichant des niveaux moindres de polissage, le plus souvent trouvées à proximité des gisements naturels de matière première.

En distinguant les indices de polissage en fonction du matériau (jadéitites claires contre éclogites et omphacitites sombres), des différences apparaissent encore : à proximité du gîte, on trouve des haches en éclogite à différents niveaux de polissage, depuis les ébauches jusqu'aux haches de poli 6, alors que l'on retrouve surtout des haches en jadéitite à faible niveau de polissage. Là aussi, la différence de valorisation sociale des deux types de roches est certainement en cause.



Fig. 35. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des six niveaux de finition des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

- Si l'on tient compte de la longueur des pièces complètes (Fig. 36), on constate que les exemplaires de très grande taille, surdimensionnés par rapport à leur fonction technique, sont nettement plus fréquents dans les régions périphériques.

Tant pour la longueur des pièces que pour le niveau de finition, cela peut correspondre à une sélection progressive des exemplaires ayant une plus forte valeur sociale, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la région source. Ils gagnent ainsi à la fois en exotisme, en ancienneté (les transferts étant relativement lents, un important décalage chronologique existe entre des objets d'un même type découverts dans le Piémont et en Grande Bretagne), en esthétisme et en valeur symbolique (les pièces les plus longues, les plus brillantes, les plus fines) pour devenir de véritables signes-sociaux.



Fig. 36. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des six niveaux de finition des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

- Enfin, les contextes de découverte viennent encore appuyer l'hypothèse d'une sélection des jades selon la distance, favorisant les meilleurs marqueurs sociaux loin des sources de matière première (Fig. 37) : alors que les habitats sont majoritaires dans un cercle de 200 km autour des gîtes, où les haches en jades sont surtout utilisées comme outils d'abattage, au-delà, ce sont plus fréquemment dans des dépôts groupés (Pétrequin, Cassen *et al.* 2009) et des tombes, parfois monumentales comme les tumulus carnacéens en Bretagne (Cassen 2000), ou luxueuses, comme les tombes des nécropoles de Varna, aux côtés de nombreux objets d'or (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012d), que les haches en jades alpins ont été enterrées. Certaines sépultures riches et monumentales étaient selon toute vraisemblance réservées à des personnages de haut rang (Cassen *et al.* 2011, 2012, Pétrequin, Sheridan *et al.* 2008, Roussot-Laroque 2008). Ces dépositions volontaires s'accompagnent d'une forme de ritualisation (Pétrequin, Sheridan *et al.* 2012, Cassen 2014), avec des positions particulières (plantées verticalement, tranchant vers le haut), le choix de contextes spécifiques liés aux

montagnes, aux pierres dressées mais aussi à l'eau (tourbières, marais, bords de rivières, etc., « milieu humide » sur la Fig. 37) ainsi que des dépôts symboliques par paires, ou encore des destructions volontaires (haches brisées ou brûlées) qui indiquent aussi une utilisation à la fois sociale et religieuse des haches en jades alpins (Pétrequin, Cassen et al. 2012e). On ajoutera à cela leur représentation sur de nombreuses stèles et parois de monuments carnacéens que l'on retrouve par ailleurs de façon très similaire en Bourgogne et dans le Bassin parisien (Cassen 2007, 2017a, Cassen et al. 2014). Il est très probable que les lames en jade aient été très tôt intégrées pleinement à la mythologie néolithique, en particulier carnacéenne (Cassen 2000, 2012). Ainsi, à distance des sources de matières premières, les haches en jades alpins, avaient acquis une valeur nouvelle, celle d'objets-signes et appartenaient surtout à la sphère sociale et religieuse. Une fois intégrées à la mythologie carnacéenne, elles ont ensuite accompagné la diffusion de cette symbolique le long de la façade atlantique et vers l'intérieur du continent (Cassen 2017b).

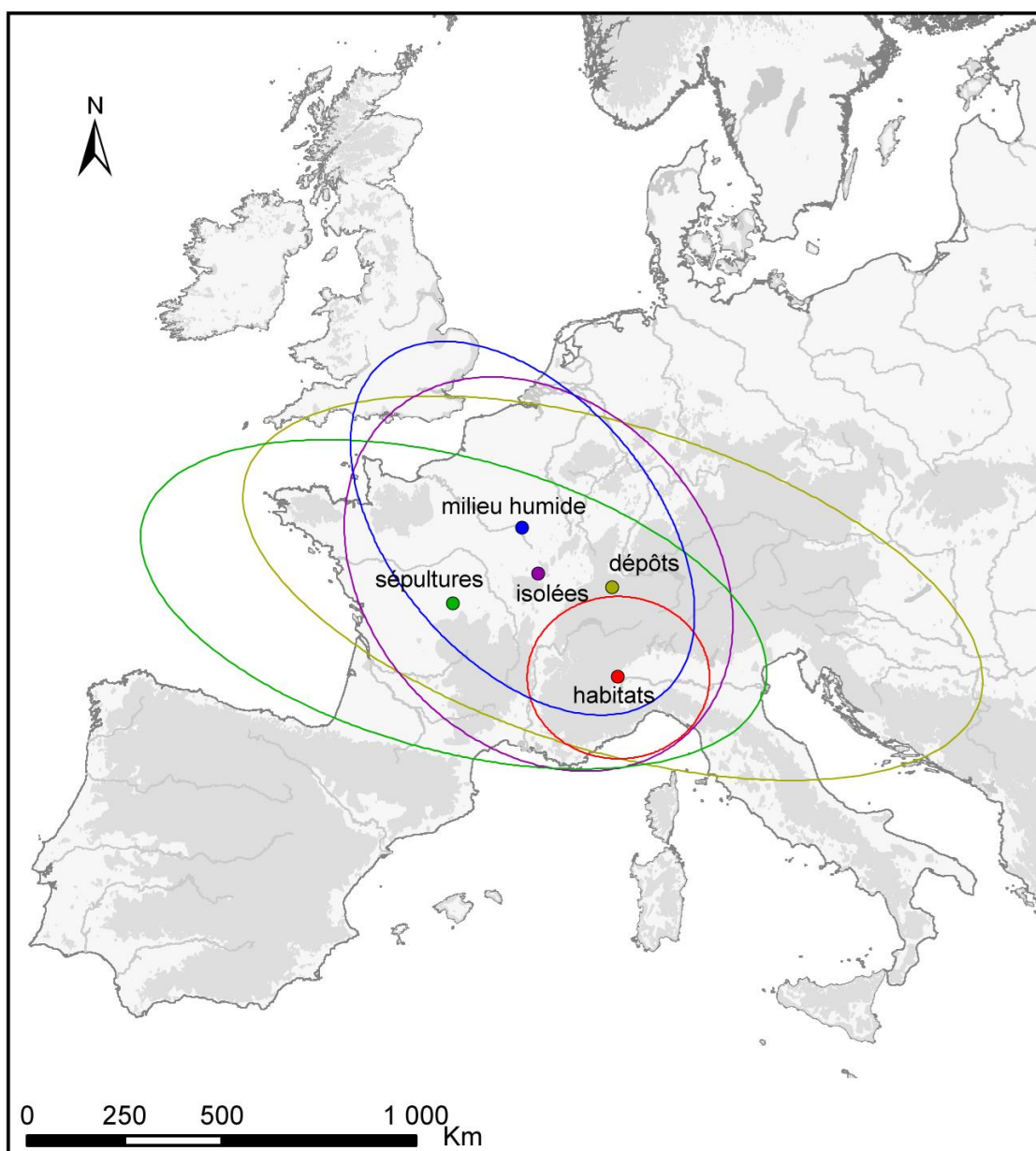


Fig. 37. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des contextes de découverte des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).

Ainsi multiplicité (voire opposition) des réseaux de transferts, phénomènes de sélection visant une augmentation de la valeur ajoutée, préférences régionales, toutes ces particularités prouvent que les transferts des haches en jades alpins sont loin d'être simples et uniformes. Différents mécanismes à la fois économiques, sociaux, religieux et culturels interviennent simultanément.

3.1.2. La distance à la source : tests du modèle down-the-line

Nous l'avons constaté, la diffusion des haches en jade se veut complexe, elle est faite de choix régionaux sur des critères bien spécifiques qui modifient la valeur et les caractéristiques morphologiques des objets au cours de leurs transferts. Alors que certaines sélections des pièces (taille, polissage, matériau) influent nettement sur les tendances globales présentées par les variations en fonction de la distance à la source, des courbes dénombrant les individus découverts à un pas régulier de distance donneront plus de détails sur les modes de transferts. La diffusion des longues haches en jades depuis les gîtes alpins à travers toute l'Europe correspond-elle à une transmission de proche en proche ("down-the-line") ou bien à des modes de transferts plus spécifiques (Fig. 38) ? Cette question est posée en référence aux modèles de C. Renfrew (Renfrew 1975, fig. 10, Renfrew et Bahn 1991, voir aussi Grancher et al. 2016) qui sont des modèles théoriques même si leur élaboration provient des travaux qu'il a menés sur la production et la distribution de l'obsidienne en Anatolie. Il s'agit de reproduire cet exercice pour les longues haches en jades alpins afin d'identifier parmi ces différents modes de diffusion, celui qui correspond le mieux, en nous appuyant sur les effectifs des objets découverts.

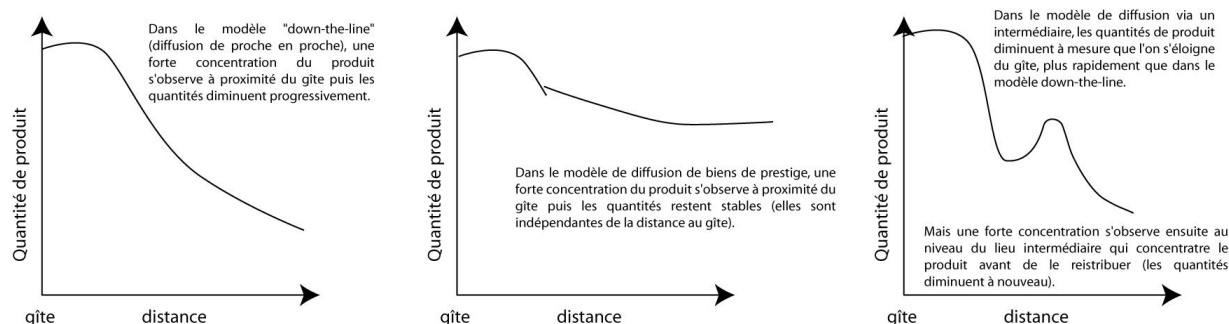


Fig. 38. Trois des modèles de décroissance avec la distance de C. Renfrew (D'après C. Renfrew 1975, fig.14, modif. E. Gauthier, 2018).

Nous choisissons de calculer la distance par rapport au Mont Viso, considéré comme l'origine principale des réseaux de transfert européen (Fig. 39). Le graphique général pour l'Europe occidentale présente en fait deux tendances associées : certes, une diminution progressive avec la distance, mais aussi de multiples pics de plus ou moins grande amplitude tout le long de l'axe, espacés de façon presque régulière tous les 100 km environ. On identifie ainsi de larges concentrations, séparées par des zones vides ou à faible densité de vestiges. L'approche de la répartition de toutes les haches en Europe occidentale ne montre guère, nous l'avons vu plus haut, de biais au niveau de l'échantillonnage, car il s'agit d'un long travail systématique qui a fait appel à des dizaines d'informateurs différents pendant presque une demi-génération. La carte de répartition générale où figure le nombre de haches dans chaque commune (Fig. 31) est extrêmement explicite : des zones de fortes densités s'opposent à des lacunes et des vides parfaitement confirmés par de

nouveaux contrôles des séries muséographiques et des publications. L'hypothèse de transferts de proche en proche, down-the-line, ou bien encore de transferts de biens de prestige (Fig. 38 a et b, Renfrew 1975) ne peut rendre compte de cette disposition géographique très particulière, faite de concentrations régionales successives. La situation s'apparente en fait à un modèle avec intermédiaires (Fig. 38c, Renfrew et Bahn 2000, Pétrequin, Gauthier et al. 2012), qui comporte des centres de redistribution dans la diffusion du produit et qui correspond ici plutôt à un fonctionnement en "places centrales"⁵⁹. Nous interprétons cette courbe comme un phénomène d'ordre social : nous voyons ici l'effet de la circulation de biens hautement valorisés, des objets-signes, dont la fonction n'est certainement pas limitée au « prestige » ou à l'« apparat », dans un système social très inégalitaire où les élites sont concentrées - comme les haches elles-mêmes - dans des régions à forte densité de population (Pétrequin, Croutsch et Cassen 1998, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d). Les haches auraient été redistribuées entre groupes d'élites régionales, les centres de pouvoir et de densité de population pouvant coïncider avec des terres agricoles particulièrement riches, des sources salées ou d'autres productions marines. S'y déroulent alors des phénomènes d'accumulation, de thésaurisation et de destruction (haches brûlées, cassées volontairement, enterrées, immergées) de ces signes affectés aux dieux ou aux puissants. C'est ainsi que les concentrations de haches les plus importantes vont se situer aux deux extrémités du réseau : chez les producteurs et leurs voisins immédiats, d'une part, où elle s'apparente à une diffusion de proche en proche, et d'autre part, dans les communautés où les fonctionnements sociaux sont franchement inégaux, à 500, 800, 1 000 km de là, dans le Bassin parisien, la basse vallée de la Loire, le golfe du Morbihan où elles correspondent à une thésaurisation avec une faible remise en circulation. Entre les deux, les haches ont circulé en bon nombre, les intermédiaires ont pu également en thésauriser une partie mais sans avoir eu les moyens sociaux de conserver la plupart.

Mais s'appliquent ici des biais méthodologiques à vouloir traiter toute l'information géographique d'un coup, que la diffusion se fasse en direction de la vallée du Pô et de l'Italie, ou bien en direction du nord-ouest de l'Europe au-delà des Alpes, ce qui est, au plan culturel et strictement archéologique, très différent. Une approche globale ne peut donc pas être jugée satisfaisante dans la mesure où les chemins empruntés suivent plusieurs axes distincts et peuvent correspondre à des logiques de diffusion et à des fonctionnements totalement différents. Par ailleurs, pour mettre en évidence ces phénomènes complexes, la prise en compte de critères distinctifs est aussi nécessaire.

⁵⁹ Selon la terminologie employée par C. Renfrew (1975, p. 5-6 et 10). Dans la théorie des lieux centraux, les villes faisant office de centres de distribution de biens et de services pour une population dispersée, on y observe naturellement des regroupements de ces mêmes biens (voir Christaller 1933, Bailly et Béguin 1998, Pumain et Saint-Julien 2001). En outre selon Manuel Castells (GCVN 1972) « la centralité est la combinaison à un moment donné d'activités économiques, de fonctions politiques et administratives, de pratiques sociales, de représentations collectives, qui concourent au contrôle et à la régulation de l'ensemble de la structure de la ville ». La centralité « dépend du pouvoir d'attraction ou de diffusion de cet élément qui repose à la fois sur l'efficacité du pôle central et sur son accessibilité. » (Merlin et Choay 1988). Cette association de fonctions et le rôle de ces pôles dans la diffusion des produits semblent particulièrement bien adaptés dans le cas présent (Cassen 2012, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d).

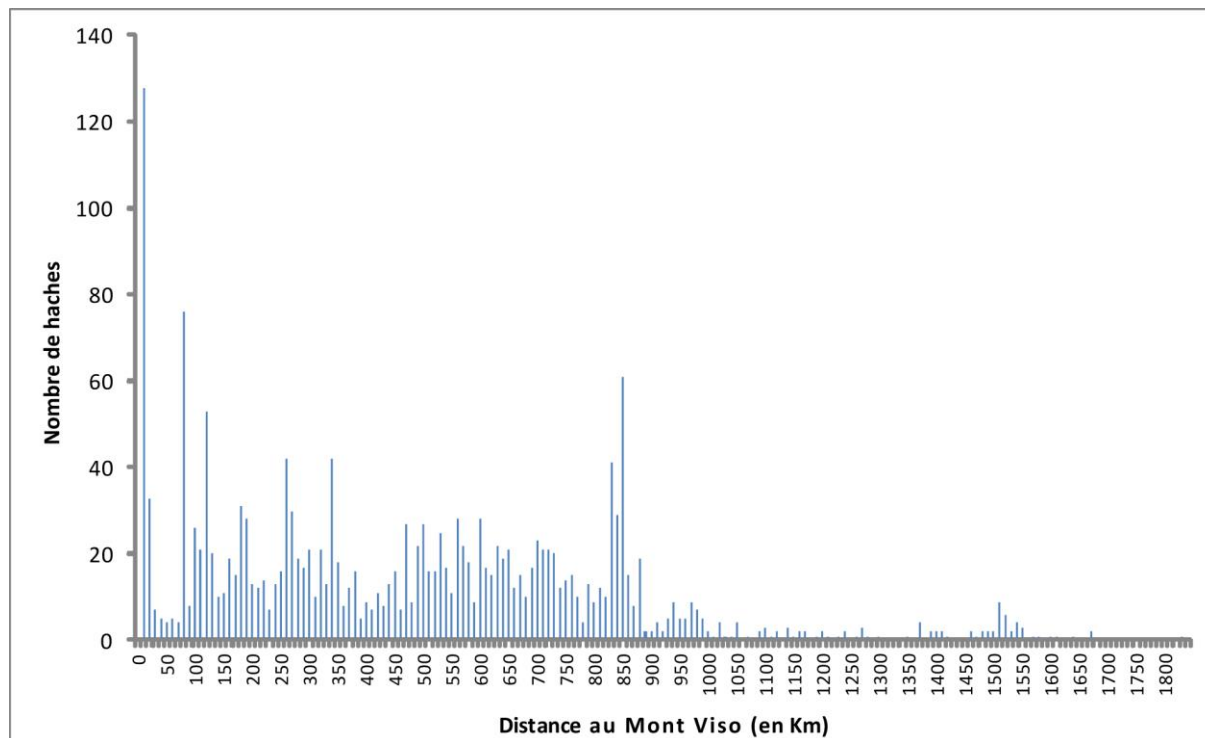


Fig. 39. Variation de la distance au Mont Viso des lieux de découverte des longues haches en jades alpins (hormis celles provenant du Mont Beigua) (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : E. Gauthier, 2016).

Par exemple, une projection sur un plan vertical des variations de haches de type Bégude en fonction de la distance (en prenant ici comme origine Alba, le principal centre italien de la mise en forme des haches par percussion), montre au contraire que leur diffusion serait homogène dans les premiers 800 km (décroissance lente et régulière) avant de diminuer rapidement au-delà de cette distance (Fig. 40). Cette observation est vraie pour le type Bégude, dont la diffusion débute avec le Ve millénaire et qui atteint la Bretagne (à 800 km) un peu avant 4500 av. notre ère, mais la raréfaction brutale du nombre de haches au-delà de 800 km marque en fait la limite du monde néolithique méridional au milieu du Ve millénaire et le transfert tardif (après 4000) de quelques individus de type Bégude selon un autre réseau, par l'ouest de l'Allemagne et jusqu'au Danemark. Il est donc assez difficile d'exploiter ce type de projection « globale », qui neutralise les spécificités régionales et réunit artificiellement différents axes de transfert.

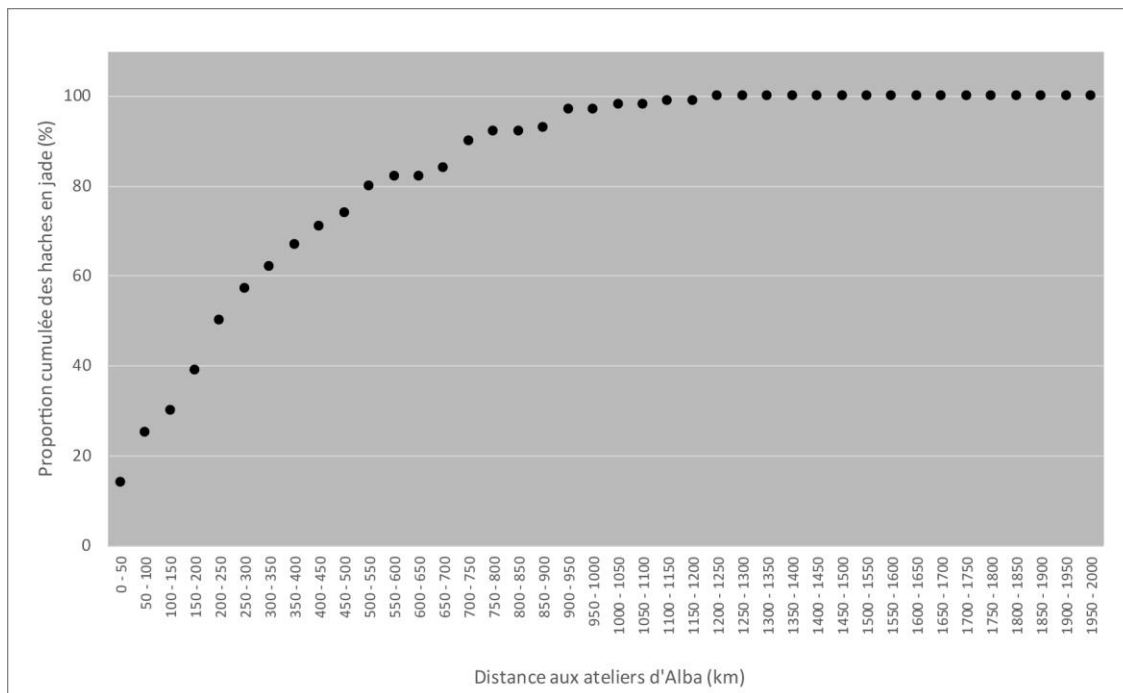


Fig 40. Variation de la distance des lieux de découverte des haches en jade de type Bégude par rapport aux ateliers d'Alba (DAO. E. Gauthier 2019).

A terme, il est nécessaire de repérer, sur carte et en chronologie, les différents réseaux de circulation et de les isoler afin d'étudier les artefacts en ensembles géographiques distincts. Leur prise en compte doit permettre d'affiner les premiers modèles généraux en tenant compte des fonctionnements différents selon les axes de diffusion et les cultures (Gauthier et Pétrequin 2017b). En l'absence d'une périodisation pour chaque objet (impossible à réaliser car il s'agit d'un phénomène très complexe : objets d'une durée de vie très longue, association de plusieurs types dans un même lieu de découverte...), il faut mener l'analyse à partir d'une typo-chronologie applicable seulement dans une zone épicerie à définir pour chaque type.

Cinq axes sont ainsi définis (Fig. 41, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d) et les analyses de distances sont réalisées tour à tour suivant chacun d'eux pour comparer la distribution des différents types. Les axes 1 et 5 ont pour origine le centre des exploitations du Mont Viso. L'axe n° 1 part des gîtes alpins en direction du Bassin parisien. L'axe n°5 correspond à la voie méridionale depuis les gîtes alpins vers le Morbihan en passant par le Midi de la France. Les axes 2, 3 et 4 partent d'un point que nous avons défini dans le Bassin parisien, à 500 km du Mont Viso. Chacun se dirige ensuite dans une direction différente, l'axe n° 2 vers le nord de la France et la Grande-Bretagne, l'axe n° 3, vers l'Allemagne et l'axe n°4 vers la Bretagne.

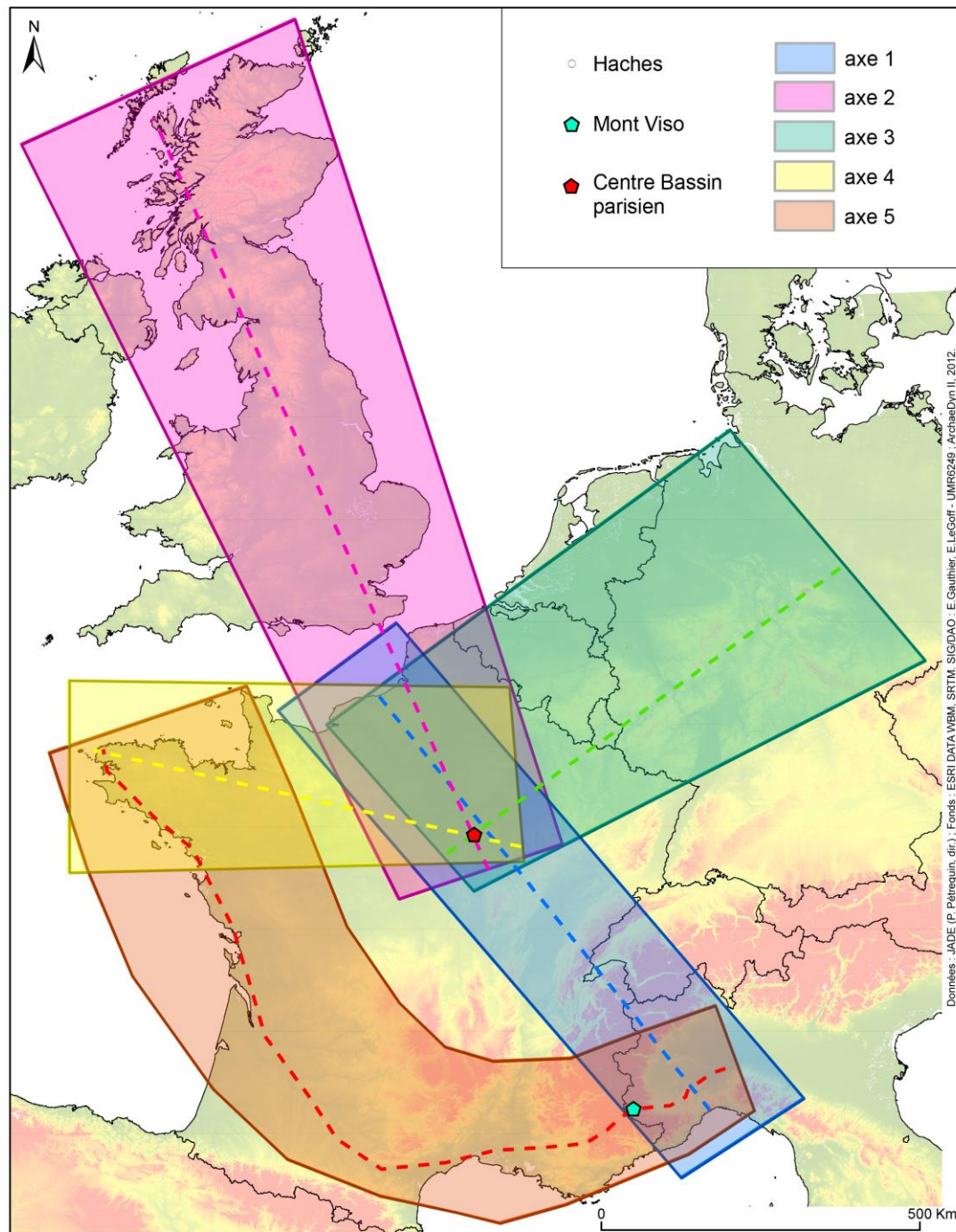


Fig. 41. Les 5 axes définis comme les principales voies de diffusion des jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : E. Gauthier et E. Le Goff, 2016).

Différents tests ont montré qu'un pas de 10 km est ici le plus approprié pour faire ressortir les phénomènes. La distance euclidienne a été privilégiée plutôt qu'une distance pondérée à la topographie, d'une part parce que l'impact du relief pour ces sociétés anciennes n'est sans doute pas le même que dans nos sociétés modernes, d'autre part parce que nous ne pouvons pas travailler sur les routes réelles empruntées, il serait donc illusoire de chercher à s'approcher davantage de la distance réellement parcourue. Pour les axes 1 à 4, le calcul des distances euclidiennes a été effectué directement par une jointure spatiale. Pour l'axe 5, qui est courbe, un axe moyen théorique, appuyé

en partie sur les réseaux hydrographiques et longeant ensuite la côte atlantique, a été tracé ; des projections linéaires⁶⁰ ont ensuite été réalisées afin de comptabiliser les haches tous les 10 km puis le résultat a été traduit sous la forme d'un graphique.

Afin de mettre en valeur les résultats et pouvoir plus aisément confronter les profils, des courbes de tendance ont été tracées. La méthode choisie est celle des moyennes mobiles plutôt que la méthode polynomiale, car elle est la plus à même de lisser les résultats tout en conservant les tendances et surtout les changements de tendance, c'est à dire les pics de la distribution⁶¹. On notera toutefois que comme il s'agit de moyennes, les pics sont de plus faible amplitude que les effectifs réels. Par ailleurs, cette méthode produit un décalage fixe au niveau des abscisses (de 30 km ici), dont il faut tenir compte pour la lecture du résultat. Les graphiques proposés dans les figures suivantes ont ainsi été corrigés afin d'afficher les distances réelles. Pour confronter plus aisément les profils nous ne conservons des histogrammes que leurs courbes de tendance qui, bien qu'elles lissent quelque peu les résultats, reflètent la forme des distributions et permettent de comparer la position et l'amplitude relative des pics d'un nombre assez important de types de haches différents sur un même graphique.

Suivant les axes considérés, les types remarquables ne sont pas les mêmes. Ainsi pour les axes 1 et 2, le type Bégude, méridional, le type septentrional Altenstadt-Greenlaw ainsi que les types à large diffusion, Durrington et Puy retiendront notre attention (les autres types septentrionaux Chenoise, Glastonbury sont présents en trop peu d'exemplaires).

Sur l'axe 1 (Fig. 42), nous constatons que les pics relatifs aux différents types de haches sont sensiblement les mêmes, ce qui témoigne d'une certaine stabilité des grands "centres" de consommation des haches en jade. On note tout d'abord une concentration très importante dans les cent premiers kilomètres autour du Viso. Cela correspond aux haches et ébauches trouvées dans la région piémontaise et alpine et concerne surtout les types les plus anciens, dits méridionaux, Bégude et Durrington. On en trouve en effet une quantité très importante au sein des habitats et ateliers du nord de l'Italie. Le type Bégude se fait rare après 200 km ; ce modèle sera présent de façon anecdotique jusqu'à 700 km, dans la basse vallée de la Seine. Le type Durrington connaît un schéma assez comparable, mais il reste assez bien représenté tout le long de l'axe 1. Le type Altenstadt-Greenlaw est quasiment absent jusqu'à 250 km environ. Les premiers pics sont de faible amplitude. Ils se trouvent à environ 200 km, en Suisse occidentale, près du lac Léman et 260 km, en Franche-Comté et autour du Lac de Bièvre. C'est surtout à partir de 500 km, dans le Bassin parisien, que ce type connaît les concentrations les plus importantes. D'une façon générale, cette zone est particulièrement riche et les types représentés y sont très variés.

⁶⁰ Voir ci-après la [partie 6.3](#).

⁶¹ La période choisie pour le calcul des moyennes mobiles est ici de 4.

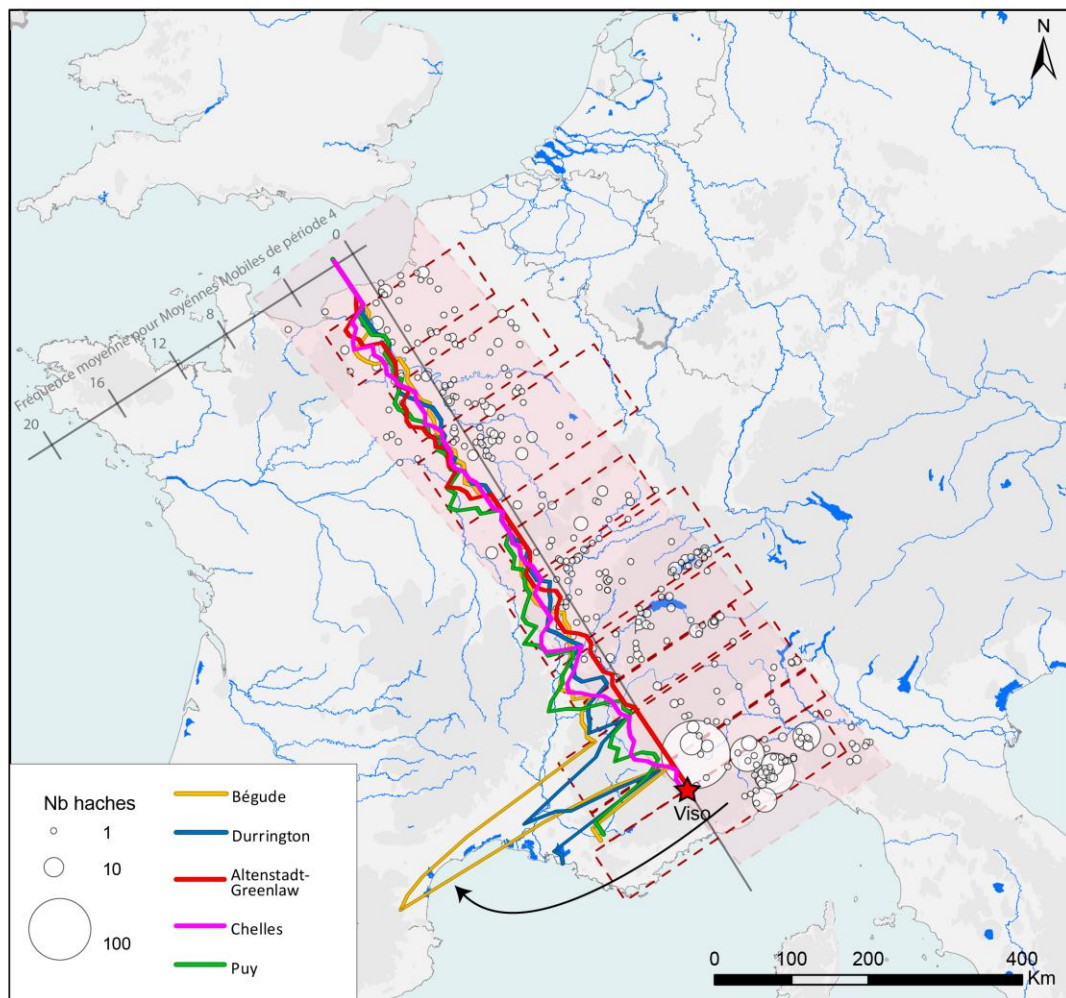
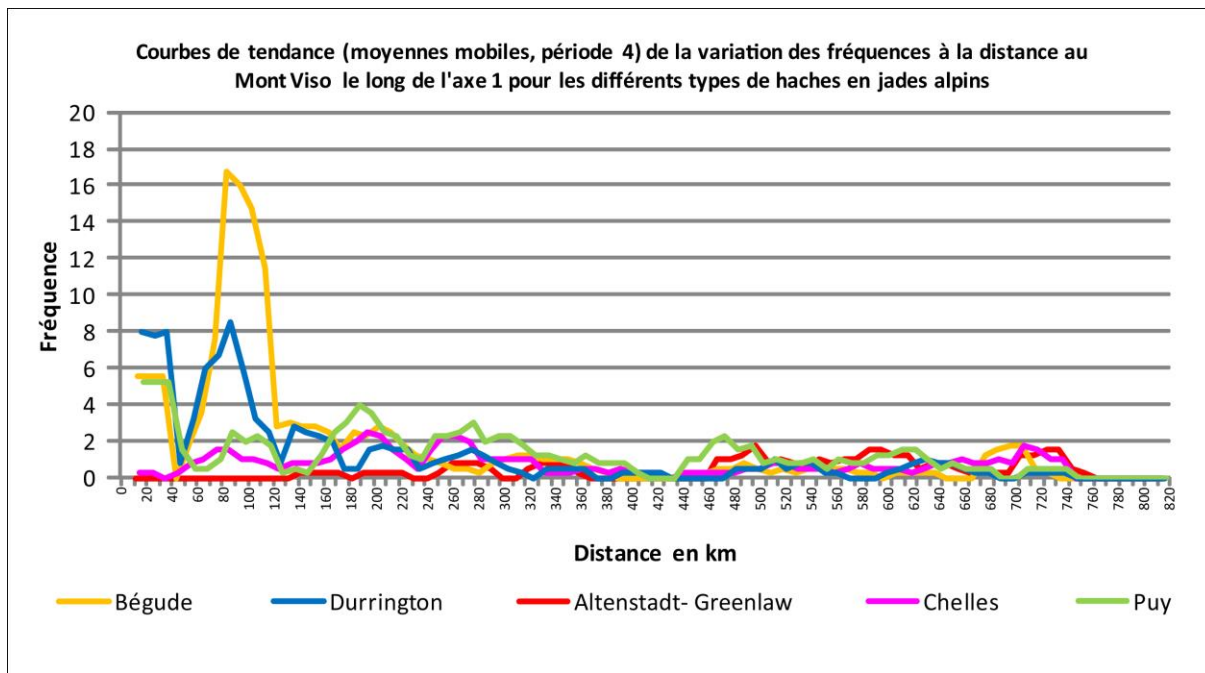


Fig. 42. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 1. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

Outre-Manche, le long de l'axe 2, les concentrations sont plus faibles et moins régulières (Fig. 43). Quatre zones se démarquent du sud-est de la Grande Bretagne à l'Écosse. Si les types Bégude, Durrington et Puy y sont très peu représentés, c'est surtout le type Altenstadt-Greenlaw que domine sur cet axe. Il présente trois concentrations, l'une au sud de la Grande Bretagne, les deux autres en Écosse, soit vers 1 400 et 1 550 km du Viso. L'arrivée des haches en jades alpins depuis le nord de la France est tardive : elle serait en effet à mettre en relation avec la colonisation néolithique de la Grande Bretagne et de l'Irlande aux alentours de 4000 av. n. è. (Sheridan et Paillet 2012), avec les courants « Carinated Bowl » et « trans-Manche ouest » notamment (et non pas les courants précédents originaires du Morbihan, ce qui explique le faible nombre d'exemplaires carnacéens). Par ailleurs une longue perdurance des types Durrington et Altenstadt dans le nord de la France et une arrivée très tardive du type Puy expliqueraient le faible nombre d'exemplaires de ce dernier type.

Le long de l'axe 3 (Fig. 44), à ces mêmes types s'ajoutent les types Chenoise et Glastonbury que l'on trouve essentiellement dans cette partie de l'Europe (bien que leurs effectifs soient plus faibles que les modèles précédents). On y compte également un bon nombre d'exemplaires du type Chelles, plus fréquent encore sur l'axe 4. Le Bassin parisien et la vallée de la Seine présentent bien entendu des valeurs fortes. Le long de cet axe, qui se dirige ensuite vers le centre de l'Allemagne et qui traverse donc tout le nord-est de la France et le Benelux, la concentration la plus forte se trouve en Allemagne occidentale, le long de la vallée du Rhin, entre 350 et 450 km du Bassin parisien. Tous les types sélectionnés sont concernés. Il en va de même de deux autres pics de relativement forte amplitude, l'un à 250 km environ, correspondant à une densité élevée de haches trouvées en Belgique, l'autre, un peu plus faible, dans le centre de l'Allemagne, vers 600-650 km du Bassin parisien. D'autres pics secondaires s'observent régulièrement, les différents types présentant des courbes similaires, hormis le type Puy, sans doute en raison d'un décalage chronologique plus important. Le type Altenstadt-Greenlaw présente des pics plus fréquents et plus élevés, tandis que le type Durrington, pourtant bien représenté sur les autres axes est ici beaucoup moins abondant.

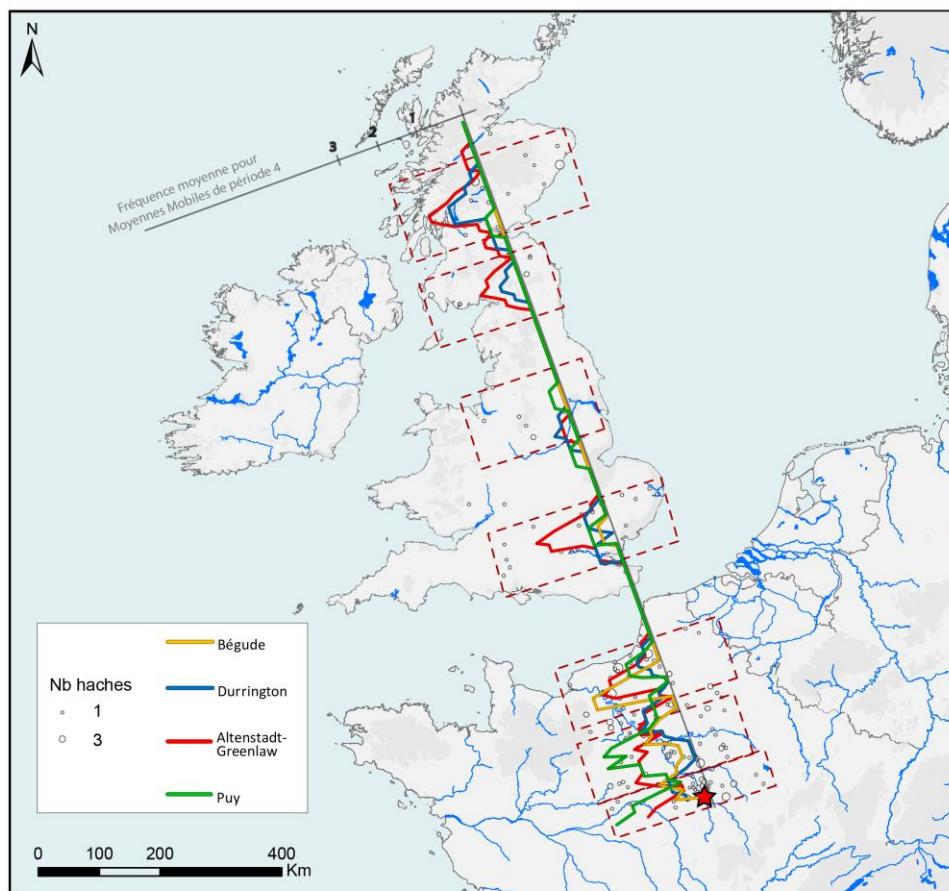
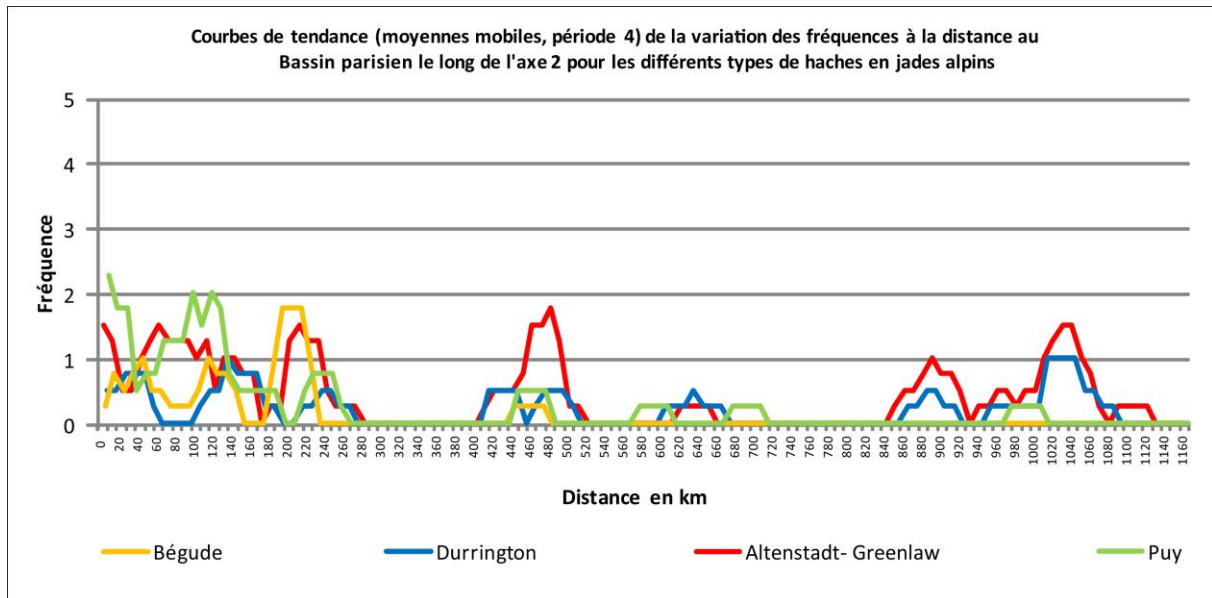


Fig. 43. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 2. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

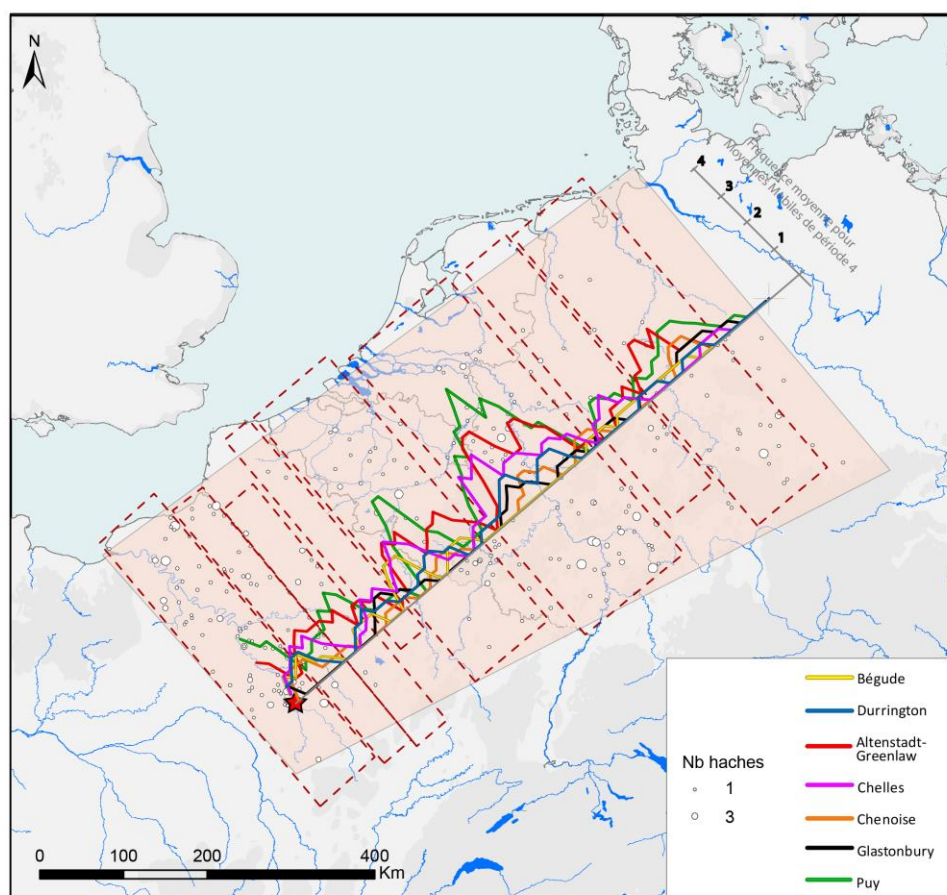
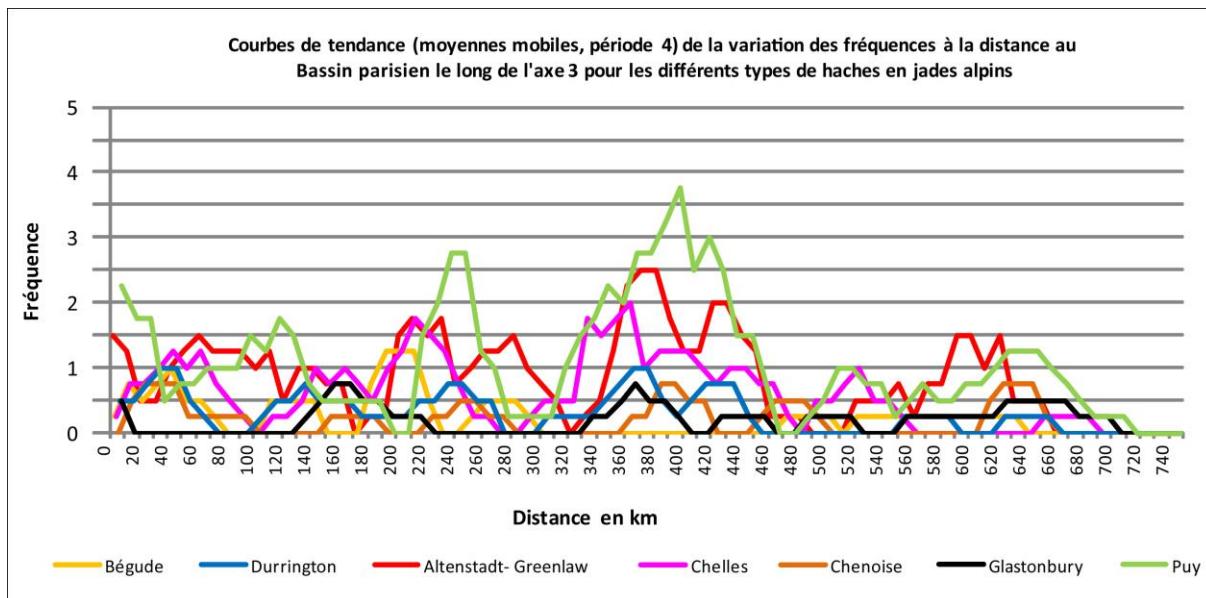


Fig. 44. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 3. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

L'axe 4 conduit du Bassin parisien vers la Bretagne (Fig. 45). Deux autres modèles, les types Saint-Michel et Tumiatic, caractéristiques de cette région, ont des effectifs élevés. Au début de la courbe, de nombreux pics s'observent ; ils sont dus aux nombreuses trouvailles déjà mentionnées le long de la basse vallée de la Seine et en Picardie. Si on y rencontre quelques pics de faible amplitude de haches de type Tumiatic, le type Saint-Michel est quant à lui quasiment absent de cette première partie de l'axe. Mais la zone la plus intéressante est la Bretagne, la région de Carnac en particulier, où l'on rencontre un nombre élevé de haches et plus particulièrement les types Tumiatic et Saint-Michel mais également Chelles et Bégude. On remarquera la très faible représentation du type Altenstadt-Greenlaw dans le Golfe du Morbihan.

Cette autre approche des répartitions fait donc apparaître une série de pôles de concentration placés tous les 100 km environ, tout le long de la voie continentale partant des gîtes alpins en direction des périphéries nord-occidentales de l'Europe du Jade. Cette répartition par pôles réguliers correspondrait non pas au modèle « down-the-line » mais plutôt à des transferts successifs entre centres de redistribution. Par ailleurs, ces pôles sont souvent communs aux concentrations de plusieurs types différents de haches, laissant penser qu'il s'agit des mêmes aires de consommation, peut-être occupées par des élites locales. Cette méthode nous permet également d'observer le point de départ et l'amplitude de la diffusion des types régionaux le long des grands axes de diffusion. Si certains sont présents sur tout le parcours (Bégude, Durrington, Chelles, Puy), d'autres apparaissent au contraire dans des secteurs bien particuliers et connaissent une diffusion beaucoup plus limitée faite de quelques pôles disposés le long d'un seul axe (Tumiatic, Saint-Michel, Chenoise, Glastonbury, Altenstadt-Greenlaw, etc.). En effet, à partir du Bassin parisien se dessinent trois voies très différentes, marquées chacune par des concentrations régulières de types régionaux. La consommation des haches en jade prend alors des visages différents dans ces aires d'affinités culturelles distinctes.

Le Bassin parisien fait ainsi office de plaque tournante dans la diffusion des haches en jade par l'intérieur du continent, au carrefour de ces trois voies. Mais ce secteur très riche constitue également en lui-même un important pôle de concentration et de diffusion des jades. L'autre grand pôle d'attraction, plus marqué encore, se trouve à l'extrémité de l'axe 4, dans le Golfe du Morbihan. Ces deux grands centres présentent tous deux à la fois un nombre d'exemplaires de haches en jade bien plus important que dans les centres secondaires régionaux mais également une grande diversité de types, ce qui semble indiquer qu'ils jouent un rôle particulier dans la diffusion des modèles alpins et l'inspiration des modèles régionaux.

L'axe 5 qui correspond à la voie méridionale et atlantique de diffusion (Fig. 46), montre un fonctionnement très différent. Hormis les deux pics principaux en début et fin de parcours, l'axe ne connaît pas de concentration de forte amplitude, uniquement quelques-unes modestes, vers 250 km du Viso dans la vallée du Rhône, vers 750 km en Bordelais et entre 850 et 1 000 km dans la région nantaise. Tandis que le type Bégude connaît une décroissance rapide dès les cent premiers kilomètres, pour se retrouver à nouveau en nombre à partir de la Loire, le type Durrington reste assez bien représenté tout le long de l'axe. Le type Altenstadt-Greenlaw est ici peu fréquent. Le type Pauilhac, qui se rencontre seulement sur cette voie de diffusion, ne présente quant à lui que des concentrations modestes, l'une entre 500 et 650 km du Viso, du Languedoc à la Garonne, l'autre en Bretagne aux côtés des types Tumiatic et Saint-Michel. Il n'existe donc pas sur cette voie de centre de redistribution aussi important que la concentration du Bassin parisien sur l'axe septentrional.

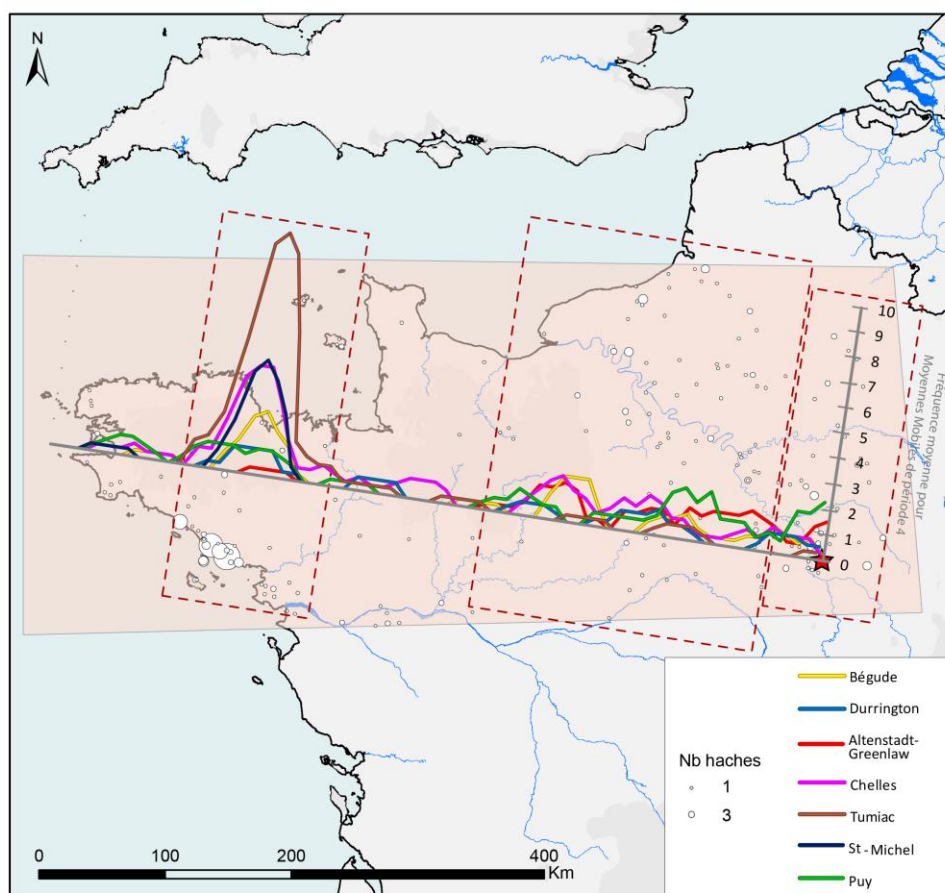
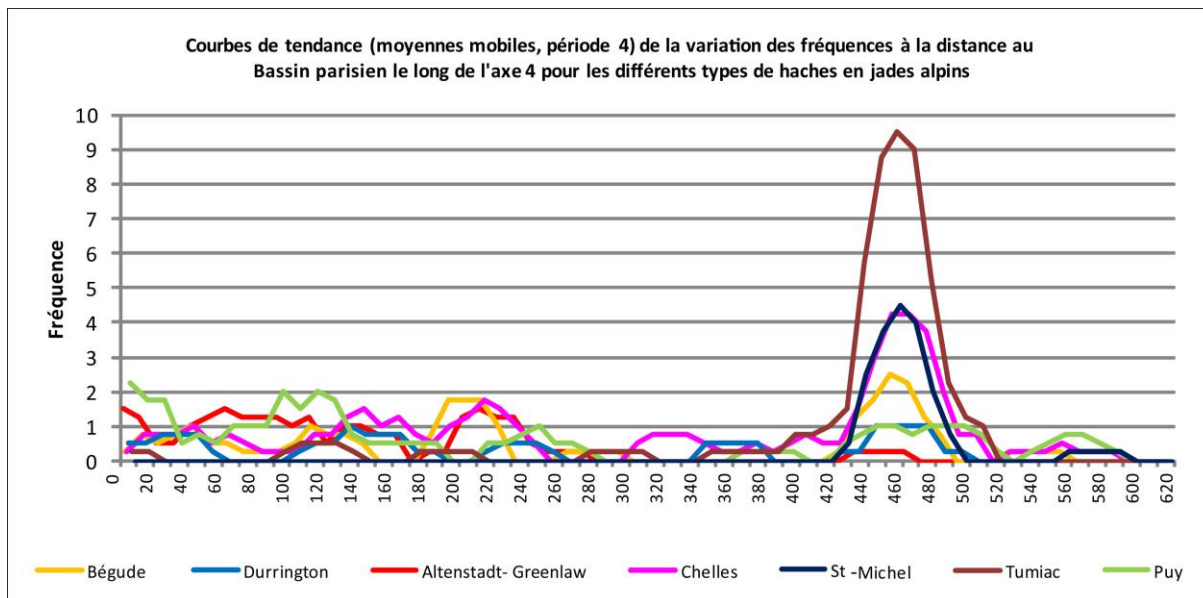


Fig. 45. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 4. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

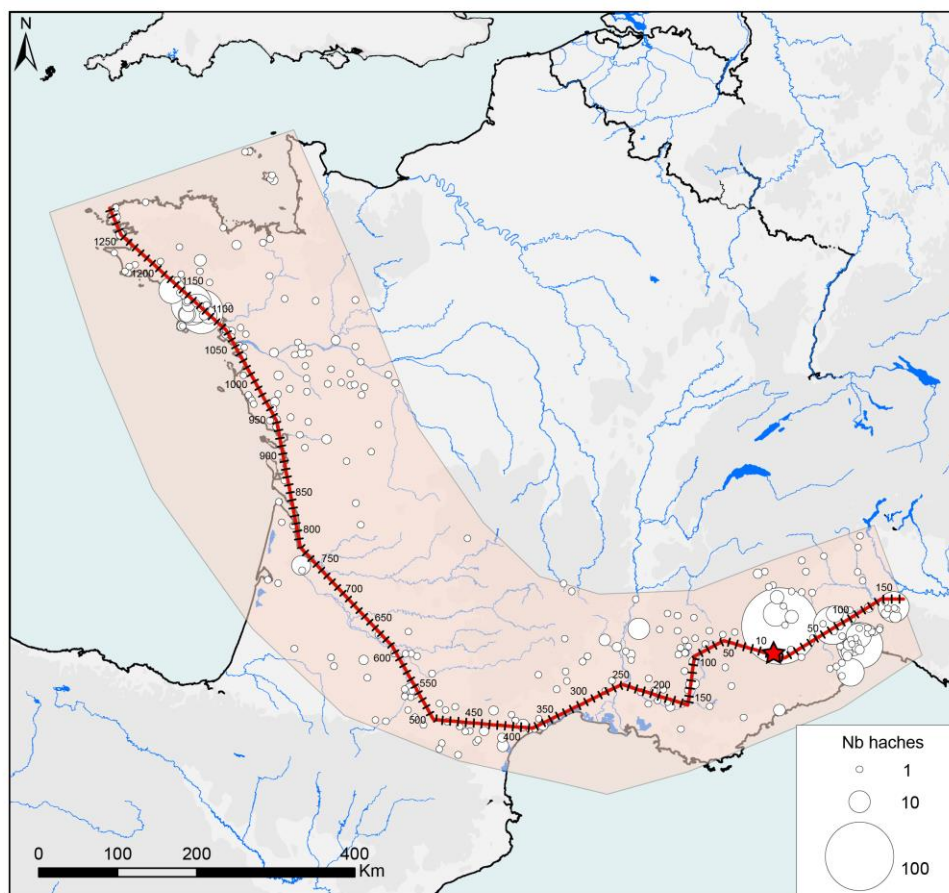
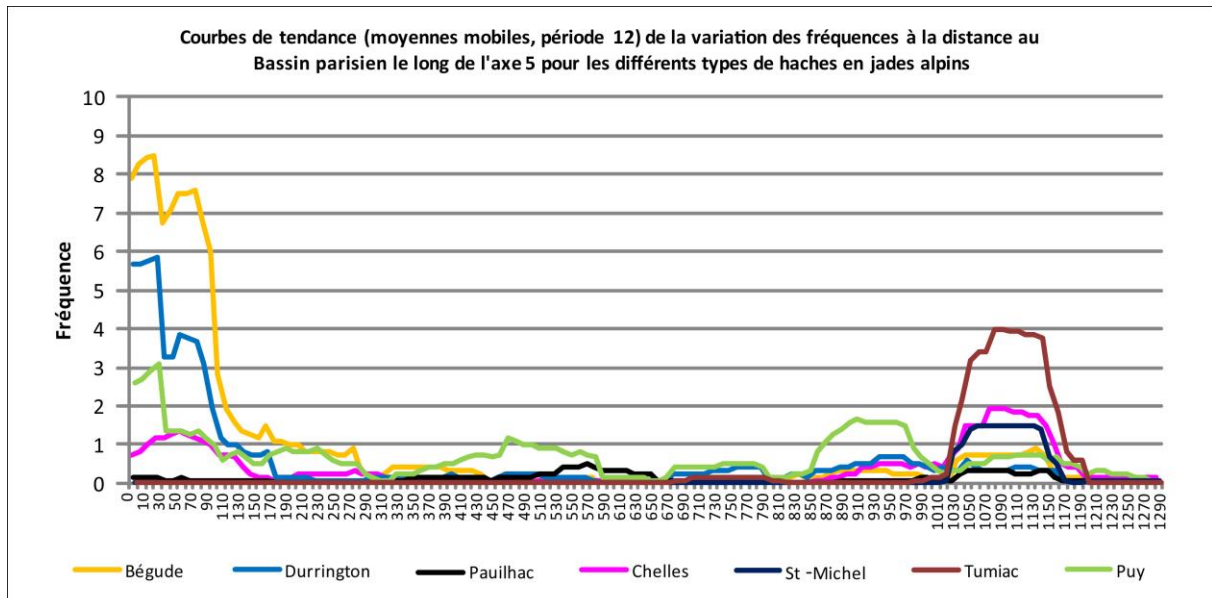


Fig. 46. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 5. En haut : représentation graphique ; en bas : l'axe utilisé et son découpage selon un pas de 10 km (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

Ces analyses ont mis en évidence des fonctionnements différents pour chacun des types de haches en jade. La courbe de décroissance du nombre d'exemplaires de type Bégude ne correspond pas vraiment au modèle de diffusion de proche en proche ; elle suggère plutôt des échanges interrégionaux entre les élites d'un bien à forte valeur ajoutée (Samzun *et al.* 2012), avec une raréfaction rapide de ces biens « exotiques » et une sélection des haches les plus longues. Pendant les premiers siècles du Ve millénaire, il s'agit en effet déjà d'un bien socialement valorisé dès les premières étapes de leur production : dans les exploitations en altitude, les roches, rares et difficiles à exploiter, étaient sélectionnées avec soin et mises en forme, demandant un long investissement en temps pour produire les lames taillées les plus longues possible mais devenues techniquement inutiles. De longues haches et des anneaux disques ont été thésaurisés dans des tombes monumentales probablement dès la fin du Villeneuve-Saint-Germain. La répartition du type Durrington couvre à peu près toute l'Europe occidentale, depuis l'Italie du Nord jusqu'à la Bretagne, la Grande-Bretagne et une partie de l'Allemagne. Comme pour les autres types, les concentrations successives de haches de type Durrington depuis les Alpes en direction de l'Écosse ne peuvent pas correspondre non plus à des échanges de type down-the-line, exception faite de l'axe 3 où il n'y a pas de concentrations marquées de Durrington.

Le modèle va ensuite en se complexifiant, un type de hache chassant l'autre pour répondre à des goûts régionaux et aux besoins de la compétition sociale. Les formes se régionalisent. Ainsi les types Altenstadt-Greenlaw, Chenoise et Glastonbury se retrouvent essentiellement le long des axes 2 et 3, le type Altentadt-Greenlaw étant le plus représenté. A l'instar des types précédents, des séries de concentrations plus ou moins fortes jalonnent le parcours de ces haches et témoignent de la présence de places centrales où certaines haches ont été thésaurisées tandis que d'autres étaient redistribuées en direction des élites plus lointaines. Les plus importants de ces pics se trouvent dans le Bassin parisien, dans le sud de la Grande Bretagne, en Écosse (axe 2) et la moyenne vallée du Rhin (axe 3). Pour le type Pauilhac, franchement méridional, les principales concentrations, bien que modestes, se situent dans la vallée de la Garonne et en Bretagne (axe 5). Néanmoins la transmission des jades sur cet axe semble plus directe, les centres de redistribution le jalonnant n'ayant pas l'envergure suffisante pour retenir un grand nombre d'exemplaires. Enfin pour les types dits carnacéens, Tumiach et Saint-Michel, le golfe du Morbihan apparaît comme la zone d'accumulation ultime, le principal foyer d'attraction des jades alpins, où une grande diversité de types se concentre.

Plusieurs changements surviennent au moment de la mise en place de la circulation du type Puy, un type tardif qui commence à prendre de l'importance vers la fin du Ve millénaire. Outre des décalages des aires de concentration, on observe que le type Puy marque la fin de la régionalisation et de l'opposition nord-sud encore très nette à la phase précédente. Par ailleurs, alors que les transferts de jades alpins se poursuivent, comme en témoignent les fortes concentrations sur les principaux axes de communication, la présence du type Puy est moins marquée dans les périphéries, comme en Grande-Bretagne. Mais surtout l'image la plus significative que l'on retirera des courbes de décroissance avec la distance est la relativement faible présence du type Puy sur l'axe 4 en direction du Golfe du Morbihan, ce qui semble marquer la fin de l'attractivité de cette zone et de l'impact du phénomène carnacéen sur les transferts de jades alpins, peut-être en raison de l'adoption de nouveaux modèles régionaux d'objets-signes (Grande-Bretagne) et d'une modification de la structure sociale (Morbihan) qui ne permet plus de soutenir les importations à très longues distances. Si les transferts de jades alpins se poursuivent de façon encore importante, comme en témoignent les fortes concentrations sur les autres axes, ce phénomène est donc sans doute en lien avec un effondrement social dans la région du Golfe du Morbihan (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b).

La prise en compte des niveaux de polissage permet d'apporter davantage de détails. On vérifie très bien que les indices de polissage sont d'autant plus élevés que les objets sont éloignés de la source ou de l'atelier (voir ci-dessus Fig. 35), notamment pour les types anciens comme Bégude (Fig. 47). Pour ce type, on observe la plupart des ébauches à la source, tandis que les sites des cent premiers kilomètres comptent à la fois de nombreuses ébauches et des outils. Les niveaux 3 et surtout 4 restent majoritaires jusqu'aux environs de 700 km et ce quel que soit l'axe de diffusion, puis le polissage plus soigné de niveau 5 domine sur le reste du parcours et plus particulièrement dans le Golfe du Morbihan. Ce processus de polissage, qui s'intensifie avec la distance aux sources jusqu'à obtenir des chefs d'œuvre difficiles à imiter, semble en bon accord avec des modalités de transfert entre élites régionales.

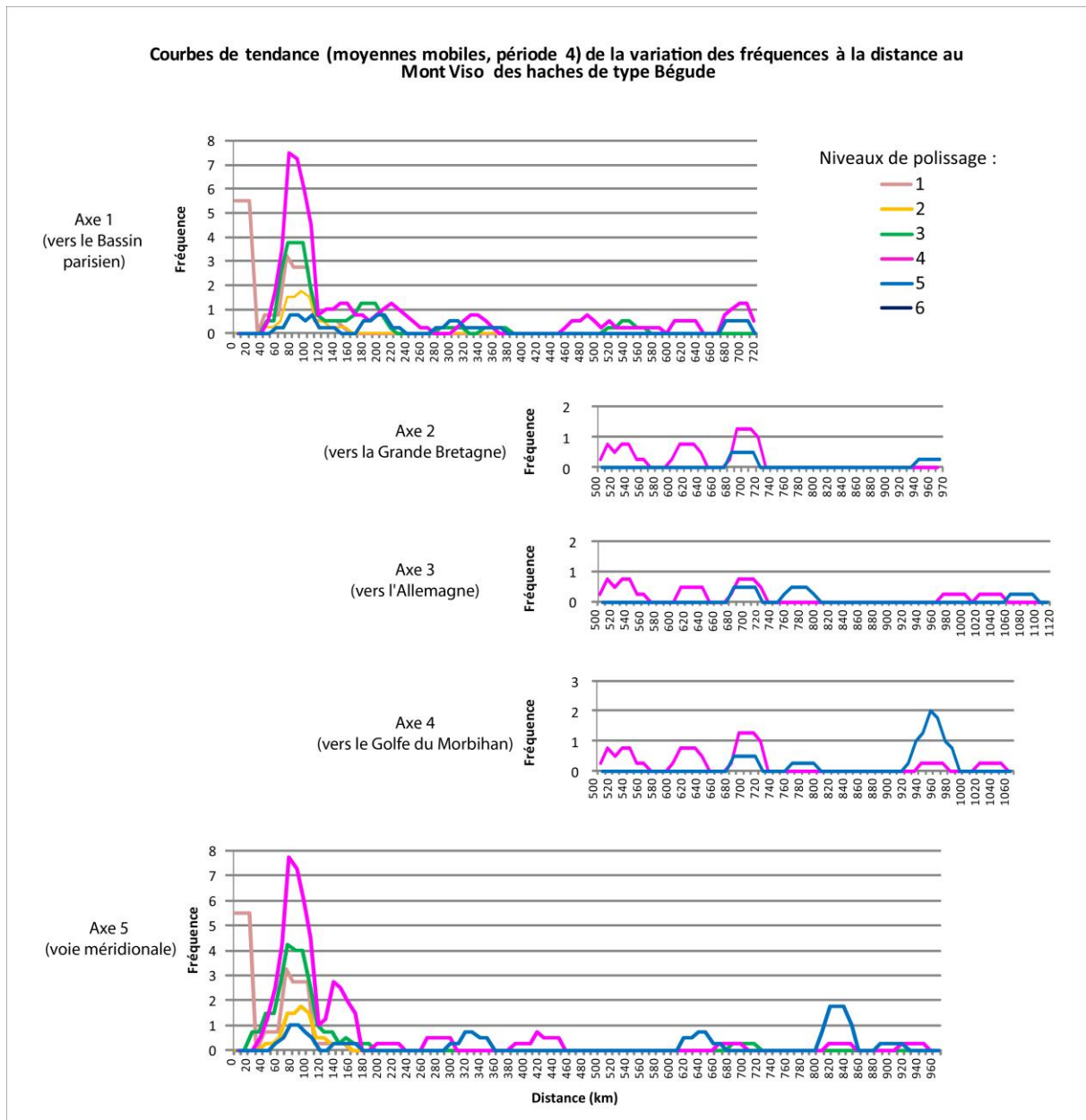


Fig. 47. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Bégude, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

Les haches de type Altenstadt-Greenlaw montrent une évolution similaire mais leurs ébauches sont très exceptionnelles et le niveau 3 peu fréquent (Fig. 48). A partir du Bassin parisien, les haches de poli 5 sont les plus nombreuses mais on compte encore beaucoup de haches de poli 4. A partir de 700 km le poli 5 domine très nettement et les haches de poli 6 se font de plus en plus nombreuses, en Allemagne notamment. Comme cela déjà été observé précédemment, ce type est très peu abondant à l'extrémité de l'axe 4, dans le Golfe du Morbihan. Elles y sont néanmoins représentées par quelques objets au poli de niveau 6.

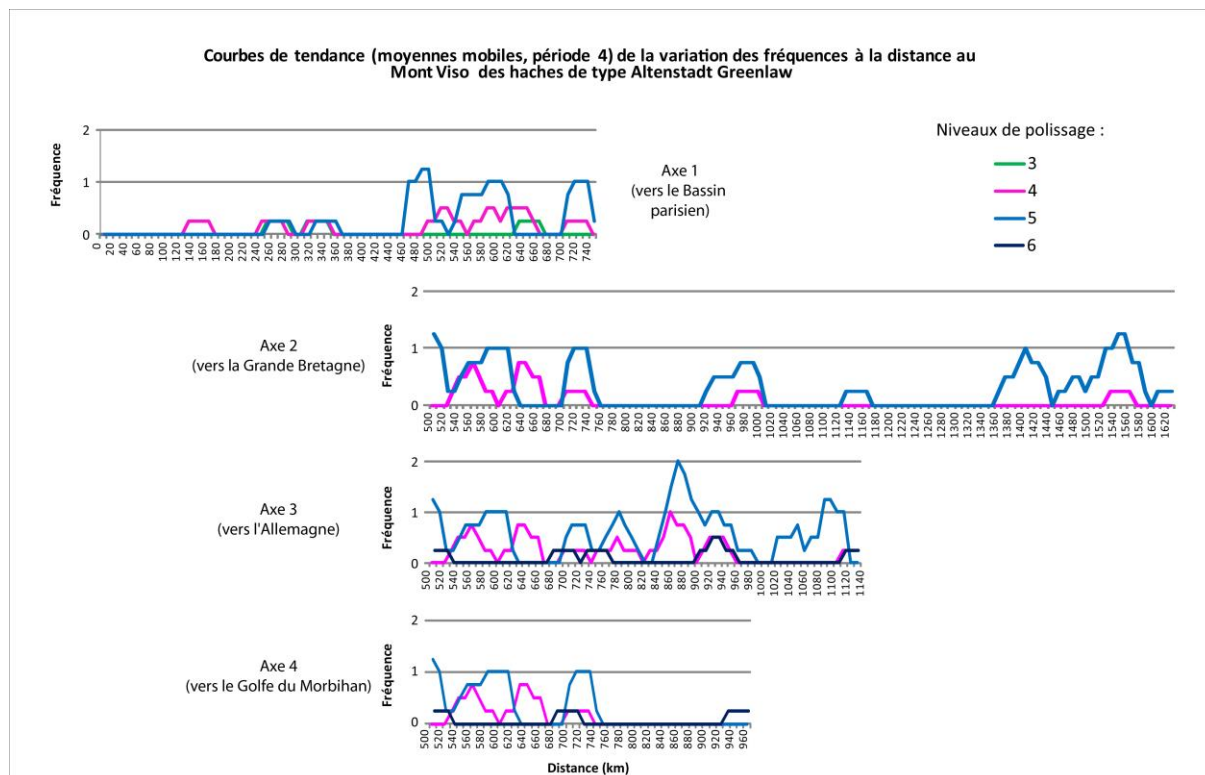


Fig. 48. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Altenstadt-Greenlaw, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

Pour les haches de type Puy la situation est plus complexe (Fig. 49). On suit de façon moins évidente l'augmentation du niveau de polissage des haches avec la distance aux sources de matière première. Comme pour le type Bégude, les gîtes recèlent d'ébauches (niveaux 1 et 2) mais celles-ci diminuent très fortement immédiatement au sortir des gîtes alpins, sur les sites d'habitat et les ateliers du Piémont. Les outils au polissage de type 4 dominent jusqu'au Bassin parisien. Bien que le poli de niveau 5 devienne ensuite plus fréquent, les polis de niveaux 3 et 4 sont encore abondants en Allemagne. Les haches de type Puy sont peu fréquentes en Grande Bretagne comme on l'a déjà noté ainsi que dans le Golfe du Morbihan (hormis quelques exemplaires de poli 5). Le long de la voie méridionale, les haches de poli 5 se font rapidement de plus en plus nombreuses et elles dominent dès 400 km et encore plus fortement dans le sud-ouest de la France.

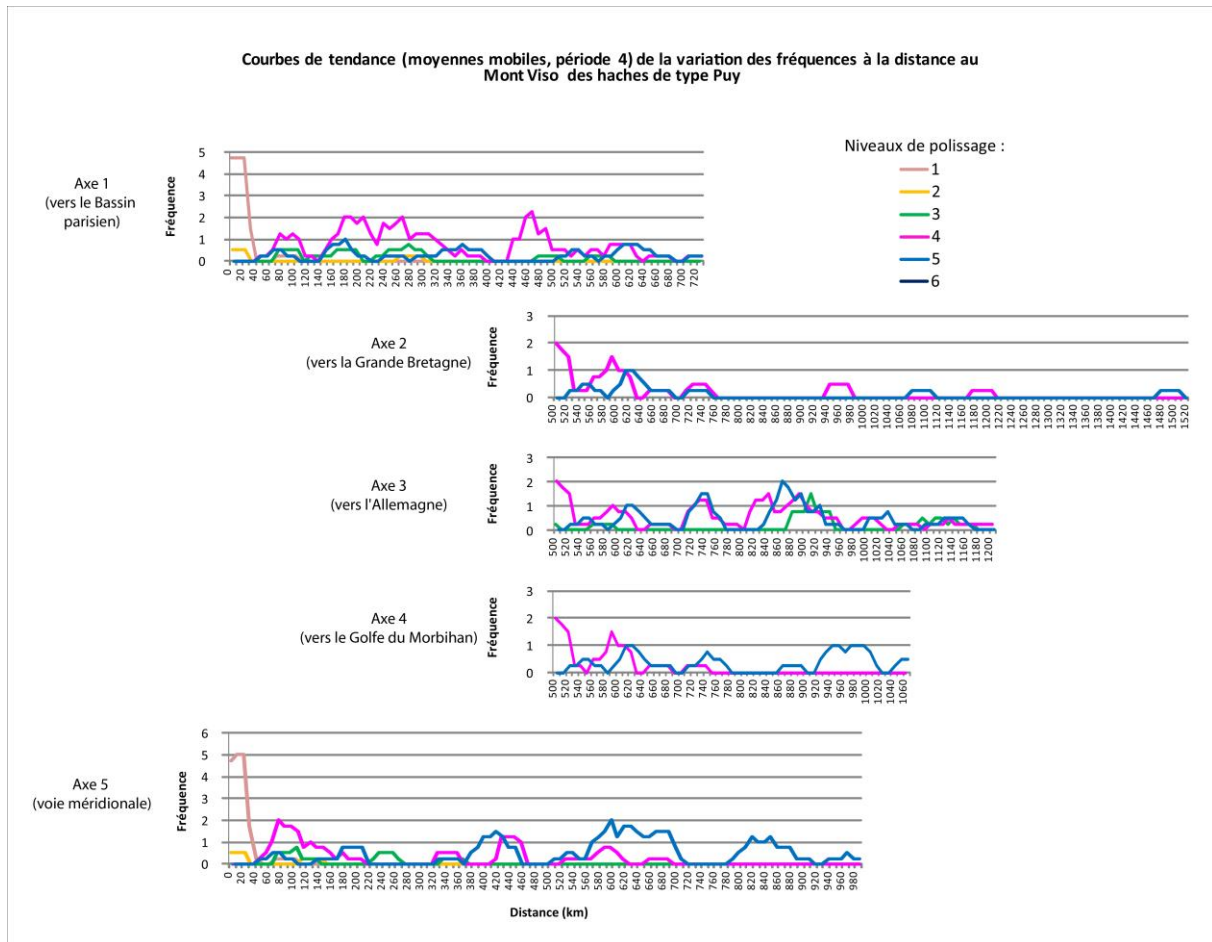


Fig. 49. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Puy, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).

3.1.3. Des transformations au cours des transferts

Nous avons mis en évidence des phénomènes d'ordre spatial (régionalisation) et chronologique qui témoignent de la complexité des réseaux de transferts des jades alpins : des sélections des objets ayant la plus forte valeur ajoutée, une augmentation du polissage avec la distance aux gîtes, des phénomènes de thésaurisation, une diffusion qui n'est pas faite seulement de proche en proche ou sur un mode spécifique aux biens de prestige mais une diffusion via des centres de pouvoirs jalonnant les réseaux de transferts et contribuant à la redistribution des haches, avec pourtant un centre plus attractif et influent qui constitue le véritable épïcêtre de la distribution de ces objets signes sociaux pendant le Vè millénaire : le Golfe du Morbihan.

La combinaison de toutes ces observations nous permet d'aller encore plus loin dans la compréhension des modes de diffusion des jades alpins. Nous mettons ici le doigt sur quelques singularités très révélatrices. La fréquence des très grandes haches et les niveaux de finition des objets augmentent avec la distance. Bien que ces sélections puissent répondre à des goûts régionaux ou bien à une valorisation des objets avec l'éloignement des gîtes, elles peuvent aussi correspondre à des modifications plus profondes et symboliques des objets au cours des transferts entre centres de

pouvoir. En effet, les ébauches connues (et déterminées) appartiennent surtout aux types alpins (Bégude, Durrington, Puymirol, Puy, Fig. 50), tandis que l'on remarque l'absence (sauf rares exceptions, Pétrequin, Errera *et al.* 2009) des ébauches de types régionaux comme Altenstadt-Greenlaw, Chenoise, Glastonburry, Tumiach ou Saint-Michel. Les lames ayant servi d'outils d'abattage, de niveaux 3 ou 4, sont aussi le plus souvent ces types alpins, bien que les haches de type Altenstadt-Greenlaw soient aussi bien représentées. On remarquera le cas particulier du type Rarogne présent surtout au niveau 3 mais ses effectifs sont très faibles. Parmi les haches de niveau 5, le type Bégude est beaucoup moins abondant, tandis que les haches de type Puy, Durrington ou Altenstadt-Greenlaw sont majoritaires. C'est à ce niveau de finition que l'on trouve le plus souvent les haches de type Bernon, Chenoise, Glastonburry. Enfin le niveau 6 est surtout représenté par les types Saint-Michel, Tumiach et Paulilhac qui se trouvent essentiellement sous cette forme (respectivement 71, 64 et 81 %, Fig. 50 à droite).

L'absence d'ébauches de certains types, leur présence uniquement sous la forme d'objets finis voire surpolis semblent indiquer un mode de production différent du modèle classique et attendu qui prévoit la préparation de l'ébauche en vue de mettre en forme tout particulièrement le type en question. Dans ce modèle, l'ébauche préfigure déjà le type final, comme c'est le cas pour le type Bégude ou Durrington par exemple. Au contraire, ici on pourrait voir dans l'absence des stades initiaux de la mise en forme, une retransformation de haches déjà existantes et d'un tout autre type par des épisodes successifs de mise en forme et d'amincissement par polissage (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b, 2013). L'équipe du programme JADE a en effet mis en évidence de telles transformations : par exemple Altenstadt-Greenlaw vers Puy ou vers Tumiach, Bégude vers Bernon, Durrington vers Puy, Puy vers Chelles (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b).

L'ébauche de Lugrin (voir la partie 2.2.5.) fait figure d'exception. Cette ébauche en jadéite alpine de la seconde moitié du Ve millénaire était préparée pour la mise en forme de deux haches, l'une de type Durrington, l'autre probablement du type Altenstadt-Greenlaw (Pétrequin *et al.* 2009). Trouvée à distance des gîtes alpins et de la zone principale de production du Piémont et loin des principales voies de transferts de longues haches alpines, cette ébauche semble déjà avoir acquis des caractéristiques propres aux objets-signes à vocation à la fois sociale et religieuse : son lien avec le symbolisme de la paire de haches est évident (Cassen 2012) ainsi que son dépôt au pied d'un bloc erratique. Ainsi l'amélioration à l'extrême du niveau de polissage, comme on le voit notamment en bout de chaîne des transferts, n'est apparemment pas la seule manière de concevoir ces objets-signes sociaux. Toutefois, la genèse de cet objet est exceptionnelle.

Polissage / Type	1	2	3	4	5	6	Ind.	Total
Bégude	38	12	51	111	42	1	13	268
Durrington	47	8	28	52	81	4	8	228
Chelles		4	42	84	36		5	171
Altenstadt-Greenlaw	1	1	5	25	76	8	5	121
Chenoise				3	15	1		19
Glastonbury				9	16	3	2	30
Puymirol	2	6	4	7	23	7	2	51
Bernon	1	2	1	8	23	4	3	42
Saint-Michel			1	4	2	17		24
Tumiact				3	12	39	7	61
Pauilhac	1			1	1	22	1	27
Rarogne			7	1	2	3		13
Puy	21	5	32	118	107	2	4	289
Indéterminé	75	17	18	41	26	3	188	368

Polissage / Type	1	2	3	4	5	6	Ind.
Bégude	14	4	19	41	16	0,4	5
Durrington	21	4	12	23	36	2	4
Chelles		2	25	49	21		3
Altenstadt-Greenlaw	1	1	4	21	63	7	4
Chenoise				16	79	5	
Glastonbury				30	53	10	7
Puymirol	4	12	8	14	45	14	4
Bernon	2	5	2	19	55	10	7
Saint-Michel			4	17	8	71	
Tumiact				5	20	64	11
Pauilhac	4			4	4	81	4
Rarogne			54	8	15	23	
Puy	7	2	11	41	37	1	1
Indéterminé	20	5	5	11	7	1	51

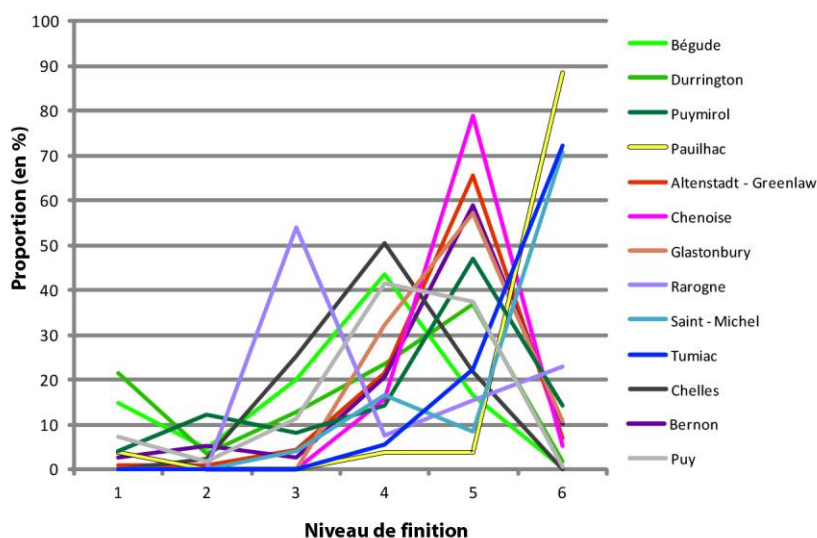


Fig. 50. Variation du degré de finition des longues haches en jades alpins selon leur type. A gauche, effectifs ; à droite : pourcentages par niveau de finition (Données : JADE 2014, P. Pétrequin, DAO: E. Gauthier, 2016).

La rareté des ébauches loin des gîtes, la complémentarité de la distribution de certains types (Fig. 51) et la tendance à une augmentation progressive du polissage (voir ci-dessus Fig. 35) sont autant d'arguments pour supposer une transformation progressive des pièces au cours de leurs transferts. Une grande partie des pièces semblent avoir gagné en valeur par un repolissage entraînant une métamorphose globale, la création de nouveaux types plus à même de correspondre aux goûts et à la volonté de représentation socio-culturelle des élites locales. Sélectionnées et repolies pour en modifier la forme, cette réappropriation des plus belles pièces devait permettre de relancer leur valeur idéale (Pétrequin, Sheridan et al. 2011).

Ces transformations successives débutant en Italie du Nord pour s'achever en Écosse laissent penser à l'existence de centres spécialisés situés sur les principaux axes de transfert et dans les centres régionaux de pouvoir. Les principaux se trouveraient au nord des Alpes entre 200 et 400 km des gîtes alpins et vers 500 km dans le Bassin parisien (Fig. 51).

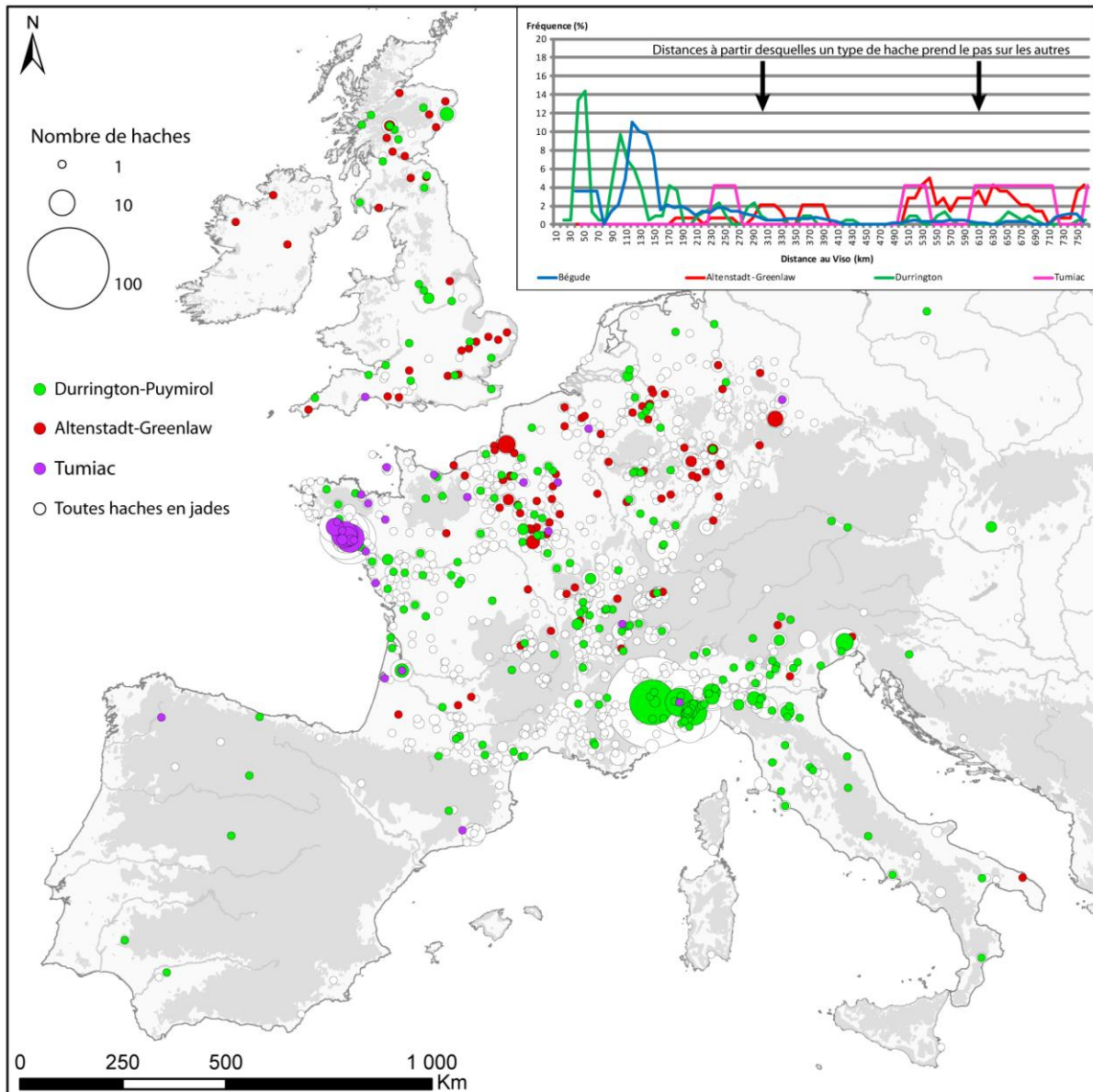


Fig. 51. Complémentarité de la distribution des types Durrington, Altenstadt et Tumiatic. Cette complémentarité vient appuyer l'hypothèse de transformations par repolissage des longues haches afin de créer des types régionaux. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, NASA SRT. CAO : E. Gauthier, 2016).

Ainsi, une partie des Durrington et Puymirol auraient été sélectionnées à leur arrivée au nord des Alpes et dans le Bassin parisien puis repolies pour produire des types Altenstadt-Greenlaw qui auraient alors pour certaines poursuivi leur course en direction du nord-est (beaucoup finissant par être déposées) et d'autres en direction de la Bretagne où elles auraient été repolies en haches de type Tumiatic, une conception spécifiquement carnacéenne, avec souvent d'autres modifications (perforation du talon, aménagement d'une arête médiane) typiques du domaine carnacéen. Des phénomènes de repolissage du type Bégude et Chelles en vue de leur amincissement se font aussi jour en Morbihan (Gauthier et Pétrequin 2017a), avec les types Bégude repoli et Bernon parfois associés à des anneaux-disques (Pétrequin, Pailler et al. 2017). Ces traitements participent directement à la valorisation de ces produits dans l'imaginaire social et démontrent une liaison quasi directe entre Mont Viso et golfe du Morbihan. C'est ainsi qu'elles sont devenues des objets-signes prestigieux ou même sacrés, manipulés par des personnages hors du commun, cumulant fonctions religieuses et fonctions politiques (Pétrequin, Pétrequin et al. 2006, Pétrequin, Cassen et al. 2013).

Certaines ont fini par intégrer les assemblages funéraires de tumulus géants carnacéens, tandis que d'autres au contraire, sont reparties en sens inverse (Cassen 2003, Pétrequin, Cassen *et al.* 2012c).

Les quelques exemplaires dispersés vers l'intérieur du continent pourraient en effet être des retours de l'aire carnacéenne. Vers le milieu du Ve millénaire, Carnac semble être l'épicentre de l'Europe du Jade. Le golfe du Morbihan a attiré un nombre remarquable d'objets-signes exotiques : les haches et les anneaux en jades alpins bien sûr, mais aussi des perles en variscite de la péninsule ibérique (Cassen et Vaquer 2015, Guilaine *et al.* 2015, Pétrequin, Pétrequin *et al.* à paraître, Querré *et al.* à paraître) et probablement des haches en fibrolite de la péninsule ibérique (Pétrequin, Sheridan *et al.* 2015). En retour (Fig. 52), le succès des modèles carnacéens fut tel que des haches en jade repolies en Morbihan ont été diffusées dans toutes les directions sur près 1 000 km à vol d'oiseau voire davantage, accompagnant vraisemblablement la diffusion du « mégalithisme » et d'une partie de la mythologie carnacéenne jusque dans les Alpes suisses et en Allemagne centrale et peut-être même dans le sud de l'Italie (Klassen *et al.* 2012a, 2012b, Pétrequin, Pétrequin *et al.* 2007, Pétrequin, Cassen *et al.* 2009, Sheridan *et al.* 2010). On remarque en effet que le polissage de niveau 5 et les aménagements typiquement carnacéens tels que le talon perforé ou une arête médiane sont relativement bien présents dans la zone alpine, ce qui correspond sans doute à un retour de haches à fort niveau de polissage dans le Nord de l'Italie. Le phénomène carnacéen a également suscité des imitations en roches locales (Samzun *et al.* 2012, Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2010, Sheridan et Pailler 2012), notamment des haches de type Tumiac à talon perforé (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012c), comme le type Cangas dans l'ouest de la péninsule ibérique ou le type Zug en Suisse et en Allemagne du Sud-Ouest (Pétrequin, Cassen *et al.* 2006, Pétrequin, Gauthier *et al.* 2012).

A l'autre bout de l'Europe, en Bulgarie, le même phénomène de transformation par repolissage s'observe avec les types Varna (trapézoïdal) et Durrington/Chelles amincis (Pétrequin, Cassen *et al.* 2012b, Pétrequin, Errera *et al.* 2017).

En Allemagne/Belgique, on a dénombré plusieurs cas de haches de type Altenstadt/Greenlaw transformées en type Puy, parfois associées à des lames en cuivre dans les dépôts. Apparaissant vers 4300 av. J.-C., ce type a été conçu sur le modèle d'outils en cuivre (Klassen *et al.* 2012a, Pétrequin, Pétrequin *et al.* 2015, à paraître), un phénomène qui démontre sans aucun doute une influence de l'Europe du cuivre à cette époque (Cassen 2003, Klassen *et al.* 2012a, Roussot-Laroque 2008).

Le cas des jades alpins a montré que les processus de diffusion peuvent être particulièrement complexes et présenter d'importantes variations dans le temps et l'espace. La diffusion de tels produits, qui sont au départ des outils d'abattage mais qui deviennent au fur et à mesure de leur diffusion des objets-signes à la fois sociaux mais aussi religieux, est sujette à des mécanismes complexes. Ce type de diffusion ne peut pas être appréhendé en considérant le corpus comme un tout uniforme mais des critères de distinction morphologique entre les pièces doivent être recherchés pour saisir en détail les mécanismes de ces transferts différents d'une région à l'autre et évolutifs.

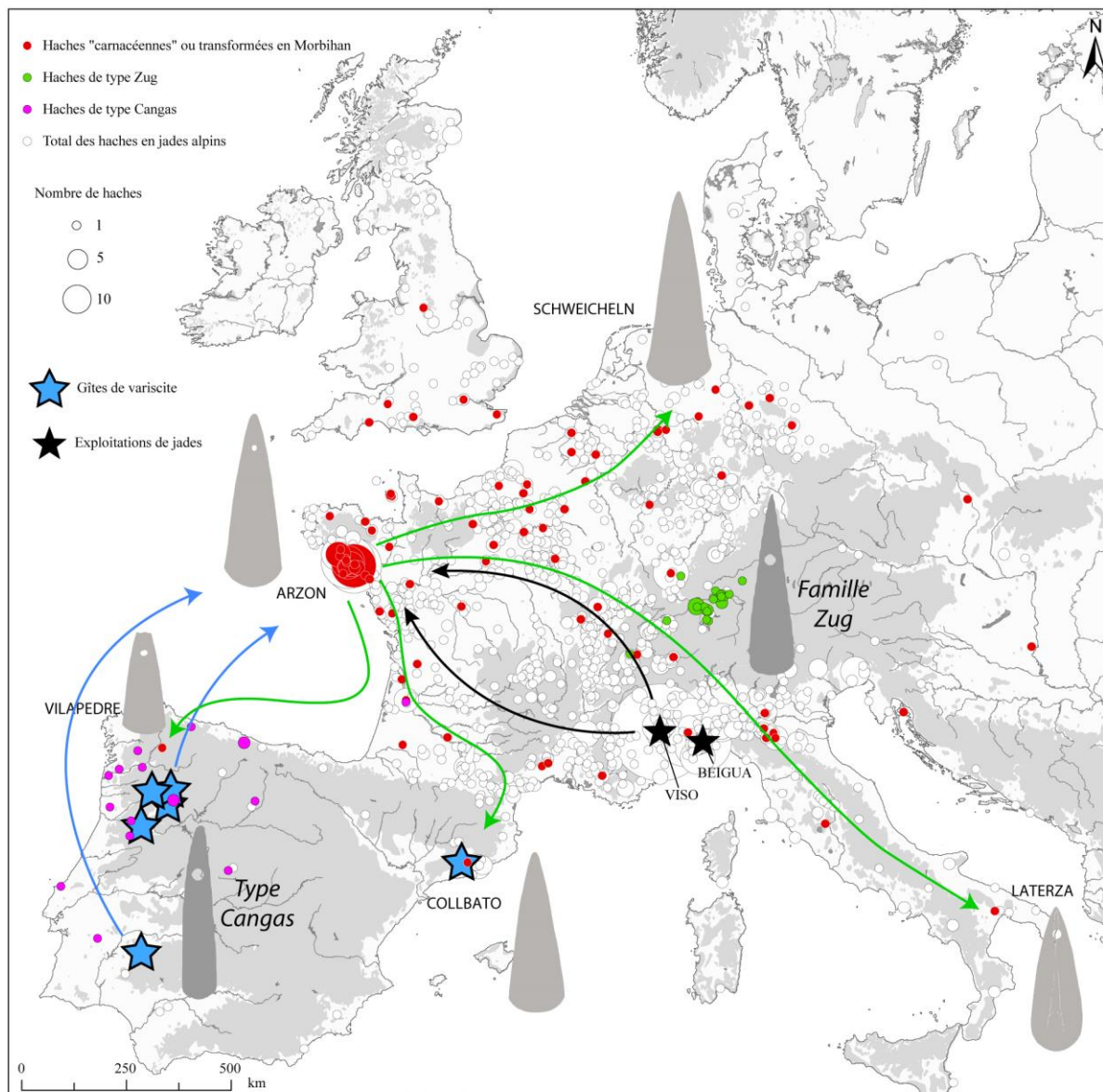


Fig. 52. Principales circulations de biens socialement valorisés (haches en jades alpins, variscite espagnole) et imitations locales (types Zug, Cangas) en Europe occidentale pendant les Ve et IVe millénaires av. n.e. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin, Fond : ESRI WBM, NASA SRTM, CAO : E. Gauthier, d'après Pétrequin, Cassen et al. 2012b et Pétrequin, Pétrequin et al. à paraître).

Ces analyses spatiales s'appuient donc sur un inventaire exhaustif des objets mais également sur des études pluridisciplinaires préalables (études typologiques, datations, études des contextes, analyses de matériaux, morphométrie, etc.). Une fois la caractérisation des pièces réalisée, les analyses spatiales ont permis de mieux comprendre leur répartition. Nous avons mobilisé ici deux méthodes simples de statistiques spatiales :

- Les points moyens qui nous ont permis de saisir les différences majeures dans les distributions des haches en distinguant et en combinant plusieurs critères (typologie, matériau, finition, etc.).
- Les analyses de distance à la source qui permettent de modéliser la variation du nombre d'exemplaires retrouvés le long d'un axe de diffusion.

A chaque étape de l'analyse, sont ressorties des informations de plus en plus détaillées sur les modes de transferts. Il est à présent possible d'émettre des hypothèses solides sur le fonctionnement des

réseaux depuis les gîtes alpins jusqu'aux périphéries, et ce malgré une complexité croissante des modes de transferts à mesure que l'on s'éloigne des gîtes.

Nous proposons d'appliquer en partie cette méthodologie à un autre cas d'étude très proche sur plusieurs aspects : celui des haches à talon normandes de l'âge du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine.

3.2. Le cas des haches à talon normandes dans la basse vallée de la Seine

Ce cas d'étude présente en effet des similarités. Si les haches à talon sont sans doute des objets utilitaires, elles ont également une valeur sociale forte comme, d'une manière générale, tous les objets de bronze à cette époque. Produites en nombre, en masse et en série aux alentours des XVe et XIVe siècles avant J.C., on en compte un très grand nombre dans tout l'ouest de la France mais elles sont également parvenues jusque dans le domaine nord-alpin.

A partir d'un modèle morphologique standard, la production s'organise en différents ateliers respectant ces règles et se diversifiant par l'ajout d'un décor sommaire (Gabillot 2003). Suite à une étude sur les traces de préparation des objets en bronze qui a permis de montrer que cette étape finale de la chaîne opératoire était organisée de manière bien spécifique en Normandie (Gabillot 2006, Gabillot et al 2009, Forel et al. 2009, Monna et al. 2013), l'équipe de M. Gabillot souhaite observer la manière de gérer cette préparation des objets au sein d'un même ensemble typologique cohérent afin de comprendre dans quelle mesure les objets sont préparés différemment ou non selon leur éloignement au centre producteur. Le corpus de haches normandes se prête aisément à cette analyse car la plupart des objets ont été observés en macroscopie.

Le type considéré a été nommé "normand" en raison de la concentration particulièrement importante de ces pièces en Haute-Normandie (Verney 1988, Gabillot 2003). On ne sait pas exactement où ces haches ont été produites et il est même très probable qu'il y ait eu plusieurs ateliers dans des lieux différents. Cependant, une hypothèse plus ou moins couramment et tacitement acceptée par les protohistoriens, est que le lieu de production se trouve être la zone de plus grande concentration, qui est, dans ce cas, la basse vallée de la Seine. Bien qu'il n'y ait aucune preuve que ce fut bien le lieu où toutes les haches de ce type ont été produites, il est certain que cette concentration très élevée est significative et correspond peut-être à la première élaboration du modèle ou encore son adoption par les populations locales de préférence à d'autres modèles de haches à talon.

Pour l'analyse fine de leur répartition, il ne sera pas possible de prendre en compte une éventuelle discrimination des matériaux, ni de faire une distinction typologique ou chronologique étant donné le caractère très uniforme de ces haches-ci, mais les analyses morphologiques et chimiques des pièces permettent d'identifier un critère de différenciation pertinent : le degré de finition des pièces. Dans la continuité des recherches sur les modes de préparation des lames de haches après la fonte dans des moules bivalves (Gabillot 2006), une grille de classification des objets selon leurs niveaux de finition a en effet été conçue dans le cadre d'ArchaeDyn II sur le modèle de celle conçue par Pierre Pétrequin pour les jades alpins. Des niveaux de 1 à 6 ont ainsi été attribués à chaque exemplaire pour mesurer le degré de finition depuis l'ébauche tout juste sortie du moule jusqu'à la lame complètement polie et affûtée.

La cartographie des points moyens des distributions par niveau de finition a ensuite été réalisée (Fig. 53). La position des différents barycentres montre tout d'abord le rôle essentiel de la basse vallée de la Seine comme axe de diffusion des haches à talon normandes. En effet les concentrations les plus importantes jalonnent la vallée tandis que la périphérie est faiblement représentée. Il est donc logique que les points moyens s'éloignent très peu de l'axe formé par le cours de la Seine. On remarque la proximité des distributions des niveaux 3 et 4, ce qui laisse penser qu'ils sont à un stade de production équivalent et qu'ils ont un mode de diffusion très similaire. Il en va de même pour les niveaux 5 et 6. Trois états peuvent donc être distingués : 2 (les ébauches de niveau 1 telles que définies pour les jades alpins sont absentes), 3 et 4 (des produits finis mais guère plus qu'il n'en faut pour être simplement utilisés) et enfin les niveaux 5 et 6 sont des objets qui ont subi un traitement beaucoup plus poussé et soigné.

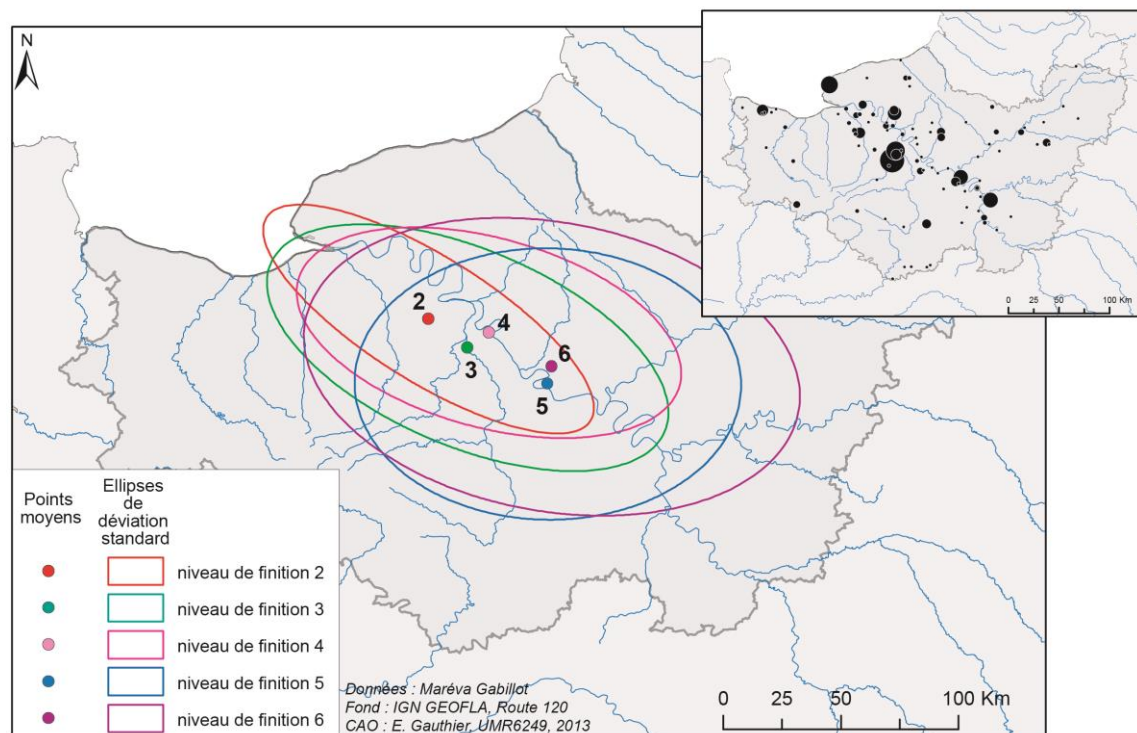


Fig. 53 : Distribution des points moyens correspondant aux niveaux de finition des haches à talon normandes et leurs ellipses de déviation standard (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données : M. Gabillot, CAO : E. Gauthier).

Le plus remarquable dans la distribution de ces points moyens est l'augmentation progressive des niveaux de finition à mesure que l'on s'éloigne de l'origine supposée de la production. Ainsi, les ébauches semblent rester relativement proches de l'estuaire de la Seine ; leur point moyen est situé nettement en aval de fleuve. L'ellipse quant à elle est très oblongue. Elle s'oriente dans l'axe de la Seine mais elle est aussi très étroite, ce qui montre que les haches à ce stade de finition s'en éloignent peu. Les haches de niveaux 3 et 4 ont un point moyen situé un peu plus loin. Leurs ellipses de déviation standard sont plus grandes et plus larges, ce qui indique une répartition un peu plus lointaine de ces objets dans la vallée. Enfin les haches de niveaux 5 et 6 voient leurs points moyens se rapprocher nettement du Bassin parisien et leurs ellipses s'élargir encore. Celles-ci ne sont plus vraiment dans l'axe de la Seine ; les haches qui possèdent le plus haut degré de finition ont été largement diffusées dans toutes les directions.

Ainsi, dans les deux cas d'étude présentés, les points moyens des niveaux de finition suivent clairement un modèle linéaire : ils se placent le long d'une droite ou d'une courbe qui représente la direction principale de la diffusion, suivant probablement de grands axes de circulation. Par ailleurs,

et c'est là le plus intéressant, ils se succèdent dans l'ordre le long de cet axe, les exemplaires les moins travaillés près de l'origine de la diffusion, gîtes ou ateliers, le niveau de finition augmentant ensuite progressivement avec la distance. Ainsi pour les haches à talon, cette augmentation se fait de manière graduelle depuis l'estuaire de la Seine jusqu'au Bassin parisien. Les ellipses de déviation standard montrent quant à elles que les artefacts font l'objet d'une diffusion de plus en plus large. Exception faite des haches surpolies en jades alpins, celles de niveau 6 (Fig. 35), qui correspondent essentiellement à des modèles carnacéens et dont l'ellipse se resserre autour du golfe du Morbihan, les ellipses de déviation standard ont aussi tendance à s'élargir progressivement à mesure que les objets sont davantage travaillés.

Les distributions des données relatives au niveau de travail des pièces correspondent donc à une diffusion progressive de produits avec un niveau croissant de finition à partir d'une zone "source" vers l'une des marges de la zone d'étude. Ce modèle peut correspondre à une diffusion par expansion (propagation) combinée à une diffusion par migration (Fig. 54) si l'on se réfère aux modèles proposés par Pumain et Saint-Julien (2001, p. 156-157, 166 et fig. 4.6.a), la migration se faisant ici le long d'un axe. En effet dans le cas d'une simple diffusion par expansion, les ellipses de déviation standard doivent s'élargir, reflétant ainsi l'expansion de l'aire touchée par la distribution des données ; mais le point moyen quant à lui devrait alors peu bouger et rester fixé sur le foyer primaire de la diffusion. Dans le cas de la diffusion par migration, les points moyens se déplacent en suivant un tracé plus ou moins linéaire ou plus complexe tandis que les aires touchées évoluent peu. Or dans les deux cas observés, tant pour les haches en jades alpins que pour les haches à talon de type normand, les points moyens se déplacent de façon régulière et ordonnée et les ellipses de déviation standard s'élargissent. Il faut donc y voir une combinaison des deux modes de diffusion. Or cette situation implique que les objets se déplacent par étapes et connaissent tour à tour différents foyers de diffusion. Dans notre cas, on pourra supposer qu'il s'agit de lieux intermédiaires, des centres de redistribution, comme cela a été démontré plus haut, par une autre méthode, (voir ci-dessus la partie 3.1.2) pour les haches en jades alpins.

Dans le cas des haches en jades alpins, les produits diffusés à partir de la source ont subi des transferts progressifs vers le nord-ouest européen et ont été transformés au cours de leurs déplacements (Pétrequin, Sheridan et al. 2011, Pétrequin, Cassen et al. 2012b). Un schéma similaire peut-il être proposé pour la diffusion des haches à talon normandes de l'âge du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine ? Il est extrêmement tentant de proposer une interprétation parallèle. Si l'on se réfère aux résultats obtenus pour les haches alpines pour lesquelles les lieux de production sont connus, nous serions face à un modèle similaire pour les haches à talon de type normand, à savoir un nombre plus élevé de produits avec un degré faible de préparation à proximité de la région de production supposée et des objets plus soigneusement finis à mesure que l'on s'éloigne de la source. Ce phénomène pourrait être lié à une sélection progressive des pièces les mieux finies, comme les sélections déjà attestées dans les modes de préparation des haches à talon bretonnes et normandes (Gabillet 2006). En observant l'exemple des haches alpines, nous pourrions aussi supposer l'existence de relais dans la distribution des haches à talon normandes. Ces lieux hypothétiques dans lesquels les haches auraient été acquises puis redistribuées seraient probablement à situer le long de la vallée de la Seine qui apparaît comme l'axe structurant de la diffusion.

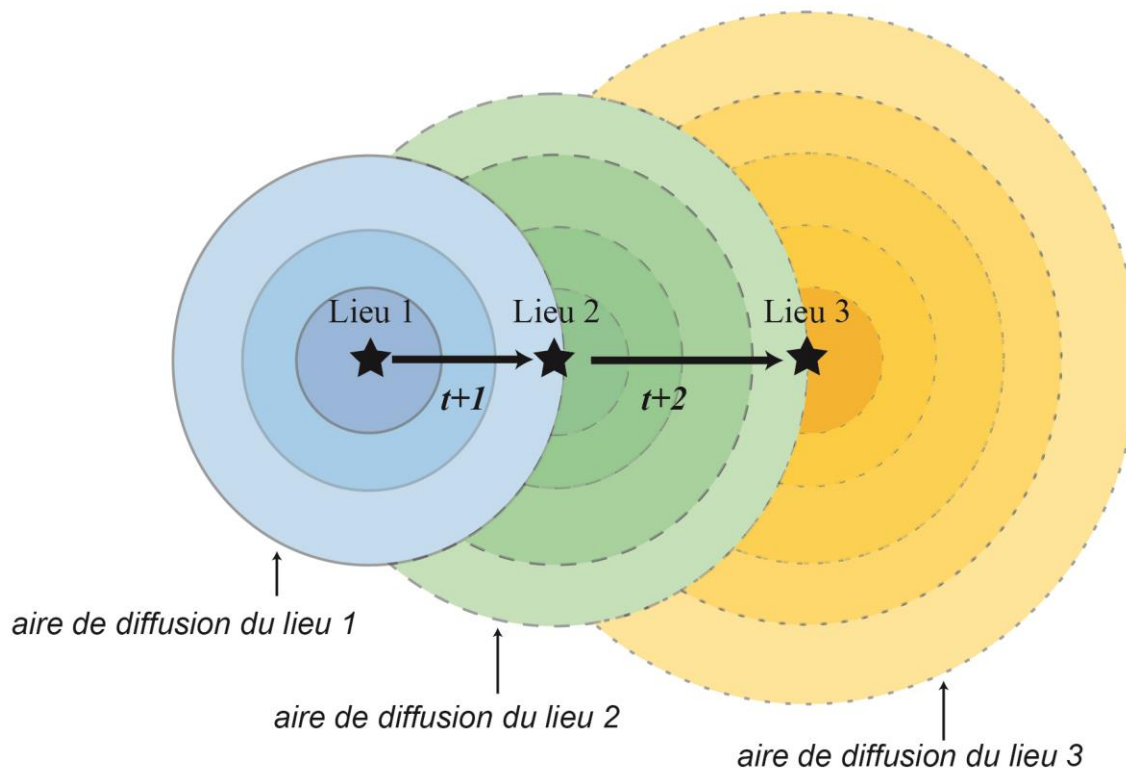


Fig. 54: Modèle de la diffusion par expansion combiné à la diffusion par migration (DAO : E. Gauthier).

Il faut cependant rester très prudent quant à une transposition si simple de ces résultats, car des travaux récents montrent que le schéma d'organisation de la production des haches au Bronze moyen dans le domaine atlantique pourrait être complexe (Gabillot et al 2009 ; Forel et al. 2009). Cette simple hypothèse est certainement valable dans une certaine mesure, mais il faut tenir compte aussi de préférences spécifiques dans les choix des produits notamment dans la manière dont ils ont été préparés (Gabillot 2006). Il est très probable qu'au sein d'un même type, diffusé sur un vaste territoire de plusieurs centaines de kilomètres carrés, des tendances particulières se soient exprimées localement. Il reste aussi à résoudre la question de l'emplacement des ateliers (Gabillot et al. 2009).

Quoi qu'il en soit, nous avons affaire à deux régimes de répartition spatiale linéaire, l'un d'est en ouest et l'autre d'ouest en est, pour deux produits auxquels on confère une dénomination fonctionnelle commune, celle de "haches", mais dont la fonction sociale peut ne pas avoir été si semblable. En outre, les deux types de production ont eu plusieurs milliers d'années d'écart : les haches de jade entre 4700 et 3600 avant notre ère ; les haches de bronze aux environs de 1500-1300 BC. Ces différences évidentes rendent les résultats particulièrement intéressants. Dans les deux cas, il semble y avoir une relation particulière entre la région de production (ou le lieu présumé de l'invention) d'un modèle et son aire de diffusion. En d'autres termes, on pourrait penser, à partir de ces deux exemples archéologiques, que dans les régions sources, on trouverait un grand nombre de produits non finis et au contraire, le long de la route s'en éloignant, des objets de plus en plus travaillés seraient devenus plus fréquents. Au-delà des aspects purement pratiques, comme l'abandon d'ébauches ratées en cours de production, il semblerait que la valeur des objets change à mesure que l'on s'éloigne de la source, incitant à choisir les plus belles pièces pour des déplacements

plus lointains. Une telle observation est typique pour des haches en pierre, au moins d'après les exemples ethnoarchéologiques de Nouvelle-Guinée (Pétrequin et Pétrequin 1999, p. 376-380, 2006), mais elle doit être démontrée pour les situations passées. Bien qu'il y ait encore beaucoup à faire avant que ces tendances puissent être interprétées, les trajectoires observées et leur champ d'application se sont révélés être un moyen particulièrement pertinent pour caractériser les modes de diffusion des deux produits concernés ou tout au moins identifier de nouvelles pistes de réflexion.

A travers ces deux exemples, nous avons constaté que la prise en compte globale d'une distribution d'un objet, qui, a priori, semble uniforme amène le plus souvent à une impasse tandis que la distinction de critères discriminants permettra de pointer des particularités et des mécanismes plus complexes. Dans le cas des haches en jade, la question des réseaux a été soulevée par la séparation de plusieurs axes de diffusion aux fonctionnements très différents, que ce soit du point de vue culturel, économique ou social. La prise en compte des matériaux (roches sombres/clair) mais aussi des origines précises donne de précieux renseignements sur l'organisation des gîtes et des réseaux qu'ils alimentent. La typologie a bien entendu permis d'appréhender la chronologie des transferts mais elle a aussi démontré des phénomènes de transformation des pièces dans une optique de régionalisation. Les niveaux de finition ont apporté des informations très intéressantes sur le cycle de vie des objets : on a pu en effet observer à quels moments les pièces sortaient du circuit. Mais son apport principal concerne avant tout le statut des haches de jade qui diffère profondément d'une région à l'autre et avec l'éloignement des gîtes. Les contextes de découverte appuient alors les interprétations. Pour les haches à talon normandes qui d'un point de vue chronologique et typologique sont plus unitaires, de telles particularités s'observent également ce qui suggère que les modes de transferts étaient sans doute également plus complexes qu'une simple diffusion de proche en proche ou directe depuis la source.

4. Les dynamiques spatio-temporelles des zones de consommation

Regardons à présent l'extrémité de la chaîne des transferts : les lieux de consommation. Par là on entendra tous les lieux où les artefacts étudiés ont été utilisés ou conservés, y compris les lieux de dépôt volontaire et définitif (tombes, dépôts). Ces derniers représentent en effet une forme spécifique de consommation car ils semblent également avoir joué un rôle économique ou social (Jurietti 2017). Nous cherchons ici à identifier des aires de consommation privilégiées, concentrant les produits en plus grand nombre qu'ailleurs, à déterminer leurs caractéristiques (surface, intensité) et à mettre en évidence leurs évolutions ou déplacements au cours du temps. Le programme ArchaeDyn avait dès l'origine pour objectif commun de produire des indices de concentration/dispersion et de stabilité/instabilité. C'est surtout de cette manière que nous avons vu la construction de ces indices au sein de notre atelier (Gauthier et al. 2012). Il s'agit aussi d'un point commun à pratiquement tous nos jeux de données puisque, pour chacun d'entre eux, les lieux de découverte, qui sont autant de lieux de consommation, ont été inventoriés. Nous pouvons donc étudier leur distribution et leurs dynamiques spatiales.

Nous supposons ici que les principales aires de consommation sont celles qui ont attiré un grand nombre de produits. Par nécessité nous nous baserons sur les aires de plus grandes concentrations de découvertes, donc celles où les produits ont été thésaurisés en plus grand nombre. Mais se pose ici un problème de représentativité des vestiges archéologiques : les quantités découvertes peuvent-elles refléter les quantités consommées ? Ce n'est bien entendu pas le cas. Tout le matériel consommé a très bien pu disparaître, être emporté ou bien recyclé. Les proportions découvertes ne peuvent donc pas être considérées comme représentatives. Mais au-delà de l'estimation des quantités réellement consommées, nous pouvons tout de même dire que les zones dans lesquelles beaucoup d'objets ont été découverts, en ont de fait également reçu beaucoup et ont été particulièrement attractives. Il ne sera pas possible d'affirmer que nous pouvons identifier ainsi toutes les zones de consommation mais celles qui apparaîtront pourront néanmoins être considérées comme telles. Il s'agira plutôt de cartes des probables « zones principales de consommation » qui devront également être croisées avec la carte de fiabilité de la répartition pour une meilleure interprétation.

Une modélisation spatiale reposant sur des méthodes d'algèbre de cartes (Tomlin 1990), doit nous aider à identifier ces zones et évaluer leur importance relative. Il s'agit de qualifier et/ou de quantifier l'espace, donnant ainsi la possibilité de hiérarchiser l'importance des espaces et de comparer plusieurs indicateurs ou différents états, par exemple des phases consécutives. Ce type d'approche implique de passer en mode maillé géoréférencé (Tomlin 1990) plus à même de former des espaces comparables et de leur attribuer des valeurs elles-mêmes comparables. Il est apparu très vite évident que de simples cartes de densités n'étaient pas assez efficaces pour répondre à nos objectifs. En effet, si les cartes de densité par maille permettent d'obtenir une information sur l'intégralité de l'espace, elles ne font que donner une valeur brute au sein de mailles juxtaposées sans lien entre elles. Cela pose des problèmes car certaines concentrations risquent d'être fractionnées. Deux méthodes ont donc été testées, les sommes focales (Tomlin 1990, Gauthier 2005b) et les densités de noyaux (ou de Kernels Estimation Density (KED), Rosenblatt 1956, Parzen 1962, Biau 2003, Di Salvo et al. 2005, Zaninetti 2005) qui prenaient toutes deux en compte le voisinage des mailles pour leur attribuer une valeur de densité. Les calculs sont réalisés maille par maille et les voisinages sont mobiles. Ces méthodes permettent donc de dépasser la représentation

ponctuelle (et donc discrète) des sites en renseignant chaque parcelle d'espace, mais, à l'inverse de méthodes d'interpolation, la continuité des phénomènes eux-mêmes (très peu probable pour des données se rapportant à des phénomènes humains) n'est pas supposée. Ainsi il s'agit de mettre en évidence des zones de concentration, de leur attribuer une valeur relative mais sans supposer une progression continue des valeurs.

Parmi les deux méthodes testées ici, c'est l'estimation des densités de noyaux qui a été préférée car elle présente l'avantage de pondérer le poids du voisinage en fonction de l'éloignement à la maille concernée. Cela permet de corriger certains excès possibles avec la méthode des sommes focales⁶² et améliore le rendu visuel.

Cette méthode est en effet une estimation de la densité des points à partir d'une fenêtre mobile dont la dimension doit être définie préalablement. La valeur de la densité obtenue décroît proportionnellement en fonction de la distance au centre de la fenêtre mobile, ce qui lisse le résultat.

Lorsque l'on pondère le calcul par un indicateur quantitatif, des valeurs fortes de densité de noyau peuvent être liées tantôt à un point isolé ayant livré une grande quantité de l'indicateur étudié, tantôt une concentration de sites plus ou moins riches. Une zone entourée d'autres zones de forte densité verra également sa propre densité renforcée⁶³. La taille du voisinage détermine le degré de lissage des données, le choix de son rayon est donc le paramètre fondamental de ces analyses. S'il est trop réduit, le lissage est non significatif car trop morcelé et localisé à chaque entité ponctuelle ; s'il est trop grand, le lissage est trop important et entraîne une perte d'information. Le rayon optimal de l'analyse peut être déterminé soit par un calcul basé sur le nombre de sites et la surface totale de la zone d'étude (Saligny et al. 2008, Nuninger et al. 2012)⁶⁴, soit sur un test empirique de plusieurs rayons suivi d'une lecture graphique du rayon le plus adapté (voir ci-après la Fig. 69). Mais pour qu'il soit le plus significatif possible, le voisinage devrait aussi correspondre au champ d'attraction des centres recherchés, dans la mesure où il est possible de l'estimer. Son choix est donc d'une grande importance.

Nous proposons ici deux exemples d'application. Le premier concerne les transferts des haches en jades alpins : il s'agit d'identifier les places centrales qui jalonnaient l'Europe occidentale au Néolithique et qui, d'après nos interprétations (voir la partie 3.1.2), ont probablement joué le rôle de centres de redistribution. Il reste à les identifier précisément et à évaluer leur poids respectif. Le second exemple concernera l'identification des principales aires de consommation du bronze dans le quart nord-est de la France. Nous chercherons à évaluer leur importance relative mais aussi à mettre en évidence leurs évolutions au cours du temps.

⁶² Elle modélise en effet parfois des concentrations là où on ne connaît aucun site (entre deux pôles de faible importance par exemple, si le voisinage considéré est trop grand).

⁶³ Mais sans les aberrations parfois obtenues avec les sommes focales (cf note précédente).

⁶⁴ La formule est la suivante : taille optimale de maille (en m) = $\sqrt{\text{surface en m}^2 / \text{nb de points}}$. Nous l'appliquons ici non pas à la taille du maillage lui-même (résolution du raster) mais à la taille du voisinage.

4.1. Des places centrales pour la consommation/redistribution des haches en jades alpins

Nous l'avons souligné à plusieurs reprises, quel que soit le critère observé ou l'axe de diffusion concerné, la distribution des haches en jades alpins ne répond de toute évidence pas à un modèle de diffusion de proche-en-proche ni de distribution directe du gîte aux sites. Les changements de la valeur de ces objets au cours de leur circulation et les mécanismes complexes de leurs transferts vont de pair avec une diffusion via des intermédiaires qui ont attiré localement un certain nombre d'exemplaires de haches en jade, en en retenant une faible part qui a finalement été thésaurisée à proximité, tandis que le reste était redistribué en direction d'autres centres de pouvoir plus lointains. Le lien entre cette fonction de redistribution et le rôle social et politique de ces lieux est très clair (Pétrequin, Gauthier et al. 2012, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d). C'est sans doute également dans certains de ces pôles qu'ont été faites les modifications de forme de certains modèles alpins, probablement pour des raisons sociales ou culturelles (augmenter la valeur des pièces, adapter leur forme aux goûts régionaux, etc.).

Nous avons observé plus haut l'existence de ces centres sans pour autant les identifier précisément et sans prendre en compte de possibles différences de poids dans les réseaux. Nous supposons ici qu'ils se trouvent au cœur des principales zones de concentration des objets : des zones attractives où une partie de la production a été stoppée dans sa course et thésaurisée, ce qui suggère la présence d'une élite forte. Nous utilisons donc la méthode des densités de noyaux pour identifier ces pôles de concentration.

Nous avons choisi d'utiliser une résolution très fine de 500 m (Gauthier 2004, Gauthier et al. 2012) et un voisinage large de 50 km autour de chaque maille, qui semblent être les paramètres les plus appropriés pour ce cas d'étude⁶⁵.

La représentation des valeurs de densité obtenues par un dégradé de couleur met en évidence des noyaux qui n'ont pas tous la même « importance » relative, tant en taille qu'en intensité. Il est donc nécessaire d'affiner le résultat en distinguant différents types de pôles selon leur importance relative. Pour cela, nous jouons sur la classification et la représentation colorimétrique des valeurs de densité pour tester la stabilité des noyaux selon la méthode de discrétisation des valeurs utilisée.

Différentes méthodes de discrétisation sont testées : une classification des valeurs par la méthode de Jenks (1967), qui maximise la variance inter-classes et minimise la variance intra-classe, donne ici un résultat intéressant car elle fait apparaître des noyaux de concentration bien distincts (Fig. 55). Cette méthode permet de visualiser de façon très efficace l'organisation générale des principaux pôles de consommation en Europe.

⁶⁵ Le calcul de la taille optimale de maille donne un résultat de 43 km.

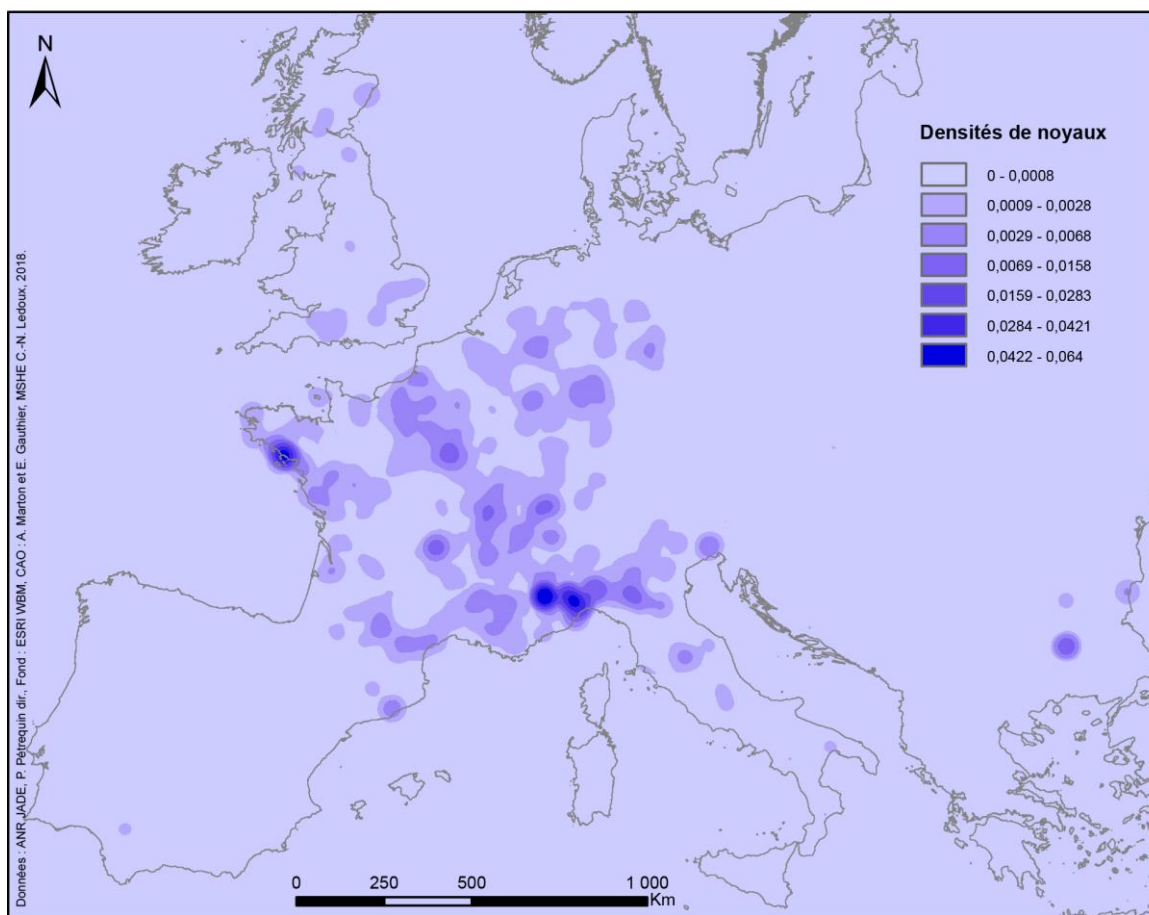


Fig. 55. Estimation des densités de noyaux des longues haches en jades alpins en Europe et discrétisation des valeurs par la méthode de Jenks (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).

Deux noyaux de très fortes valeurs s’observent ainsi autour des gîtes alpins et dans le secteur de Carnac. Mais il apparaît clairement que leurs valeurs exceptionnelles⁶⁶ masquent d’autres centres que nous pourrions aussi considérer comme importants. Pour les faire apparaître plus nettement, dans une seconde approche, nous avons donc choisi une discrétisation selon la méthode des quantiles en créant un grand nombre de classes d’effectifs égaux (Fig. 56). De nombreux noyaux secondaires apparaissent alors, mais le résultat n’est pas très net. Les pôles sont plus difficiles à individualiser.

⁶⁶ Autour des gîtes notamment, les nombreuses ébauches conduisent à une sur-représentation des données.

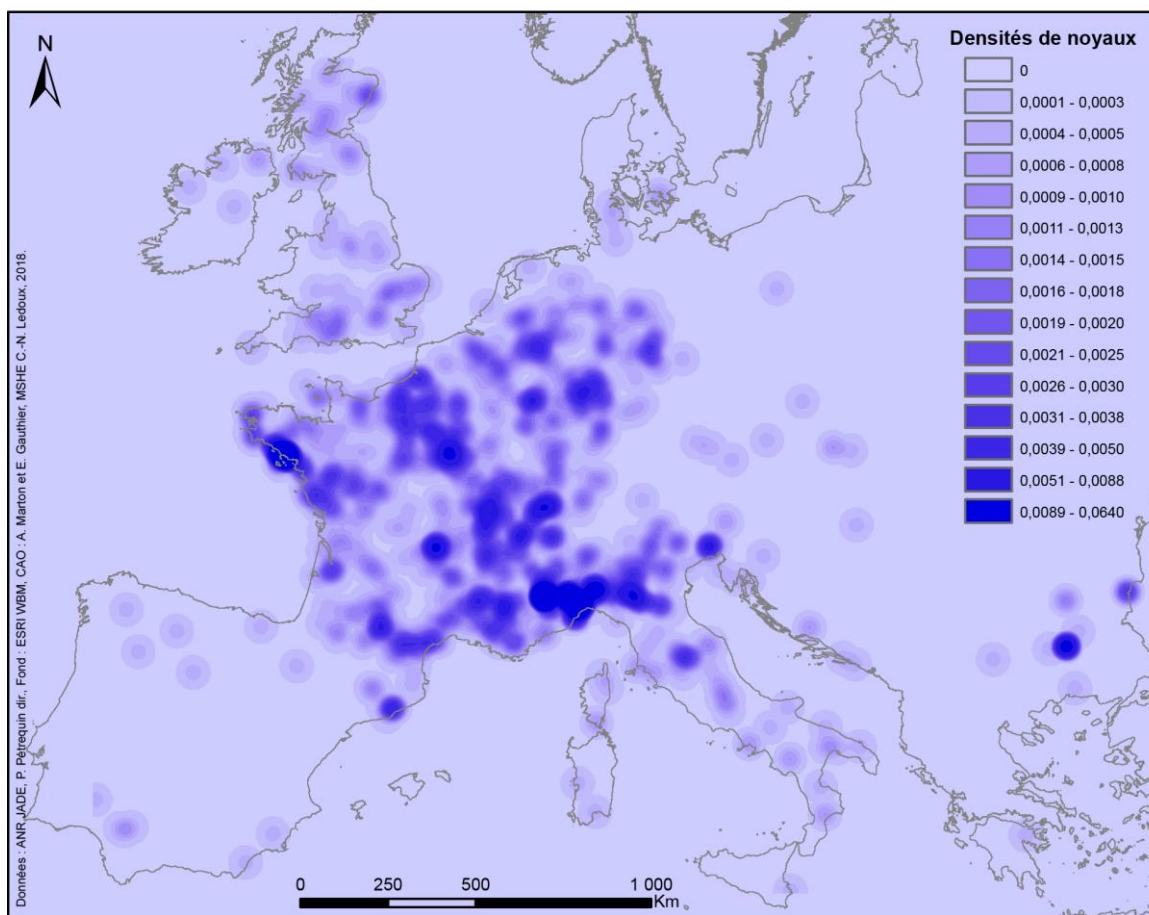


Fig. 56. Estimation des densités de noyaux des longues haches en jades alpins en Europe et discrétisation des valeurs par la méthode de Jenks (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).

Dans une troisième approche nous proposons de représenter les valeurs par un dégradé de couleur (étiré) basé sur un calcul de déviation standard (méthode des écart-types), plus à même de souligner les valeurs qui s'éloignent de la moyenne. Or c'est parmi les zones présentant une concentration « exceptionnelle » que doivent être recherchés les principaux centres de consommation. Il est intéressant de faire varier la valeur n (nombre d'écart types) considérée pour le calcul de la déviation standard pour la représentation en dégradé de couleur. Différentes catégories de centres peuvent en effet être distinguées : nous abaissons progressivement la valeur n ($n=12$, $n=8$, $n=5$ et $n=3$) pour laisser apparaître petit à petit des centres de poids différents (Fig. 57). Si le résultat n'est pas fondamentalement différent entre ces trois méthodes, c'est celle-ci que nous préférons car elle met davantage en évidence la stabilité/l'instabilité statistique des pôles mis en évidence.

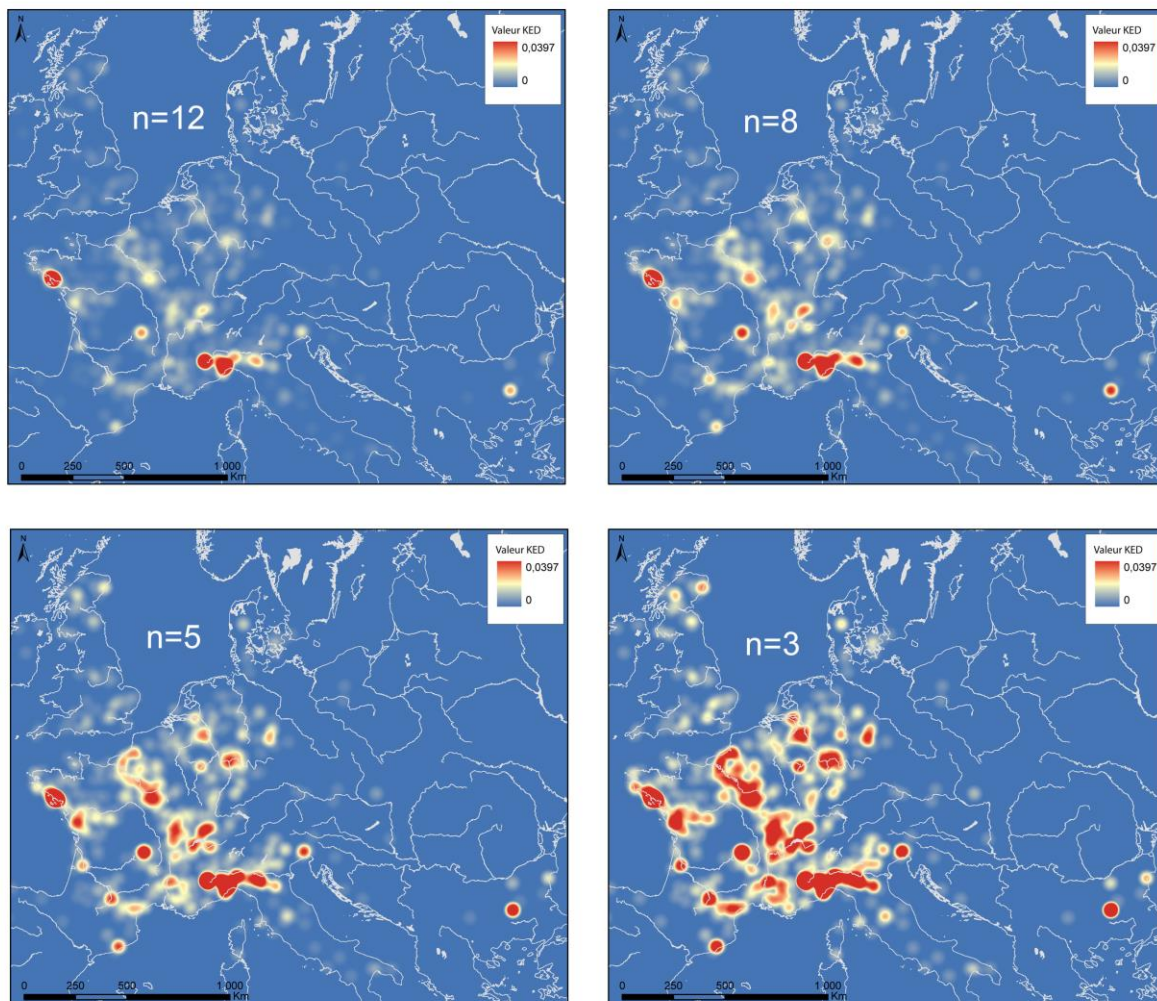


Fig. 57. Variation des paramètres du calcul de la déviation standard pour la représentation des concentrations de haches en jade. En modifiant progressivement la valeur n de l'écart-type, nous mettons en évidence des centres d'importances différentes (Données : P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, CAO : E. Gauthier, 2015).

Au vu des résultats obtenus, nous proposons ici cinq catégories de centres. Les limites des classes des valeurs de densité de noyaux sont ensuite déterminées empiriquement à partir de cette classification (Tabl. 4).

Catégorie	Densité minimale dans les centres de consommation repérés (haches/km ²)		Nb de centres concernés	Valeur n à laquelle la classe est nettement visible
	dans le centre de la zone d'étude	dans les régions périphériques		
1	0,03	0,007	4	12
2	0,007	0,0045	3	12
3	0,0045	0,0028	8	8
4	0,0028	0,0015	20	5
5	0,0015	0,0009	28	3

Tabl. 4. Récapitulatif des caractéristiques des cinq catégories de centres mises en évidence (E. Gauthier, 2015).

Afin de pallier les effets de la forte décroissance avec la distance rendant très faibles les valeurs dans les marges de la zone d'étude, le poids des centres est réajusté dans les régions périphériques (Ecosse, Danemark, péninsule ibérique, Europe centrale et sud-orientale). Il est en effet nécessaire de considérer différemment ces zones les plus éloignées des gîtes qui, par définition, ont reçu une

moins quantité de produits et doivent donc naturellement présenter des valeurs moins fortes. Ces noyaux-là sont classés parmi les centres principaux à partir de valeurs plus faibles que dans la zone centrale. A l'inverse, les nœuds situés au cœur de la zone principale de diffusion des jades et entourés de pôles importants auront des valeurs plus élevées. Il est donc important de relativiser le statut attribué aux nœuds en fonction de leur position dans le réseau de diffusion (Fig. 58).

Enfin, la position des centres est corrigée en fonction de la localisation réelle des amas de points les plus importants. En effet, le calcul des densités de noyaux appliqué à l'ensemble de la zone d'étude peut conduire à des décalages des zones de concentration par rapport aux amas de points en raison de l'influence de noyaux plus importants à proximité immédiate ou de quelques points légèrement éloignés de l'amas principal.

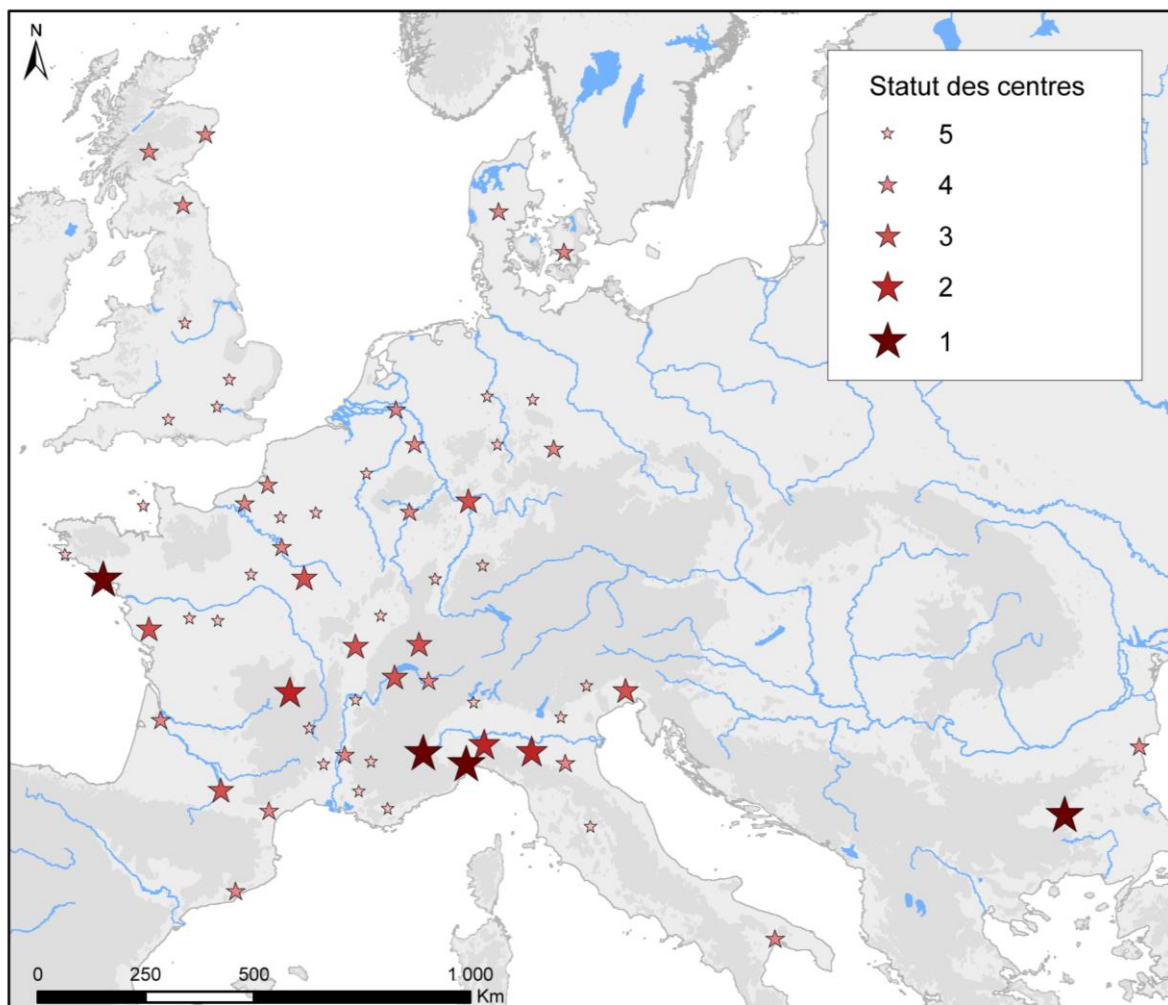


Fig. 58. Modélisation des centres de consommation des haches en jades alpins ((Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, NASA SRT. CAO : E. Gauthier, 2015).

Certains pôles présentent des concentrations plus importantes parce qu'ils ont attiré les haches en jade en très grand nombre et/ou sur une longue durée. D'autres ont sans doute joué un rôle mineur dans les réseaux de transfert ou bien de courte durée.

La zone la plus importante est bien entendu l'aire des gîtes et des ateliers alpins. Elle peut être considérée comme un même ensemble, bien que plusieurs pôles de concentration s'y remarquent au niveau de chacun des deux gîtes, où de très nombreuses ébauches ont été mises au jour, mais également autour des villages producteurs qui ont sans doute été un point de passage obligé avant la diffusion plus lointaine des produits en jade. La seconde aire la plus importante est le Golfe du

Morbihan, principal pôle d'attraction et épicentre de la redistribution des jades alpins. L'autre épicentre contemporain mais situé en plein cœur de l'Europe du cuivre et de l'or peut également être classé comme majeur, étant donné son éloignement et la richesse des contextes de dépôt des haches en jades alpins (par exemple le dépôt de Svoboda et non loin, plusieurs tombes des célèbres nécropoles de Varna).

L'ensemble du réseau est jalonné de centres secondaires qui forment autant d'étapes par lesquelles les haches en route pour le nord-ouest, le Morbihan en particulier, sont sans doute passées et où quelques-unes ont fini leur course en étant déposées (Fig. 58). Ainsi au moins une soixantaine de pôles peuvent être repérés par l'analyse des densités de noyaux. Ils ne sont bien sûr pas tous contemporains, mais ils ont à un moment ou un autre attiré un certain nombre d'exemplaires de haches en jade. Au moins pendant un temps, ils ont donc eu une place remarquable dans les réseaux de transfert.

Ces centres de consommation/redistribution sont distants d'une centaine de kilomètres en moyenne du centre voisin le plus proche ; très peu s'éloignent à plus de 140 km (Fig. 59). L'Europe occidentale est ainsi entièrement (et assez régulièrement) maillée.

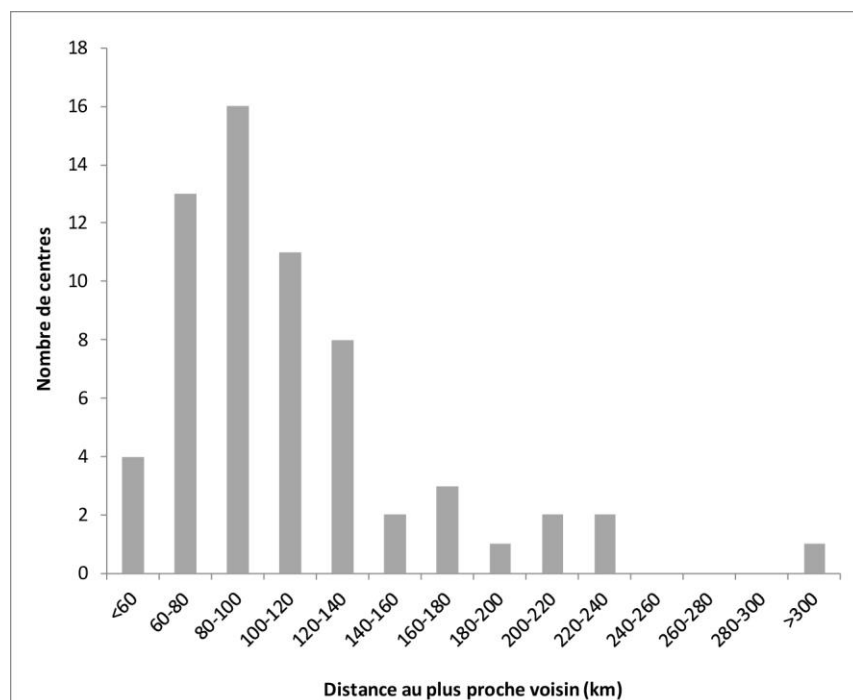


Fig. 59. Variation de la distance des centres à leur voisin le plus proche. (DAO : E. Gauthier, 2015).

Les deux épicentres sont situés à chaque extrémité du réseau qui est plus ou moins centré sur les gîtes alpins. A proximité immédiate de ces trois pôles principaux, ce sont essentiellement des centres de statut faible que l'on rencontre (la basse vallée du Rhône, le Finistère, etc.). A mi-chemin, vers 300-600 km des gîtes alpins, ce sont des centres de statut secondaire (l'Auvergne, le sud de la Bourgogne, le Bassin parisien, le confluent Rhin-Main) et à nouveau, à proximité, des centres de statut plus faible. Dans les marges de la zone d'étude, le fonctionnement est similaire (l'Ecosse paraît ainsi être un centre relativement important) mais les poids sont moindres puisque les données se font de moins en moins nombreuses avec la distance. On pourrait donc suggérer que l'organisation de ces pôles s'apparente, en partie, au modèle des lieux centraux (Christaller 1933, Lösch 1940). La

hiérarchie des centres et leur répartition semblent similaires, toutefois ils ne correspondent pas complètement⁶⁷. Certains pôles très importants sont proches du fait de leur rôle spécifique et complémentaire dans les transferts de jades alpins (par exemple les zones du Viso, du Beigua ainsi que des ateliers du Piémont). Les centres de statut secondaire semblent parfois trop proches les uns des autres mais ils se situent en fait sur de routes différentes. En effet, au contraire du modèle régulier de Christaller, les centres sont ici implantés le long des axes du réseau de transferts, des axes fluviaux en particulier. Chacun constitue en effet un nœud du réseau dans un espace qui peut être représenté sous la forme d'un graphe (Berge 1967) (cf. ci-dessus la partie 2.2.2). Ce positionnement le long des grands axes de communication et de circulation confirme d'ailleurs la "centralité" -en termes d'accessibilité- de ces centres de pouvoir néolithiques. Par ailleurs, dans le modèle de Christaller, les centres sont supposés être situés dans un plan euclidien isotrope, le pouvoir d'acquisition étant similaire dans toutes les directions, ce qui n'est manifestement pas le cas ici : la diffusion est clairement orientée en direction du nord et de l'ouest de l'Europe depuis une source unique. Il convient donc de ne pas considérer l'espace comme uniforme et isotrope mais plutôt comme un espace vectoriel composé d'une série d'axes orientés reliant principalement les gîtes alpins et les grands centres d'attraction des jades au nord de l'Europe (Morbihan, Grande Bretagne, Allemagne, Danemark). Le modèle d'organisation des pôles de consommation des jades en Europe serait donc plus spécifique (Fig. 60). L'approche des axes de diffusion sera développée dans la partie suivante.

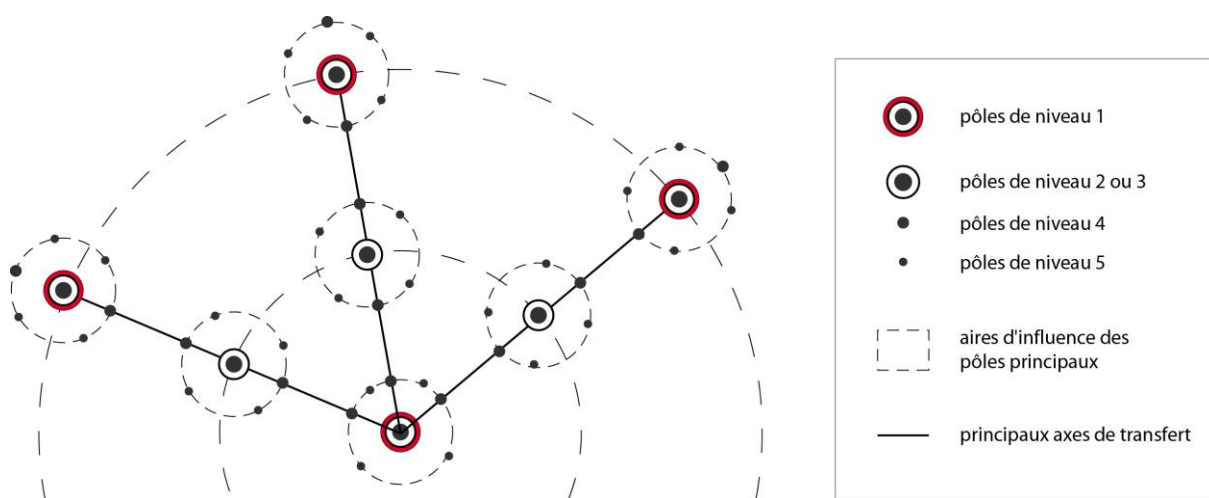


Fig. 60. Proposition pour un modèle théorique d'organisation des pôles de consommation le long du réseau de transferts des jades alpins (DAO E. Gauthier).

Cette analyse vient ainsi compléter les études réalisées précédemment en mettant en évidence l'organisation particulière des pôles de consommation des jades le long des réseaux de transferts. Ces centres de pouvoir, ayant attiré un grand nombre d'objets signes sociaux, forment les jalons du circuit, et bénéficient de l'impulsion première donnée par l'épicentre de la diffusion des jades, le Golfe du Morbihan. A leur tour ils prennent une part active dans le réseau. Disposés tout le long du circuit, ce sont des centres de consommation mais également de redistribution et pour certains des

⁶⁷ En dehors des critiques fréquemment émises concernant les fondements de la théorie elle-même (Bailly et al. 2016), notamment sur le postulat d'un espace non différencié et sur l'absence de prise en compte des comportements culturels et psychologiques des populations. La densité de population non uniforme sur le territoire desservi, avec une concentration plus forte près des centres, remet également en cause la forme hexagonale du modèle de Christaller. L'exigence de proximité entre le distributeur et les consommateurs, sur laquelle repose le modèle, ne s'applique pas non plus exactement dans notre cas.

aires de retransformation, dans lesquelles les objets se dotent d'une nouvelle identité, telles les haches retravaillées en Morbihan, devenues des objets "carnacéens" à part entière.

4.2. Dynamiques de la consommation du métal en France orientale au Bronze moyen et final

L'étude qui suit porte sur la consommation du métal à l'Age du Bronze en France orientale, son estimation, sa distribution spatiale, ses évolutions. Elle a été réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat (Gauthier 2005). L'objectif est de comprendre quelle était la place du bronze dans les systèmes économiques et sociaux de l'époque. Mais il s'agit aussi d'une réflexion sur la possibilité d'estimer la consommation du métal à travers l'étude du bronze thésaurisé (dans les tombes et les dépôts en particulier). Il est en effet intéressant de savoir à quel point ces découvertes peuvent refléter les quantités de métal réellement consommées et leurs variations en fonction des évolutions sociales et économiques de cette période.

Dans le cadre d'ArchaeDyn, ce cas d'étude s'appliquait particulièrement bien à la recherche d'indicateurs de concentration/dispersion et de stabilité/instabilité, puisque l'on vise ici à mettre en évidence des zones de consommation privilégiées du bronze, que l'on peut supposer être -au moins en partie- les zones de plus forte concentration d'indicateurs. Nous cherchons également à observer leurs évolutions dans le temps : la pérennité de certaines zones, la diminution du rôle d'autres ou encore le développement de nouvelles aires de consommation. Ces variations suivront en partie seulement les évolutions du peuplement. A l'instar de l'exemple vu précédemment sur les haches à talon normandes, les sites qui ont livré ici le plus d'objets de bronze ne sont pas les habitats mais les dépôts et les sites funéraires, des lieux de thésaurisation qui ont permis la conservation des objets métalliques tandis que la majeure partie du stock en circulation a probablement été recyclée (Needham 1998). Dans les habitats il est plus rare de retrouver de grosses quantités de métal. Par ailleurs, il a été montré clairement que le bronze a joué un rôle important dans la représentation sociale (Verger 1991, Kristiansen 2000, Pydyn 2000). La France orientale, au contraire d'autres régions ayant un accès direct aux minerais de cuivre et d'étain, comme la Transdanubie par exemple, est dite "dépendante" d'approvisionnements extérieurs (Mohen 1990, Goldenberg 1998). La nature de certains objets produits (des objets à haute valeur sociale tels des armes défensives ou de la vaisselle métallique, des éléments de harnachement ou encore certaines parures) montre que le bronze était utilisé par l'élite pour sa représentation sociale, même au Bronze final, alors que le bronze semble s'être diffusé plus largement à travers toutes les couches sociales, comme en témoignent les nombreux outils agricoles ou artisanaux en bronze (Pare 2000). On s'attend donc à ce que la distribution du bronze reflète en partie le peuplement et en partie la structure sociale des territoires. Mais du fait de la recyclabilité des alliages à base de cuivre et de la nature particulière des lieux de déposition, la quantité de bronze découverte ne reflétera pas forcément la quantité de bronze consommée à l'époque. C'est dans la nature des objets et des sites qu'il faudra rechercher des indices de l'augmentation ou de la diminution de la place du recyclage dans l'économie du bronze et de la place de la thésaurisation dans la représentation sociale. Par ailleurs il faut différencier d'un côté le bronze en tant que matériau dont la valeur a pu varier et de l'autre la nature des objets finis qui peuvent représenter une forte valeur sociale sans correspondre nécessairement à une importante quantité de matériau. Divers critères entrent donc en ligne de compte. Nous proposons dans cette partie d'analyser les variations dans l'espace de trois paramètres : les unités de

découverte - habitats, dépôts, tombes et trouvailles isolées-, les objets de bronze et les masses métalliques qu'ils représentent.

En effet, dans la recherche des principales zones de consommation du bronze, la masse de métal retrouvée est bien entendu un indicateur majeur dans la mesure où les zones ayant livré beaucoup de bronze sont logiquement des zones en ayant reçu (et donc probablement consommé) beaucoup (Stepniak 1986). Mais beaucoup de bronze, cela peut aussi signifier une grande quantité d'objets de bronze, même s'ils n'étaient pas toujours très lourds. En effet, le nombre d'objets donne un indice de la fréquence de l'utilisation du bronze et témoigne de sa place dans les activités. Par contre, en raison de la pratique du recyclage, nous ne pouvons pas affirmer que les zones ayant livré peu de découvertes n'étaient pas des zones de consommation ; le métal a en effet pu disparaître presque complètement. Il faut donc prendre en compte un autre indicateur : les sites archéologiques, qui sont autant de lieux potentiels de consommation. Le nombre élevé d'habitats voit augmenter la probabilité que le bronze y ait été consommé en plus grande quantité, tandis qu'un nombre élevé de tombes avec offrandes métalliques et de dépôts "votifs" marquera en parallèle la présence d'une élite ayant consommé du métal pour sa représentation sociale (Kristiansen 2000, Pydyn 2000). Ces trois indicateurs ne se concentrent pas nécessairement dans les mêmes aires, tout dépend des choix culturels liés aux différents contextes de thésaurisation, c'est pourquoi il est intéressant de comparer les trois.

Quatre phases seront considérées ici : le Bronze moyen (BM), le Bronze final 1 (BF1 = BFI-IIa), le Bronze final 2 (BF2 = BFIIb-IIIa) et le Bronze final 3 (BF3 = BFIIIb). Nous calculerons tour à tour la densité des différents indicateurs par la méthode des densités de noyaux (voir ci-dessus l'introduction à la partie 4). Les paramètres qui, lors des tests, se sont avérés les plus efficaces pour modéliser les zones de forte densité sont un maillage de 500m et un voisinage de 15 km de diamètre. Pour pouvoir ensuite confronter les résultats il est absolument nécessaire que ces analyses soient faites selon les mêmes paramètres, en particulier la taille de la maille et celle du voisinage mobile, mais aussi l'origine du maillage et l'étendue de la zone sur laquelle porte le calcul. Mais les valeurs aussi doivent être comparables. Pour cela, nous les relativisons par rapport aux totaux par indicateur pour prendre en compte des fréquences plutôt que des effectifs bruts. Enfin, il faut aussi réduire l'impact de la différence de durée de chaque phase. Nous relativisons donc encore les valeurs en fonction du nombre de périodes de 50 ans au sein de chaque phase (5 pour le BM, 4 pour le BF1 et le BF2 et 3 pour le BF3). Enfin, étant données les très faibles valeurs obtenues, un coefficient multiplicateur commun (ici 1 000 000) permet de ramener les résultats à des valeurs numériques plus facilement manipulables. Une fois corrigées, ces valeurs sont parfaitement comparables et les densités de kernels calculées selon des paramètres rigoureusement identiques. Les mêmes paramètres seront également utilisés pour la représentation graphique. Les résultats pourront donc être confrontés directement seront également directement comparables.

Pour le Bronze moyen, un grand nombre d'unités de découverte sont comptabilisées le long de la vallée de la Saône (Fig. 61). Ce sont pour beaucoup des trouvailles de rivière représentant une masse métallique relativement peu élevée, excepté au niveau de Chalon-sur-Saône. Mais c'est surtout en Alsace que l'on observe la plus forte densité d'unités de découvertes de cette phase, notamment au sein des nécropoles tumulaires des forêts de Haguenau. Grâce aux fouilles de X. Nessel et à leur publication par F. A. Schaeffer (1926), ces tombes sont bien connues. Elles ont livré un grand nombre d'objets métalliques. Au Bronze moyen, tandis que la région de Haguenau fait pleinement partie de la Culture des Tumulus orientaux (Kimmig 1989, Wels-Weyrauch 1989, Koenig et al. 1989) et constitue même l'un des groupes occidentaux les plus importants (Schaeffer 1926), le reste de la France orientale se trouve dans les marges de cette vaste culture dont l'influence est évidente

(Kubach-Richter et Kubach 1989, Villes 1989, Mordant et al. 1999-2000). Le sud du Bassin parisien subit quant à lui une double influence, orientale et atlantique, du fait de sa position intermédiaire entre les deux technocomplexes (Mohen 1989, p.39). Ce secteur est dynamique en fin de période. Plusieurs dépôts de l'ouest de la zone d'étude semblent être directement liés à ce phénomène ; ils concentrent d'assez nombreux objets (Verneuil l'Etang, Granges-sous-Grignon, Santenay, Teillet-Argenty) et associent parfois types continentaux et atlantiques. Ces ensembles représentent aussi des masses de métal élevées. Ils se composent d'objets relativement lourds, en particulier des haches et des lingots, au contraire des tombes des forêts de Haguenau qui ont livré un grand nombre de parures, en moyenne plus légères. Au Bronze moyen, comme résultat d'influences contraires, s'observent deux cas de figure très différents de régions dynamiques mais dont les modes d'expression liés au bronze sont pratiquement opposés.

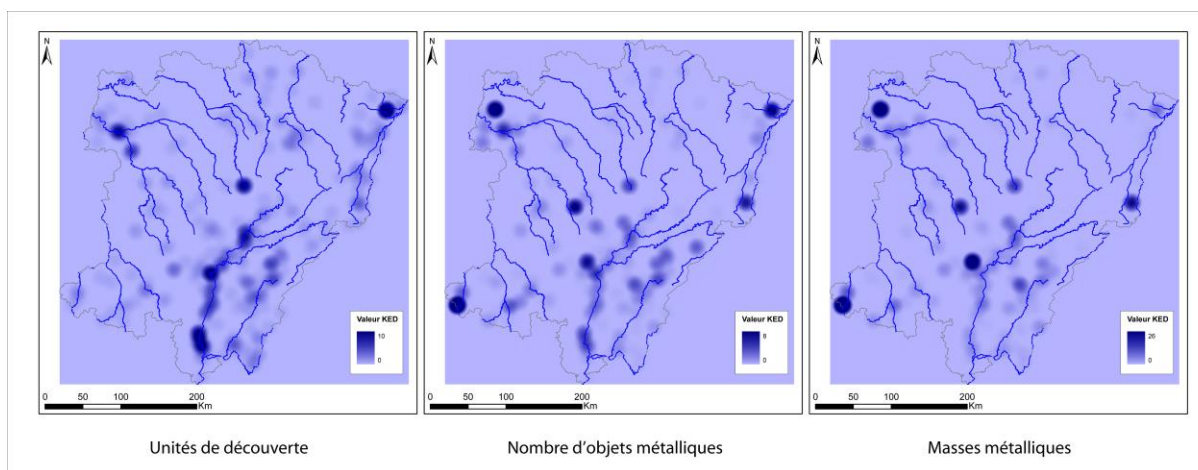


Fig. 61. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze moyen en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Pour le Bronze final 1, les masses métalliques se concentrent au niveau du confluent Seine-Yonne qui apparaît nettement plus important, au contraire de la partie orientale de la zone d'étude où l'on ne trouve plus de concentration majeure (Fig. 62). Les découvertes sont nombreuses le long des vallées, notamment celles de la Saône et de l'Yonne, mais c'est au niveau du confluent Seine-Yonne que les concentrations d'objets métalliques sont les plus fortes. Plusieurs grandes nécropoles (Marolles-sur-Seine, Barbaise -Courtavant, Barbey, etc.) y sont connues ainsi que de gros dépôts comme ceux de Villethierry ou de Cannes-Ecluses. C'est dans ce secteur que se concentrent les plus grandes masses métalliques de cette phase. C. Mordant a vu dans cette accumulation de richesses un phénomène de "lisière" (Mordant 1989). Cette zone de frontière entre les mondes atlantique et nord-alpin, est une zone de compétition culturelle particulièrement dynamique, théâtre de nombreux échanges d'ordre économique et culturel, et cadre du développement d'une élite sociale particulièrement puissante (Mordant et al. 1999-2000).

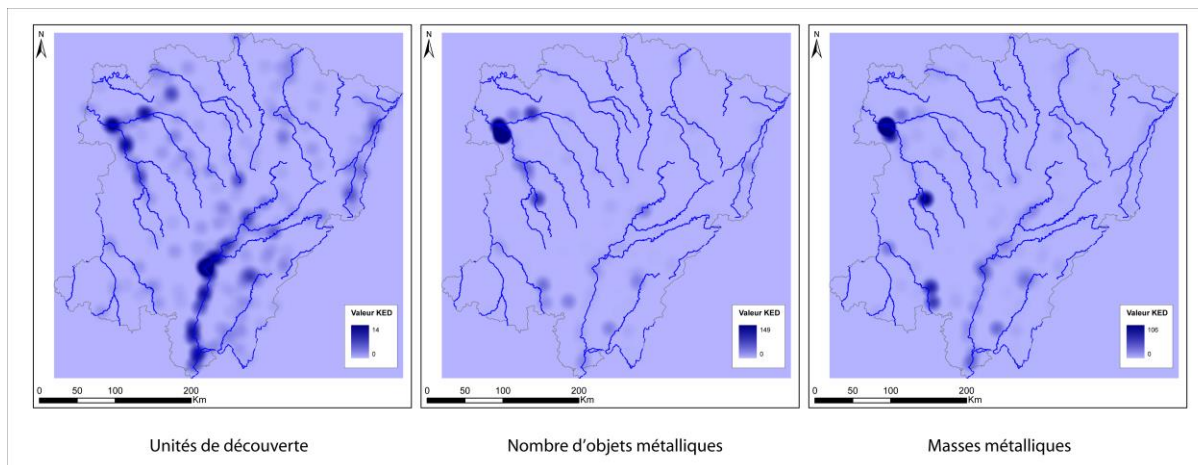


Fig. 62. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 1 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Pour le Bronze final 2, la situation est encore plus contrastée (Fig. 63): alors que les unités de découverte sont beaucoup plus largement réparties en France orientale qu'aux phases précédentes, les objets métalliques présentent peu de concentrations importantes, hormis quelques dépôts comme celui de Blanot (21) ou encore Gévelard (71). La transformation des pratiques funéraires y est pour beaucoup car avec le phénomène des "champs d'urnes" le bronze est plus rarement déposé dans les tombes. On compte aussi davantage d'habitats de cette période. Les vallées ne sont plus les seules à livrer de nombreuses découvertes, puisque des concentrations se retrouvent dans le Morvan ainsi qu'en Franche-Comté. Le confluent Seine-Yonne semble avoir perdu en partie son rôle structurant dans les relations avec le techno-complexe atlantique. Pour les masses métalliques, la situation est encore différente : la vallée du Doubs se démarque particulièrement, elle est jalonnée de dépôts plus modestes que celui de Blanot en nombre d'objets mais relativement lourds (Bouclans, Tavaux, Evans). Le dépôt de vaisselle métallique d'Evans, est aussi exceptionnel par sa composition. La vallée de la Saône, notamment autour de Chalon-sur-Saône, est également riche en trouvailles de rivières, parmi lesquelles de nombreuses épées. Le Bronze final 2 est donc marqué par une variété de situations autour de quelques sites emblématiques qui mettent l'accent de façons très diverses sur une consommation sociale du bronze.

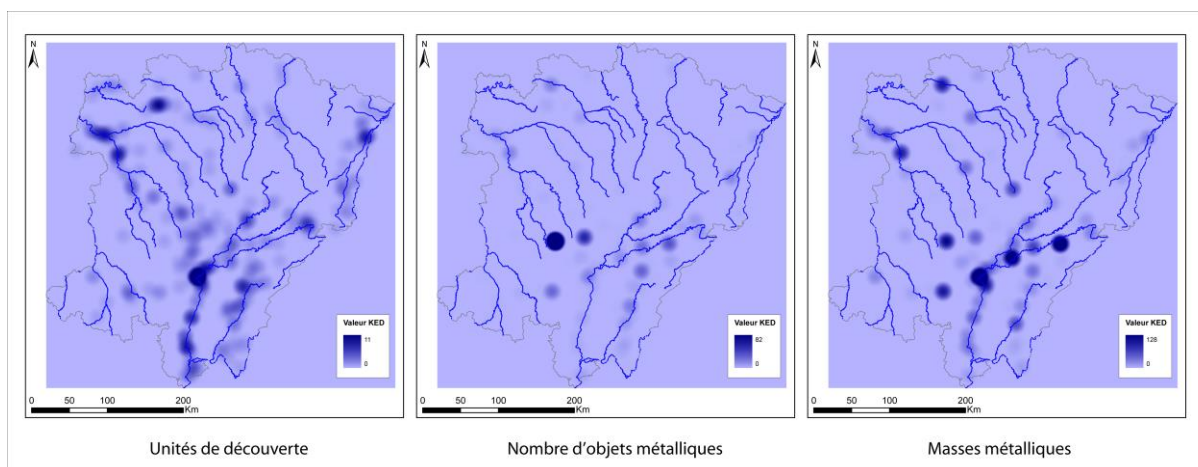


Fig. 63. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 2 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Enfin, le Bronze final 3 présente une situation beaucoup moins ambivalente (Fig. 64). A l'instar du Bronze final 2, les découvertes sont nombreuses dans l'ensemble de la zone d'étude, avec toutefois des concentrations plus importantes le long des vallées et en Franche-Comté. Le secteur de Lons-le-Saunier est particulièrement riche en trouvailles de cette phase. Les objets sont quant à eux concentrés dans différents secteurs de la zone d'étude, dans des dépôts du Jura (Briod), en Côte d'Or (Vénarey-les-Laumes) ou encore près de Moulins (La Ferté-Hauterive, Charroux, Jenzat), des habitats et trouvailles de rivières autour de Chalon-sur-Saône en particulier, tandis que les masses reflètent peu ou prou cette répartition.

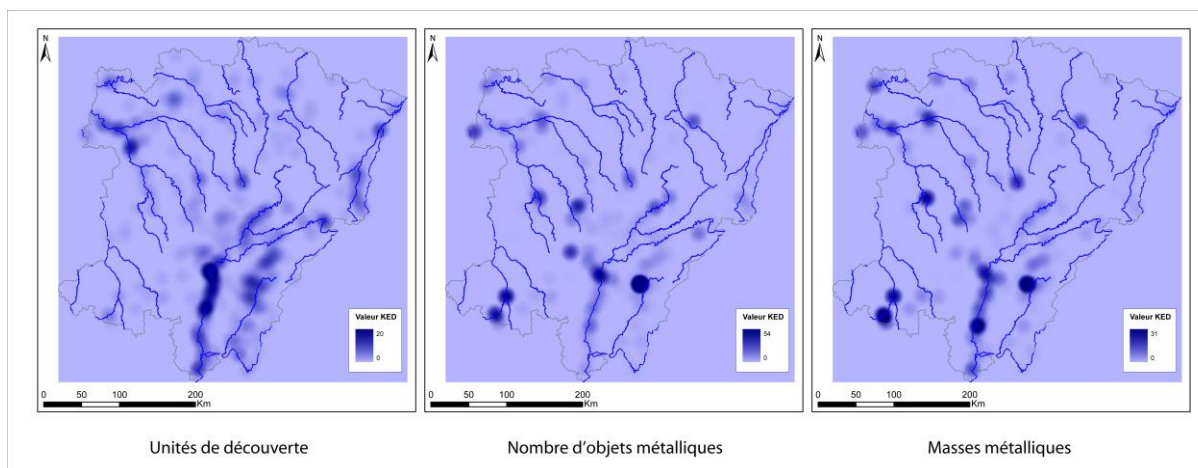


Fig. 64. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 3 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

On observe donc au travers de ces différents indicateurs d'importants changements au cours de l'âge du Bronze, tant dans la localisation des zones de concentration que dans les fonctionnements sociaux et économiques associés à la consommation du bronze.

D'un point de vue méthodologique, le calcul des densités de noyaux s'est donc révélé être un moyen efficace pour mettre en évidence des pôles de consommation. Ceux-ci ne sont pas tous visibles avec les mêmes indicateurs (ici des sites, des objets de bronze, des masses métalliques), qui doivent donc être pris en compte de façon complémentaire afin d'obtenir une vision d'ensemble des aires qui ont le plus fort potentiel. Celles-ci ne couvrent pas toutes la même surface et les concentrations présentées n'ont pas non plus toujours la même intensité. Ces pôles possèdent donc des poids variables, comme nous l'avons déjà remarqué pour l'exemple des longues haches en jade.

Enfin, certains pôles semblent durables, tandis que le rôle d'autres paraît se limiter à une phase seulement et que d'autres encore se déplacent au cours du temps. Dans la partie suivante, nous aborderons plus précisément la question de la confrontation de ces différentes situations grâce à une modélisation des dynamiques spatio-temporelles mobilisant des méthodes statistiques ou d'algèbre de carte.

4.3. Comparaison des aires de consommation pour plusieurs jeux de données

Pour l'exemple des longues haches en jade comme pour celui des objets métalliques de l'âge du Bronze, les zones de plus fortes densités de vestiges découverts pourraient avoir été des pôles de consommation privilégiés. Si dans le premier cas, nous avons choisi de pointer le centre de ces noyaux comme principaux nœuds du réseau de diffusion, nous soulignons qu'il ne s'agit pour autant pas de sites précis que nous identifions, mais bien d'aires de plus fort potentiel. Chacun de ces pôles n'est donc pas un site mais un ensemble de sites ayant livré, tous ensemble, une part remarquable des quantités découvertes du produit étudié.

Bien que la comparaison visuelle, par juxtaposition, de plusieurs cartes de densités soit possible, comme nous l'avons vu pour les différents indicateurs de la consommation du métal à l'âge du Bronze en France orientale, cet exercice n'est pas toujours aisé et il reste très subjectif. Le croisement par calcul des différents jeux de données serait plus à même de faire apparaître les changements et de les quantifier à leur tour.

Plusieurs cas de figure sont possibles : la modélisation des changements dans le temps d'un même indicateur, la confrontation directe de plusieurs indicateurs ou produits, la confrontation de la position des seules aires de consommation principales de différents produits.⁶⁸

4.3.1. Modélisation des dynamiques spatio-temporelles des aires de consommation : l'exemple de la consommation du métal à l'âge du Bronze en France orientale

La modélisation des changements survenus entre deux phases successives a pour objectif de comparer plus directement les différentes situations observées préalablement grâce aux densités de noyaux. Il s'agit ici de mobiliser des méthodes d'algèbre de cartes pour mettre en évidence les dynamiques spatio-temporelles. Il est bien entendu nécessaire de s'assurer que les données sont comparables. Ainsi les cartes de densités de noyaux doivent impérativement porter sur la même zone d'étude et avoir été créées selon des paramètres identiques (référentiel spatial commun, taille de maille, taille et forme du voisinage, emprise du calcul), les données d'origine doivent aussi être comparables (durée de chaque phase). La soustraction des grilles de deux périodes consécutives permet alors de visualiser les augmentations (valeurs positives) et les diminutions (valeurs négatives), ainsi que les cas de stabilité (les valeurs proches de zéro, qui correspondront le plus souvent à l'absence de découvertes aux deux phases). Il s'agit donc d'une cartographie des « résidus » (Gauthier 2007).

Cette méthode, tout comme celle des densités de kernels, consiste en une « modélisation spatiale » ou « modélisation cartographie » (Tomlin 1990, Pirot et Varet-Vitu 2004, Pirot et al. 2005) dans la mesure où le calcul effectué crée une information nouvelle qui apparaît visuellement en

⁶⁸ Comme indiqué en introduction, la confrontation directe des jeux de données impliqués dans l'atelier 3 d'ArchaeDyn n'était pas vraiment possible mais nous avons tout de même tenté de proposer des méthodes appliquées à quelques cas d'étude bien précis.

cartographie, ne nécessitant pas, pour son interprétation, de lecture subjective de la part de l'observateur.

En reprenant l'exemple précédent portant sur la consommation du métal à l'âge du Bronze en France orientale, nous créons successivement trois cartes des résidus entre les quatre phases successives étudiées.

Le plus remarquable dans le passage du Bronze moyen au Bronze final 1 est la nette diminution du nombre de découvertes dans la région de Haguenau, au profit des vallées et surtout du secteur du confluent Seine-Yonne où l'on observe des augmentations très fortes en termes d'effectifs et de masses métalliques (Fig. 65). Le Bronze moyen et le Bronze final 1, présentent ainsi la dichotomie la plus forte avec deux secteurs privilégiés fonctionnant très différemment l'un de l'autre. Cette situation pré-existe au Bronze moyen mais sous une forme plus discrète. Alors que l'Alsace est résolument tournée vers le reste de la Culture des Tumulus, l'ouest de la zone d'étude se tourne davantage en direction du bassin parisien. Mais ces valeurs restent faibles au Bronze moyen et les sites concernés datent plutôt de la fin de la période ou de la transition Bronze moyen/final. Les effectifs des découvertes au niveau de la Bassée connaissent ensuite une très nette augmentation pendant l'étape ancienne du Bronze final. Il est néanmoins important de souligner que les variations très fortes des effectifs comme des masses métalliques sont également liées à un déséquilibre des sources documentaires. En effet, la qualité de la publication des nécropoles de Haguenau par F. Schaeffer (1926) est telle qu'elle crée une sur-représentation très importante des données du Bronze moyen dans le Bas-Rhin, tandis que les nombreuses campagnes de prospections aériennes, les fouilles de nécropoles, les travaux d'aménagement et les carrières de granulats dans la Bassée ont favorisé les découvertes dans ce secteur, ce qui explique ce déséquilibre quantitatif. Cet exemple est typique de l'effet que peut avoir sur la cartographie des répartitions la sur-représentation des données liée à un état exceptionnel de la documentation. Il n'en demeure pas moins que les périodes concernées par ces découvertes reflètent sans doute effectivement des changements dans les dynamiques culturelles.

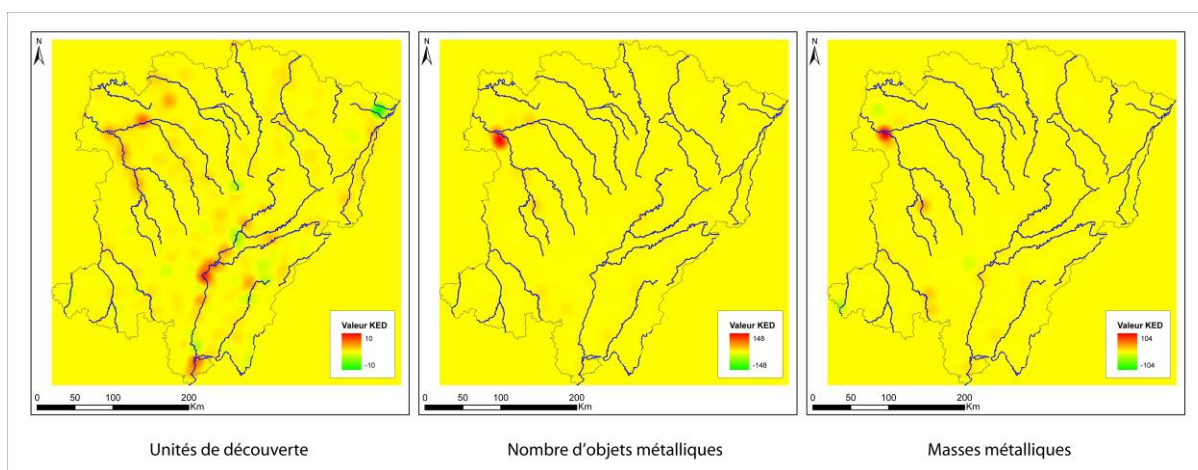


Fig. 65. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze moyen et le Bronze final 1 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Entre le BF1 et le BF2, la situation paraît contradictoire (Fig. 66) : effectifs des sites et masses métalliques présentent une évolution opposée dans certains secteurs. Si les découvertes se font globalement moins nombreuses dans les vallées, elles se développent dans des régions au relief plus marqué. Par contre, en ce qui concerne les objets de bronze et les masses métalliques, on constate

une opposition nette entre le rôle dominant du confluent Seine-Yonne au Bronze final 1 et celui de la Bourgogne centrale et de la vallée du Doubs au Bronze final 2, ce qui laisse penser que les modes de vie et les dynamiques sociales et économiques ont profondément évolué entre ces deux phases, peut être en même temps que les principaux réseaux d'échanges à longue distance. Alors qu'au Bronze final 1, la compétition semble se jouer à la frontière entre domaine nord-alpin et domaine atlantique ; au Bronze final 2, ce seraient plutôt les relations avec l'Est du massif jurassien, l'Allemagne méridionale, la Suisse occidentale et peut-être le midi qui seraient mises en avant.

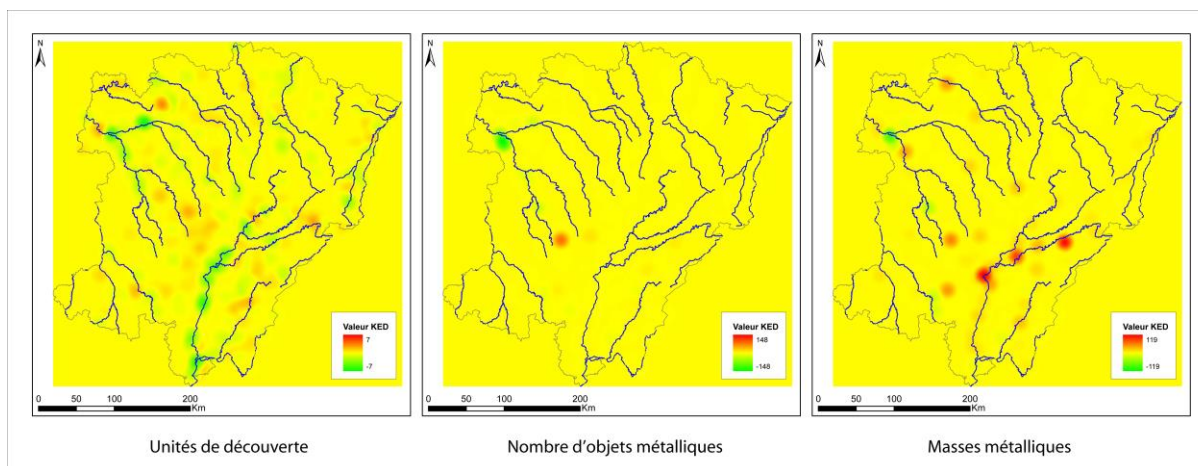


Fig. 66. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze final 1 et le Bronze final 2 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Enfin, entre le Bronze final 2 et le Bronze final 3, la situation est également contrastée (Fig. 67). Les unités de découvertes augmentent à nouveau fortement le long des vallées, mais aussi en Franche-Comté, tandis que les masses métalliques connaissent des diminutions remarquables le long de la vallée du Doubs et en divers points de la Bourgogne et de la Champagne. Le secteur de Lons-le-Saunier se démarque par une augmentation considérable du nombre d'objets métalliques en relation avec plusieurs dépôts découverts dans les environs. Partout ailleurs il semblerait que les découvertes soient plus nombreuses mais moins riches en métal, tout au moins en termes de masses.

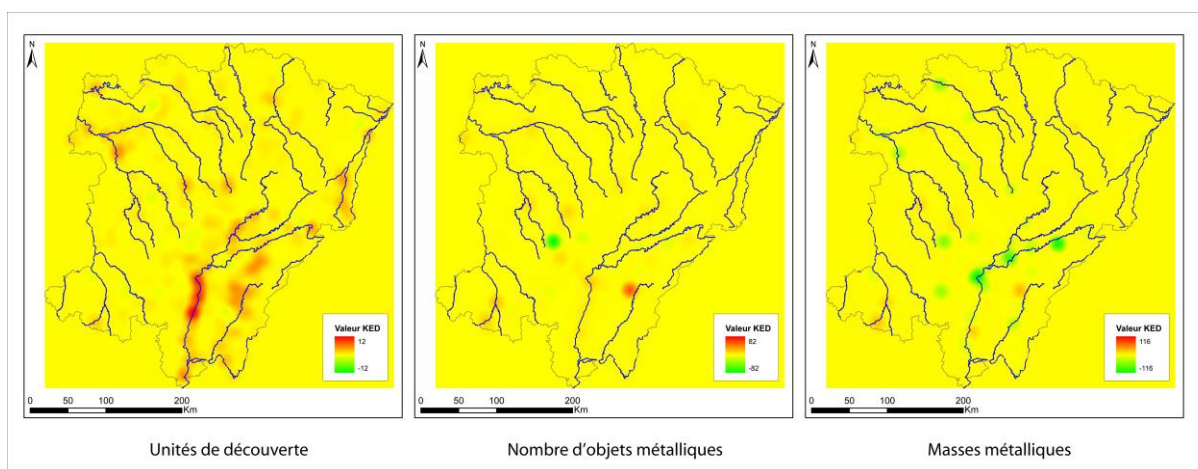


Fig. 67. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze final 2 et le Bronze final 3 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).

Que peut-on en conclure ? Ces dynamiques spatiales traduisent avant tout les importantes fluctuations sociales et économiques qui ont eu lieu tout au long de la période étudiée et qui sont liées elles-mêmes aux transformations des grandes dynamiques culturelles et aux changements des principaux réseaux d'échanges et de relations interculturelles. Ainsi, au Bronze moyen, la France orientale est encore en retrait des principales dynamiques culturelles de l'époque, centrées d'une part sur l'Europe centrale et l'Allemagne et d'autre part sur la Bretagne et la Normandie. Cette opposition forte entre deux mondes, l'un nord-alpin, l'autre atlantique dès le Bronze ancien est clairement liée à la répartition très inégale des ressources en minerais. Si ce déséquilibre se fait encore sentir au Bronze moyen, il est pourtant moins fort qu'au Bronze ancien. En France orientale, des centres où s'accumulent population, activités et pouvoirs sont clairement visibles. Ces principaux centres de consommation se tournent alors clairement en direction du techno-complexe le plus proche : l'Alsace, en marges de la Culture des Tumulus orientaux, est tournée vers l'Allemagne, tandis que l'ouest de la Bourgogne et le sud du Bassin parisien orientent les relations vers le domaine atlantique. C'est par leur proximité géographique aux régions les plus dynamiques de la période que l'on peut expliquer le dynamisme de ces deux zones où la consommation du métal s'exprime différemment.

Le Bronze final 1 est une étape de profondes mutations, mais aussi avant tout d'une phase de transition, dans laquelle les changements interviennent de manière progressive. Les modèles diffusionnistes de Holste et de Kimmig, impliquant des mouvements de populations et donc voyant dans le Bronze final 1 une période de rupture sont aujourd'hui dépassés ; on pense plutôt à des mutations progressives des coutumes et des productions locales et un réajustement occidental des dynamiques culturelles (Torbrügge 1989). Grâce à une diffusion du bronze au sein de la société, à une pratique de la thésaurisation moins "gourmande" en métal et à un développement parallèle du recyclage (Needham 1998, Gauthier 2005), les populations de France orientale sont à même de constituer des stocks de bronze. Cette région n'est alors plus en marge des principales dynamiques culturelles, mais elle va au contraire bénéficier largement de sa position de carrefour entre les deux technocomplexes traditionnels. C'est ainsi la zone stratégique du confluent Seine-Yonne qui connaît le développement le plus important. La nature des axes de communication n'a pas changé : les vallées sont toujours privilégiées mais leur attraction semble se renforcer. Des changements dans les relations interrégionales ont modifié les réseaux de transferts, renforçant très probablement les contacts avec le domaine Atlantique.

Au Bronze final 2, la culture Rhin-Suisse-France orientale se met en place (Brun et Mordant 1988), adoptant des pratiques funéraires et des productions communes (céramiques mais surtout métalliques) avec pourtant deux foyers majeurs d'innovation : le Rhin moyen et le Rhin supérieur / Suisse occidentale. La France orientale se tourne alors non plus en direction du Bassin parisien mais est pleinement intégrée à un grand ensemble culturel nord alpin. Les contacts changent à nouveau de direction pour se tourner vers les secteurs les plus dynamiques de cette entité culturelle, en particulier la Suisse occidentale, ce qui explique le développement des vallées de la Saône, de l'Ognon et du Doubs et des premiers plateaux du Jura à cette phase et à la suivante. Le Bronze final 3 apparaît comme une période de transition avec l'âge du Fer, avec des continuités mais aussi des changements progressifs, signes de lents mais importants bouleversements économiques et probablement aussi sociaux. L'entité culturelle RSFO se désagrège progressivement au Bronze final 3 en raison d'une plus forte régionalisation (Jura, Lorraine, Allier, etc.). Les relations avec le Midi de la France se renforcent également, ce que souligne le développement plus important encore des sites situés le long de la vallée de la Saône. Les lieux du pouvoir sont clairement implantés à proximité des points de contrôle de la circulation comme le confirment les corrélations plutôt bonnes non seulement avec les différents axes de communication, mais surtout avec les confluents principaux

(Mordant 1998, Mordant et al. 1999-2000) ou secondaires, les carrefours et les gués (Dumont 2002, 2013).

4.3.2. Confronter directement deux jeux de données ?

Une autre approche consiste à confronter des données différentes en vue de modéliser d'éventuelles relations spatiales. En effet, il peut être intéressant de comparer les concentrations de différents produits afin de savoir si les zones de consommation sont les mêmes ou si des tendances spécifiques existent. Les cas de figure sont variés : comparer la distribution de plusieurs matériaux, des découvertes issues de différents contextes, des produits socialement valorisés par rapport à d'autres plus « ordinaires », appréhender leur répartition par rapport à la localisation de certaines ressources, etc. Lorsque les zones de forte densité de différents produits sont les mêmes, cela peut indiquer une forte densité de population ou bien signifier la présence d'un pouvoir social et/ou économique fort. L'arrivée en nombre de produits variés résulte de l'attractivité générale de ces secteurs. Mais si les zones de concentration ne sont pas identiques, cela peut indiquer que les modes de consommation de ces produits étaient plus spécifiques et que ces zones de consommation sont spécialisées.

A titre d'exemple, nous proposons de réaliser une analyse croisée de deux jeux de données ponctuelles à l'échelle de la France : la première concerne l'inventaire des longues haches en jades alpins, la seconde, l'inventaire des halotoponymes et des sources salées. Dans ce cas, la confrontation des produits en jades alpins et des ressources en sel est intéressante car la présence de ces dernières a pu représenter un facteur attractif non seulement pour le peuplement (Pétrequin et Weller 2007) mais aussi pour l'établissement d'un pouvoir social fort, ce que les concentrations de longues haches en jade pourraient justement refléter (Pétrequin, Pétrequin et al. 2015).

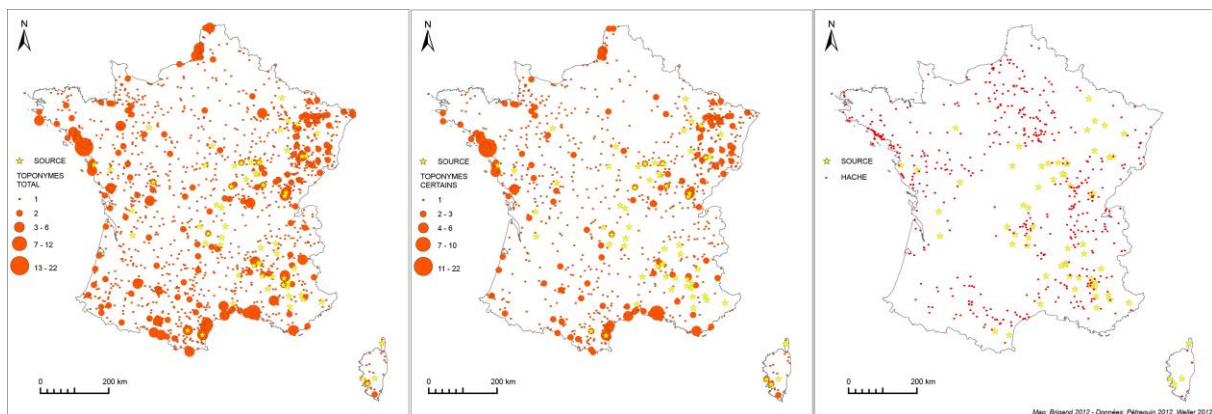


Fig. 68. Répartition de tous les halotoponymes (à gauche), des halotoponymes certains (au centre), des longues haches en jade (à droite), confrontée à la répartition des sources salées (IGN GeoFLA, Données O. Weller et P. Pétrequin, CAO : R. Brigand, 2012).

Les répartitions ponctuelles ne sont pas à même de nous donner une réponse claire, bien qu'à première vue une corrélation soit possible dans certains secteurs (Fig. 68). Il est intéressant de considérer d'une part l'ensemble des halotoponymes et d'autre part les halotoponymes certains, pondérés par leurs effectifs, afin d'avoir non seulement une vue d'ensemble des secteurs potentiellement riches en toponymes liés au sel mais aussi, en parallèle, de connaître plus spécifiquement les secteurs où les toponymes assurés sont effectivement nombreux (voir ci-dessus la partie 1.1.2). Pour comparer ces distributions, nous créons dans un premier temps les cartes de densités de noyaux pour ces jeux de données selon des paramètres identiques.

Nous recherchons d'abord le rayon optimal. Il s'agit de tester plusieurs rayons de 5 à 50 km, selon un intervalle de 5 km (Fig. 69). Les valeurs hautes de densités correspondent aux tailles de voisinages qui soulignent l'importance des points isolés, le lissage sera insuffisant ; les valeurs basses correspondent en revanche à des voisinages mettant en évidence de vastes concentrations, le lissage sera trop important. Le rayon optimal commun correspond à l'inflexion des deux courbes de distribution des valeurs maximales de densité. Dans notre cas, c'est un rayon de 25 km qui semble le mieux convenir.

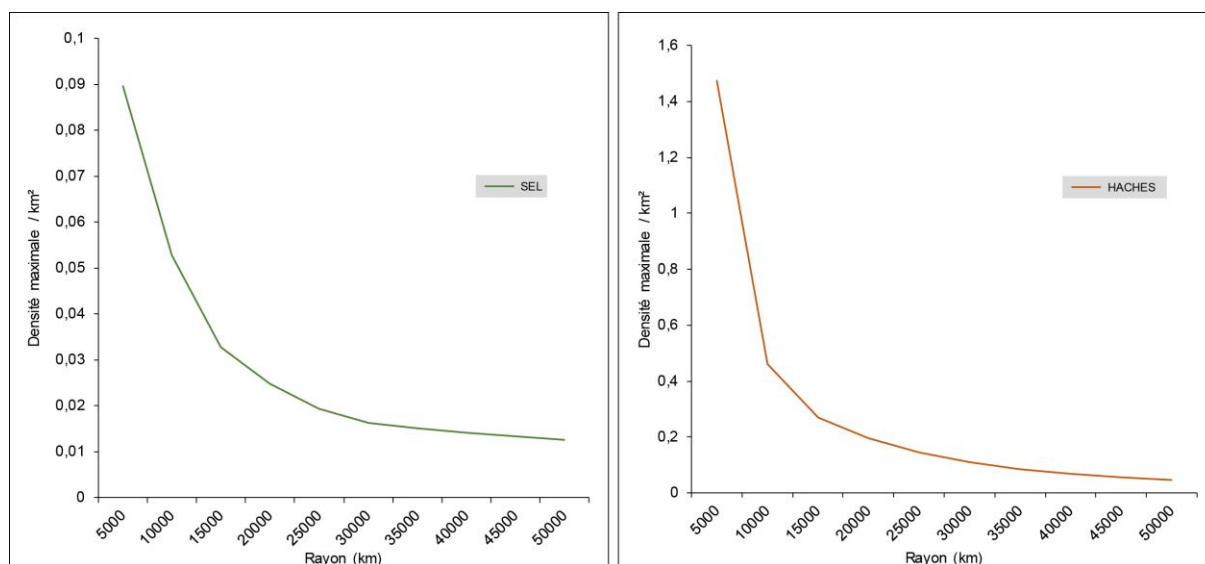


Fig. 69. Détermination du rayon optimal. Il correspond approximativement au point d'inflexion de la courbe, établi ici à 25 km pour les halotoponymes (à gauche) et pour les haches en jade (à droite) (DAO : R. Brigand 2012).

Cette opération réalisée, il est possible de cartographier les densités d'halotoponymes ou de haches alpines. La comparaison peut alors se faire par la juxtaposition des densités de l'un des paramètres et de la répartition ponctuelle de l'autre. La figure 70 propose deux combinaisons possibles : d'un côté, la distribution des haches alpines superposée à la densité d'halotoponymes et de l'autre, la répartition des sources salées confrontée à la densité des haches en jades alpins.

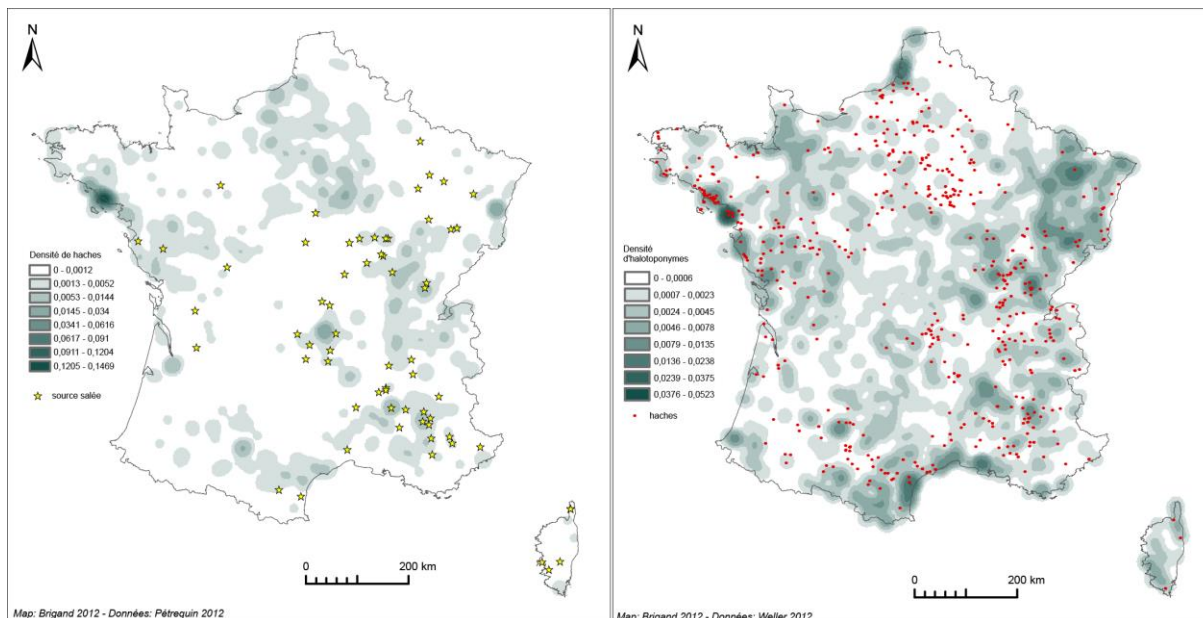


Fig. 70. Répartition des sources salées comparée à la densité de haches en jade (à gauche) et la répartition des haches en jade comparée à la densité des halotoponymes (à droite). (IGN GeoFLA, Données O. Weller et P. Pétrequin, CAO : R. Brigand, 2012).

Afin de modéliser plus précisément les secteurs où coexistent de fortes densités d'halotoponymes et de haches alpines, nous avons choisi de réaliser des cartes cumulant les deux paramètres en multipliant leurs valeurs de densités. Il s'agit d'une méthode d'algèbre de cartes de type local (Tomlin 1990). Les secteurs dans lesquels les densités des deux indicateurs sont fortes ressortent alors plus clairement. L'interprétation de la confrontation des paramètres deux à deux est ainsi plus aisée (Fig. 71).

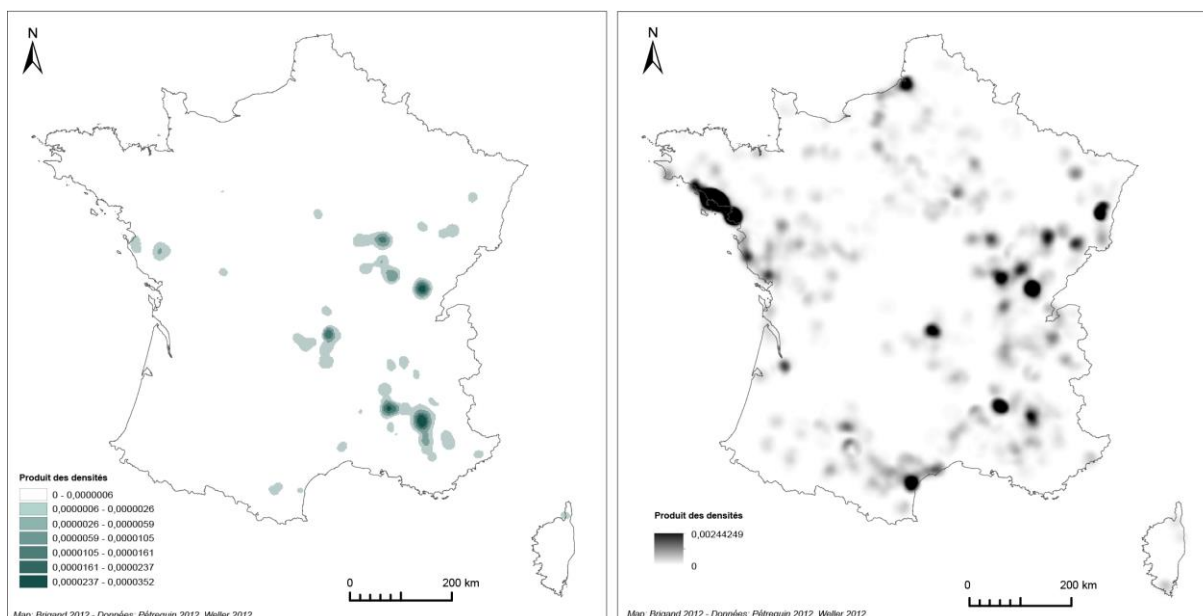


Fig. 71. Produit des densités de noyaux, à gauche, des sources salées et des haches en jades alpin, à droite, des halotoponymes et des sources salées. Les valeurs fortes correspondent aux secteurs dans lesquels les densités des deux paramètres sont, ensemble, les plus élevées (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin et O. Weller, CAO : R. Brigand, 2012).

Dans certains secteurs, une relation pourrait exister. On constate en effet une assez bonne concordance entre les fortes densités d'halotoponymes, de sources salées et de haches en jade dans le Jura, probablement en lien avec des exploitations de sel en bordure des premiers contreforts du Revermont (Lons-le-Saunier, Domblans), mais aussi dans le secteur de Corent dans le Puy-de-Dôme (Glaine-Montaigut), au niveau du site de Bégude-la-Mazenc dans la Drôme (Portes-en-Valdaine) et dans les Hautes-Alpes, dans les Baronnies provençales (Mison, Apremont, Orpierre, Ventavon). Le littoral du sud du Morbihan et de la région nantaise est aussi une zone à la fois riche en halotoponymes et en jades alpins. Partout ailleurs la relation est absente ou beaucoup moins évidente. Ces relations géographiques observées ne peuvent bien entendu pas être interprétées comme de véritables corrélations, même à un niveau local, les deux paramètres n'étant pas vraiment dépendants l'un de l'autre. Il serait également abusif de considérer la présence des sources salées comme les facteurs ayant exclusivement favorisé le développement de centres de consommation des jades à ces endroits. La création de ces derniers correspond sans doute à une conjonction de différents facteurs favorables, mais le rôle des sources salées mériterait d'être examiné plus en détail, il s'agit d'une piste à creuser.

Une autre manière d'aborder la confrontation de deux jeux de données consiste à comparer uniquement le positionnement des secteurs les plus denses pour l'une et l'autre des distributions considérées. Il s'agit de déterminer statistiquement les secteurs les plus importants pour le premier produit puis pour le second pour ensuite comparer leurs localisations. On ne raisonne donc pas en termes de valeurs brutes mais d'importance relative.

Pour pouvoir détourner les zones de plus fortes densités au sein d'une grille, il est nécessaire de choisir une valeur seuil. Pour cela nous discrétisons les valeurs des densités de noyaux afin de ne retenir que la (ou les) dernière(s) classes. Plusieurs solutions sont possibles (Pumain et Béguin 2003, Paegelow et Vidal 2004) : une discrétisation par équifréquences basée sur les quantiles permettra de s'assurer qu'une certaine proportion des données sera représentée, la méthode des seuils naturels de Jenks, très proche de la forme de la distribution puisqu'elle vise à minimiser la variance intra-classe et maximiser la variance inter-classes, assurera davantage d'homogénéité au sein des espaces détournés, une discrétisation standardisée (déviation standard) dans laquelle les classes sont déterminées selon une fraction d'écart-type par rapport à la moyenne, fera ressortir les valeurs exceptionnelles, en particulier dans le cas de distributions suivant une loi normale.

La comparaison des détournages des zones de plus fortes densités obtenus pour les haches en jades alpins en France avec ces trois méthodes de discrétisation montre que le résultat est assez similaire quelle que soit la méthode utilisée (Fig. 72). Dans le cas de la méthode de Jenks, les classes à isoler sont choisies de façon empirique (ici nous avons choisi de considérer les 5 dernières classes sur 7). Avec les quantiles nous avons choisi le dernier décile, de manière à ce que cette classe de valeurs forte corresponde aux 10% des valeurs les plus grandes. Pour la déviation standard, nous avons choisi des intervalles d' $\frac{1}{4}$ écarts types, en conservant la dernière classe, correspondant aux valeurs plus exceptionnelles. Peu de différences s'observent dans la position et le nombre des pôles de concentration. La déviation standard et la méthode de Jenks font apparaître un peu plus de pôles et légèrement plus grands que la méthode des déciles qui sépare mieux certaines concentrations proches. Nous préférons donc cette dernière méthode que nous appliquons également aux sources salées et halotoponymes afin de les confronter aux pôles déterminés pour les haches en jade. Pour les sources salées, le résultat n'est pas très intéressant : les données étant trop peu nombreuses et dispersées, les pôles mis en évidence reflètent presque exactement la répartition des sources salées identifiées. La confrontation des résultats obtenus pour les trois jeux de données permet néanmoins de vérifier les possibles liens évoqués plus haut, en particulier pour les sources jurassiennes et des

Baronnies provençales ainsi que pour le Golfe du Morbihan (Fig. 73). Dans tout le reste de France, aucune relation spatiale ne peut être observée.

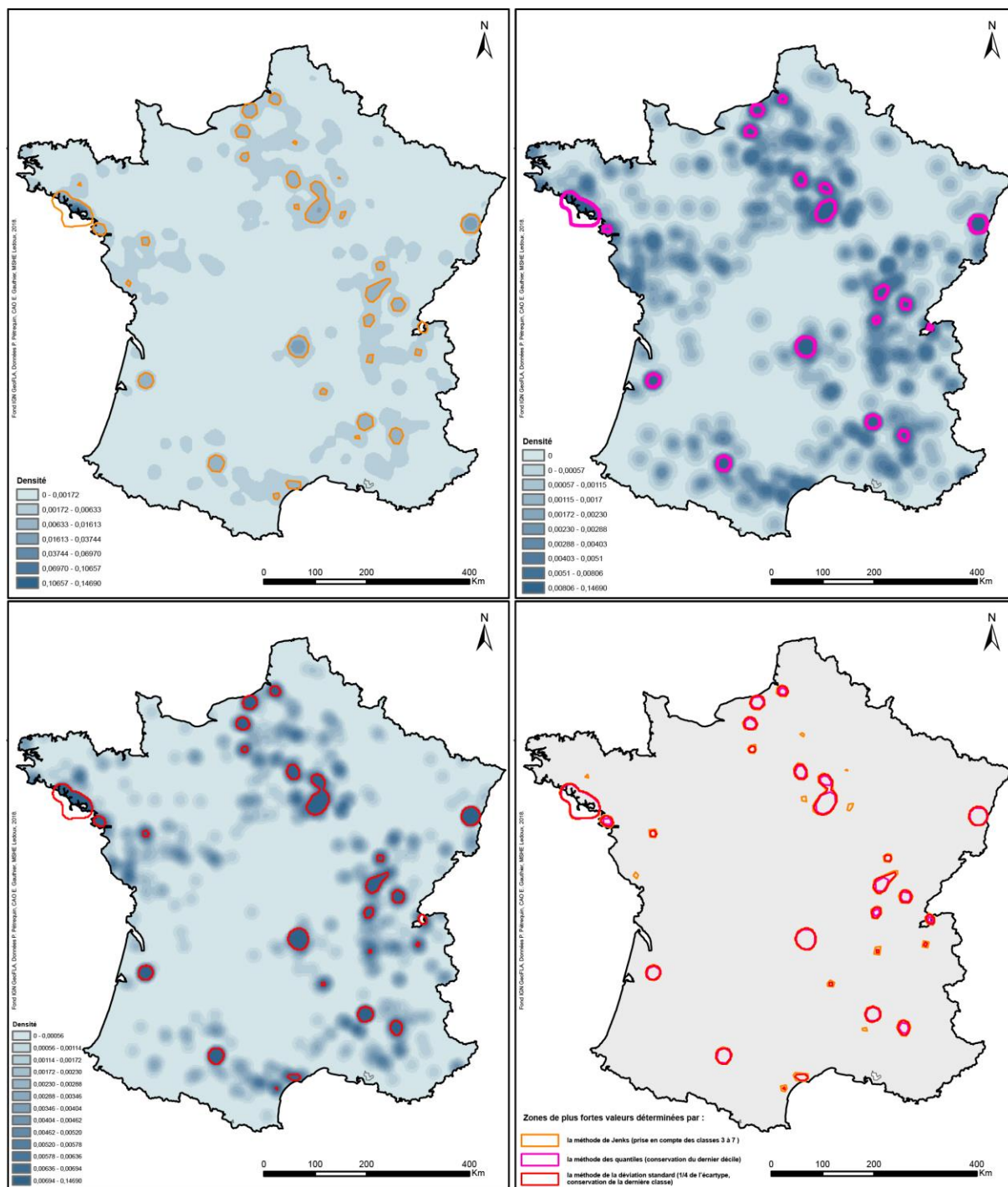


Fig. 72. Comparaison des trois méthodes de discrétisation proposées afin d'identifier les principales concentrations des haches en jades alpins en France (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin, CAO : E. Gauthier, MSHE Ledoux, 2018).

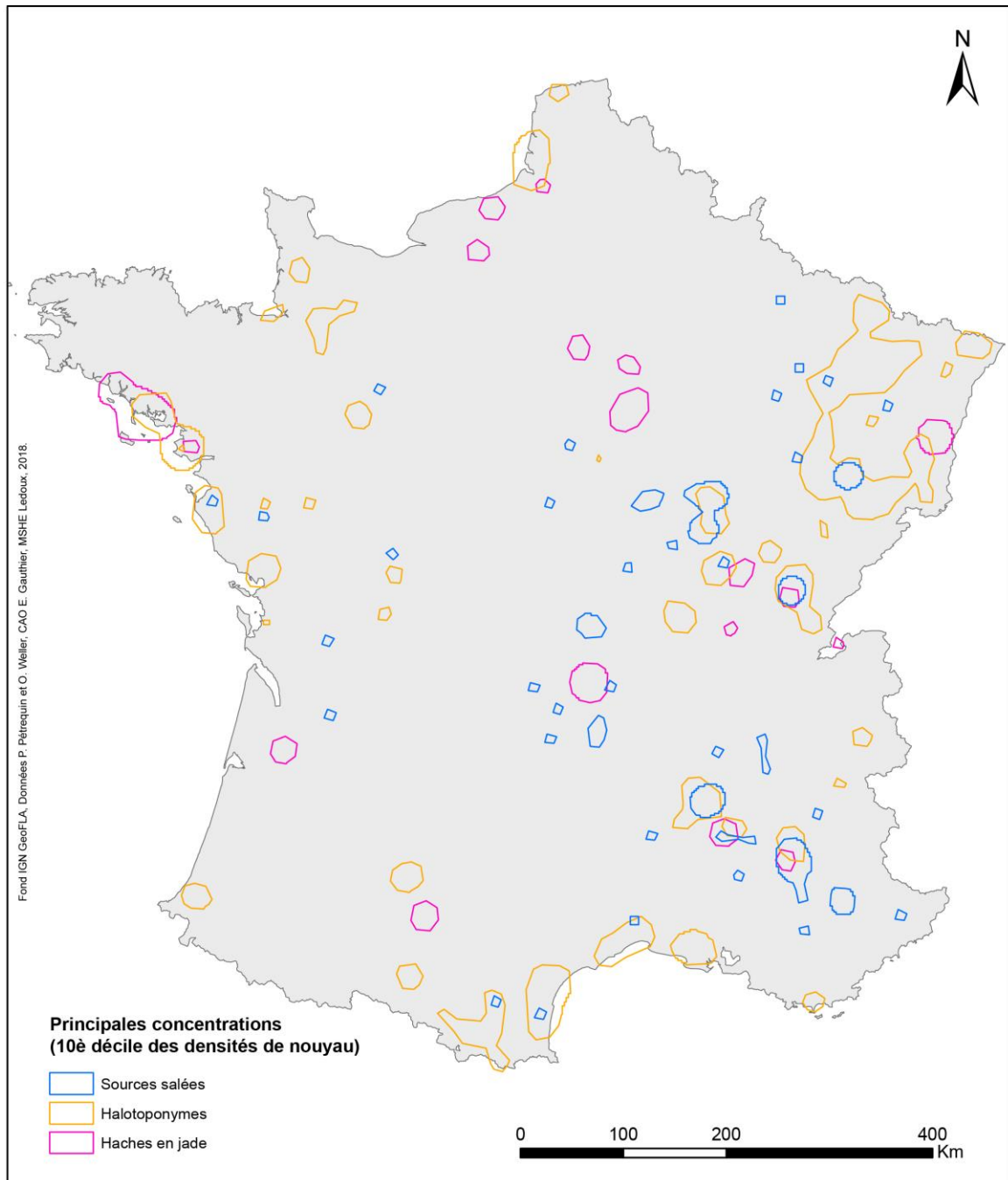


Fig. 73. Confrontation des principaux pôles de concentration des haches en jade, des halotoponymes et des sources salées (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin et O. Weller, CAO : E. Gauthier, 2018).

5. Le contrôle des ressources : le cas de la production du sel et peuplement préhistorique en Moldavie sous-carpatique (Roumanie), 6000-3500 BC

Entre les années 1950 et 2000, plusieurs chercheurs posent l'hypothèse que le sel est une ressource qui favorise la stabilité et le développement des communautés de la Préhistoire récente des Carpates (Nandriş 1987, Harding et Kavruc 2013, Lazarovici et Lazarovici 2015), tout particulièrement en Moldavie où les sources d'eau salée sont abondantes et accessibles (Şandru 1952, Ellis 1984, Monah 1991, Ursulescu 1995). Dans les piémonts des Carpates orientales, la fouille des plus anciens sites d'exploitation du sel (Ursulescu 1977, Dumitroaia 1987, Munteanu et al. 2007, Nicola et al. 2007, Weller et Dumitroaia 2005, Weller et al. 2015) va stimuler les analyses spatiales sous SIG, d'abord centrées sur la Moldavie centrale (Weller et al. 2011, Brigand et Weller 2012, Brigand et Weller 2013) puis sur l'ensemble de la région (Brigand et Weller 2015, Brigand et Weller 2018a et b). A l'échelle des huit départements de Moldavie roumaine, soit une surface totale de 46 200 km² limitée à l'ouest par les Carpates orientales et à l'est par la rivière Prut (Fig. 74), les recherches présentées ici mettent en exergue, sur de nouvelles échelles, les choix territoriaux faits par les premiers agro-pasteurs tout en soulignant comment la complexification sociale naissante se traduit par des formes spécifiques d'occupation du sol et d'exploitation des ressources. À travers l'utilisation de solides bases de données et l'application des méthodes de l'analyse spatiale, il s'agit de comprendre les stratégies de peuplement et de caractériser le pouvoir structurant des ressources en sel et de leur exploitation.

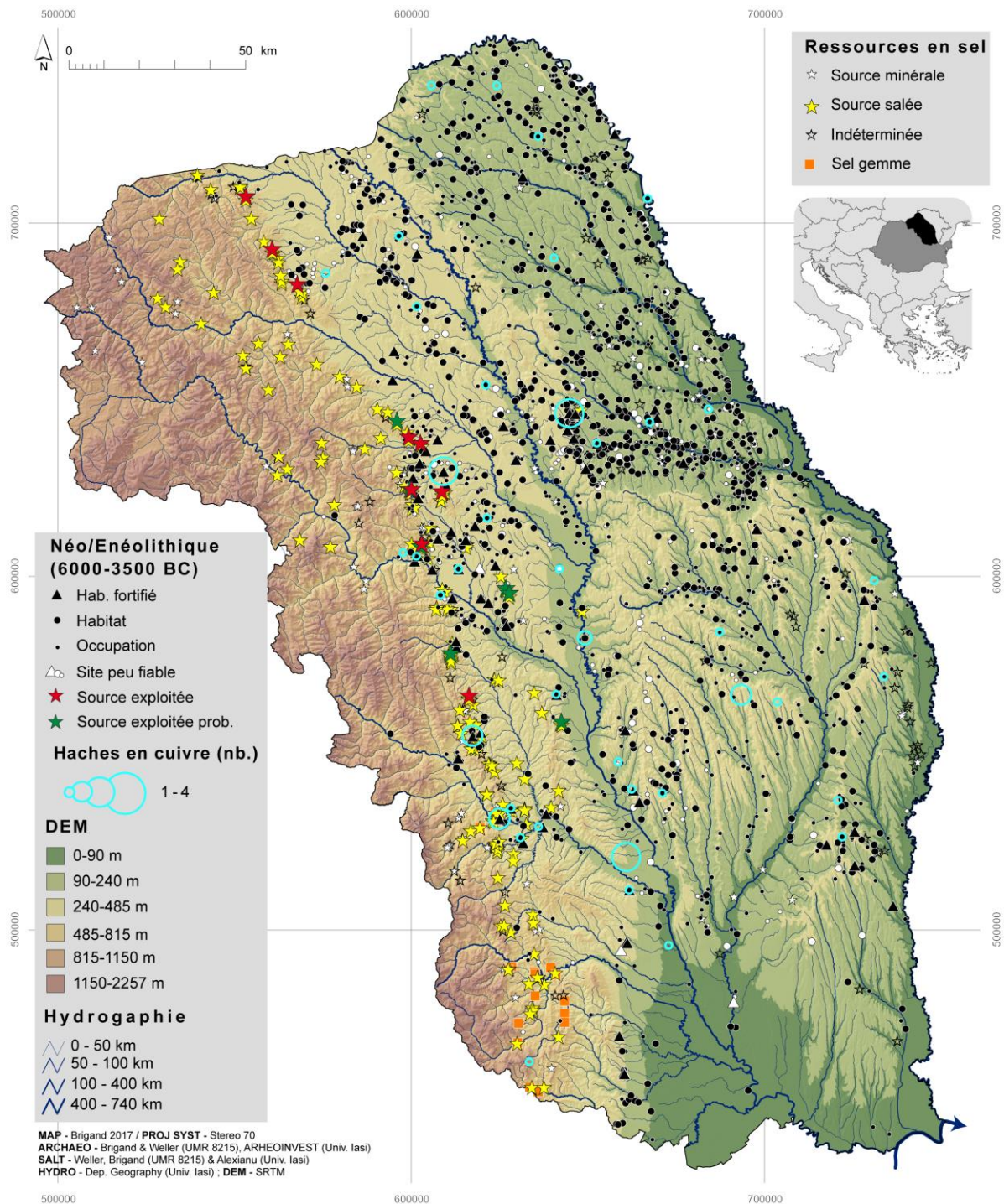


Fig. 74. Carte archéologique du peuplement néolithique, des ressources en sel et des haches en cuivre (Fond dep. Géography, Iasi Univ., SRTM, Données : Brigand, Weller, Alexianu, ARCHEOINVEST, CAO : R. Brigand, 2017).

5.1 Bases de données et fiabilité des répartitions

5.1.1. Les bases de données

La base de données archéologiques est riche de 2034 sites, dont 2013 sont des sites d'habitat et des occupations temporaires. En ne conservant que ceux fiables, c'est-à-dire en excluant les doublons, les sites incertains et ceux dont la localisation est imprécise, les effectifs sont de 1658 sites (Fig. 74). L'analyse de la dynamique des peuplements ne peut s'appuyer que sur les sites dont la chronologie est certaine et bien connue, soit 76% de l'effectif total. Leur répartition par période est présentée dans le tableau 5 et sur la Fig. 75. Les fourchettes chronologiques proposées s'appuient sur la littérature de spécialité (Mantu 1998, Lazarovici 2006). Les sites de la fin de l'Énéolithique moldave (Cucuteni B) sont regroupés avec ceux de la phase Cucuteni A-B puisque les caractères discriminants entre ces deux périodes sont, en l'absence d'investigations approfondies, quasiment impossibles à définir sur la seule base du matériel de surface (Tabl. 5). Les chercheurs ont déjà observé que les faibles effectifs pour le Cucuteni A-B (151 sites certains) sont plus le reflet des recherches liées à des difficultés d'identification que le signe d'une rétraction du peuplement (Zaharia et al. 1970, Boghian 2004, Petrescu-Dîmbovița et Valeanu 2004). Parallèlement, la base de données des haches en cuivre (57 objets) a été construite grâce aux ouvrages de référence concernant la métallurgie du cuivre à l'est des Carpates (Mareş 2002, Mareş 2012) et géoréférencée dans le SIG.

			<i>n</i>	<i>% fouillé</i>
Néolithique	I	Cris	189	21,7
		Boian I	2	100
	II	Ceram. Lin.	53	34
		Boian II-III	6	83,3
Néolithique NR			17	5,9
Énéolithique	I	Precu	122	43,4
		Boian IV	1	100
	II	Cucuteni A	599	24,4
		Stoicani-Aldeni	44	31,8
	III	Cucuteni A-B	151	41,1
	IV	Cucuteni B	371	29,1
Énéolithique NR			383	7,3

Tabl. 5. Nombre de sites archéologiques par période.

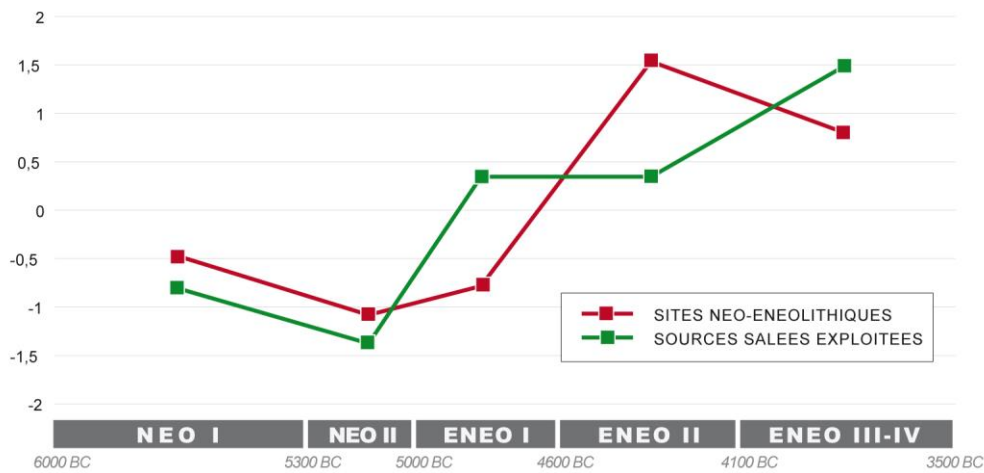


Fig. 75. Synthèse de la dynamique du peuplement et de l'exploitation du sel. Les valeurs sont normalisées (DAO : R. Brigand).

Le secteur de transition entre les Carpates orientales et les sous-Carpates est marqué par l'affleurement des horizons salifères de l'Aquitainien et du Tortonien (Velcea et Savu 1982). Les ressources en sel de cette région (sources chlorurées sodiques, affleurements de sel gemme, sols salés), parmi les plus abondantes de l'Europe (Meruțiu 1912), ont fait l'objet de prospections systématiques et de dépouillements bibliographiques et cartographiques initiés en 2005 (Weller et al. 2007, Weller et al. 2010, Weller et Brigand 2017). À ce jour, 461 points sont documentés. 265 d'entre eux ont été explorés, analysés et géoréférencés par GPS (Tabl. 6).

	<i>n</i>	% prospecté
Sources minérales	98	50
Sources salées	189	89
Sources minérales NR	96	32,3
Sel gemme	19	79
Sols salés	50	4
Halotoponyme sans sel	9	66,5

Tabl. 6. Les ressources en sel de Moldavie roumaine.

Les gisements de sel gemme se situent essentiellement dans la courbure méridionale des Carpates. Les sources d'eau salée, dont les nappes baignent des dépôts salifères sous-jacents et dont la salinité peut atteindre jusqu'à dix fois celle de l'eau de mer, sont distribuées sur l'ensemble des piémonts des Carpates orientales. De nombreuses sources minérales légèrement saumâtres sont documentées dans la plaine moldave. Ces dernières présentent une salinité réduite. Par ailleurs, dans la plaine moldave, différents minéraux solubles (chlorures, sulfates de sodium, calcium et magnésium) issus des marnes et argiles lœssiques, se concentrent en surface et forment des sols salés. Dans cette contribution, nous nous concentrons sur les sources salées d'origine géologique, directement liées aux dépôts des piémonts, dont l'utilisation actuelle (pour la conservation alimentaire, les fourrages, les soins thérapeutiques) est dûment attestée par les enquêtes ethnographiques (Alexianu et al. 2011, Alexianu et al. 2016). Nous excluons la seule source connue de la plaine moldave, à savoir celle située à proximité de la station éponyme de la culture de Cucuteni (Weller et al. 2007). Nos prospections systématiques des ressources en sel des Carpates moldaves ont permis de doubler le

nombre de sites préhistoriques d'exploitation du sel connus avant nos prospections (Monah 2002). Sur près de 189 sources salées, vingt-et-un ont livré des vestiges d'exploitations néolithiques ou énéolithiques. Huit gisements demeurent incertains et l'exploitation doit être confirmée par des sondages archéologiques et des datations ^{14}C (Tabl. 7).

			<i>n fiable</i>	<i>n incertain</i>
Néo.	I	Cris	3	1
	II	Céram. Lin.	2	0
Néolithique NR			0	2
Énéolithique	I	Précucuteni	5	0
	II	Cucuteni A	5	1
	III	Cucuteni A-B	3	0
	IV	Cucuteni B	7	3
Énéolithique NR			2	0
Néo-Énéolithique NR			0	1

Tabl. 7. Exploitation du sel par période.

5.1.2. Représentation et fiabilité des données archéologiques

La carte archéologique présentée précédemment (Fig. 74) montre très nettement l'inégalité de la distribution du peuplement néolithique et énéolithique de Moldavie. Il va donc s'agir d'évaluer la fiabilité qu'il est possible d'accorder à ce document avant d'analyser les caractéristiques mêmes des peuplements. En effet, la carte de distribution ne traduit pas de façon objective l'occupation ancienne mais est plutôt un reflet de l'intensité des prospections archéologiques. Aussi, il convient ici de suivre la méthodologie mise en œuvre dans le cadre du collectif de recherche de l'ANR Archaeodyn (voir la partie 1.2). Cette méthodologie prévoit la construction d'une carte de confiance (Fig. 76c) suite à la combinaison de deux niveaux d'information constitués par une carte de représentation (Fig. 76a)⁶⁹ et une carte de fiabilité (Fig. 76b).

La carte de fiabilité reflète ici surtout la nature et l'extension des prospections archéologiques (voir la partie 1.2.2). Elle a été construite à partir de plusieurs variables essentielles : la nature de l'occupation du sol, tout particulièrement la présence de bois et forêts qui interdisent les prospections pédestres (d'après la base Corine Land Cover) ; la distribution et l'intensité des zones prospectées (établies suite à un dialogue avec les archéologues locaux, tout particulièrement G. Dumitroaia, V. Cotiuga et A. Asandulesei) ; la distribution des sites fouillés dont l'environnement immédiat (buffer de 4 km) a été exploré. Trois zones de fiabilité distinctes ont été ainsi proposées (Fig. 76b) : la zone 1 concerne les secteurs très bien prospectés, c'est-à-dire qui ont fait l'objet de prospections récurrentes depuis plusieurs décennies ; la zone 2 concerne des secteurs prospectés plus ponctuellement, sans retour systématique sur le terrain ; la zone 3 concerne les terrains qui

⁶⁹ La taille de la cellule t est ici de 4700 m. Elle est donnée par la formule suivante : $t = \sqrt{s/p}$ où s la superficie de la zone d'étude (46 200 km²) et p le nombre total de points (2034).

n'ont pas fait l'objet de prospections archéologiques de la part des institutions muséales ou universitaires.

La carte de confiance (Fig. 76c), ici simplifiée pour une meilleure lecture (les classes de fiabilités haute et moyenne sont rassemblées), permet de visualiser rapidement la validité de la carte archéologique. On notera par exemple que tout le secteur occidental de la zone d'étude est sous-représenté. Cette sous-représentation est peu fiable dans la mesure où ce secteur est extrêmement mal prospecté (couverture arborée dense, altitude supérieure à 600 m). Il demeure ainsi délicat de déduire de la faible occupation de cet espace d'autant plus que là où des fouilles de sauvetage ont eu lieu (autour du lac d'accumulation de Bicaz), deux sites chalcolithiques ont pu être documentés. Des conclusions similaires peuvent être faites à propos de l'espace limité par le triangle Focșani-Bârlad-Galați : ce document permet d'interpréter ce vide de l'occupation comme un biais de la recherche archéologique globalement absente de cette région méridionale. Enfin, on observera que les secteurs où le peuplement est surreprésenté et globalement fiable, se situent systématiquement à proximité des principales villes de la région dotées d'une université et/ou d'un service d'archéologie particulièrement actif depuis plusieurs décennies.

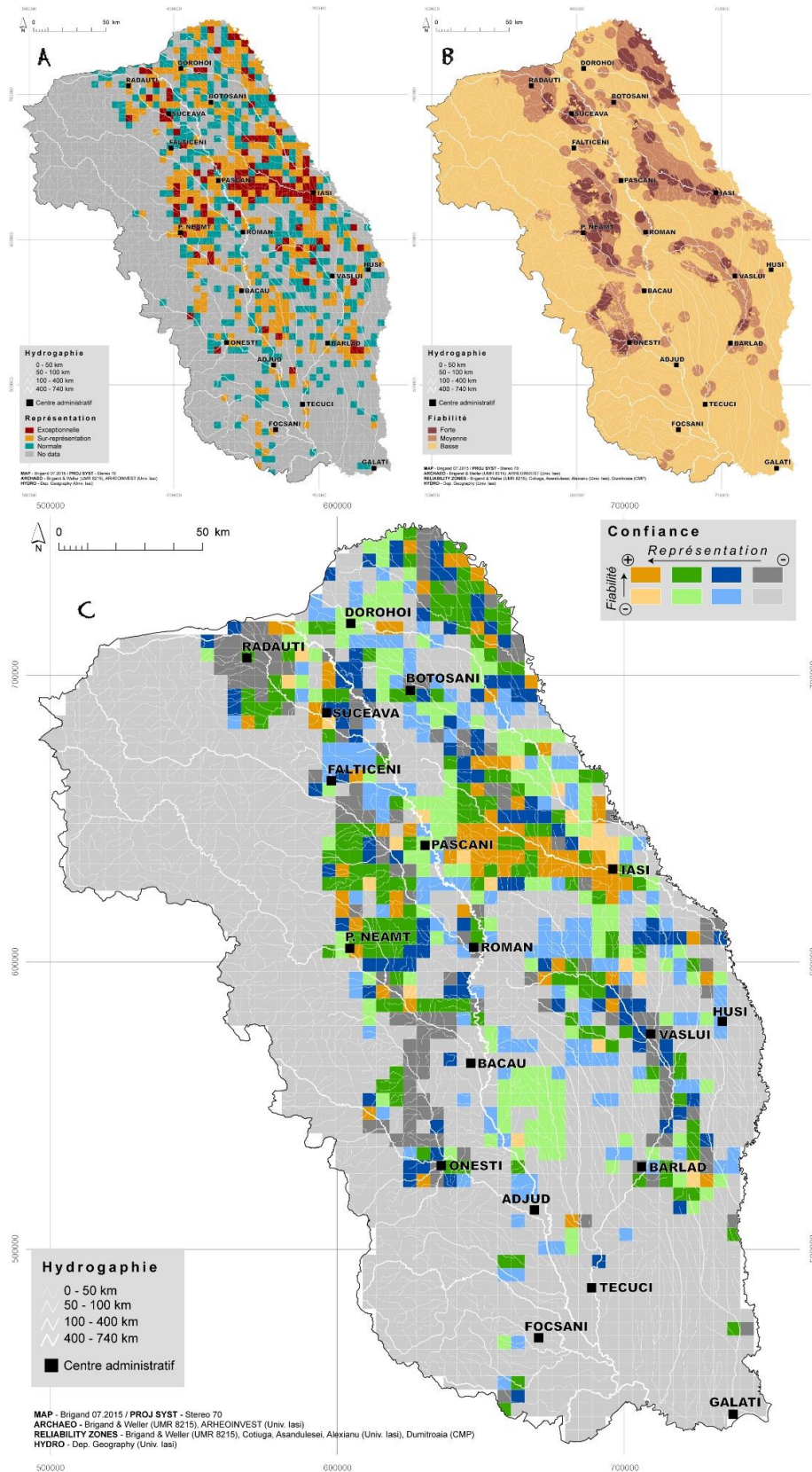


Fig. 76. A- Carte de représentation, B- Carte de fiabilité, C- Carte de confiance (Fond : dep. Géog. Iasi Univ, CAO : R. Brigand 2015).

5.2. La densité du peuplement

5.2.1. Espacement moyen et agrégation

En dépit des limites liées à la nature des investigations archéologiques menées en Moldavie, l'application de la méthode du plus proche voisin permet de caractériser la forme du semis de points. Elle s'appuie sur les caractéristiques de l'espacement entre les points, mobilisée dès les années 1950 par les écologues et géographes (Clark et Evans 1954, Haggett 1965) puis, par les archéologues spatialistes (Hodder et Hassal 1971, Hodder 1972). Il s'agit de déterminer et de comparer, en fonction de la période concernée, le degré d'agrégation du peuplement. Pour chaque période chronologique (Criș/Boian I, Céramique Linéaire/Boian II-III, Précucuteni/Boian IV, Cucuteni A/Stoicani-Aldeni, Cucuteni A-B et B), il s'agit de calculer l'indice d'agrégation de Clark et Evans (R), défini comme suit :

$$R = \frac{\bar{r}_a}{\bar{r}_e} \text{ where } \bar{r}_e = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}}$$

Où \bar{r}_a est la moyenne de la distance des sites à leur plus proche voisin et \bar{r}_e la moyenne du plus proche voisin dans le cas d'une distribution aléatoire d'une intensité de N/A avec $A =$ aire d'étude (46 200 km²) et $N =$ nombre de sites archéologiques (Tabl. 8, Fig. 77). Habituellement, l'interprétation de R est donnée comme suit: $R > 1$ si la trame tend à la régularité, $R = 1$ si la distribution est aléatoire et $R < 1$ si la trame est regroupée.

	N	R	\bar{r}_e	\bar{r}_a
Néo. I	191	0,5461	7773,2699	4244,7355
Néo. II	58	0,6140	14106,0829	8660,5368
Enéo. I	123	0,6982	9686,5221	6762,9940
Enéo. II	626	0,6522	4293,7155	2800,5171
Enéo. III-IV	466	0,6038	4976,5397	3004,7587

Tabl. 8. Caractérisation de la distribution des sites.

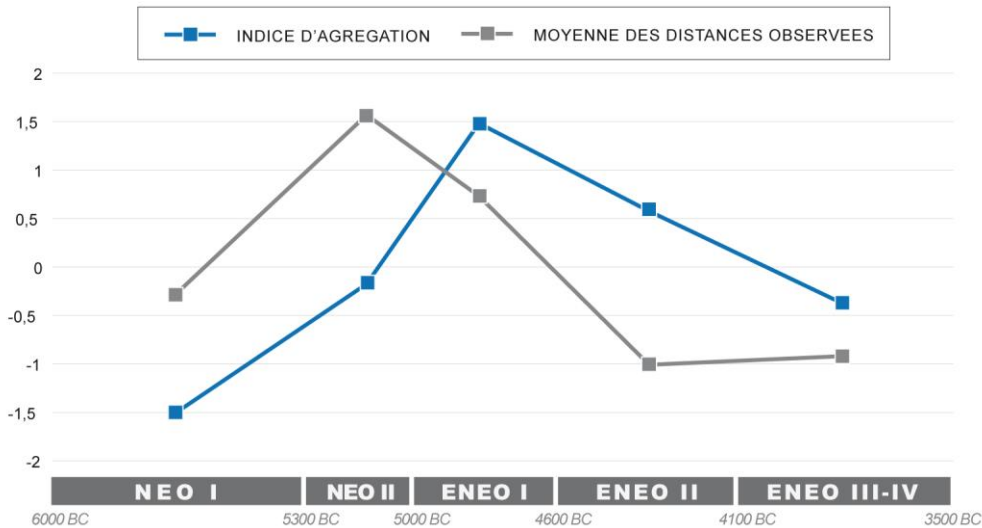


Fig. 77. Évolution des indicateurs d'espacement et d'agrégation. Les valeurs sont normées (DAO : R. Brigand).

5.2.2. Densité et dynamique

Afin d'aller au-delà de la distribution ponctuelle des sites, une estimation de densité de noyaux (KDE, voir la [partie 4](#)) permet de travailler sur une surface continue qui reflète l'intensité de l'occupation de l'espace. Le rayon h , qui détermine le degré de lissage des données, est établi ici à 5 km. Un problème majeur apparaît dès lors qu'il s'agit d'appliquer la méthode aux données archéologiques : pour le calcul des densités par période, les sites dont la calibration chronologique est insuffisante (24% de l'effectif total) ne sont pas pris en compte. Aussi, afin de prendre en compte ces sites mal calibrés, nous avons décidé d'attribuer une pondération en accord avec la durée de chaque période (voir la [partie 1.1.2](#) et [Fig. 3](#)). Par exemple : à un site bien calibré une valeur de 1 est attribuée. En revanche, à un site mal calibré dans le Cucuteni, sont données pour valeurs 0,45 pour le Cucuteni A et 0,55 pour le Cucuteni A-B et B. Le protocole est identique pour les sites mal calibrés dans le Néolithique ou l'Enéolithique. Ces cartes de densité par période servent à l'élaboration de cartes de différence de densité qui permettent de visualiser les évolutions, nulles, négatives ou positives, entre deux séquences chronologiques. La méthode s'appuie sur l'algèbre de cartes, c'est-à-dire la combinaison mathématique de grilles raster cellule par cellule ([Tomlin 1990](#)).

Afin d'évaluer la différence entre deux cartes de densité, nous utilisons le *Normalised Differential Ratio* (NDR, [Nuninger et al. 2012](#)), défini de la même façon que le Normalised Difference Vegetation Index ([Rouse et al. 1974](#)), à savoir :
$$NDR = \frac{(T1 - T0)}{(T1 + T0)}$$

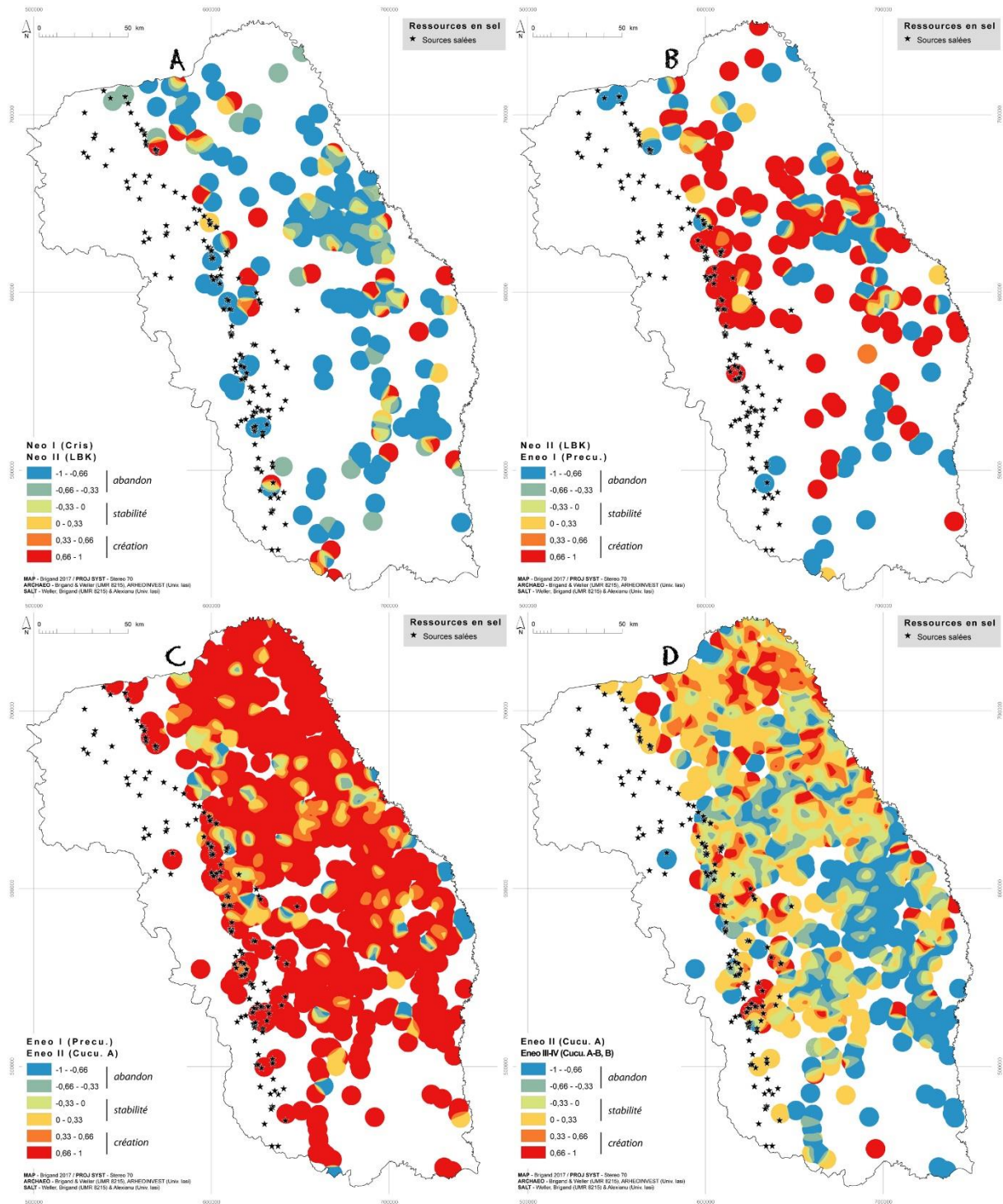


Fig. 78. Les différences de densité. A- Entre 6000 et 5000 BC, B- Entre 5300 et 4600 BC, C- Entre 5000 et 4100 BC, D- Entre 4600 et 3500 BC (données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2017).

Confrontées à la distribution des ressources en sel (Fig. 78), cette élaboration cartographique permet de visualiser la dynamique de peuplement entre deux séquences chronologiques et ainsi, de distinguer les secteurs les plus attractifs, de ceux plus stables et de ceux en déshérence et d'évaluer le rôle du sel dans la dynamique du peuplement néolithique.

5.3. Les paramètres dérivés de la topographie

5.3.1. La visibilité

Les études de visibilité font partie des outils classiques offerts par les SIG et ont été, à ce titre, largement utilisées pour répondre aux questions de territorialité propres aux sociétés humaines. Dans la mesure où un espace visuellement perçu est socialement approprié et, selon le statut de l'observateur, partiellement contrôlé, il est important de considérer les études de visibilité comme un outil de modélisation incontournable. Elles permettent en effet de reformuler certaines notions fondamentales pour l'étude des formes du peuplement : le territoire, conçu comme un espace occupé, transformé, approprié et contrôlé par un groupe social ; le statut ou rang, qui correspond aux différents niveaux de hiérarchisation du peuplement ; les relations entre différents lieux d'un système spatial, c'est-à-dire les questions de spécialisation et de complémentarité des entités archéologiques.

Le calcul des visibilité détermine les espaces qui peuvent être théoriquement vus à partir d'un ou de plusieurs points d'observation. Si cet outil proposé par les SIG est d'utilisation largement répandue, il est judicieux d'en rappeler certaines limites qui nous permettront, à terme, une meilleure compréhension des résultats. Trois limites essentielles doivent être évoquées. La première concerne la qualité du Modèle Numérique de Terrain. Dans notre cas, la précision du MNT (25 m) produit par K. Ostir de l'Université de Ljubljana (ZRC Sazu) à partir d'images radar ERS, permet des calculs précis et fiables. La seconde limite dépend de l'algorithme de calcul intégré au logiciel exploité et qui demeure inaccessible à l'utilisateur, sauf dans le cas de certains SIG libres (par exemple *Grass*) mais non explorés dans la présente recherche. Pour un même jeu de données, différents algorithmes aboutissent à des résultats sensiblement différents. La troisième limite dépend de la précision du géoréférencement. Dans la mesure où seul un nombre réduit de sites a bénéficié d'un relevé GPS (il aurait été impossible de les obtenir pour des effectifs aussi importants), il est évident que la modélisation des visibilité ne peut prétendre à une grande précision. Une autre limite est fondamentale. Elle provient de l'ignorance totale de certaines données écologiques telles que la végétation et la couverture arborée de l'époque. Néanmoins, et même si l'impact d'une forêt peut avoir un effet déterminant sur le champ visuel, nous avons choisi de ne pas prendre en compte ce paramètre en raison d'une difficile reconstruction de la paléovégétation, à plus forte raison sur des surfaces importantes. Les calculs de visibilité sont donc réalisés sur des bases exclusivement topographiques, même si on sait que l'intégration des données de nature écologique ne pose théoriquement pas de problème d'un point de vue purement technique.

À partir d'un observateur dont la taille est donnée à 1,70 m, plusieurs analyses ont été effectuées à l'échelle de la Moldavie centrale (département du Neamț et de Iași). Précisons auparavant que le champ de vision, limité à 12 km, est sensiblement plus haut que les valeurs proches de 10 km habituellement retenues par la recherche sur les visibilité théoriques. Notons que cette valeur, définie à partir d'observations de terrain en 2011, dépend naturellement de la taille de la cible. Nous considérons qu'un village, un petit groupe d'unités domestiques ou un troupeau situé dans un paysage ouvert est, dans des conditions météorologiques favorables, visible jusqu'à une distance de 12 km. Plusieurs types de calcul sont possibles. Le plus simple propose une carte binaire qui distingue le domaine visible de celui non visible à partir d'un simple point observation. Le domaine visible peut alors être quantifié, en km² : sa discrétisation permet d'offrir une première hiérarchisation selon l'importance des domaines visibles (Fig. 79) mais la mesure de la moyenne des domaines visibles par période donne aussi l'opportunité d'évaluer les évolutions, dans le temps, des domaines visibles

(Tabl. 9). Une carte de visibilité simple peut être associée à une ou plusieurs autres. Le résultat en est une carte de visibilité multiple dans laquelle les valeurs sont soit égales à 1 (visibles), soit égales à 0 (non visibles). En revanche, la somme algébrique de deux ou de plusieurs cartes de visibilité aboutit à une carte de visibilité cumulées. Dans ce cas, chaque cellule de la carte porte un nombre entier qui va de 0 à un nombre théorique maximum correspondant au nombre total d'observateurs (Fig. 80). Cette dernière situation ne se rencontre que si une cellule de la carte est visible par tous les observateurs. Le champ de vision étant ici limité à 12 km, cette situation ne peut se produire.

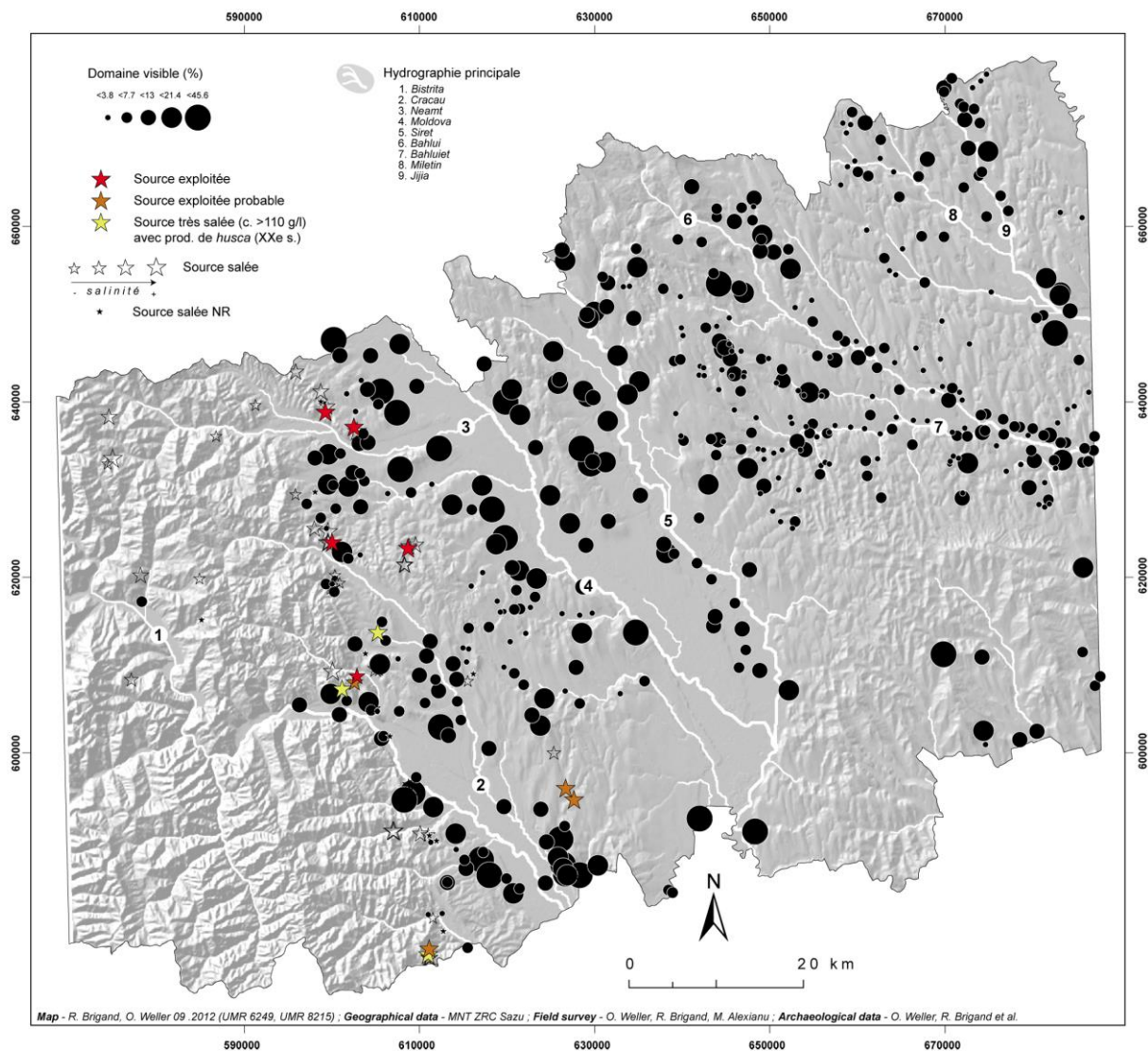


Fig. 79. Les domaines visibles en % par site (Moldavie centrale, département de Iași et du Neamț) (Fond : MNT ZRC Sazu, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2012).

Néo I	16,7 km ²
Néo II	27,1 km ²
Enéo I	31,5 km ²
Enéo II	32,5 km ²
Enéo III-IV	30,9 km ²

Tabl. 9. Valeur moyenne des domaines visibles par période (Moldavie centrale, département de Iasi et Neamt).

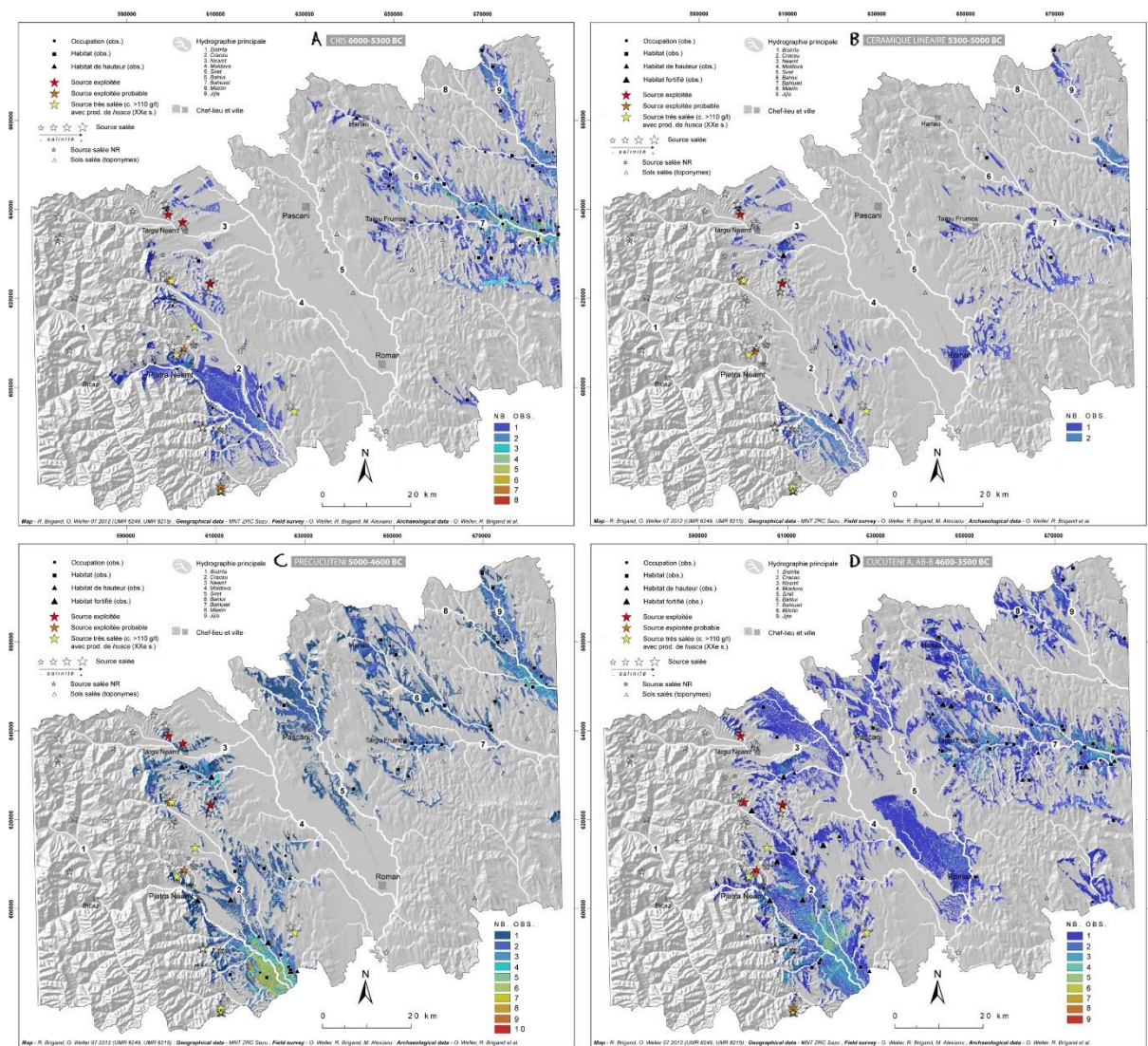


Fig. 80. Cartes des visibilité cumulées pour le Cri[?] (A), la Céramique Linéaire (B), le Précucuteni (C) et le Cucuteni (D). (Fond : MNT ZRC Sazu, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2012).

5.3.2. Autres variables topographiques

A l'échelle de la Moldavie, l'étude repose maintenant sur l'exploitation d'un modèle altimétrique de résolution moyenne (SRTM 90 m) couvrant toute la Moldavie. Un certain nombre de traitements permettent de contrôler plusieurs processus naturels. La méthodologie a largement été illustrée dans la littérature spécialisée (Wilson et Gallant 2000, Conolly et Lake 2006) et les méthodes de calculs y sont notamment décrites. Un lien spatial entre le site archéologique et les différents rasters produits permet ainsi d'enrichir la description des contextes sitologiques.

L'*ouverture du paysage* est une analyse morphométrique qui permet d'avoir une vue valable sur les principaux modelés (Yokoama et al. 2002). Elle repose sur la prise en compte, pour chaque pixel, de la ligne de visibilité sur 8 azimuts ($r = 10\ 000$ m) et de la mesure de l'angle de convexité et de concavité.

L'*indice topographique* (TPI) est quant à lui une comparaison de l'élévation de chaque cellule avec la moyenne d'un voisinage donné (500 m); un indice négatif représente des lieux plus bas que leur environnement (vallée, thalweg) alors qu'une valeur donnée positive correspond à un emplacement plus haut que le voisinage (crête).

La *visibilité totale* définit, pour chaque pixel, le nombre de pixels qui le voient (Llobera 2003). Cette analyse produit pour l'intégralité du paysage, un potentiel de visibilité qui va déterminer si un pixel se situe dans un environnement visuel ouvert ou fermé. Particulièrement chronophage et nécessitant une puissance informatique rarement disponible, ce calcul a été effectué sur un semis de points réguliers tous les 2000 m et un rayon de visibilité de 10 km.

Nous avons également calculé le nombre de connexions visuelles en situation d'intervisibilité ($r = 10\ 000$ m ; $h = 1,70$ m) selon la méthodologie suivie par Z. Cučkovic (2015). Le nombre de liens visuels est rapporté au nombre de sites archéologiques par période pour une meilleure évaluation du degré d'organisation territoriale. Les résultats sont présentés sur le [tableau 10](#) et la [figure 81](#) (valeurs normées).

	<i>n</i>	<i>Altitude</i>	<i>Visibilité totale</i>	<i>Indice topo.</i>	<i>Ouverture</i>	<i>Liens visuels</i>
Néo. I	191	179,13	21,56	-0,0043	1,5184	1,13
Néo. II	58	193,33	25,85	-0,0296	1,5239	0,413
Enéo. I	123	192,16	33,55	0,0976	1,5300	0,78
Enéo. II	626	207,78	24,60	0,1804	1,5202	1,942
Enéo. III-IV	466	197,97	27,27	0,2577	1,5228	2,182

Tabl. 10. Synthèse des variables dérivées de la topographie (moyenne par période).

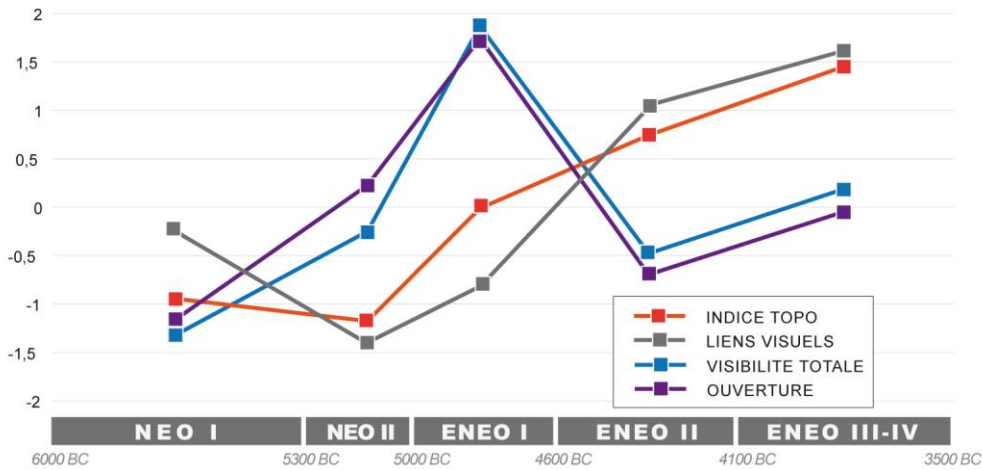


Fig. 81. Synthèse de l'évolution des contextes sitologiques (DAO : R. Brigand).

5.3.3. Accessibilité aux sources salées

L'objectif est ici de proposer une carte d'accessibilité aux sources salées de l'espace précarpatique. Notre démarche mobilise divers éléments du paysage – la topographie et l'occupation du sol – pour calculer les temps d'accès aux sources salées des piémonts. La procédure utilise la fonction « distance de chemin d'ArcMap ». Cette méthodologie qui vise la production d'un *least cost site catchment* est l'une des plus anciennes applications des SIG en archéologie (Gaffney et Stancic 1991), abondamment exploitée depuis (voir par ex. Barge et Chataignier 2004, Murrieta-Flores 2012, Herzog 2013). Elle peut être résumée sur plusieurs temps.

Il s'agit d'abord de définir une surface de friction qui fixe le niveau de contrainte affectant le déplacement. Son coût énergétique dépend de la valeur de la pente mais aussi du couvert végétal. Nous considérons donc les forêts d'altitude qui bordent à l'ouest notre zone d'étude comme un frein au déplacement pendant la Préhistoire récente (voir aussi les données paléo-écologiques dans Tanțau et al. 2003, Tanțau et al. 2011).

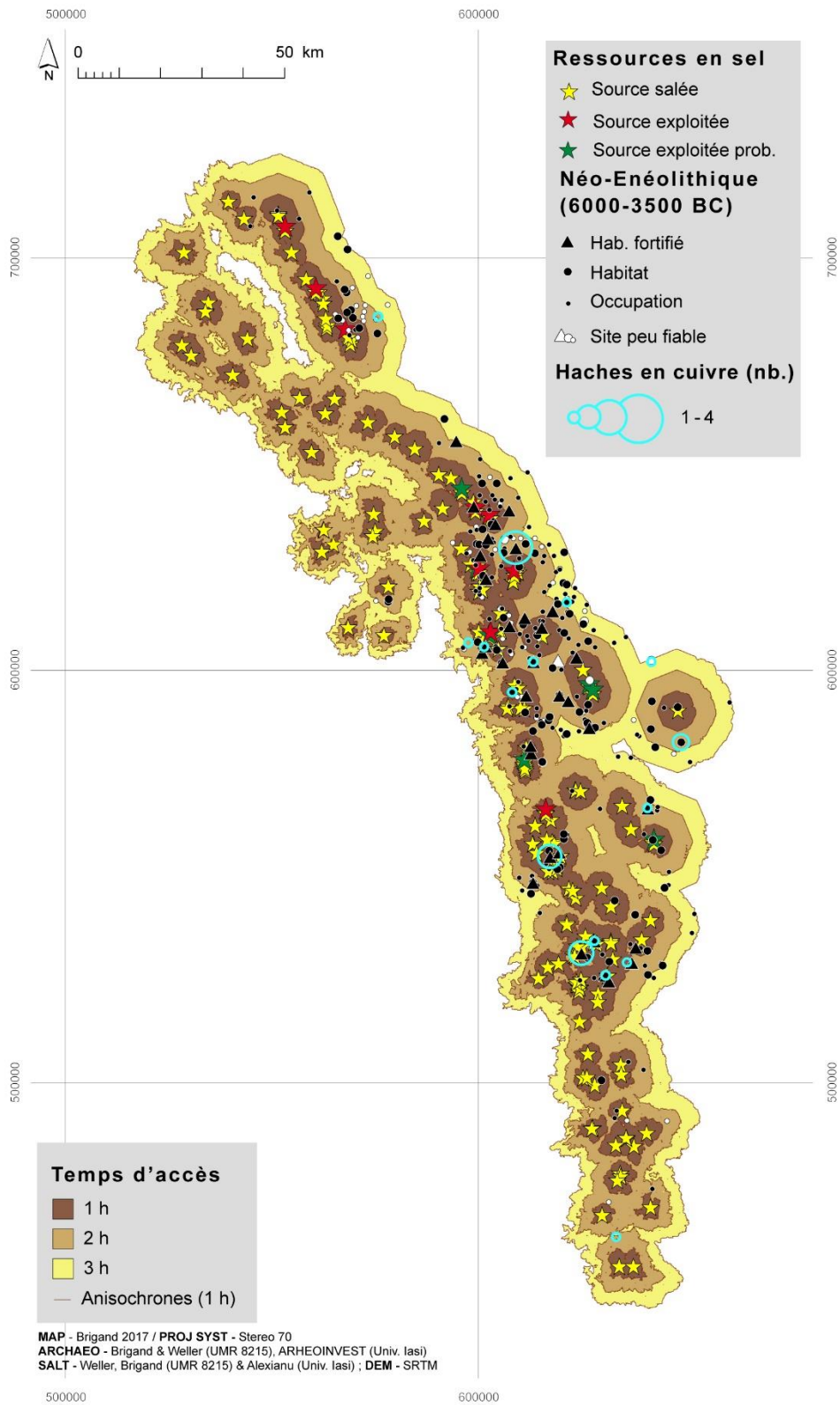


Fig. 82. Temps de parcours à une source salée (Fond SRTM, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2017).

Ainsi, la surface de contrainte (*input cost*) résultante prend en compte à hauteur de 20% l'existence d'une couverture arborée (*f*), déterminée à partir de la base *Corine Land Cover*. Ce sont donc 80% de la surface de friction que la surface topographique (la pente, *p*) soutient. La pente et l'occupation du sol, préalablement classifiée, sont associées afin de déterminer une surface de coût (*c*) pondérée comme suit : $c = 0,008 p + 0,002 f$. Elle est ensuite classée en quatre classes de contraintes. Ainsi parcourir 50 m en terrain très accidenté de pente supérieure à 40° et boisé (contrainte 4) occasionne une distance-coût de 4, équivalente à celle nécessaire pour parcourir une distance de 200 m en terrain plat (pente inférieure à 10°) sans couvert forestier.

Ensuite, afin d'obtenir une estimation du temps anisotrope (la direction du mouvement est prise en compte, ici vers la source), la *Tobler's Hiking Function* (Tobler 1993) est exploitée. Le MNT (*input surface*) est utilisé comme facteur vertical pour augmenter ou réduire le coût que représente la traversée de chaque pixel : un gradient de pente de 0° possède le coût le plus bas et inversement une valeur supérieure à 70° et plus représente le coût le plus important. La vitesse standard de déplacement utilisée est de 5 km/h (Fig. 82). La carte des temps d'accès est arrêtée à trois heures. Dans ce rayon et dans un intervalle de 30 minutes de marche chacun, nous avons mesuré le nombre d'habitats fortifiés, d'habitats non fortifiés et de haches en cuivre (Tabl. 11). Sachant que la superficie des différentes plages horaires est inégale et qu'elle influe potentiellement sur le nombre de sites contenus dans chacune d'entre elles, deux analyses complémentaires sont proposées : associer à la représentation du pourcentage de sites et de haches, le rapport du nombre de sites et de haches à la superficie de chaque plage de temps (valeurs normées) (Fig. 83a) ; proposer une étude similaire à partir de deux distributions aléatoires des données (Fig. 83b et c). Enfin, afin d'évaluer la dynamique du peuplement à proximité des sources salées des piémonts, nous proposons un tableau liminaire présentant le nombre de sites situés dans un rayon de trois heures d'une source salée (Tabl. 12).

-	0-30min (s=1038 km ²)	30min-1h (s=2240 km ²)	1h-1h30 (s=2544 km ²)	1h30-2h (s=2355 km ²)	2h-2h30 (s=2066 km ²)	2h30-3h (s=1681 km ²)	Total
Habitats fortifiés	8 (11,6%)	12 (17,4%)	8 (11,6%)	4 (5,8%)	1 (1,4%)	0	33 (47,8%)
Haches en cuivre	3 (5,3%)	8 (14%)	6 (10,5%)	5 (8,8%)	1 (1,8%)	1 (1,8%)	24 (41,1%)
Sites non fortifié	41 (2,6%)	48 (3%)	53 (3,3%)	44 (2,8%)	25 (1,6%)	16 (1%)	227 (14,3%)

Tabl. 11. Quantité de hache en cuivre, d'habitats fortifiés et de sites non-fortifiés à moins de trois heures d'une source salée.

		nb	%	Temps (min)
Néo. I	Cris/Boian I	18	9,4	64,3
Néo. II	CeLi/Boian II-III	8	13,8	64,9
Enéo. I	Précu./Boian IV	28	22,8	84,2
Enéo. II	Cucu. A/Stoicani-Aldeni	91	14,5	71,1
Enéo. III-IV	Cucu. A-B/Cucuteni B	88	18,9	71,5

Tabl. 12. Site d'habitat à moins de trois heures d'une source salée et distance moyenne.

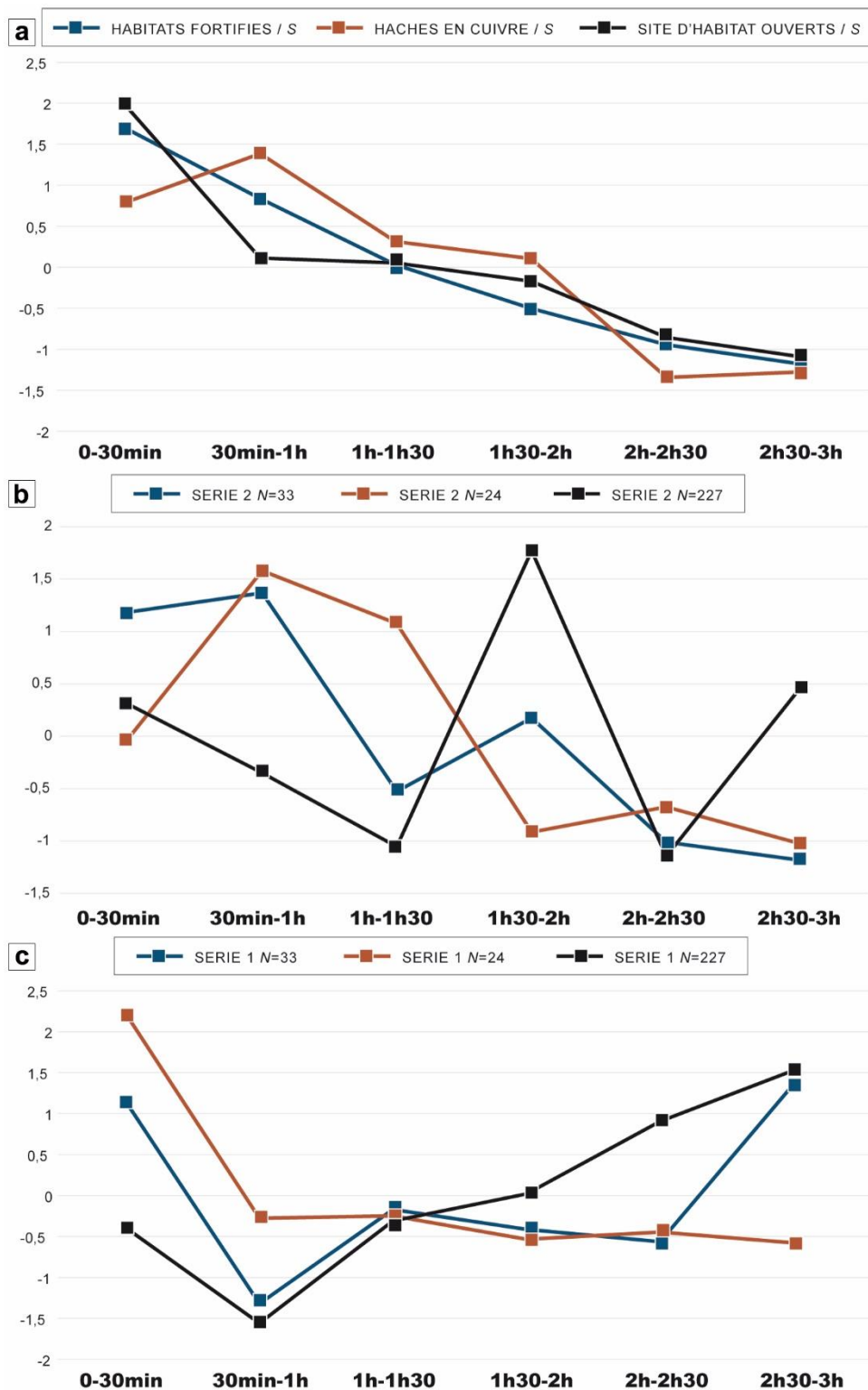


Fig. 83. A- Nombre de haches en cuivre, d'habitats fortifiés et d'habitats non-fortifiés situés dans un rayon de trois heures de marche d'une source salée pondéré à la superficie de chaque plage horaire (valeurs normées) ; B-C. À partir d'une distribution aléatoire (DAO : R. Brigand).

5.3.4. Construction d'un modèle prédictif

L'objectif du modèle prédictif élaboré dans ce projet est d'identifier des zones à haut-moyen-bas potentiels à partir d'une documentation archéologique connue et des relations entretenues avec des prédicteurs environnementaux. En Moldavie, il ne s'agit pas seulement de prédire la localisation de sites potentiels dans une perspective de prévention du risque archéologique. Il est surtout question de mesurer les relations entre un jeu de données archéologiques et un paysage décrit par un certain nombre de variables environnementales (29). Aussi la présentation des cartes de prédiction ne paraît pas le plus important (voir ci-après les Fig. 85 et 86). La méthode utilisée est inductive, c'est-à-dire guidée par des tests statistiques. L'analyse porte sur une partie restreinte de la Moldavie pour laquelle nous disposons d'un modèle numérique de terrain à haute résolution (20 m) réalisé par les collègues de l'Université de Ljubljana à partir des images radar ERS acquises dans le cadre du projet CNRS « Eau, Environnement, Société » (2003-2005). Il couvre 14 400 km² de Moldavie et intègre le secteur où les enregistrements archéologiques sont les plus nombreux – 49% des sites sont contenus dans une zone de 31% – et les plus fiables. Sur les huit prédicteurs environnementaux, sept sont dérivés de la topographie (Fig. 84). Plusieurs paramètres sont retenus : La visibilité totale a été réalisée selon un maillage régulier de points tous les 400 m, soit un total de plus de 90 000 points et un champ de vision limité à 10 km ; L'indice topographique a été calculé sur la base d'un voisinage de 200 m ; l'ouverture du paysage repose sur une ligne de visibilité calculée sur 10 km ; La construction des distances aux cours d'eau repose sur plusieurs traitements du modèle altimétrique : 1. calcul de la direction des écoulements puis des flux cumulés. 2. extraction du réseau hydrographique à un haut niveau de détail ; 3. calcul de la distance de plus faible coût cumulé en tenant compte des facteurs de coût verticaux. Nous exploitons également la carte des sols au 1:200 000, digitalisée à partir de la carte pédologique de Roumanie.

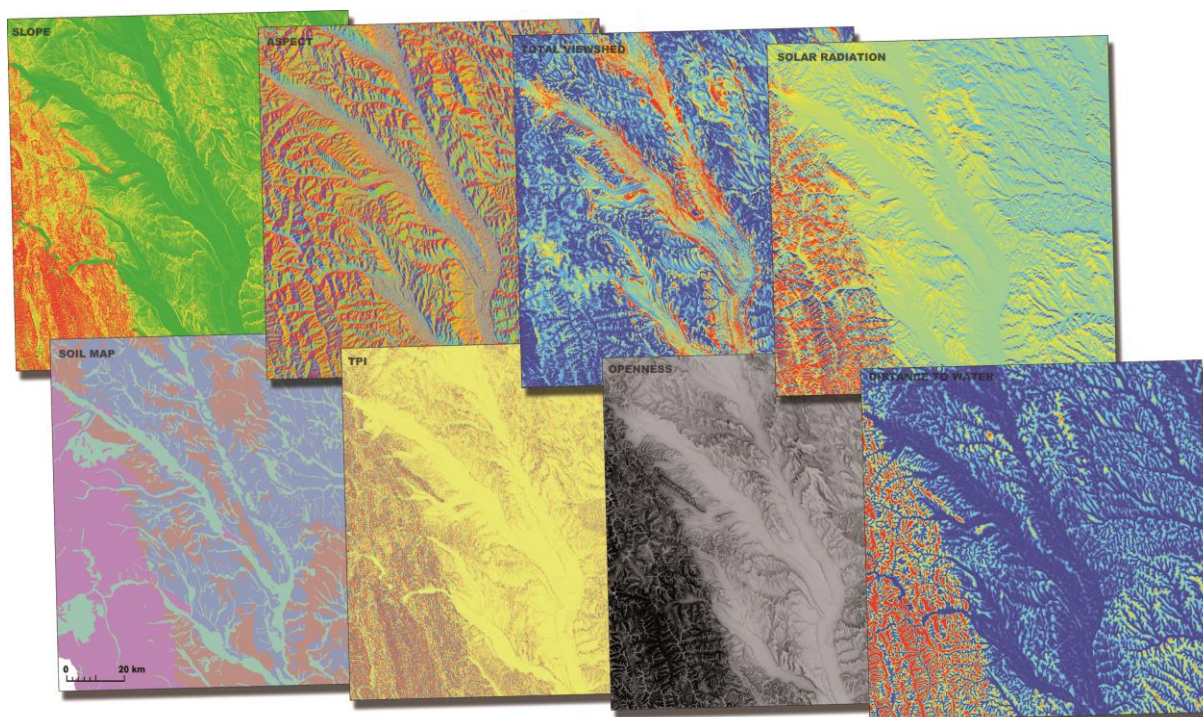


Fig. 84. Variables du modèle prédictif (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).

L'objectif étant de proposer une première classification des variables qualitatives, les 25 types de sols issus de la carte pédologique ont été regroupés en 4 classes renvoyant à différentes compétences agronomiques. Ces variables sont classifiées en un nombre limité de groupes afin de déterminer leur superficie, le nombre de sites archéologiques qu'ils contiennent et la valeur attendue (E), c'est-à-dire le nombre de sites par catégorie dans le cas d'une distribution uniforme. La classification des sols, effectuée avec les géographes de l'université de Iași, est structurée comme suit :

- la classe 1 ('vallée') correspond aux sols parfois hydromorphes des vallées alluviales ou des reliefs érodés, généralement formés de sédiments sablo-caillouteux dans une matrice marneuse ou argileuse ;
- la classe 2 ('pauvre') formés de sols peu propices aux activités agricoles, généralement dans les zones de montagne, puisque essentiellement composées de sols acides ou podzoliques ;
- Les sols steppiques bruns sont regroupés dans la classe 3 ('forêt'). Ce sont des sols peu différenciés qui se développent sous forêts de feuillus – disparues ou encore en place ;
- La classe 4 ('fertile') est composée des sols riches et très fertiles de type chernozems ainsi que d'autres sols steppiques à haute teneur en matière organique.

Le test du Chi2 est utilisé afin de déterminer si la distribution d'effectifs observée pour une variable peut être considérée comme étant équivalente à une distribution théorique. Cet outil permet de mesurer si une variable est statistiquement significative, sous réserve que les catégories possèdent au moins cinq sites. Dans certains cas, notamment pour les périodes où les effectifs sont faibles, la correction de Yates a été ajoutée. Une valeur critique de 0,001 signifie qu'il y a une probabilité de 99,9 % que la distribution des sites ne soit pas uniforme. En pratique, une valeur critique de 0,05 est largement suffisante (probabilité de 95%). Le rapport des pourcentages du nombre de sites observés (p_s) sur la superficie (p_a) est un premier moyen d'obtenir des informations sur l'importance de certaines unités pour la localisation des sites. Il a été systématiquement calculé. Pour les unités significatives et dont le gain statistique est conséquent ($G = p_s - p_a$), nous avons exploité le paramètre K_j (Wansleben et Verhart 1992, Verhagen et Berger 2001, Verhagen 2007) qui permet de caractériser l'importance d'une catégorie pour la localisation des sites :

$$K_j = \sqrt{p_s * (p_s - p_a)}$$

La valeur résultante est utilisée pour la pondération des unités cartographiques additionnées dans le SIG. Dans les tableaux présentés en annexe (Tabl. 13 et 14), elle est indiquée pour les variables retenues. Les unités qui possèdent les valeurs les plus hautes sont considérées comme les plus importantes pour l'implantation humaine et c'est donc à ce titre qu'elles reçoivent une pondération plus importante. La pondération des unités cartographiques est ici guidée par les tests statistiques (K_j) et en aucun cas suite à une approche déductive qui considérerait le poids accordé à telle ou telle unité selon les connaissances scientifiques des stratégies de peuplement pendant la période considérée. En ce qui concerne l'évaluation de la performance du modèle, nous utilisons la formule de gain statistique proposée par Kvamme (1988). C'est la méthode la plus largement exploitée pour estimer la robustesse d'un modèle, suite à sa classification en trois unités cartographiques de basse, moyenne et haute probabilités. Le gain est donné par : $G = 1 - p_s/p_a$ où p_s est la proportion de sites connus dans une zone de probabilité, et p_a la proportion de la superficie. Le modèle est évalué selon deux critères précisés par P. Verhagen (2007) : la finesse (*accuracy*) correspond à son exactitude et mesure s'il est correct ; la précision renvoie au degré de raffinement avec lequel les

opérations de classification, de test statistique et de pondération ont été menées. La précision évalue ainsi la capacité du modèle à définir la zone de probabilité haute.

				Néolithique													
				Cris (NEO I)							Céramique Linéaire (NEO II)						
	Unité	Sup. (km ²)	Pa (%)	n	Ps	E	Ps/Pa	gain	Chi2	Kj	n	Ps	E	Ps/Pa	gain	Chi2	Kj
Orientation	1. Plat	1183,67	8,21	8	0,082	7,962	1,005	0,040	< 0,05	0,0057	3	0,115	2,134	1,406	3,331	> 0,05	NA
	2. Nord	2677,50	18,57	22	0,227	18,009	1,222	4,114		0,0966	5	0,192	4,827	1,036	0,664		NA
	3. Est	4342,87	30,11	36	0,371	29,211	1,232	6,999		0,1612	12	0,462	7,830	1,533	16,039		NA
	4. Sud	3199,47	22,19	24	0,247	21,520	1,115	2,557		0,0795	4	0,154	5,768	0,693	-6,801		NA
	5. Ouest	3017,75	20,93	7	0,072	20,298	0,345	-13,709		NA	2	0,077	5,441	0,368	-13,233		NA
Distance à l'eau	1. < 3 min	2910,56	20,18	27	0,278	19,577	1,379	7,653	< 0,001	0,1459	3	0,115	5,247	0,572	-8,644	> 0,05	NA
	2. < 8 min	4434,21	30,75	45	0,464	29,825	1,509	15,644		0,2694	13	0,500	7,994	1,626	19,252		NA
	3. < 17 min	3686,09	25,56	19	0,196	24,793	0,766	-5,972		NA	8	0,308	6,646	1,204	5,209		NA
	4. > 17 min	3390,19	23,51	6	0,062	22,803	0,263	-17,323		NA	2	0,077	6,112	0,327	-15,816		NA
TPI	1. Vallée	3589,44	24,89	14	0,144	24,143	0,580	-10,457	< 0,05	NA	2	0,077	6,471	0,309	-17,198	< 0,001	NA
	2. Versant	7478,90	51,86	52	0,536	50,304	1,034	1,748		0,0968	10	0,385	13,484	0,742	-13,399		NA
	3. Terrasse	3352,92	23,25	31	0,320	22,552	1,375	8,709		0,1668	14	0,538	6,045	2,316	30,596		0,4059
Visibilité	1. Basse	4752,48	32,95	27	0,278	31,966	0,845	-5,120	> 0,05	NA	2	0,077	8,568	0,233	####	< 0,05	NA
	2. Moyenne	4960,96	34,40	39	0,402	33,368	1,169	5,806		NA	8	0,308	8,944	0,894	-3,631		NA
	3. Haute	4717,65	32,71	31	0,320	31,732	0,977	-0,754		NA	16	0,615	8,505	1,881	28,825		0,4212
Sol	1. Vallée	3088,83	21,76	41	0,423	21,109	1,942	20,506	< 0,001	0,2944	7	0,269	5,658	1,237	5,161	< 0,05	0,1179
	2. Pauvre	2806,82	19,78	5	0,052	19,182	0,261	-14,620		NA	1	0,038	5,142	0,194	-15,929		NA
	3. Forêt	3133,94	22,08	4	0,041	21,417	0,187	-17,956		NA	2	0,077	5,741	0,348	-14,387		NA
	4. Fertile	5164,11	36,38	47	0,485	35,292	1,332	12,070		0,2418	16	0,615	9,460	1,691	25,155		0,3934
Pente	1. < 5°	7945,85	55,10	81	0,835	53,445	1,516	28,407	< 0,001	0,4870	21	0,808	14,326	1,466	25,671	< 0,05	0,4553
	2. < 13°	4665,95	32,35	15	0,155	31,384	0,478	-16,891		NA	5	0,192	8,412	0,594	-13,124		NA
	3. > 13°	1809,46	12,55	1	0,010	12,171	0,082	-11,516		NA	0	0	3,262	0	-12,547		0
Rayonnement solaire	1. Faible	1067,04	7,40	2	0,021	7,177	0,279	-5,337	< 0,001	NA	0	0	1,924	0	-7,399	> 0,05	NA
	2. Moyen	5400,66	37,45	60	0,619	36,326	1,652	24,406		0,3885	15	0,577	9,737	1,541	20,243		NA
	3. Fort	6853,83	47,53	34	0,351	46,100	0,738	-12,474		NA	11	0,423	12,357	0,890	-5,218		NA
	4. Très fort	1099,74	7,63	1	0,010	7,397	0,135	-6,595		NA	0	0	1,983	0	-7,626		NA
Ouverture	1. Fermé	1943,93	13,48	1	0,010	13,075	0,076	-12,449	< 0,001	NA	0	0	3,505	0	-13,480	< 0,05	NA
	2. Moyen	4506,02	31,25	18	0,186	30,308	0,594	-12,689		NA	3	0,115	8,124	0,369	-19,707		NA
	3. Ouvert	7961,47	55,21	78	0,804	53,550	1,457	25,206		0,4502	23	0,885	14,354	1,602	33,255		0,5423

Tabl. 13. Synthèse des variables significatives pour le Néolithique.

		Enéolithique																				
		Precucuteni (Eneo I)							Cucuteni A (Eneo II)							Cucuteni A-B et B (Eneo III-IV)						
0	U	n	Ps	E	Ps/Pa	gain	Chi2	Kj	n	Ps	E	Ps/Pa	gain	Chi2	Kj	n	Ps	E	Ps/Pa	gain	Chi2	Kj
Orientation	1	6	0,078	6,320	0,949	-0,416	> 0,05	NA	21	0,066	25,937	0,810	-1,562	< 0,05	NA	0	0,000	20,027	0,000	-8,208	< 0,001	NA
	2	12	0,156	14,296	0,839	-2,982		NA	80	0,253	58,670	1,364	6,750		0,131	50	0,205	45,302	1,104	1,925		0,063
	3	32	0,416	23,188	1,380	11,444		NA	80	0,253	95,161	0,841	-4,798		NA	75	0,307	73,479	1,021	0,623		0,044
	4	15	0,195	17,083	0,878	-2,705		NA	78	0,247	70,107	1,113	2,498		0,079	60	0,246	54,133	1,108	2,404		0,077
	5	12	0,156	16,113	0,745	-5,341		NA	57	0,180	66,125	0,862	-2,888		NA	38	0,156	51,059	0,744	-5,352		NA
Distance à l'eau	1	18	0,234	15,540	1,158	3,194	< 0,001	0,086	46	0,146	63,776	0,721	-5,625	< 0,001	NA	34	0,139	49,245	0,690	-6,248	< 0,001	NA
	2	37	0,481	23,676	1,563	17,304		0,288	126	0,399	97,163	1,297	9,126		0,191	96	0,393	75,025	1,280	8,597		0,184
	3	19	0,247	19,681	0,965	-0,885		NA	102	0,323	80,770	1,263	6,718		0,147	83	0,340	62,367	1,331	8,456		0,170
	4	3	0,039	18,101	0,166	-19,612		NA	42	0,133	74,286	0,565	-10,217		NA	31	0,127	57,360	0,540	-10,803		NA
TPI	1	6	0,078	19,165	0,313	-17,098	< 0,001	NA	27	0,085	78,652	0,343	-16,346	< 0,001	NA	19	0,078	60,731	0,313	-17,103	< 0,001	NA
	2	37	0,481	39,932	0,927	-3,808		NA	105	0,332	163,878	0,641	-18,632		NA	82	0,336	126,539	0,648	-18,254		NA
	3	34	0,442	17,902	1,899	20,906		0,304	184	0,582	73,469	2,504	34,978		0,451	143	0,586	56,730	2,521	35,357		0,455
Visibilité	1	11	0,143	25,375	0,433	-18,669	< 0,001	NA	77	0,244	104,137	0,739	-8,588	< 0,001	NA	46	0,189	80,409	0,572	-14,102	< 0,001	NA
	2	25	0,325	26,488	0,944	-1,933		NA	95	0,301	108,705	0,874	-4,337		NA	82	0,336	83,937	0,977	-0,794		NA
	3	41	0,532	25,189	1,628	20,534		0,331	144	0,456	103,374	1,393	12,856		0,242	116	0,475	79,820	1,453	14,828		0,266
Sol	1	30	0,390	16,757	1,790	17,199	< 0,001	0,259	116	0,367	68,768	1,687	14,947	< 0,001	0,234	82	0,336	53,099	1,544	11,845	< 0,001	0,200
	2	0	0,000	15,227	0,000	-19,775		NA	16	0,051	62,489	0,256	-14,712		NA	9	0,037	48,251	0,187	-16,087		NA
	3	7	0,091	17,001	0,412	-12,989		NA	45	0,142	69,772	0,645	-7,839		NA	26	0,107	53,875	0,483	-11,424		NA
	4	40	0,519	28,015	1,428	15,565		0,284	139	0,440	114,971	1,209	7,604		0,183	127	0,520	88,775	1,431	15,666		0,286
Pente	1	65	0,844	42,426	1,532	29,317	< 0,001	0,497	238	0,753	174,110	1,367	20,218	< 0,001	0,390	199	0,816	134,439	1,480	26,459	< 0,001	0,465
	2	12	0,156	24,913	0,482	-16,770		NA	78	0,247	102,241	0,763	-7,671		NA	44	0,180	78,945	0,557	-14,322		NA
	3	0	0,000	9,661	0,000	-12,547		NA	0	0	39,649	0	-12,547		NA	1	0,004	30,615	0,033	-12,137		NA
Rayonnement solaire	1	1	0,013	5,697	0,176	-6,100	< 0,001	NA	11	0	23,381	0	-3,918	< 0,001	NA	3	0,012	18,054	0,166	-6,170	< 0,001	NA
	2	34	0,442	28,836	1,179	6,707		0,172	162	0,513	118,340	1,369	13,817		0,266	128	0,525	91,376	1,401	15,010		0,281
	3	42	0,545	36,595	1,148	7,020		0,196	136	0,430	150,182	0,906	-4,488		NA	110	0,451	115,963	0,949	-2,444		NA
	4	0	0,000	5,872	0,000	-7,626		NA	7	0	24,098	0	-5,411		NA	3	0,012	18,607	0,161	-6,396		NA
Ouverture	1	0	0,000	10,379	0,000	-13,480	< 0,001	NA	0	0	42,595	0	-13,480	< 0,001	NA	2	0,008	32,890	0,061	-12,660	< 0,001	NA
	2	7	0,091	24,059	0,291	-22,155		NA	62	0,196	98,736	0,628	-11,625		NA	32	0,131	76,239	0,420	-18,131		NA
	3	70	0,909	42,509	1,647	35,703		0,570	254	0,804	174,453	1,456	25,173		0,450	210	0,861	134,704	1,559	30,859		0,515

Tabl. 14. Synthèse des variables significatives pour l'Enéolithique.

Pour le Néolithique ancien (Criș, Neo I), le modèle est très fin puisqu'il capture 71,1% des sites dans une zone de haute potentialité correspondant à 32,6% du total (Tabl. 15). Cette résolution fine du modèle traduit une nette cohérence des modalités du peuplement néolithique, bien caractérisée par la délimitation des unités cartographiques. De plus, il est relativement précis avec un gain statistique de 0,541.

	Ps	Pa	Gain (Kvamme)
Low prob.	0,082	0,341	-3,132
Medium prob.	0,206	0,333	-0,615
High prob.	0,711	0,326	0,541

Tabl. 15. Performance du modèle pour le Cris (Neo I).

Le modèle obtenu pour la Céramique Linéaire (Neo II) est singulièrement différent (Tabl. 16), tout d'abord parce que les vallées alluviales présentent une probabilité d'occupation très basse – la variable 'hydrographie' est exclue du modèle en raison d'un test statistique (Chi2) défavorable (Tabl. 13). Si le modèle manque de finesse – 57,7% des sites sont dans une zone de forte probabilité équivalant à 25,6% du total – il est en revanche relativement précis avec un gain de 0,556. La performance du modèle pour la Céramique Linéaire est néanmoins discutable en raison de l'échantillon de sites connus particulièrement réduit.

	Ps	Pa	Gain (Kvamme)
Low prob.	0,077	0,335	-3,356
Medium prob.	0,346	0,409	-0,180
High prob.	0,577	0,256	0,556

Tabl. 16. Performance du modèle pour la Céramique Linéaire (Neo II).

Pour l'une ou l'autre période, notons enfin que le gain négatif relativement important pour les zones de probabilité basses suggère que le modèle est relativement pertinent pour identifier les zones de bas potentiel archéologique. Pour les trois périodes de l'énéolithique – Precucuteni (Eneo I), Cucuteni A (Eneo II), Cucuteni A-B et B (Eneo III-IV) – les performances des modèles sont sensiblement proches (Tabl. 17 à 19). Très fins pour les Precucuteni et Cucuteni A-B et B – respectivement 79,2% et 81,9% des sites sont dans des superficies de haute probabilité de 32,7% et 27,8% – ils sont relativement précis avec des gains statistiques allant de 0,557 (Cucuteni A) à 0,587 (Precucuteni). Le Cucuteni A-B et B dénote singulièrement avec une valeur qui avoisine les 0,661. Cette valeur haute est essentiellement due au fait que la probabilité basse est reportée dans les zones de haute et moyenne probabilité.

	Ps	Pa	Gain (Kvamme)
Low prob.	0,013	0,344	-25,506
Medium prob.	0,195	0,329	-0,689
High prob.	0,792	0,327	0,587

Tabl. 17. Performance du modèle pour l'Énéolithique ancien (Precucuteni, Eneo I).

	Ps	Pa	Gain (Kvamme)
Low prob.	0,073	0,356	-3,893
Medium prob.	0,291	0,362	-0,243
High prob.	0,636	0,282	0,557

Tabl. 18. Performance du modèle pour l'Énéolithique moyen (Cucuteni A, Eneo II).

	Ps	Pa	Gain (Kvamme)
Low prob.	0	0,382	NA
Medium prob.	0,181	0,341	-0,883
High prob.	0,819	0,278	0,661

Tabl. 19. Performance du modèle pour l'Enéolithique final (Cucuteni A-B et B, Eneo III-IV).

Selon les périodes, le modèle prédictif élaboré est globalement fin – tout particulièrement pour le Crîș, le Precucuteni et le Cucuteni A-B-B – mais manque légèrement de précision puisque les valeurs de gain oscillent autour de 0,55. Cette valeur relativement basse est partiellement due à l'optimisation du modèle et aux choix de pondération. Tout dépend en réalité de l'objectif du modèle. A ce titre, rappelons les avertissements de P. Verhagen (2007) : s'il s'agit de protection du patrimoine et de prévention du 'risque archéologique' dans le cadre de l'aménagement du territoire, la finesse du modèle est le paramètre primordial. En effet, une finesse faible présente un haut risque archéologique puisque toute zone classée en probabilité basse sera de fait plus vulnérable car plus aisément menacée par les aménageurs et moins surveillée par les archéologues. Ainsi, dans cette optique de définition de la qualité d'un modèle, la finesse est le paramètre d'ordre un et la précision ne vient qu'ensuite.

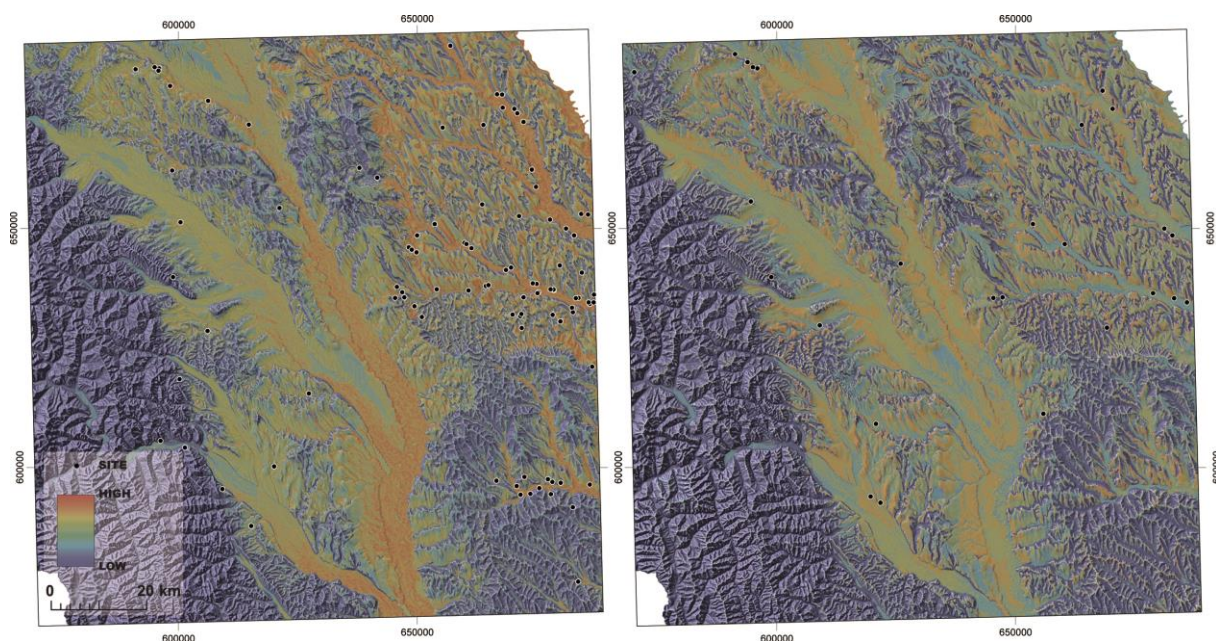


Fig. 85. Cartes de prédiction pour le Néolithique ancien (à gauche) et le Néolithique moyen (à droite) (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).

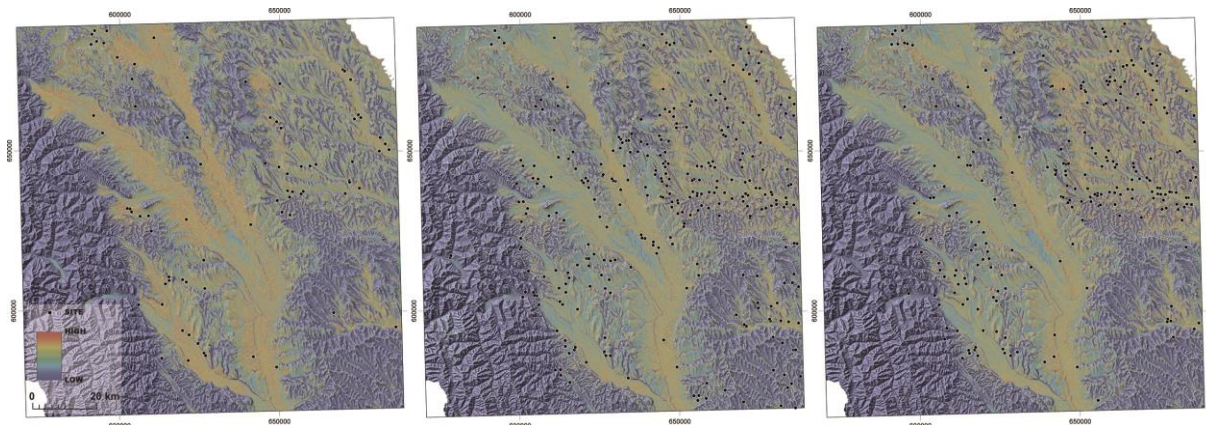


Fig. 86. Cartes de prédiction de l'Enéolithique ancien (à gauche) à l'Enéolithique final (à droite) (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).

5.4. Synthèse

Les analyses présentées ci-dessus permettront de dresser une première esquisse de la dynamique des peuplements néolithiques et énéolithiques de Moldavie. Rappelons qu'à l'exception des cartes dites de transition (Fig. 78), nos analyses ne prennent en compte que les sites dont la chronologie est bien connue, soit environ 76% du corpus de données.

5.4.1. La dynamique du peuplement

Les sites d'habitat du Néolithique ancien (Néo. I) sont peu nombreux et montrent une tendance très forte à la concentration (Tabl. 8, Fig. 75, $R=0,54$) qui s'estompe jusqu'à la toute fin du Néolithique et le début de l'Énéolithique (Enéo I, $R=0,69$). Cette tendance à la dispersion du semis jusqu'à la première moitié du 5^e millénaire accompagne une rétraction sensible du peuplement, tout particulièrement durant le Néolithique moyen (Néo. II), où on observe un éclatement des noyaux forts de l'occupation dont rend compte la moyenne haute des distances observées ($\bar{r}_a = 8860$ m). C'est précisément cette dynamique que révèle la carte de transition (Fig. 78a) entre le Criș et la Céramique Linéaire. La courbe du nombre de sources salées exploitées suit celle du peuplement, tout du moins jusqu'à la première phase de l'énéolithique (Fig. 75). Le Néolithique ancien (Néo. I) est dominé par un modèle d'implantation cohérent : les sites se situent dans les zones de vallée et sur des terrasses modestes à proximité de cours d'eau mineurs (Fig. 77, Tabl. 10). C'est ce qui ressort des valeurs très basses de l'indice topographique, de la visibilité totale comme de l'ouverture du paysage. En dépit de cette disposition dans les vallées, on observe que la connexion visuelle entre les sites demeure à un niveau relativement élevé, ce qui suggère un soin particulier porté à l'intervisibilité des implantations constituant les noyaux de peuplement. Cette valeur haute doit être mise en parallèle à l'indice d'agrégation (Fig. 77), lequel traduit une forte concentration du peuplement. La Céramique Linéaire (Néo. II) est caractérisé par une diminution sensible de l'indice topographique (Fig. 81, Tabl. 10). Il indique une poursuite une tendance continue à l'établissement dans les vallées et à proximité des cours d'eau. Néanmoins, l'augmentation de la valeur d'ouverture comme celle de la visibilité totale appelle à une observation essentielle : bien que majoritairement de vallée, les sites s'établissent désormais dans des milieux plus ouverts et dont le champ visuel est

sensiblement plus large. Pour autant, les situations d'intervisibilité sont peu nombreuses, notamment en raison d'une dispersion importante des établissements.

À l'échelle de la fenêtre centrale, la construction du modèle prédictif permet d'aller plus loin (Tabl. 13). Les habitats Criș privilégient les pentes très légères, orientées vers le nord, l'est et le sud, et les petites terrasses. La distance à l'eau est une variable discriminante, tout particulièrement les créneaux horaires inférieurs à 8 et 3 minutes. L'importance de la proximité des cours d'eau, rivières, ruisseaux voire rus situés dans des environnements ouverts se traduit également par l'occupation privilégiée des sols de vallée. En ce qui concerne la visibilité totale, la valeur du Chi2 est nettement supérieure à 0,05 : il faut donc relativiser l'importance de cette variable pour ce qui relève de l'implantation du Néolithique ancien. Pour la Céramique Linéaire, les effectifs sont très faibles (26). Par conséquent, le test du Chi2 ne peut être fiable que rarement, le nombre de sites par unité cartographique étant souvent inférieur à 5. Néanmoins, les valeurs calculées, soumises à la correction de Yates quand nécessaire, ainsi que les valeurs K_j et le ratio p_s/p_a indiquent que les unités significatives pour l'implantation des sites à un niveau de 95% de probabilité (99,9% pour l'indice topographique) sont : 1. les terrasses situées dans les vallées alluviales (Sol 1) ou celles très fertiles (Sol 4) ; 2. les pentes douces et les paysages très ouverts. La performance du modèle pour la Céramique Linéaire est discutable en raison de l'échantillon de sites connus particulièrement réduit.

Durant le Precucuteni (Eneo I), la tendance est à la dispersion avec une distance moyenne observée encore haute ($\bar{r}_a=6762$ m) et un indice d'agrégation qui indique une plus forte dispersion (Tabl. 8, Fig. 77). Il est intéressant de constater que cette réorganisation de la trame territoriale accompagne un léger sursaut du peuplement (+65 sites) mais surtout un véritable bond dans l'exploitation du sel puisque le nombre de sources où des indices d'exploitation sont documentés passent de 2 à 5 (Tabl. 7, Fig. 75). La carte de transition (Fig. 78) et le tableau 10 confortent l'idée d'une stratégie d'implantation en lien avec le contrôle des principaux corridors fluviaux. La carte des visibilités cumulées (Fig. 80c) montre également l'investissement conséquent des vallées de la Bistrita et du Cracau, principales rivières des piémonts. Avec la première moitié du cinquième millénaire, i.e. la fin du Néolithique et les débuts de l'Enéolithique moldave (Enéo. I), on assiste à l'évolution notable des contextes topographiques (Tabl. 10, Fig. 81). On observe tout d'abord que les hautes et moyennes terrasses sont privilégiées ce qui traduit une tendance à l'établissement sur des promontoires largement ouverts et dont le degré de soumission à la vue est particulièrement élevé. On constate néanmoins que le nombre de liens visuels demeure modeste, ce qui traduit une dispersion des établissements assez grande (voir aussi l'indice d'agrégation). Durant les phases pleinement consolidées et développées de l'Enéolithique moldave (Enéo. II), le nombre de sites augmente radicalement (+ 503 sites) alors que l'exploitation du sel demeure à un niveau constant (Fig. 75). La forme de l'organisation territoriale est désormais bien distinguée avec un motif encore dispersé ($R=0,65$) et une distance moyenne qui atteint là son score le plus bas ($\bar{r}_a=2800$ m) et traduit ainsi une très forte densité de l'occupation. Entre le Precucuteni (Eneo I) et le Cucuteni A (Eneo II), on enregistre quelques abandons très marginaux (Fig. 78) mais surtout de très nombreuses créations couvrant quasiment toute la zone d'étude. L'expansion du Cucuteni A est particulièrement manifeste dans les terrains propices à l'agriculture – à l'échelle de la zone 2, voir la synthèse des variables significatives du modèle prédictif (Tabl. 14) – mais aussi à proximité des sources salées. Notons néanmoins que par rapport à la période précédente, ce phénomène est moins localisé sur les secteurs riches en sel au profit d'un contrôle territorial qui dépasse largement le cadre des seules vallées à sel.

Mise à part la valeur de l'indice topographique qui continue à augmenter pendant l'Enéolithique moyen (Eneo. II) – connotant le renforcement du nombre d'habitats perchés – celle de l'ouverture du

paysage comme celle liée à la visibilité totale chutent de façon drastique (Fig. 81, Tabl. 10). Il s'agit là d'une conséquence de la diversification des formes de l'occupation du sol constatée durant la seconde moitié du 5^e millénaire. Bien que souvent perchés, les habitats de l'Enéolithique moyen occupent désormais une très large variété de vallées, qu'elles soient larges et visuellement très ouvertes ou bien étroites et très peu visibles. Le nombre de liens visuels va en augmentant : il réfère à une occupation du sol très hiérarchisée et à un investissement territorial massif. Il indique aussi une réorganisation des peuplements qui reposerait sur une structuration des territoires bien distincte des périodes précédentes. C'est ainsi que de nouvelles pratiques agro-pastorales, fondées sur une mobilité accrue des unités domestiques, pourraient expliquer le nombre particulièrement important de sites néolithiques, tout particulièrement du Cucuteni A. La fin de l'Enéolithique (Eneo III-IV) est marquée par une intensification de l'exploitation du sel et une sensible rétraction du peuplement (-160 sites) qui, s'il est toujours très dense ($\bar{r}_a=3004$ m), n'en devient pas moins plus concentré qu'il ne l'était auparavant ($R=0,60$) (Tabl. 8, Fig. 77). La transition entre le Cucuteni A et le Cucuteni A-B et B (Fig. 78) est révélatrice d'un recentrement de l'habitat puisque le renforcement des réseaux d'habitat s'effectue en parallèle à un tissu de site déjà bien organisé – tout particulièrement dans les piémonts salifères et au nord-est de la zone d'étude. La tendance à la diversification des écosystèmes occupés s'inverse à nouveau à la fin de l'Enéolithique (Eneo III-IV) : les valeurs hautes de l'ensemble des indices topographiques tendent à souligner une réorganisation territoriale qui passe par un déplacement de l'occupation vers des habitats de hauteur situés dans de larges vallées alluviales et de fait, un abandon des secteurs marginaux occupés pendant le Cucuteni A (Fig. 78). C'est également ce qu'indiquerait l'augmentation du nombre de liens visuels, ce qui irait dans le sens d'un durcissement des formes de l'occupation du sol ainsi que dans celui d'une concentration des zones de peuplement – voir également l'indice d'agrégation qui indique un semis très concentré.

Les résultats obtenus à l'échelle de la zone 2 confortent ces premières interprétations (Tabl. 13 et 14). Pour le Precucuteni (Eneo I), le Cucuteni A (Eneo II) et le Cucuteni A-B et B (Eneo III-IV), les unités cartographiques significatives sont peu ou prou les mêmes – exceptions faites de l'orientation et de la distance au cours d'eau – les seules différences étant quantitatives : elles indiquent l'importance de certaines unités pour la caractérisation des choix privilégiés des communautés préhistoriques. Par exemple, pour l'Enéolithique ancien, les unités les plus fondamentales sont les terrasses (ou promontoires) situées dans des paysages très ouverts et visibles, les sols humides de vallée et les secteurs dont la distance à l'eau est minime (moins de dix minutes). Pendant l'Enéolithique moyen (Cucuteni A), la recherche d'une proximité à l'eau se fait moins forte alors que les terrasses de hauteur – ouvertes et visibles, même si moins franchement que pendant le Precucuteni – sont privilégiées. A la fin de l'Enéolithique, peu de changements sont observés : les unités cartographiques 'terrasses et promontoires', 'très visibles' et 'ouverts' sont recherchées, avec notamment un attrait particulier pour les sols de vallées et très fertiles.

5.4.2. Sel et polarisation du peuplement

Rappelons tout d'abord l'inégale superficie des plages de temps autour des sources salées (Tabl. 11). Par exemple, elle est de 1000 km² jusqu'à trente minutes d'une source, de 2540 km² entre une heure et une heure trente minutes et de 1800 km² entre deux heures trente et trois heures. Ainsi, la probabilité qu'un grand nombre de sites soit contenu dans la plage horaire '1h-1h30' est d'autant plus forte que sa superficie est importante. Aussi, si le nombre d'habitats non fortifiés s'échelonnent

entre une heure et une heure trente est aussi important (53), ne serait-ce pas parce que cette plage horaire s'inscrit sur une grande superficie ? C'est pourquoi nous avons associé à la représentation du pourcentage de sites et de haches, le rapport du nombre de sites et de haches à la superficie de chaque plage de temps (valeurs normées) (Fig. 83a) et proposé une étude similaire à partir d'une distribution aléatoire des données (Fig. 83b et 83c). Le rapport du nombre de sites (fortifiés et non fortifiés) et de haches en cuivre est éloquent et montre des résultats singulièrement différents. En effet, le rapport à la superficie des plages horaires permet de mettre en avant la réduction sensible et régulière du nombre d'habitats fortifiés et de hache en cuivre – sauf entre trente minutes et une heure – au fur-et-à-mesure que la distance au sel augmente. Ce résultat est un argument de premier ordre : il illustre particulièrement bien le rôle attracteur de la ressource en sel à savoir sa capacité à stimuler les échanges et à attirer les biens de prestige, le contrôle et la surveillance dont elle est l'objet via la densité importante des habitats fortifiés.

On peut néanmoins s'interroger sur la présence d'autres ressources qui justifieraient cette forte concentration de richesses à proximité du sel. On sait par exemple qu'à l'est de Piatra Neamț, se trouvent des sols qui présentent un bon potentiel agronomique. Aussi, l'intensité de l'occupation archéologique dans ce secteur s'explique à la fois par la présence de sols très fertiles (chernozems) mais aussi par l'abondance et l'accessibilité de sources très salées aux caractéristiques propres à leur exploitation par les sociétés préhistoriques. La figure 87, réalisée à l'échelle de la Moldavie à partir de la classification des sols exploitée pour le modèle prédictif, présente la superficie des différents sols par plage horaire. Il montre que la surface des sols riches n'évolue pas ou sinon très peu entre les trente minutes et 3 heures de marche. Seuls les terrains limités à trente minutes d'une source présentent une superficie de sols agricoles très réduite. Nous pouvons en déduire que seule la présence du sel peut expliquer la très forte concentration de peuplement et de richesses à proximité directe de ladite ressource.

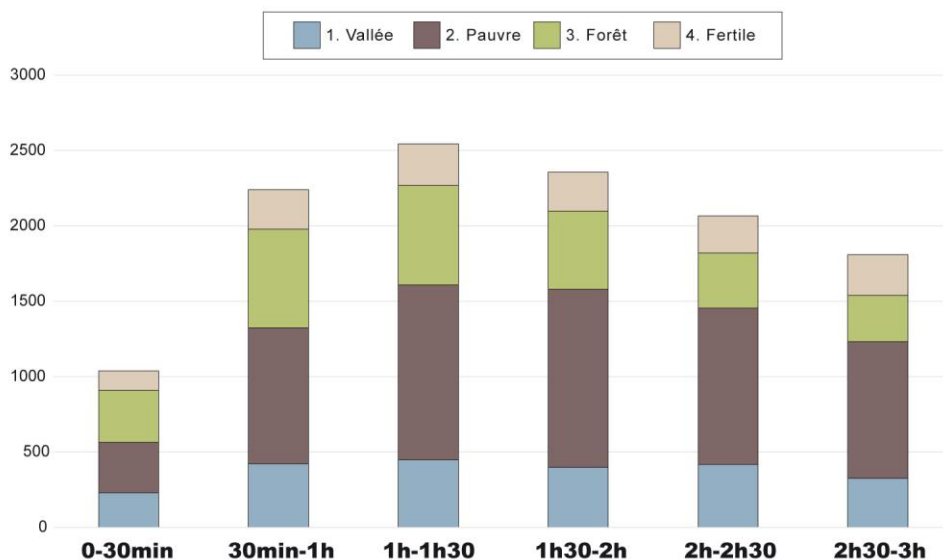


Fig. 87. Superficie (en km²) des plages de temps et importance des classes de sol (DAO : R. Brigand).

Qu'en est-il de la dynamique du peuplement autour des sources d'eau salée ? Le tableau 12, bien que liminaire, permet d'apporter certains éléments de réponse. On observe tout d'abord entre 6000 et 3500 BC, une augmentation régulière du nombre de sites situés dans un rayon de trois heures d'une source salée. Seul l'Enéolithique ancien (Précucuteni) dénote singulièrement avec un effectif

de sites qui équivalait à presque 23%. Cet accroissement de la fréquentation aux abords d'une source salée durant la première moitié du 5^{ème} millénaire s'effectue parallèlement à l'intensification de son exploitation (Fig. 75). Ce renforcement de l'occupation semble néanmoins privilégier les secteurs à distance moyenne comme si la proximité directe du sel était rarement recherchée. Les analyses morphométriques (Fig. 81) rappellent d'ailleurs que cette période est caractérisée par une stratégie d'occupation des promontoires très visibles qui dominent les larges corridors fluviaux et permettent l'accès et la circulation du sel. La valeur très haute de la visibilité totale comme de l'ouverture du paysage, associé au tableau des distances moyennes (Tabl. 10) semble dessiner des stratégies territoriales qui privilégient la surveillance des axes de communication et d'échange.

Avec cette recherche, nous avons souhaité enrichir notre compréhension des formes d'occupation et d'appropriation des milieux par les premières sociétés agro-pastorales. L'utilisation d'un SIG et l'exploitation cartographique et statistique des résultats ont permis de souligner la place du sel dans l'organisation territoriale et économique des sociétés de la Préhistoire récente. Le Néolithique ancien apparaît ainsi comme une première phase de colonisation pendant laquelle les ressources en sel sont recherchées sans néanmoins être intégrées à une organisation territoriale particulièrement structurée. Mis à part la fin du 6^{ème} millénaire, relativement mal documenté, cette contribution souligne l'ampleur des modifications territoriales qui adviennent dès le tout début du 5^e millénaire. L'identification de formes spécifiques de l'occupation du sol et de l'exploitation des ressources ouvre ainsi sur une compréhension plus fine du processus historique de la complexification sociale au cours de la Préhistoire récente. Ainsi, en travaillant sur un ensemble de paramètres tels que la distance inter-sites, le contexte topographique ou pédologique ainsi que l'évolution des relations de visibilité, nous pouvons mettre en évidence les implications territoriales de changements que l'on ne percevait auparavant qu'au niveau de l'architecture domestique, du mobilier ou l'évolution des rites et croyances. Cette approche menée pour la première fois à l'échelle de toute la Moldavie roumaine, permet d'affiner nos modèles d'occupation de l'espace et d'exploitation des ressources tout en mettant en exergue les grandes tendances au niveau de l'organisation des territoires, à la fois dans le temps et dans l'espace. Notre approche demeure néanmoins tributaire de la qualité des données archéologiques, souvent fragmentaires et lacunaires. Ainsi, plusieurs écueils majeurs sont documentés : la contemporanéité des sites d'habitat identifiés puisque l'on travaille souvent sur des pas de temps de plusieurs centaines d'années ; la caractérisation d'un site d'habitat, rendue souvent difficile pour cause de prospections ponctuelles et incomplètes. C'est dans ce cadre qu'a été entamée une réflexion autour de la modélisation prédictive. Cette dernière s'est avérée efficiente pour aller au-delà des cartes d'inventaire qui ne représentent qu'une partie de l'occupation du sol à un moment donné.

6. Le rôle des axes de circulation : une réflexion méthodologique

Étudier la diffusion d'un produit ce n'est pas simplement analyser ses transferts entre différents lieux, ni même son adoption plus ou moins progressive dans différents espaces, c'est également s'intéresser aux routes qui ont été les vecteurs de cette diffusion.

6.1. Étudier des réseaux

Il s'agit pour nous non seulement d'identifier les voies d'acheminement des produits lors de leurs transferts mais aussi de mettre en évidence la structuration et le fonctionnement d'un réseau plus ou moins complexe dans lequel les axes principaux concentrent et polarisent l'essentiel de la diffusion. En tant que pôles d'attraction pour les populations et axes stratégiques à contrôler pour les élites sociales, ils ont exercé une influence notable sur le peuplement et sur la structuration des territoires. En effet les « réseaux d'échanges » participent pleinement à l'expression des relations économiques mais aussi sociales et notamment aux relations de pouvoir et de dépendance ([Emerson 1962, 1972](#), [Marsden 1981, 1983](#), [Cook et al. 1983](#)). Ces circulations participent également à la mise en place et au fonctionnement des réseaux sociaux ([Felling 1975](#), [Emerson 1981](#), [Scott 2011](#), [Brughmans 2010, 2013](#)).

Il convient ici de détailler ce que l'on entend derrière les différents termes relatifs aux voies de circulation. Globalement, deux conceptions peuvent être distinguées : d'une façon très générale, on parlera d'axes ou de transects pour qualifier les principaux couloirs de circulation sans pour autant préciser les chemins réellement empruntés à travers le paysage. Il s'agit surtout d'identifier les grandes directions de la diffusion. Leur tracé correspond à un ensemble d'entités surfaciques plus ou moins vastes mais globalement longilignes encadrant une polyligne théorique (voir par exemple [Fig. 41](#)). L'échelle d'analyse est alors généralement petite (nationale ou européenne). On parlera par contre de chemins ou de voies lorsque les tracés sont identifiés physiquement et matérialisés dans le paysage par des aménagements voire des infrastructures. Ce type de chemins est généralement abordé à travers des exemples à l'échelle régionale ou locale. Enfin, le terme « route » peut prendre les deux sens : le réseau routier correspond bien à un ensemble de voies matérielles bien identifiées, tandis que les « routes de l'ambre », par exemple, correspondent davantage à de grands axes de diffusion.

L'étude de la circulation des produits nécessite de considérer l'espace d'une manière différente d'une analyse du peuplement ou d'interactions entre des lieux. Il ne s'agit pas simplement d'étudier des distances ou des densités au sein d'un espace surfacique, mais de prendre en considération la mobilité des produits le long d'une succession de routes. Ce type d'entité spatiale est par nature différente des autres lieux impliqués dans le cycle de vie des produits : il s'agit d'appréhender la gestion des artefacts au sein d'un espace linéaire, ce qui implique une approche profondément différente.

Par ailleurs cet espace linéaire est contraint à un ensemble d'entités spatiales défini et limité. Il devrait donc être conçu sous la forme d'un graphe ([Berge 1967](#), [Harary et al. 1965](#), [Harary 1969](#), [Dale](#)

et Fortin 2010)⁷⁰. Ainsi l'approche la plus pertinente sera d'étudier nos données via une analyse de réseau⁷¹ qui permet d'appréhender un phénomène de type relationnel⁷² impliquant un nombre déterminé de lieux et de routes⁷³. Dans notre cas, ce réseau est d'ordre matériel⁷⁴ même si le tracé des routes peut être plus ou moins précis (transects, couloirs, directions) : celles-ci possèdent nécessairement une inscription spatiale (coordonnées des sommets, tracé des voies)⁷⁵ et peuvent être évaluées car il est possible de hiérarchiser leur importance en fonction du nombre de produits transportés (Beauguitte 2016, p. 10).

D'une façon générale, les graphes que nous étudions ici sont orientés (Beauguitte 2016) puisqu'il s'agit, dans notre cas, de la diffusion de produits passant d'un lieu à un autre en suivant un parcours correspondant au déroulement de leur cycle de vie, même si, sur le plan spatial, il arrive fréquemment que les produits repartent en sens inverse et reviennent en direction de leur lieu de production originel. La diffusion n'est pas nécessairement linéaire, ni régulière, ni à sens unique.

Dans notre approche, peuvent être mobilisées deux formes différentes de réseaux : la première, conçue le plus souvent sous forme de graphes planaires⁷⁶ correspond aux "réseaux techniques" ou "réseaux de transport" (Kansky 1963, Dupuy et al. 1988, Beauguitte 2016) ; la seconde, constituée généralement de graphes non planaires,⁷⁷ est adaptée à l'étude des flux (commerciaux ou migratoires notamment). L'une nous amènera à nous intéresser au parcours individuel des objets mais aussi à la structuration physique du territoire et consistera donc en une étude essentiellement qualitative ; l'autre visera à quantifier les transferts sur un plan plus global.

Ces réseaux ne sont pas que des organisations réticulaires, mais également des objets géographiques contraints par un contexte topographique et social. Ainsi les routes étudiées seront décrites autant par leurs caractéristiques géographiques que relationnelles. Elles se définissent notamment par leur longueur, leur praticabilité, des contraintes de circulation (obstacles à franchir, passages obligés etc.), qui peuvent aussi bien être matérielles (liées à la topographie notamment), qu'immatérielles (taxes, interdits). Ces dernières sont souvent liées à la structure du territoire et à des enjeux politiques, économiques ou sociaux. Dans le même temps, la constitution des graphes pourra nous amener à évaluer des indicateurs classiques en analyse de réseaux, basés sur les concepts de nodalité, d'accessibilité, de centralité ou encore de circuité⁷⁸ (Chapelon 1996)⁷⁹, et donc à nous intéresser au positionnement des principaux lieux (noeuds) impliqués dans la structure même du

⁷⁰ Un graphe est un objet mathématique constitué de points (sommets) et de lignes (arcs) ; ce sont les attributs de ces entités qui font de l'ensemble un réseau. Le nombre de sommets est appelé « ordre » du graphe ; le nombre de liens, « taille » du graphe (Beauguitte 2016)

⁷¹ Pour une vue d'ensemble sur les réseaux dans leurs différents domaines d'application, voir Newman 2010. Pour un récapitulatif des analyses de réseau en Archéologie, voir Brughmans 2013.

⁷² On considère qu'il y a un effet « réseau » dès lors qu'il existe des « échanges ou, plus généralement, de[s] mises en relation entre les différents acteurs [du territoire] ». « Dans le domaine des transports, le réseau est défini avant tout par la structure sous-jacente organisant les échanges ou les relations sur le territoire ou sur la ville » (Gleyze 2007). Voir aussi Mathis 2003.

⁷³ Voir Beauguitte 2016.

⁷⁴ Concernant la description des différents types de réseaux et le vocabulaire afférent, voir Beauguitte 2010, 2016 et Dale et Fortin 2010.

⁷⁵ Voir la notion de graphe spatial dans Dale et Fortin 2010.

⁷⁶ Les liens sont supposés ne pas se croiser (Beauguitte 2010).

⁷⁷ C'est à dire que « les liens peuvent se croiser sans que cela pose un problème ou entraîne un coût » (L. Beauguitte, cours en ligne : <https://groupefmr.hypotheses.org/3640>).

⁷⁸ Détour par rapport à la ligne droite, imposé par l'utilisation du réseau, pour l'accès aux autres noeuds (Kansky 1989).

⁷⁹ Voir également la notion de capillarité : qualité de la desserte spatiale (Conesa 2010, p. 239), se rapportant au nombre de dessertes le long d'un trajet.

réseau. A ce titre il sera important de faire la part entre les « effets spatiaux » dépendant du positionnement *a priori* des sites dans l'espace géographique et des « effets réseau » qui sont les avantages procurés aux sites par le réseau lui-même (Gleyze 2007). Nous évaluerons ainsi si l'importance d'un centre (de redistribution, par exemple) est corrélée à sa position au sein du graphe ou si d'autres facteurs (une importance sociale ou culturelle ou bien la présence de ressources) ont favorisé son développement indépendamment de la structure du réseau.

Les distances pourront quant à elles être évaluées aussi bien en termes de distances métriques (euclidiennes) cumulées le long de tous les segments parcourus que par le nombre de lieux intermédiaires franchis (ou sommets du graphe), reflétant la complexité du parcours. L'analyse des réseaux permet de développer des indicateurs quantitatifs « construits à partir des caractéristiques des plus courts chemins observés entre les sommets du réseau, c'est-à-dire des chemins les plus courts en nombre d'arêtes. » (Gleyze 2007).

Il reste la question du temps puisque l'analyse de la circulation des produits vise à étudier un phénomène dynamique. Il est nécessaire, comme pour les approches précédentes, de distinguer le temps de l'objet (ici celui de ses transferts) et le temps que nous percevons au travers de la typologie, celui des grandes phases de la chronologie relative traditionnelle. Le premier est pratiquement insaisissable de notre point de vue. Il nous apparaît comme un « instantané », un résultat : l'objet est finalement parvenu jusqu'au lieu dans lequel il a été mis au jour. D'un autre côté, les contraintes liées à la datation relative nous amènent à visualiser les grandes évolutions sous la forme d'une comparaison d'états successifs, ces derniers correspondant à la cumulation de transferts sur une plus ou moins longue durée...

6.2. Appréhender la circulation des produits pour les périodes anciennes

Si l'analyse de réseau semble être le moyen le plus approprié d'aborder la question des transferts des produits, il n'en reste pas moins que la première difficulté pour nous sera d'identifier ces axes ou ces voies. Nous l'avons vu, la connaissance de la biographie des objets est primordiale pour étudier la diffusion des produits mais elle nécessite de reconstituer l'histoire de chaque objet et son parcours physique. Il faut donc identifier les différents lieux impliqués mais aussi les chemins empruntés. Pour les périodes protohistoriques, cela s'avère particulièrement difficile. Même si quelques chemins sont connus ou supposés pour les périodes anciennes (par ex. Millotte 1963, p. 244, Agache 1978, Chouquer dir. 1997, Rothé 2001, Desbrière 2016), et rarement pour les périodes antérieures au Second âge du Fer, ils ne le sont qu'à une échelle locale et sur de petites portions. Ces chemins ne représentent qu'un pourcentage infime des réseaux anciens et leur datation reste délicate.

Deux approches sont donc possibles : traiter de transects très larges considérés comme de grands axes de diffusion, ce qui limite considérablement les possibilités d'analyse, ou bien travailler à partir de voies hypothétiques. C'est le parti que nous proposons de prendre ici.

Deux arguments nous amènent à considérer le réseau hydrographique comme une base possible pour définir les principaux axes des réseaux de diffusion à longues distances aux périodes préprotohistoriques. Tout d'abord il serait vraisemblable que les voies les plus empruntées pour les transferts à longues distances aient été les plus rapides, faciles et/ou sûres, celles qui opposaient un moindre coût à la circulation des produits sur l'ensemble du parcours. Les chemins dits « optimaux » peuvent en effet constituer des voies plausibles notamment à une échelle très petite. Ne connaissant

pas vraiment les contraintes humaines à la circulation à ces périodes, notamment ce qui pourrait avoir été des frontières politiques ou culturelles, nous ne pouvons prendre en compte que des aspects topographiques. C'est en effet du relief que proviennent les principales contraintes naturelles aux déplacements des populations et a fortiori des produits. A l'échelle de l'Europe et de la France, qui sont les principales aires d'étude correspondant à nos jeux de données, ce sont les vallées qui représentent les axes de circulation les plus vraisemblables à l'intérieur du continent.

Ensuite, il convient de tenir compte de la répartition des découvertes. Même s'il est admis que les concentrations de données le long du réseau hydrographique résultent probablement partiellement de notre implantation actuelle, conférant à ces secteurs un meilleur potentiel archéologique, il est aussi avéré que les populations pré-protolithiques étaient également plus concentrées dans les vallées (Brun et Pion 1992, Mordant et Gouge 1992, Mordant et al. 1999-2000, Brun et al. 2005). Les variations au cours du temps de ces concentrations montrent d'ailleurs qu'il ne s'agit pas d'un effet simplement archéologique (Gauthier 2004). De la même façon, s'il n'est pas possible d'évaluer directement la quantité de produits en circulation le long d'un axe par les seules quantités découvertes (Renfrew 1975), en revanche, la fréquence des indices retrouvés est un bon indicateur de l'utilisation de cet axe.

En effet, la diffusion des produits depuis une source spécifique sur de longues distances peut se faire de différentes manières. C. Renfrew (1974, 1975) a modélisé les différents modes de diffusion parmi lesquels nous retenons trois solutions principales pour les produits que nous étudions : de façon directe, de proche en proche ou par l'intermédiaire de centres de redistribution (voir ci-dessus, Fig. 38). La première nécessite des déplacements onéreux, beaucoup de temps et d'efforts pour l'acquisition d'une matière première bien spécifique qui arrivera donc au lieu de consommation dans la quantité acquise au lieu de production, n'en laissant pas ou que très peu le long du parcours. La seconde méthode, de proche en proche, est plus progressive, plus lente mais aussi plus économique en termes de coût et d'effort. Par contre la quantité arrivant en bout de chaîne diminue progressivement au fil des transferts successifs et des artefacts devraient donc être présents tout le long du parcours. La troisième est un intermédiaire puisque les produits sont centralisés et concentrés dans des lieux relais qui servent ensuite de centres de redistribution. Même si la majeure partie des produits a été redistribuée, des artefacts devraient se retrouver le long du parcours à plusieurs endroits, sous forme de concentrations autour de ces centres de redistribution. Les analyses de distances que nous avons présentées dans la partie 3.1.2 pour les longues haches en jades alpins du Néolithique ont montré que leur diffusion se faisait sur ce troisième modèle. Par ailleurs, la valeur de ces produits et leurs utilisations les mettent clairement en relation avec une élite sociale et économique (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d). On a alors tout lieu de penser que ces centres de redistribution seraient également des centres de pouvoir, expliquant les concentrations de produits parfois importantes, les dépôts volontaires associés aux pratiques de l'élite étant de très bons réservoirs. Les raisons sont également nombreuses de penser que le fonctionnement des transferts était similaire pour le métal à l'âge du Bronze (Mordant 1998, Mordant et al. 1999-2000). Ainsi nous avons constaté la grande attractivité des fleuves et rivières pour le peuplement et la concentration des produits le long de certains cours d'eau.

Pour ces différentes raisons, nous avons choisi, comme hypothèse de travail, d'accorder une importance particulière à l'étude des axes potentiels de diffusion représentés par les principaux cours d'eau. Dans certains cas, nous procéderons également au calcul de chemins de moindre coût à partir des outils proposés par l'extension Spatial Analyst d'ArcGis et d'un MNT, pour compléter ou affiner ce réseau.

Nous proposons donc de travailler sur des réseaux hypothétiques sous forme de graphes dont les sommets sont les lieux impliqués dans la diffusion ou la consommation des produits, et les arcs, des voies théoriques suivant des cours d'eaux principaux, des littoraux ou des chemins de moindre coût.

Selon les cas et les échelles d'analyses, plusieurs questions pourront se poser :

- Quelle est l'importance des différentes voies dans les réseaux de transfert ?
- Peut-on percevoir des évolutions au cours du temps ?
- Quelles sont les influences des dynamiques culturelles sur le développement des réseaux de circulation ?
- Jusqu'à quelle distance l'axe de circulation a-t-il une influence notable sur la redistribution locale des produits ?
- Certaines portions des axes concentrent-elles des ressources ? Peut-on identifier des lieux stratégiques (passages à gué, confluent) qui ont pu être spécialement contrôlés ?

Ces différentes questions seront abordées plus loin à travers trois exemples concrets.

6.3. Évaluer l'importance relative des différents axes de circulation

Dans une approche globale des données archéologiques à l'échelle d'une zone d'étude relativement vaste, la structuration du réseau de circulation peut être évaluée en déterminant les axes privilégiés et ceux de moindre importance. Il s'agit de confronter les différents tronçons pour mettre en évidence leur poids relatif et les hiérarchiser. Bien sûr la répartition des données peut ne pas être fiable partout mais sa confrontation avec la carte de fiabilité ([voir ci-dessus la partie 1](#)) aidera à distinguer les effets d'une documentation plus faible.

Une première approche peut consister tout simplement à observer et comparer les quantités cumulées des produits étudiés. Bien entendu, il ne s'agit pas d'estimer des quantités ayant réellement circulé, en particulier pour les produits "recyclables", mais cette approche quantitative très simple donne un premier aperçu des principaux déséquilibres entre les axes. Elle met en particulier en évidence les secteurs où se concentrent les lieux de consommation. Seules les accumulations sur ou à proximité immédiate du réseau doivent être prises en compte. Il faut néanmoins rester prudent quant à l'interprétation de cette modélisation puisqu'elle ne donne qu'une image figée du résultat de l'ensemble de ces flux, à travers une vision cumulative des transferts à la toute dernière étape de leur histoire et tout au bout de la chaîne de circulation⁸⁰.

6.3.1. Quantifier les données dans un espace linéaire

Dans le cas d'un espace surfacique dans lequel on souhaite quantifier les données, la solution consiste le plus souvent à réaliser un calcul de densité. Que celui-ci ait été réalisé par une simple relativisation des valeurs brutes à la taille des espaces, qu'il s'agisse d'un calcul de densités brutes

⁸⁰ Ne sont en effet comptabilisés ici que les sites de découverte. Nous présenterons à la fin de cette partie un exemple où les différentes étapes de la circulation de chaque objet sont prises en compte dans l'estimation des flux.

par mailles juxtaposées, ou pondéré par une méthode focale simple ou plus complexe, comme les kernels (voir ci-dessus partie 4), dans tous les cas, cette quantification nécessite de passer d'un semi de points à un découpage de l'espace en unités de surface (découpage territorial, unités d'investigation, maillage régulier, etc.)⁸¹ dans lesquelles les données sont comptabilisées. En effet la dispersion des points en un semis dans un espace discret gêne la vision d'ensemble des phénomènes et empêche de mesurer l'importance relative des différentes portions d'espace. Si, dans une *Analyse spatiale exploratoire des données* (ESDA), une approche globale (la méthode du plus proche voisin, par exemple) peut donner une idée de la nature concentrée ou dispersée du semi de points, seule une approche locale (par exemple la méthode des noyaux) permet de visualiser les secteurs les plus denses. Or dans le cas d'un espace linéaire, l'enjeu est exactement le même. L'aspect discret de la distribution ponctuelle des données autour de l'axe rend non seulement difficile la comparaison des secteurs entre eux mais en plus leur éloignement variable à l'axe est incompatible avec une analyse de réseau.

En effet, même si les axes principaux ont probablement supporté l'essentiel de la diffusion par l'acheminement de l'ensemble des produits sur de longues distances jusqu'à de grandes aires de consommation ou de redistribution, les produits se sont ensuite dispersés localement sur un certain rayon. On ne peut donc se contenter des trouvailles effectivement situées le long des voies étudiées. Pour pouvoir évaluer l'importance du réseau, il est donc nécessaire de comptabiliser les produits dispersés tout autour. La solution proposée par L. Saligny (Saligny et al. 2005, Mordant et al. 2005, 2006), consistant à réaliser des "projections linéaires" paraît ici être la meilleure approche. Il s'agit de découper chaque axe en tronçons égaux. Les découvertes dans une zone définie de part et d'autre de l'axe sont ensuite projetées perpendiculairement sur celui-ci et comptabilisées. Il est alors possible de représenter le nombre de découvertes par tronçon en modifiant en proportion l'épaisseur du tracé.

6.3.2. Quels paramètres utiliser ?

Plusieurs questions importantes doivent être posées en amont d'une telle analyse :

- Est-il approprié de conserver le tracé exact des axes ou bien faut-il les simplifier par généralisation ? En effet un tracé trop complexe posera de nombreux problèmes pour la création des tronçons, la comptabilisation des sites et la représentation graphique des valeurs. Il est également nécessaire de veiller à ce que la topologie soit correcte : les tracés doivent en particulier être continus et se connecter les uns aux autres à leurs extrémités. Une simplification des tracés permet de créer des tronçons de longueur effectivement égale en limitant les détours, les boucles ou les méandres, et améliore l'aspect de la représentation des valeurs par l'épaisseur des lignes. Par contre cela peut poser des problèmes d'attribution des sites et notamment lorsque l'on souhaite prendre en compte les côtés gauche et droit des voies. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer les sélections des sites selon les rives ou les côtés de la voie avant la généralisation du tracé.
- Quel pas de division choisir ? Afin de rendre les résultats comparables, il faut évidemment choisir un pas régulier et identique pour tous les axes analysés dans une même aire d'étude. La définition de ce pas doit être adaptée à la taille de la zone d'étude et au nombre de données. La formule proposée par l'atelier 4 d'ArchaeDyn (Saligny et al. 2008, Nuninger et al. 2012) pour la définition des tailles de

⁸¹ Selon Cauvin 1997, ce procédé consiste à réaliser une « transformation cartographique d'état ».

mailles optimales lors de la création d'un maillage est une piste utile même si le découpage d'axes en tronçons n'a évidemment pas les mêmes contraintes que le découpage d'un espace surfacique⁸². Cela peut être un bon point de départ pour identifier un pas à tester et à adapter ensuite de façon empirique pour l'améliorer.

- Jusqu'à quelle distance des axes faut-il prendre en compte les sites ? Plusieurs solutions sont possibles : la plus simple consiste à définir une aire de surface égale de part et d'autre de l'axe au moyen d'un « buffer » (zone tampon). Il est aussi possible d'utiliser les bassins versants si cela s'avère pertinent pour le sujet d'étude.

6.4. L'étude de la diffusion des haches à talon de type normand dans la basse vallée de la Seine au Bronze moyen : un cas d'étude à l'échelle micro-régionale

Nous reprenons ici l'exemple décrit précédemment des haches à talon de type normand du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine, étudiées par M. Gabillot et son équipe ([voir ci-dessus, la partie 3.2](#)). Nous l'avons vu, l'axe représenté par le cours de la Seine joue de toute évidence un rôle structurant dans leur diffusion. Nous souhaitons mettre en évidence des fonctionnements spécifiques dans leur distribution en direction du Bassin parisien. Une approche par les projections linéaires est donc tout à fait appropriée ici.

La recherche porte sur un secteur assez vaste allant du Nord au Sud, du département de la Seine-Maritime à celui de l'Eure-et-Loir, et d'Est en Ouest, du département de l'Aisne à celui du Calvados. Nous procéderons en deux temps, tout d'abord une étude générale du positionnement des dépôts métalliques dans la zone d'étude, suivie d'une confrontation avec la distribution spécifique des haches de type normand.

La répartition géographique des dépôts d'objets métalliques⁸³ du Bronze moyen n'est pas homogène ([Fig. 88](#)) mais nous estimons qu'elle est globalement à un bon niveau de fiabilité ([Gauthier et Gabillot 2013](#)). Il n'existe pas de biais archéologique particulier ; les principaux déséquilibres proviennent essentiellement de l'inégalité du potentiel de chaque commune pour les découvertes fortuites (occupation du sol, travaux, extraction, etc., [voir la partie 1.2.3](#)). Rouen et Paris, notamment, étant de grandes villes et des zones portuaires très actives, sont fortement privilégiées.

Les sites sont essentiellement répartis le long des cours d'eau, principaux (Seine, Oise, Eure, Orne), mais aussi secondaires (Risle, Iton, Avre, Epte). Des concentrations s'observent autour de Compiègne, de Caen et Evreux et surtout sur le cours même de la Seine (Rouen, Mantes-la-Jolie/Vernon, Paris et Corbeil-Essonnes). Deuxième voie naviguée en Europe après le Rhin, les travaux d'aménagements des berges ont été effectués sur la quasi-totalité de sa longueur. Les très fortes densités de découvertes observées en plusieurs endroits ne correspondent donc pas seulement à des zones d'aménagement privilégiées mais bien à un phénomène archéologique. Ce devait être l'axe principal de diffusion des produits en direction du Bassin parisien et peut-être plus

⁸² Ainsi la formule devient : longueur optimale des tronçons (en m) = $\sqrt{\text{longueur totale en m} / \text{nb de points}}$.

⁸³ On entend ici tout dépôt de bronze, qu'il concerne un seul ou plusieurs objets, en référence aux recherches et interprétations menées dans le cadre de la thèse dont les données sont issues ([Gabillot 2003](#)). La spatialisation des sites est faite aux centroides communaux.

loin dans le domaine continental (Gabillot et al. 2009), depuis les centres de production qui se situaient très probablement en aval du fleuve.

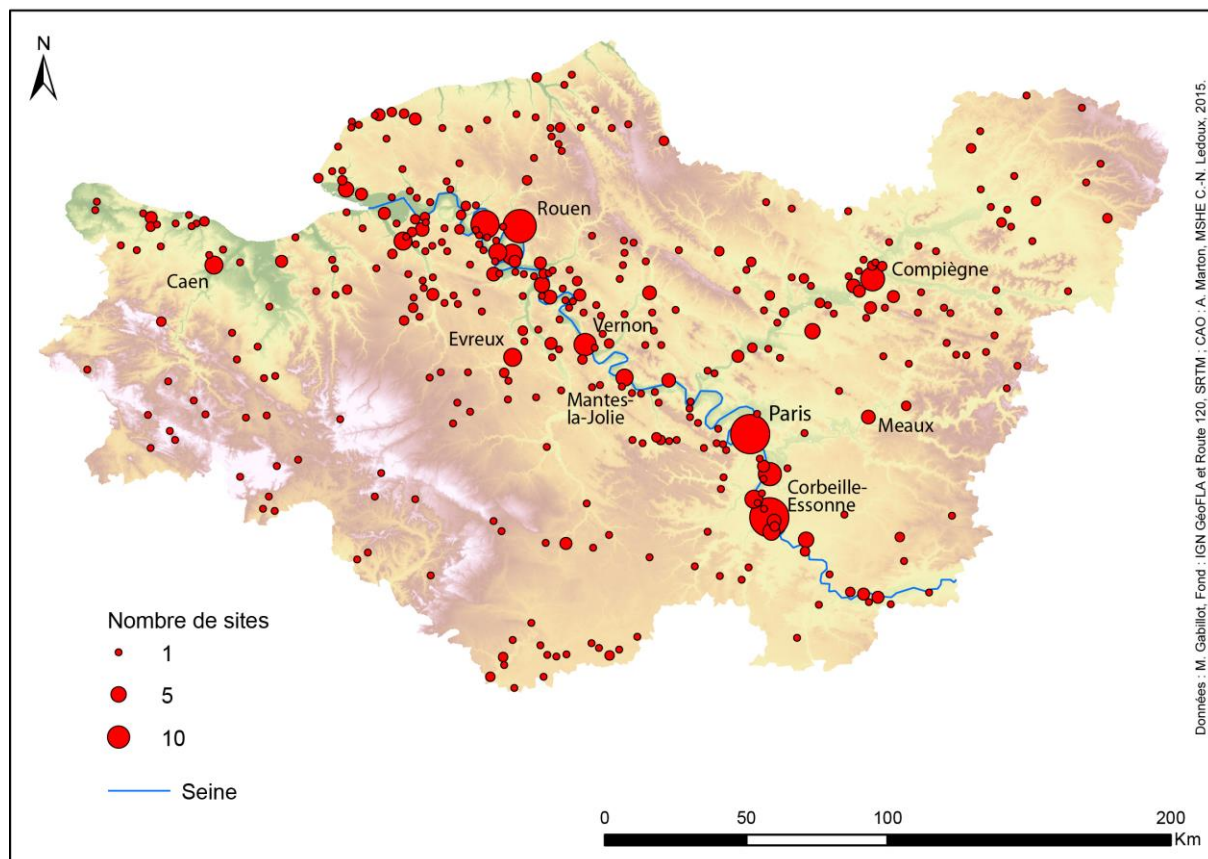


Fig. 88. Répartition des dépôts d'objets métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (IGN GeoFLA, Route 120, Nasa SRTM, Données M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).

Nous proposons donc de centrer cette analyse sur l'axe de la Seine. Il s'agit dans un premier temps d'observer la répartition des sites dans la vallée à différents pas de distance afin de faire ressortir les principales concentrations et déterminer le rayon de diffusion des sites de part et d'autre de l'axe. Tous les dépôts métalliques jusqu'à 100 km du fleuve sont pris en compte dans cette analyse. Nous distinguons tout d'abord les sites en rive droite et ceux en rive gauche. Plusieurs zones tampons permettent ensuite de les attribuer respectivement aux aires situées à moins de 5 km, entre 5 et 10 km, de 10 à 25 km, de 25 à 50 km et de 50 à 100 km. Le tracé de la Seine, orienté globalement sud-est/nord-ouest, comporte un nombre important de méandres, faisant dévier son tracé sur une distance dépassant parfois 15 km. La longueur totale de ces méandres représente jusqu'à quatre fois celle qui serait obtenue en ligne droite. Il est évident qu'il n'est pas possible de conserver une telle complexité pour les projections si l'on souhaite réaliser un découpage régulier du linéaire. Les méandres auraient statistiquement moins de chance d'obtenir des sites. Le tracé de l'axe est donc généralisé de manière à modéliser uniquement les principaux changements de son orientation générale. L'axe est ensuite tronçonné tous les 5 km (ce pas a été choisi de façon empirique)⁸⁴. Les

⁸⁴ La formule proposée dans Saligny et al. 2008 pour la résolution « optimale » donne ici un résultat de 9 km mais nous avons choisi 5 km afin de conserver le plus possible de détails dans les résultats.

sites sont ensuite projetés et comptabilisés par tronçon, par rive et par zone de distance. Les résultats sont alors présentés graphiquement sur le fond de carte (Fig. 89).

Ces graphiques font ressortir les principaux pics déjà mentionnés en nuancant toutefois certaines tendances de la carte en points. Une différence apparaît nettement entre amont et aval. Dans le secteur aval, les données sont particulièrement nombreuses en rive gauche, et ce, quelle que soit la distance des sites. En rive droite, le secteur de Rouen, à proximité immédiate de la Seine, ressort, mais les sites sont beaucoup plus dispersés et plus nombreux en rive gauche. Ils sont en effet relativement abondants dans le secteur de Pont Audemer et Bournevil et ils s'étalent largement un peu plus au sud-est, autour de Brionne. Un troisième secteur important s'observe ensuite à une distance de 70 à 100 km de l'embouchure de la Seine, ce qui correspond au secteur de Vernon mais aussi à un nombre important de sites disséminés sur 50 km de part et d'autre de la Seine autour d'Evreux et de Gisors notamment. Les sites dispersés dans le département de la Seine Maritime créent également un pic facilement repérable sur le graphique, dans la zone la plus lointaine. Un autre, en rive gauche cette fois, s'observe sur l'extrémité ouest du graphique et correspond au secteur de Caen.

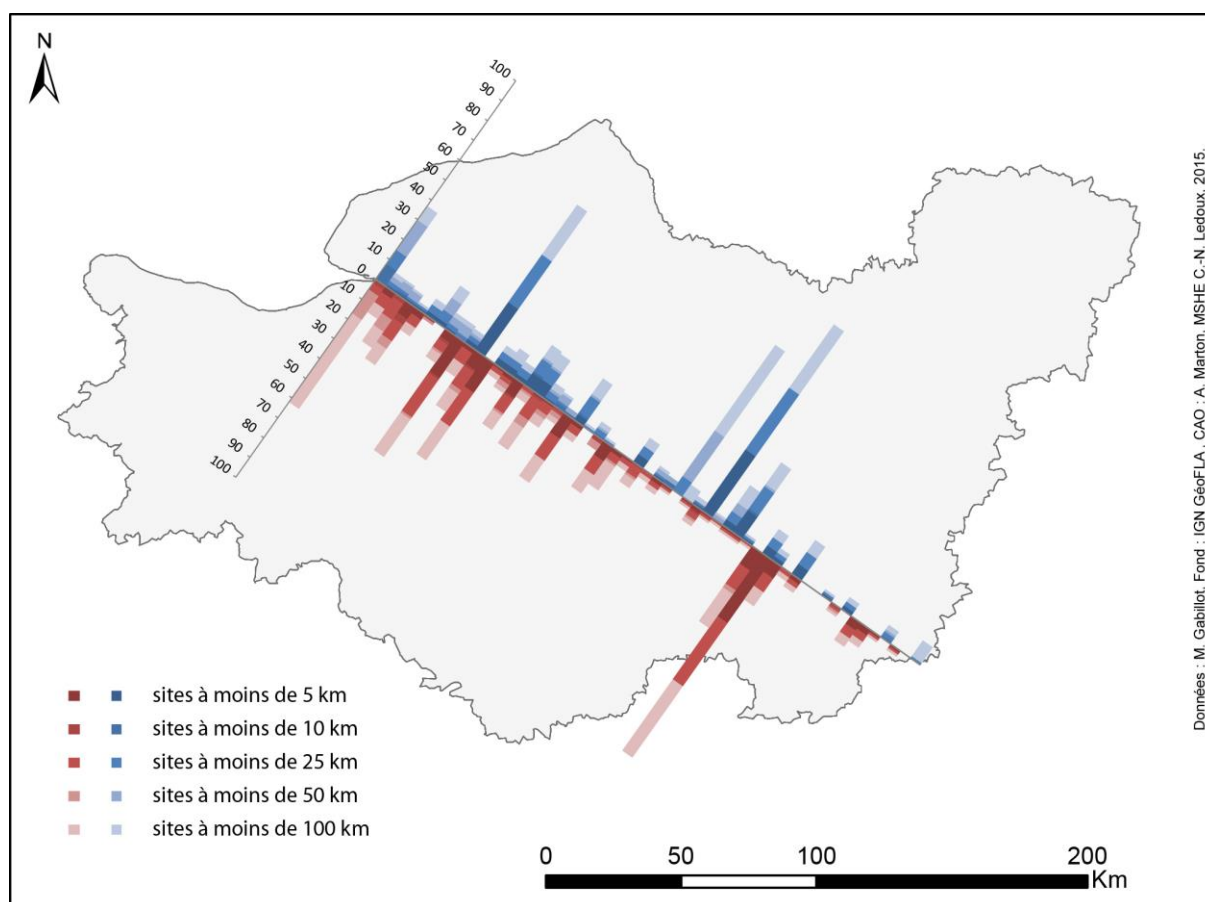


Fig. 89. Projections linéaires du nombre de dépôts métalliques à différents pas de distance en rive gauche et droite de la Seine (IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).

En amont, la situation est très différente. Un premier pic s'observe à distance de la Seine et correspond à l'importante concentration autour de Compiègne, en rive droite, le long de l'Oise. Puis les concentrations concernent davantage des zones très proches de la Seine et plutôt en rive gauche, autour de Paris et Corbeil-Essonnes. Le sud du département de l'Eure-et-Loir présente également un

nombre de sites remarquable à distance du cours de la Seine. Plus en amont encore, les sites sont nettement moins nombreux.

Outre l'observation de concentrations de données pouvant correspondre à de grands centres de consommation, et de leur distribution inégale entre rive gauche et rive droite, cette analyse met surtout clairement en évidence la nécessité de définir précisément les limites de la zone considérée pour les projections linéaires. En effet, plusieurs pics apparaissant sur les graphiques correspondent à des concentrations ponctuelles ou à des séries de petits sites, situés à une distance trop importante de la Seine, et qui n'étaient sans doute pas en relation directe avec celle-ci. La limite de 5 ou 10 km paraît par contre trop petite pour pouvoir intégrer tous les sites en lien avec la Seine. Dans certains secteurs, même sur une distance de 25 km, voire davantage, des sites semblent pouvoir faire partie du système de diffusion lié à l'axe fluvial (Yvelines, Eure, Essonne, Seine-et-Marne), tandis qu'ailleurs nous sommes clairement en dehors (Calvados, Oise). On ne peut pas se contenter de définir une distance maximale pour la prise en compte des sites. La délimitation des données par une zone tampon ne semble donc pas appropriée ici pour étudier finement le fonctionnement du réseau de transferts le long de la Seine. Nous proposons de fonctionner plutôt en termes de bassins versants.

Ainsi le cours de la Seine et ses affluents créent un vaste réseau de voies permettant de circonscrire un territoire relativement homogène de part et d'autre de l'axe fluvial. Les limites des bassins versants forment ici des frontières naturelles plus cohérentes pour l'étude de la diffusion des productions métalliques de l'âge du Bronze (Fig. 90)

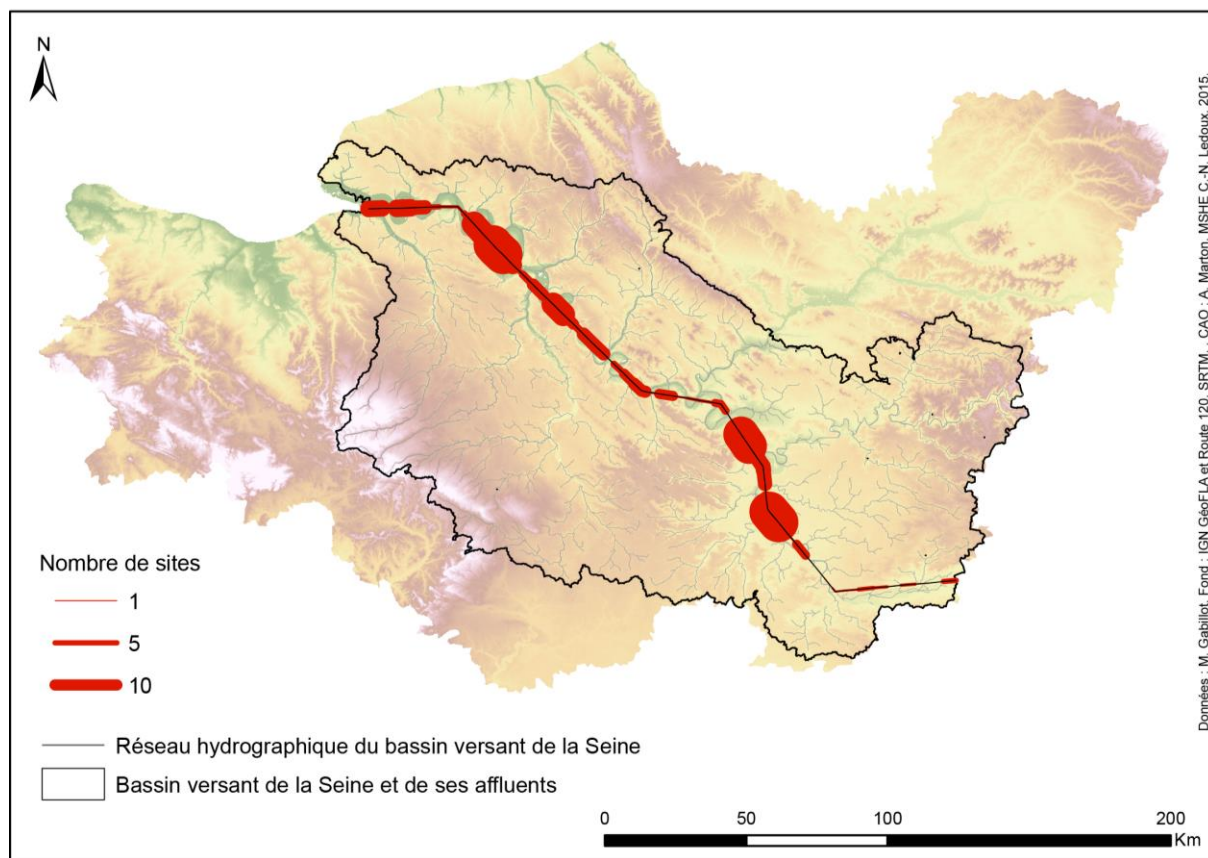


Fig. 90. Projections linéaires du nombre de dépôts métalliques du Bronze moyen dans le bassin versant de la Seine (Fond IGN GeoFla, Route 120, SRTM, Données M. Gabilliot, CAO : A. Marton, 2015).

Le bassin versant a été déterminé grâce aux outils spécifiques de l'extension Spatial Analyst d'ArcGIS 10.4, à partir du MNT du SRTM (90m). Tous les affluents, grands ou petits, de la Seine ont été pris en compte hormis l'Oise. En effet de nombreux sites se situent le long de celle-ci, au niveau de Compiègne notamment, mais son orientation est différente (en direction du nord de la France). Elle pourrait faire partie d'un autre réseau. Nous avons donc choisi de l'exclure de l'analyse au-delà de son confluent avec le Thérain.

Cette sélection préalable grâce aux bassins versants nous a ainsi permis de ne conserver que les sites qui ont le plus probablement fait partie du réseau de transferts lié à la Seine. Deux pôles principaux apparaissent clairement. Le premier, en aval, concerne essentiellement Rouen, mais aussi, dans une moindre mesure, l'embouchure de la Seine, les alentours de Bardouville et le secteur de Muids. Le second, en amont, est centré sur Paris et Corbeil-Essonnes. Ces deux pôles peuvent être liés à d'importants sites de consommation du bronze de la période. Les nombreux dépôts d'objets métalliques aux alentours indiquent probablement qu'il s'agissait de centres sociaux ou économiques particulièrement puissants.

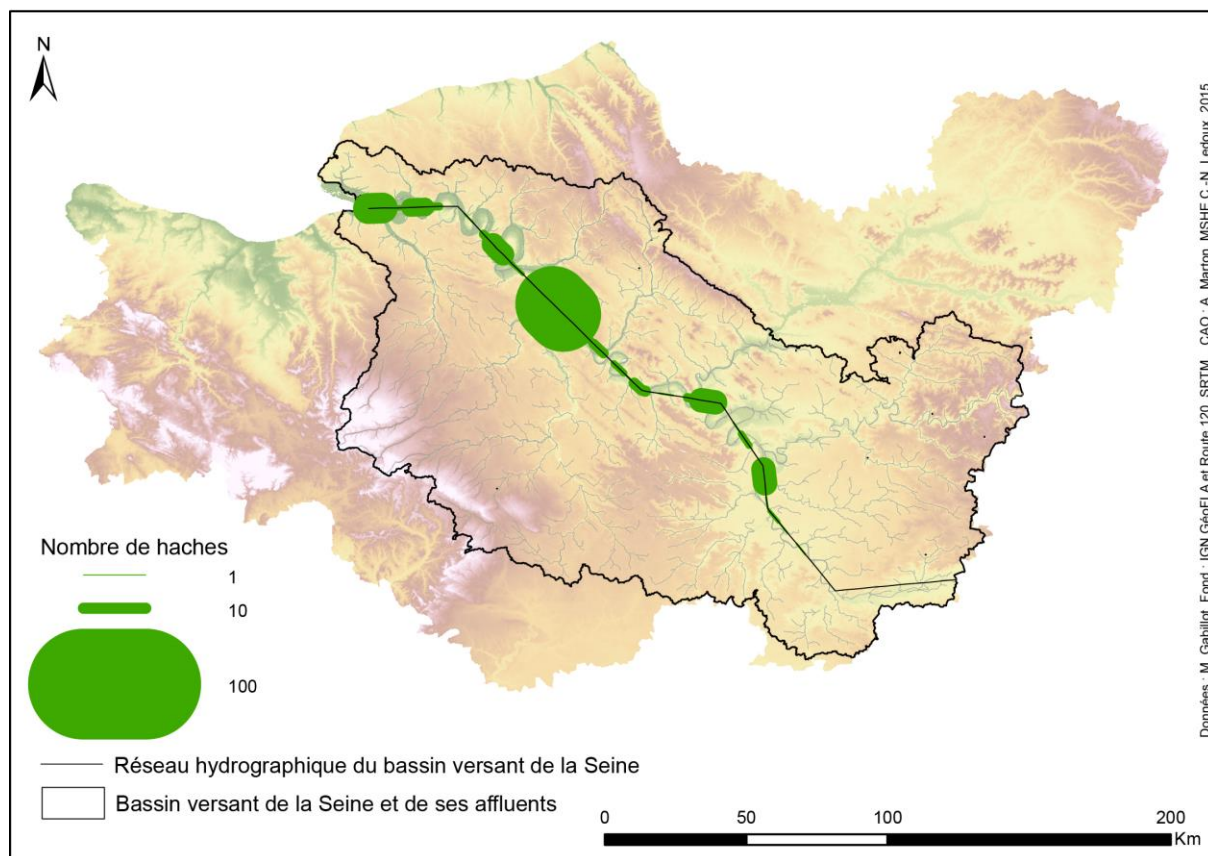


Fig. 91. Projections linéaires du nombre de haches à talon normandes dans le bassin versant de la Seine (Fond IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Donnée M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).

La distribution des haches à talon normandes le long de la basse vallée de la Seine (Fig.91) présente une image très différente de celle des sites (dépôts et trouvailles isolées métalliques), presque à l'opposé de celle-ci. Si les deux secteurs de Rouen et Paris apparaissent encore, ils ont fourni relativement peu d'exemplaires des modèles de haches qui nous préoccupent. Au contraire, le petit secteur situé entre l'Eure et l'Iton, où l'on connaît assez peu de dépôts, est marqué par un nombre très important de haches à talon normandes. Quelques dépôts (dont Evreux et La Chapelle-du-Bois-des-Faulx) ont livré à eux seuls une centaine d'exemplaires. La concentration visible à l'embouchure de la Seine correspond en fait au dépôt de Heuqueville qui se trouve plus au nord, au bord de la

Manche, et qui contient lui aussi un nombre remarquable de haches. Cette concentration est complétée par plusieurs autres découvertes près de l'embouchure (Norville, Saint Samson, etc.). En amont, outre Paris et Corbeil, deux concentrations importantes apparaissent, la première dans les environs de Saint-Germain-en-Laye, l'autre vers Sucy-en-Brie.

Il est donc très intéressant de constater que la répartition des haches à talon normandes ne suit pas nécessairement les tendances de la distribution géographique des dépôts métalliques. Elle reflète au contraire un fonctionnement bien spécifique, peut-être lié à des modes de diffusion différents des autres types de haches dans la région ou bien à des phénomènes de sélections. C'est ici la confrontation entre la distribution générale des sites de dépôt (qui sont des réservoirs ponctuels), et la répartition particulière du type que ces particularités ont pu être mises en évidence. Bien sûr la présence de haches en séries dans les dépôts influence fortement le résultat.

L'importante représentation du secteur situé à proximité immédiate des ateliers de production supposés et la quasi absence des haches à talon normandes à l'extrémité est de l'axe de diffusion (en Seine-et-Marne), dans le Bassin parisien, mérite d'être soulignée. Cette image est caractéristique des choix typologiques et esthétiques en relation avec une production régionale (Gabillot et al. 2017). Si les haches à talon normandes se diffusent bien dans la basse vallée de la Seine, elles ont plus de mal à franchir les limites du domaine atlantique pour atteindre le domaine continental⁸⁵. Dans la basse vallée, par contre, ces modèles se diffusent de façon plus régulière. On les retrouve tout le long de l'axe, avec néanmoins des concentrations plus importantes par endroits

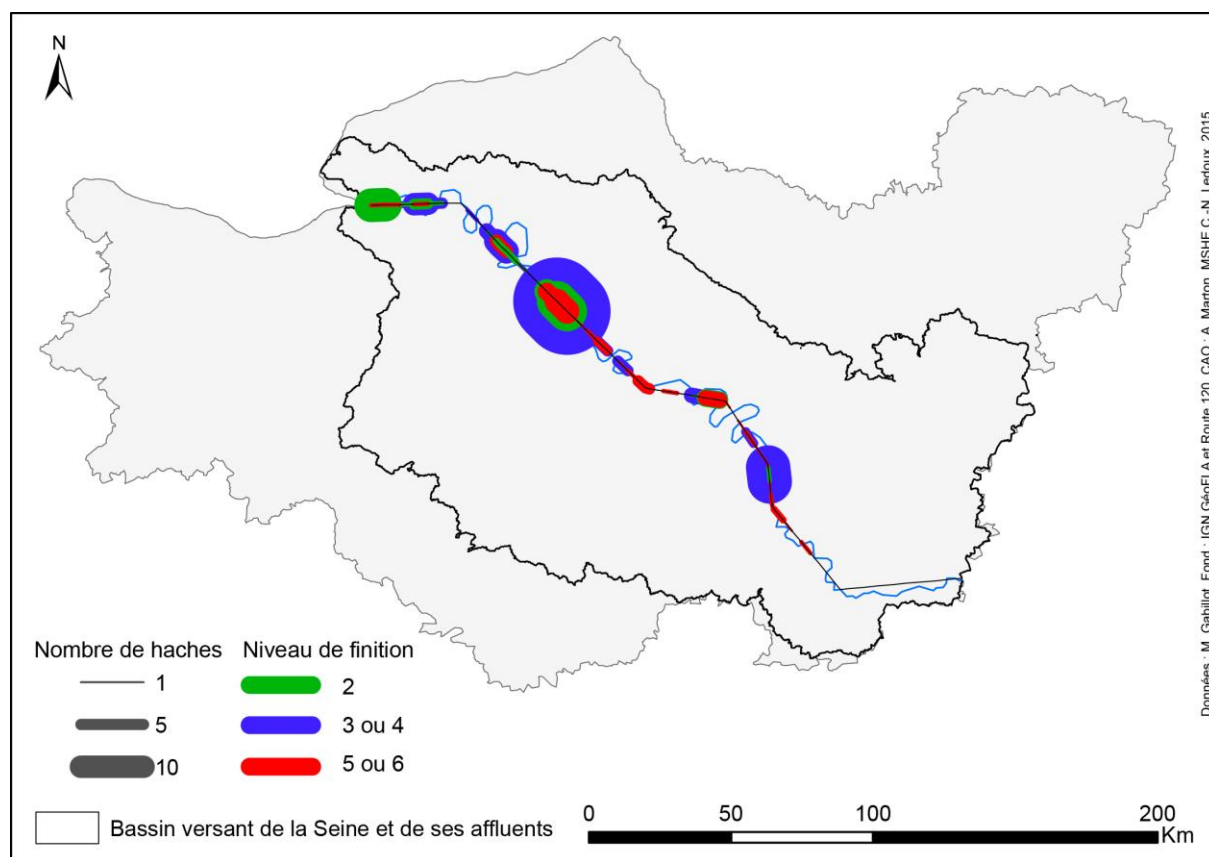


Fig. 92. Projections linéaires du nombre de haches à talon normandes dans le bassin versant de la Seine distinguées en fonction de leur niveau de finition (Fond IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Donnée M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).

⁸⁵ Il arrive aussi plus fréquemment que les modèles que l'on trouve plus loin soient assez différents des modèles originaux (Monna et al. 2013, Gabillot et al. 2017).

Il est aussi intéressant d'examiner les choix liés aux niveaux de finition des produits. Une évaluation du degré de travail des haches normandes en bronze a été réalisée et codée à l'image de celle conçue pour les longues haches néolithiques en jades alpins (voir la partie 3.1.1 et Fig. 35). Nous avons montré plus haut (voir la partie 3.2 et Fig. 53) que la sélection des modèles les plus travaillés se faisait davantage dans les secteurs éloignés des ateliers de production et que les objets non finis ou peu travaillés restaient à proximité de ceux-ci. Les projections linéaires nous permettent d'examiner ce phénomène plus en détail (Fig. 92). Deux concentrations de haches non finies (niveau 2) s'observent, l'une probablement à proximité immédiate des centres de production, près de l'embouchure de la Seine, l'autre dans de gros dépôts aux alentours d'Evreux. Ce même secteur a livré le plus de grand nombre de haches de niveau 3 ou 4 (produits finis mais peu travaillés). Une autre concentration de celles-ci est visible autour de Paris (Sucy-en-Brie, Corbeil-Essonnes) et on les rencontre également en nombre remarquable en aval, près de l'embouchure de la Seine et de Rouen. Les haches les plus travaillées (niveaux 5 et 6) sont par contre nettement moins abondantes dans ce secteur. Si, comme pour les autres niveaux de finition, une concentration s'observe dans la région d'Evreux, elles deviennent surtout plus fréquentes dans le secteur amont, ce qui explique la position plus méridionale du point moyen (cf Fig. 53). Elles sont pourtant d'une façon générale moins nombreuses et plus dispersées.

Ainsi il apparaît que la diffusion des haches normandes selon leur niveau de finition suit bien une progression assez régulière en direction du Bassin parisien. Les pièces travaillées jusqu'à obtenir des outils utilisables mais sans plus sont réparties en quantités importantes dans toute la zone étudiée mais deviennent moins nombreuses lorsque l'on se rapproche du domaine nord-alpin. Au contraire les haches beaucoup plus travaillées semblent diffusées plus loin mais en assez petites quantités. Quelques secteurs en aval présentent d'importantes concentrations associant des modèles à différents degrés de finition (Rouen, Evreux), mais, d'une manière générale, cette seconde approche vient confirmer les résultats précédents, en particulier la probabilité d'une sélection préférentielle des exemplaires les mieux travaillés à mesure que l'on s'éloigne des centres de production.

6.5. L'étude de la consommation du bronze en France orientale: un cas d'étude à l'échelle suprarégionale

6.5.1. Première approche de la hiérarchie du réseau

Revenons à présent sur l'exemple de l'étude de la consommation du métal en France orientale au Bronze moyen et final (voir ci-dessus la partie 4.2). Il s'agit d'évaluer l'organisation spatiale des principaux réseaux de circulation dans le quart nord-est de la France et de mettre en évidence ses évolutions au cours des quatre phases considérées (BM, BF1, BF2, BF3).

Nous avons pris le parti de supposer que le réseau hydrographique est le meilleur vecteur pour la circulation des produits (voir ci-dessus la partie 6.2). C'est donc sur celui-ci que nous fondons notre analyse. Nous n'avons pris en compte que les cours d'eau les plus importants, ceux inclus dans la base de données de l'IGN ROUTE 120®. Il s'agit d'une sélection des principaux cours d'eau à l'échelle

nationale. Dans le cas de la France orientale, cela représente 29 cours d'eau⁸⁶, tous dépassant une largeur de 15 m, au moins sur une portion de leur trajet, et la plupart dépassant 50 m. Les tronçons considérés vont de 30 km de longueur pour l'Essonne à 393 km pour la Saône, pour une moyenne de 150 km. Cette région peut être considérée comme un carrefour de circulation (Bavoux 1994), entre le sud et le nord de la France par l'axe Rhône-Saône (ainsi que l'Ain, le Doubs, l'Ognon) puis par les axes Rhin-Ill vers l'Alsace et par les axes Meuse, Moselle, Meurthe vers la Lorraine. Elle permet également de relier d'une part, l'Est et l'Ouest de la France, via le Bassin parisien, par les vallées de la Seine, de l'Yonne et de la Marne (et leurs affluents) et d'autre part, le Centre-Ouest par la Loire et l'Allier. Il s'agit donc d'une configuration très privilégiée dont l'importance dans les dynamiques culturelles a largement été démontrée pour l'âge du Bronze (par ex. Millotte 1963, Bonnamour 1981, Mordant 1998, Mordant et al. 2007, Gabillot et al. 2009, Gabillot et al. 2015). Pour les périodes qui nous occupent, cette région est au cœur des contacts entre la Suisse et l'Allemagne occidentale et la Normandie.

Dans un premier temps, nous allons tenter de définir la hiérarchie générale de ce réseau de circulation pour l'âge du Bronze en nous intéressant à l'attractivité de chaque cours d'eau. Il s'agit donc d'évaluer le nombre de sites de toutes natures découverts à proximité des différents axes. Pour le découpage des tronçons, un pas de 10 km a été choisi de façon empirique. Il semble être le plus efficace pour la comptabilisation des données et leur représentation par rapport à la surface étudiée.

Il n'est bien entendu pas question de projeter l'ensemble des sites découverts sur la totalité du territoire mais uniquement ceux en relation directe avec le réseau hydrographique. La Fig. 93 propose une comparaison des résultats pour des zones tampons de 5 km, 10 km et 15 km de part et d'autre de chaque axe. Il apparaît très clairement que l'essentiel de l'information est déjà présent dès les cinq premiers kilomètres. Nous limiterons donc l'analyse aux sites situés dans ce pas de distance.

Si l'on compare les différents tronçons, toutes phases confondues, l'axe Rhône-Saône apparaît très nettement comme l'axe le plus attractif. Le Rhin et l'Ill sont également bien représentés, de même que l'axe Seine-Yonne, ce qui confirme bien le lien avec les dynamiques culturelles et les principales relations connues pour l'époque. L'axe du Doubs semble relativement moins riche en sites, alors que l'on sait que le peuplement de la Franche-Comté est dynamique, notamment dans les premiers contreforts du Jura. Mais les contacts, en particulier en direction des plateaux suisses, se faisaient bien entendu sur un autre modèle. L'axe Loire-Allier semble également plus secondaire, de même que la Marne et ses affluents ou encore les cours d'eau lorrains mais un défaut de sources documentaires est probablement en partie responsable de la faiblesse des données pour ce secteur (voir la Fig. 6).

⁸⁶ Nous avons effectué ici une légère généralisation du tracé, ne modifiant pas sensiblement la forme des polygones à l'échelle du territoire étudié.

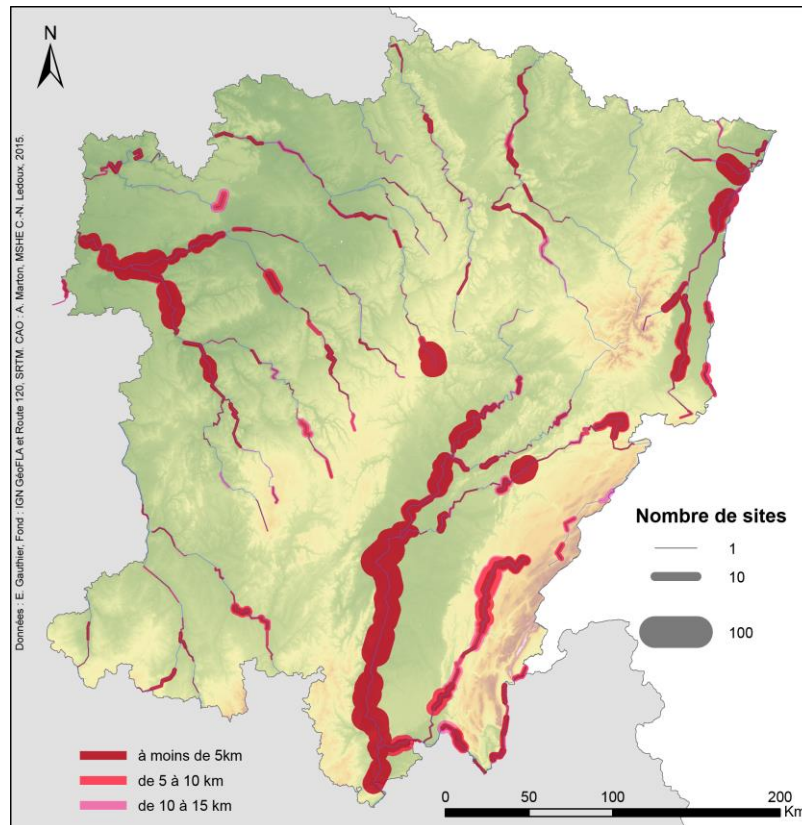


Fig. 93. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites de l'âge du Bronze moyen et final dans le quart nord-est de la France selon leur distance aux cours d'eau (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

Les indicateurs de cette attractivité ne sont pas les mêmes selon les axes (Fig. 94). Les habitats, qui, à l'âge du Bronze, suivent plutôt le modèle de la ferme isolée (Brun 2011, Brun et Marcigny 2012), montrent le dynamisme de l'occupation dans les vallées. Ils donnent une image très comparable à celle observée pour l'ensemble des sites. Les dépôts correspondent à une pratique sociale relativement peu fréquente et ponctuelle, il est donc normal de ne pas observer de concentration à l'échelle de la France orientale⁸⁷. Les tombes représentent une autre forme d'expression sociale. Les nécropoles de Haguenau et celles de la Bassée ressortent particulièrement par rapport à l'ensemble du territoire étudié. Ces deux zones sont les témoins d'une forte expression sociale de la part des élites de l'âge du Bronze⁸⁸. Enfin, les trouvailles isolées correspondent pour une grande part à des trouvailles en milieu humide. Elles apportent un éclairage très intéressant sur le dynamisme des voies d'eau. Elles ont parfois pu être mises en relation avec des habitats, des passages à gué (Dumont 2002, 2013), des confluent (Mordant 1998, Mordant et al. 1999-2000) ou encore des frontières naturelles, les pratiques de déposition volontaire de bronzes dans les rivières permettant peut-être de réaliser un marquage social et/ou cultuel de ces frontières (Fontijn 2002).

La vallée de la Saône est caractérisée par une forte concentration de sites de tous types, aussi bien des habitats que des sépultures ou des dépôts mais aussi un grand nombre de trouvailles isolées, essentiellement issues du lit même de la rivière. L'intensité des dragages et des recherches subaquatiques menées dans la Saône (Bonnamour 1969, 1981, 2000) explique la richesse particulière du corpus autour de Chalon-sur-Saône, mais la présence de nombreux gués tout le long de la rivière

⁸⁷ Hormis dans le secteur de Salins-les-Bains qui a bénéficié de conditions exceptionnelles des prospections (Piningre et Grut 2009, Gauthier et Piningre 2017). Ces découvertes, loin des principaux cours d'eau considérés dans cette analyse, n'ont pas été prises en compte ici.

⁸⁸ Mais aussi d'une surreprésentation des données par rapport aux autres secteurs.

joue certainement aussi beaucoup. Dans la Bassée, le nombre important de dépôts et trouvailles isolées peut être mis en relation avec des exploitations de sables et de graviers (Mordant 1992), mais la richesse de ce secteur s'explique avant tout par une forte expression sociale au début du Bronze final, notamment, visible au travers d'un nombre important d'habitats, de riches nécropoles (Mordant et Mordant 1970, Piette 1998, 1999, Piette et al. 1999, Rottier et al. 2012) mais aussi de dépôts (Gaucher et Robert 1967, Mordant et al. 1976).

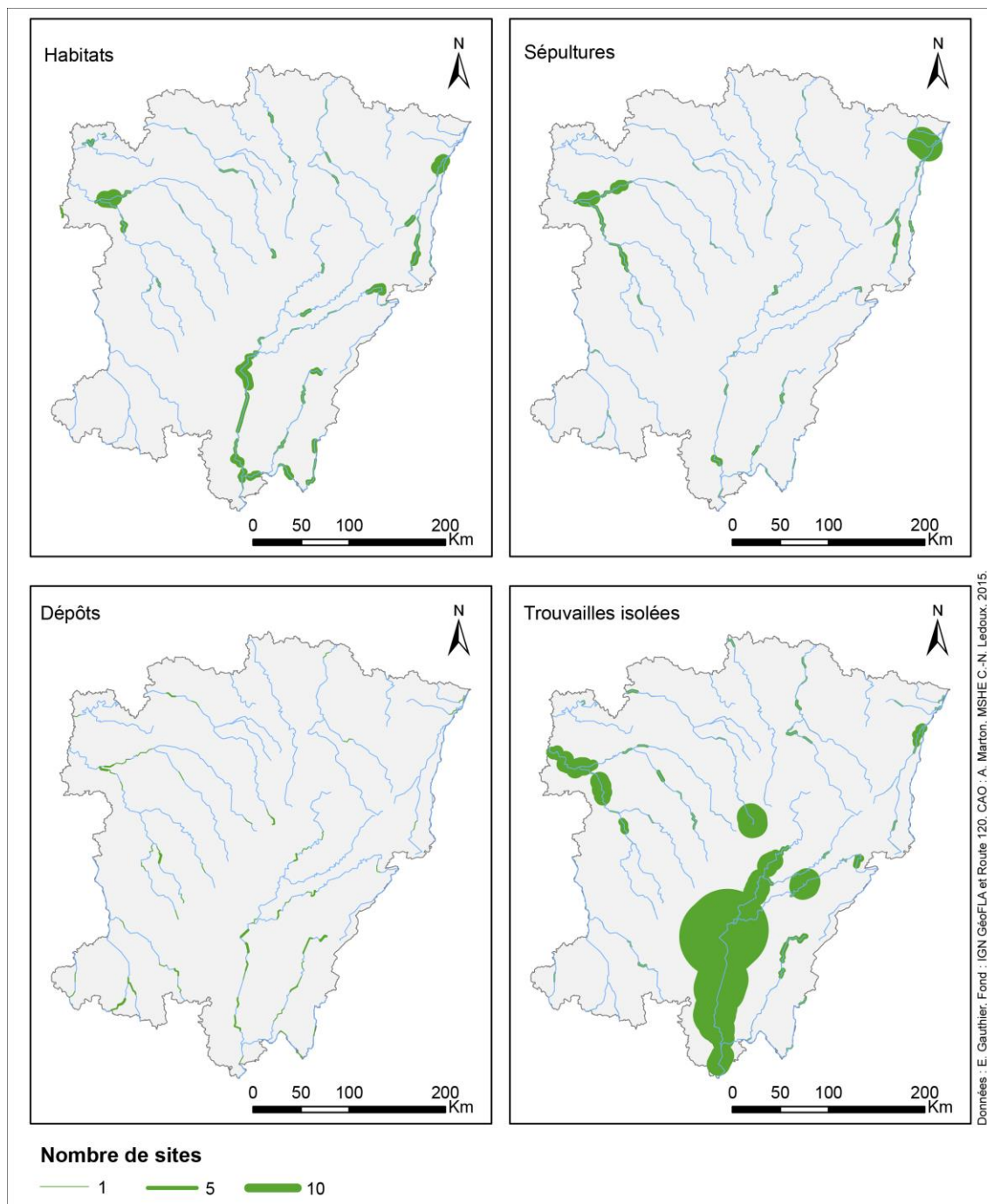


Fig. 94. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites de l'âge du Bronze moyen et final dans le quart nord-est de la France selon les contextes de découverte (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

L'observation des variations des densités de découvertes le long des principaux cours d'eau au cours des quatre phases considérées reflète particulièrement bien les évolutions des dynamiques culturelles (Fig. 95). Si un très grand nombre de sites de toutes les périodes se concentrent dans la vallée de la Saône qui semble donc jouer un rôle majeur pendant tout l'âge du Bronze, d'autres axes ne semblent importants qu'à certaines périodes. L'Alsace est la zone la plus dynamique au Bronze moyen. En effet, la Culture des Tumulus exerce une forte influence dans l'Est de la France. Le groupe de Haguenau est essentiellement tourné vers l'Allemagne (CTHS 1989, Lachenal et al. 2017). Cela explique l'importance jouée par l'axe du Rhin dans ce système. Le secteur du confluent Seine-Yonne se développe au contraire dès la fin du Bronze moyen et pendant la première étape du Bronze final, alors que les dynamiques culturelles ont changé et que les rapports se tournent davantage vers le Bassin parisien et les relations avec le domaine atlantique, la Normandie en particulier (Gabillet et al. 2009). On assiste alors à un "phénomène de lisière" (Mordant 1989, 1998), dans la zone de contact entre le complexe atlantique et le complexe culturel nord-alpin dont la Bassée constitue la limite la plus occidentale. Le secteur du confluent Seine-Yonne est une zone de compétition culturelle particulièrement riche et dynamique, théâtre de nombreux échanges d'ordre économique mais aussi de manifestations sociales (de nombreux dépôts, de riches tombes avec des parures d'or, d'ambre ou des objets de prestige comme les fameux pendentifs à défense de sanglier, Mordant 1989, Mordant et al. 1999-2000). La position le long de l'axe fluvial, au niveau du confluent en particulier, est ici stratégique. Cet axe restera dynamique tout au long du Bronze final tandis que le rôle de la Saône semble se renforcer encore au Bronze final 2 et 3 grâce au développement des échanges en direction du Midi par la vallée du Rhône (Mordant et al. 2006).

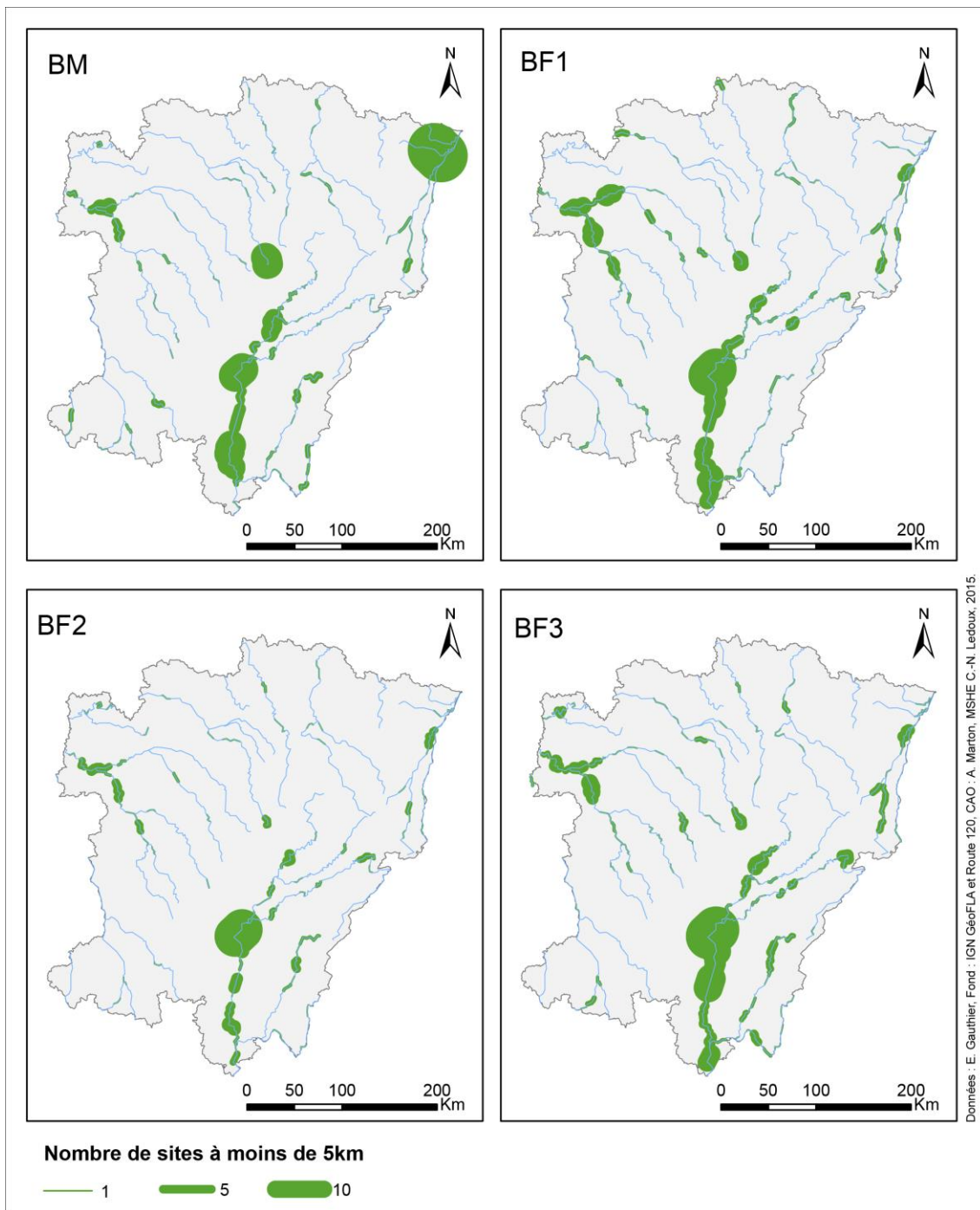


Fig. 95. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites des différentes phases de l'âge du Bronze dans le quart nord-est de la France (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

6.5.2. Considérer d'autres critères ?

Ne disposant que des données archéologiques enregistrées pour évaluer le poids des différents axes, même en compensant les déséquilibres liés aux états de la documentation, l'évaluation de l'importance des transferts risque de se heurter au problème majeur de la représentativité des indices archéologiques eux-mêmes. Il ne faut pas perdre de vue le fait que la circulation des produits est un état transitoire extrêmement bref au regard des périodes considérées et même par rapport à la durée de vie des objets eux-mêmes. Les produits empruntent temporairement les réseaux de transferts pour aller d'un lieu à un autre sans pour autant que leur passage ait laissé une trace archéologique quelconque. Nous sommes confrontés à deux types de sources : d'une part des pertes accidentelles ou des abandons (objets isolés, habitats), d'autre part des dépôts volontaires (tombes, dépôts isolés ou groupés). On ne peut pas dire que l'une de ces deux conditions d'enfouissement puisse être représentative des quantités en circulation. En effet les objets perdus ou abandonnés sur un site représentent sans doute une part infime des quantités utilisées, tandis que les dépôts volontaires ont toujours une fonction spécifique de démonstration (sociale, culturelle, économique) et ne permettent en aucun cas de déduire le volume circulant, en particulier quand se pose la délicate question du recyclage (Needham 1998, Mordant et al. 2004).

Ainsi si nous souhaitons estimer l'importance d'un axe, il est souvent préférable d'évaluer le poids relatif des nœuds qui constituent le début et la fin de chaque tronçon. A notre échelle, un nœud correspondra à une petite zone située sur le tracé d'une voie de circulation potentielle, soit à un embranchement entre plusieurs voies (patte d'oie, confluent), soit dans un secteur qui cumule un nombre remarquable d'indices archéologiques laissant supposer qu'il s'agit d'un centre de pouvoir ou de redistribution. Ces petites zones comportent souvent plusieurs sites très proches géographiquement, ce qui nous autorise à en compiler les indices archéologiques afin d'évaluer leur valeur globale. Le poids d'un nœud peut être estimé de différentes manières : par les quantités du produit accumulées, avec néanmoins tous les problèmes de représentativité déjà cités que cela pose, ou par la valeur sociale ou économique qu'il affiche ou encore son attractivité au regard du peuplement. Ainsi sont pris en compte autant des critères quantitatifs que qualitatifs (présence de dépôts, d'objets de prestige, richesse des tombes, etc.) ainsi que la capacité du secteur à polariser l'implantation d'autres sites aux alentours sur une certaine durée. Cela permet d'attribuer un poids hiérarchique à chaque nœud du réseau. De cette manière des critères complémentaires peuvent être pris en compte et l'analyse ne repose pas uniquement sur les quantités retrouvées. Cette approche se fonde bien sûr sur l'hypothèse forte que le volume des transferts ait été lié à l'attractivité des sites et que le poids social y joue un rôle fondamental.

Nous avons déjà évoqué plus haut le rôle des dépôts et des grandes nécropoles dans la distinction des centres de pouvoir social et/ou économique. Nous avons également observé des concentrations d'habitats qui peuvent correspondre à des secteurs particulièrement attractifs ou très stables. En nous appuyant sur des critères qualitatifs tels que la présence de dépôts, de nécropoles ou d'objets à très haute valeur sociale (Fig. 96), nous faisons ainsi ressortir des points clés de la circulation qui sont sans doute des centres de pouvoir sociaux mais aussi autant de points attractifs pour le peuplement et la circulation du métal.

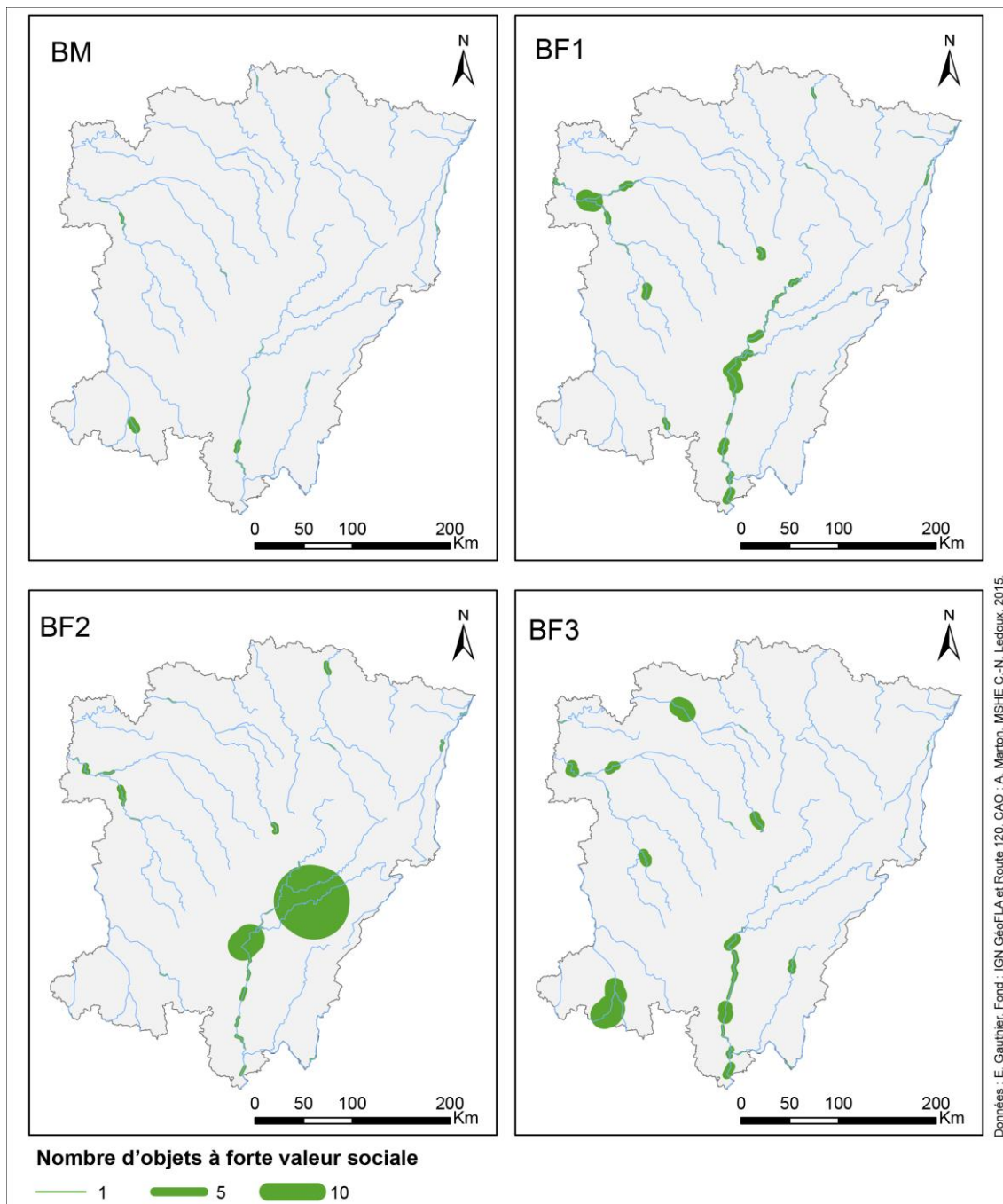


Fig. 96. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre d'objets socialement valorisés dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

Les accumulations d'objets métalliques sont un autre critère pour envisager la présence d'une élite sociale⁸⁹. Capable d'activer des réseaux d'approvisionnement et de commander la production d'objets de bronze, celle-ci peut en effet en retirer une partie du circuit afin de l'utiliser pour des pratiques de représentation sociale (tombes ou dépôts). L'image présentée par les masses métalliques cumulées (Fig. 97) est très similaire à celle observée pour les sites, ce qui confirme le rôle polarisant des cours d'eau aussi bien pour l'occupation humaine, la constitution de centres sociaux dominés par une élite locale et la consommation du métal. Ainsi le dynamisme des axes Saône, Rhin, Seine, Yonne n'est jamais remis en cause. Néanmoins certaines différences peuvent être observées : les objets de métal sont relativement peu abondants dans la vallée du Rhin et autour de Haguenau

⁸⁹ Mais à l'inverse, l'absence d'accumulation de métal thésaurisé ne permet pas de supposer l'absence d'une élite locale.

au Bronze moyen par rapport au nombre de sites connus, au contraire des vallées de la Loire et de l'Allier qui ont livré plusieurs dépôts de cette phase mais aussi du Bronze final. Il en va de même de la vallée de la Moselle qui a livré un nombre remarquable d'objets. Ces différences s'expliquent probablement par des modes d'expression sociale différents. Le bronze n'est pas utilisé de la même manière et ne laisse donc pas des traces comparables. Cette image donnée par les objets de bronze permet de nuancer celle obtenue avec les sites et fait notamment apparaître des centres de pouvoir le long d'axes qui n'apparaissent pas importants avec le seul effectif des sites.

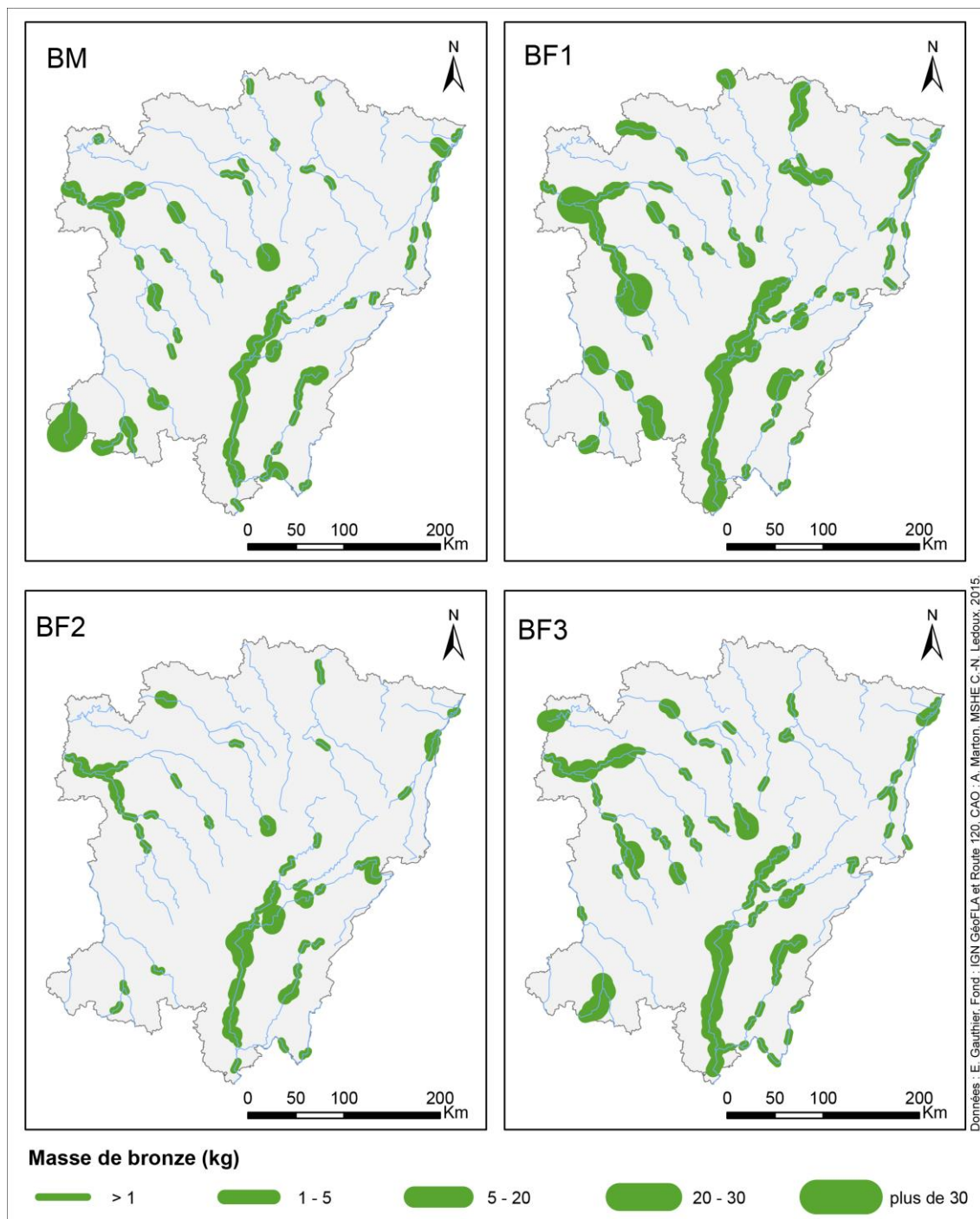


Fig. 97. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau des masses métalliques cumulées dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

6.5.3. Tentative de modélisation

Partant de ces observations, nous proposons de modéliser les réseaux de transferts de l'âge du Bronze moyen et final en France orientale en tenant compte simultanément de ces multiples facteurs afin de hiérarchiser les principaux nœuds du réseau en identifiant ceux qui ont pu être des centres de pouvoir et par conséquent avoir joué un rôle majeur, en tant que pôles, dans la circulation des produits.

Il s'agit dans un premier temps d'identifier tous les nœuds du réseau en tenant compte successivement de chaque critère précédemment cité. Les tracés des axes sont légèrement simplifiés et la topologie a été validée. La valeur de chaque nœud est ensuite qualifiée pour chaque critère et pour chaque phase. Ils sont alors hiérarchisés selon deux niveaux. Le rang 1 correspond aux sites qui ont livré des indices de la présence d'une élite sociale (présence de dépôts ou d'objets à forte valeur sociale) ainsi que ceux qui ont fourni un niveau élevé d'indices archéologiques (nombre de sites, nombre d'objets de bronze ou masses métalliques). Le rang 2 est attribué aux seuls indices de présence. Les axes sont ensuite qualifiés en fonction du nombre de nœuds de rang 1 et de rang 2 qu'ils comportent afin de les hiérarchiser et de faire ressortir l'organisation générale du réseau à chaque phase (Fig. 98). Il s'agit de mettre en évidence une succession plus ou moins régulière de sites importants.

Ainsi si la structure globale du réseau en France orientale fonctionne sur la même base pendant tout l'âge du Bronze moyen et final, avec pour axes majeurs, La Saône, l'Ognon, le Rhin (ou l'Il) et l'Yonne. Le réseau évolue beaucoup au cours du Bronze final.

Si la Seine, l'Aube et les affluents de l'Yonne semblent être des axes importants pendant tout l'âge du Bronze, on ne trouve pas une densité de pôles de rang 1 aussi importante que le long de l'Yonne ou de la Saône. Dans le quart nord-ouest de la zone d'étude, seule la Bassée concentre vraiment un grand nombre de sites importants.

L'Il semble remplacer le Rhin comme axe majeur avec l'entrée dans le Bronze final. Le dynamisme des vallées de la Moselle et de l'Allier paraît plus important au début du Bronze final, au contraire de l'Ain et du Doubs mieux représentés aux phases récentes. La Marne présente un dynamisme insoupçonné (et relativement stable) si l'on fait appel à des critères qualitatifs indiquant la présence d'une élite sociale en plusieurs endroits.

Le Bronze moyen ne semble pas mettre en valeur les connexions à très longues distances mais plutôt des portions spécifiques du réseau. Le Bronze final 1 voit se développer les relations avec la Lorraine et le domaine atlantique. Après ce qui pourrait être un léger repli du réseau à l'étape moyenne du Bronze final, c'est à la dernière phase du Bronze final que le système semble le plus complexe, reflétant probablement une intensification des échanges dans toutes les directions.

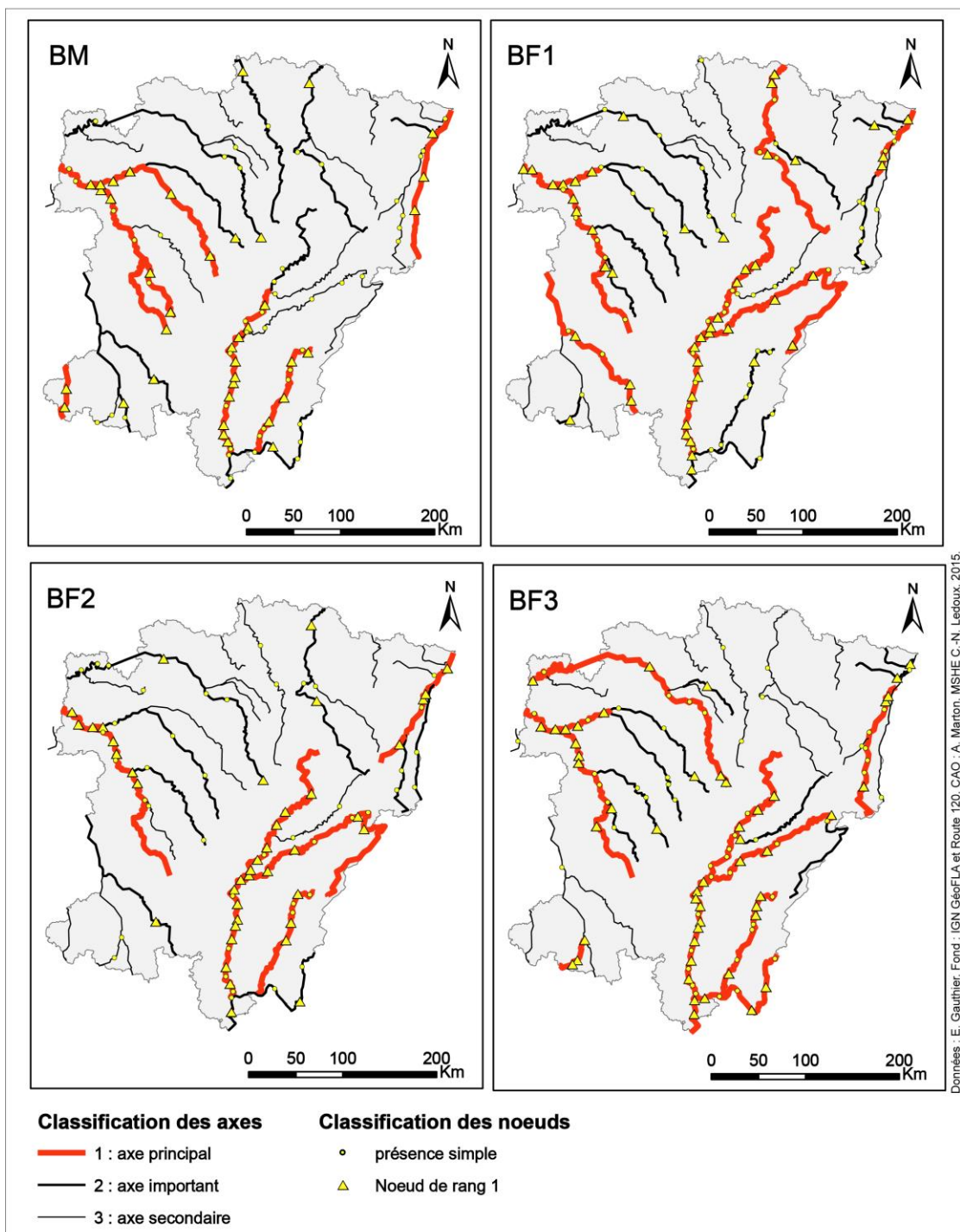


Fig. 98. Modélisation de la structure des réseaux de transferts dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).

6.5.4. Focus sur deux fenêtres d'étude : les vallées de la Saône et du Rhin

Nous allons à présent changer d'échelle pour nous intéresser plus spécifiquement à l'axe Saône-Rhône qui apparaît, à l'échelle du quart nord-est de la France (voir ci-dessus la partie 6.5.3), dynamique durant tout l'âge du Bronze moyen-final.

L'axe est cette fois simplifié au maximum, l'objectif étant de modéliser l'organisation de l'occupation à travers une représentation la plus épurée possible. Nous ne conservons donc que les deux directions principales, le changement d'orientation se faisant au niveau de Chalon-sur-Saône. Le pas de segmentation de l'axe est défini à 10 km. Les données prises en compte sont cette fois restreintes à la vallée de la Saône, les limites étant, à l'est, les premiers contreforts du Jura, au nord, les Vosges et à l'ouest, le Morvan (Fig. 99).

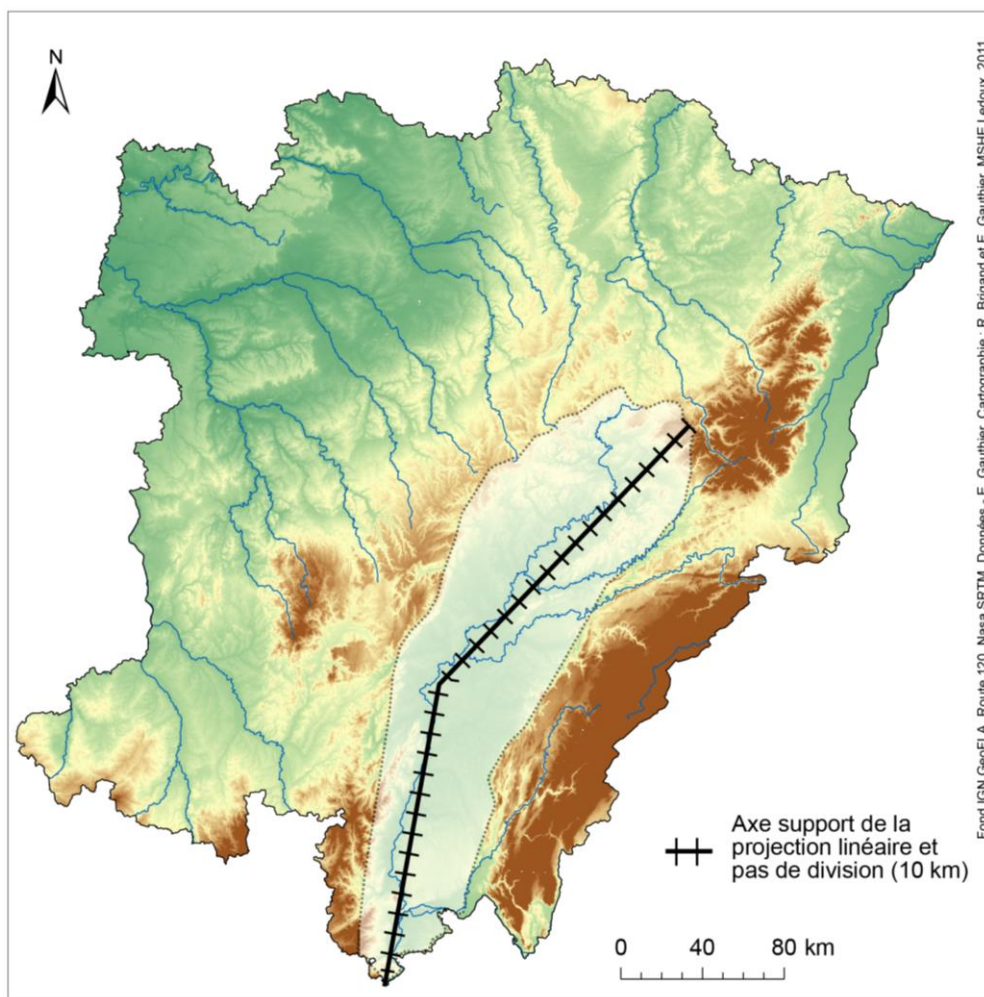


Fig. 99. Paramètres pris en compte pour l'analyse de l'axe de la Saône : emprise, axe simplifié, pas de segmentation (IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).

La vue d'ensemble des données du Bronze moyen et final le long de la vallée de la Saône fait apparaître une différence entre le nord et le sud de la vallée. Le secteur de Chalon-sur-Saône (Ouroux-sur-Saône, Verdun-sur-le Doubs, Gergy, Epervans, etc.) est celui qui présente le plus de données, pour les raisons évoquées plus haut (travaux de L. Bonnamour, nombreux dragages et campagnes d'archéologie subaquatique, passages à gué, habitats de bord de rivière, proximité du confluent du Doubs). Chalon-sur-Saône se trouve donc être au centre d'un secteur particulièrement riche en sites sur une trentaine de kilomètres de long. Au nord de Chalon, les effectifs des sites sont plus faibles. La seule concentration importante se trouve au niveau d'Auxonne et Pontailier. Au sud de Chalon, les sites sont globalement plus nombreux. Plusieurs pôles importants se distinguent : autour de Sancé et Mâcon, Villefranche-sur-Saône (Saint-Germain-au-Mont-d'Or, Saint-Georges-de-Reneins, Trevoux, Anse) et Lyon (Vaise, Saint Priest, Grigny, Vernaison). La présentation rive

droite/riche gauche (Fig. 100) donne une image similaire si ce n'est que les sites en rive gauche sont sensiblement moins nombreux et répartis de façon plus régulière.

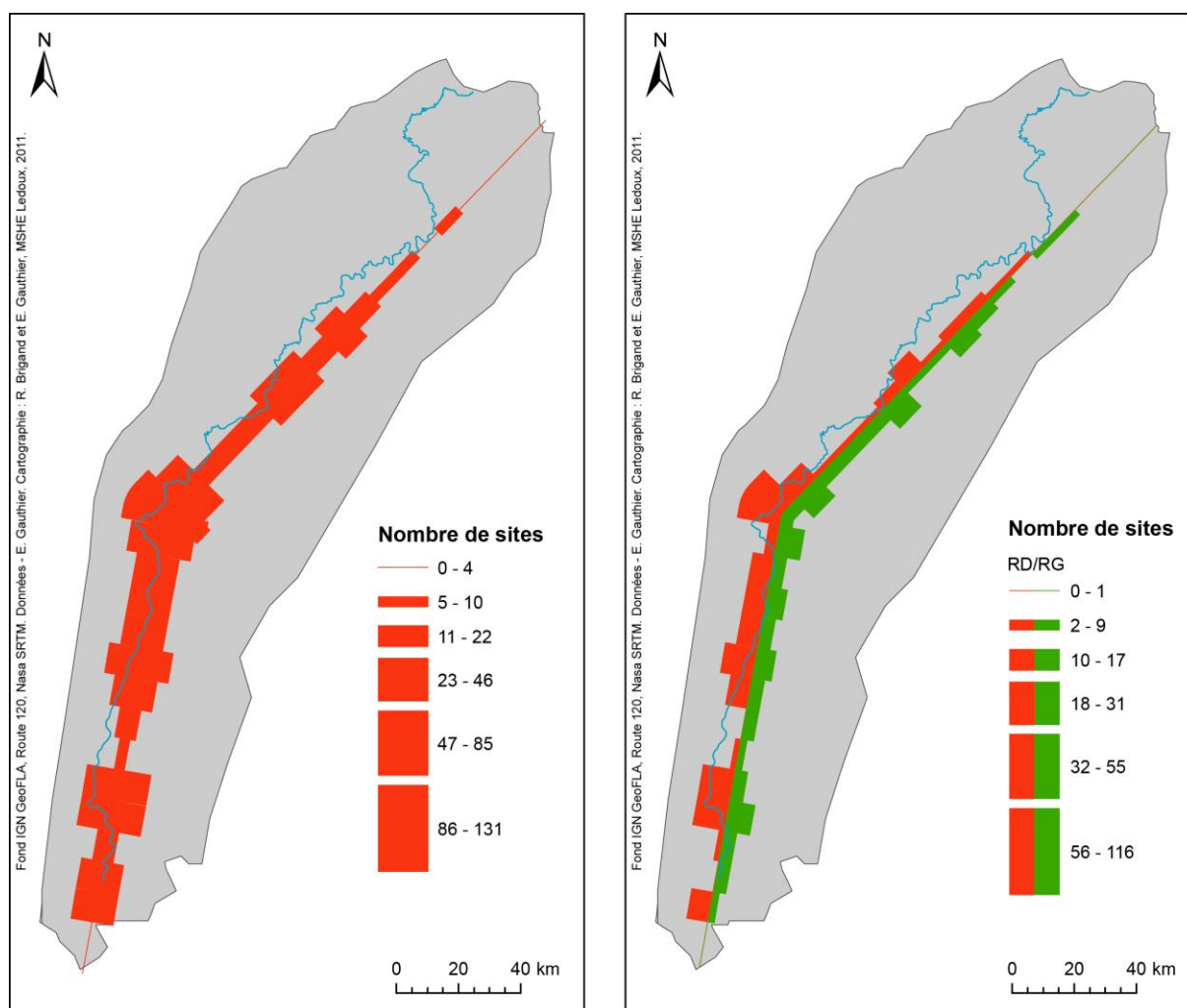


Fig. 100. Projections linéaires des sites de l'âge du Bronze moyen et final sur l'axe de la Saône ; à gauche, tous les sites ; à droite : distinction rive droite/rive gauche (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).

La pondération par le nombre d'objets métalliques (Fig. 101 à gauche) donne une image assez proche de celle des sites. En effet, il s'agit pour beaucoup de trouvailles isolées. On compte néanmoins une trentaine de dépôts dans la vallée ainsi que des habitats et des tombes mais ceux-ci ont livré dans l'ensemble assez peu d'objets de bronze. La partie supérieure de la vallée de la Saône présente deux concentrations d'objets marquées, la première autour d'Auxonne et Saint-Jean-de-Losne, la seconde plus importante, autour de Gray et Mantoche. Plusieurs gros dépôts ont en effet été trouvés dans ce secteur (Beaujeu, Quitteur, Evans) et l'habitat de Courchapon a livré un matériel abondant.

Les masses métalliques reflètent une image assez similaire à celle des effectifs des objets (Fig. 101 à droite), quoique les pièces métalliques trouvées dans le secteur de Gray soient relativement plus légères que celles du secteur d'Auxonne. Les objets provenant de la partie méridionale de la vallée sont aussi globalement plus lourds. Ce contraste s'explique facilement par la nature des découvertes situées en amont et en aval de Chalon-sur-Saône. En effet, en amont, ce sont en majorité des dépôts ou des habitats, or les objets y sont plus petits (davantage de parures) et/ou plus fragmentés. En

aval, plus de la moitié des découvertes sont des trouvailles isolées, qui sont souvent des objets plus gros (épées, haches) et entiers.

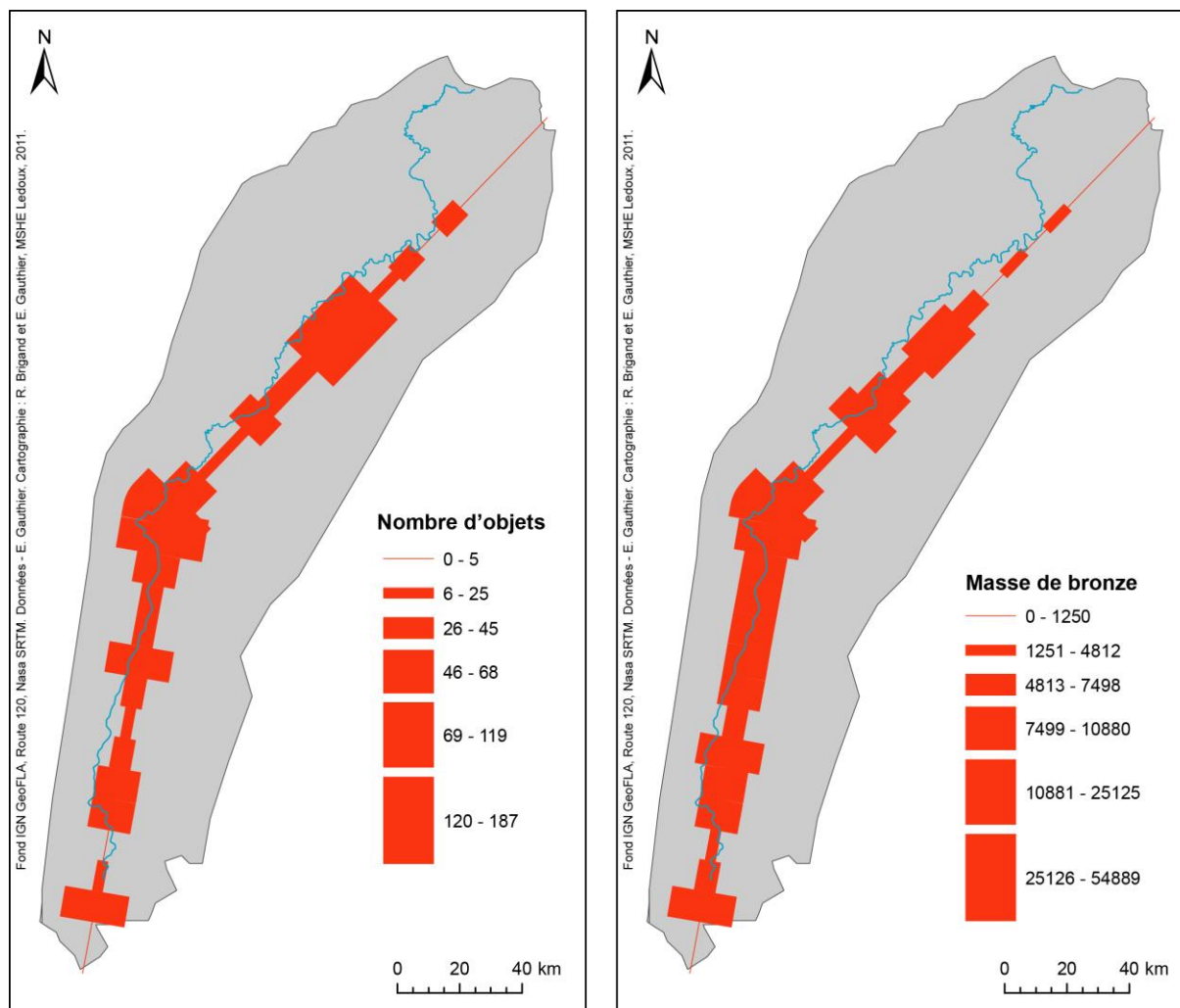


Fig. 101. Projections linéaires du nombre d'objets de bronze (à gauche) et des masses métalliques (à droite) de l'âge du Bronze moyen et final sur l'axe de la Saône (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).

La distinction à la fois par rive et par phase apporte des précisions (Fig. 102). Notons déjà que les valeurs pour le Bronze moyen sont globalement plus faibles, mais la période est aussi plus courte. Le pôle de Chalon-sur-Saône apparaît toujours comme le secteur le plus riche en données. La dichotomie nord-sud apparaît dès le Bronze moyen mais elle se renforce pour les sites du Bronze final quelle que soit la rive. Le nombre d'objets découverts dans le secteur de Gray, en rive gauche, présente une augmentation marquée, les gros dépôts mentionnés ci-dessus datant de cette période.

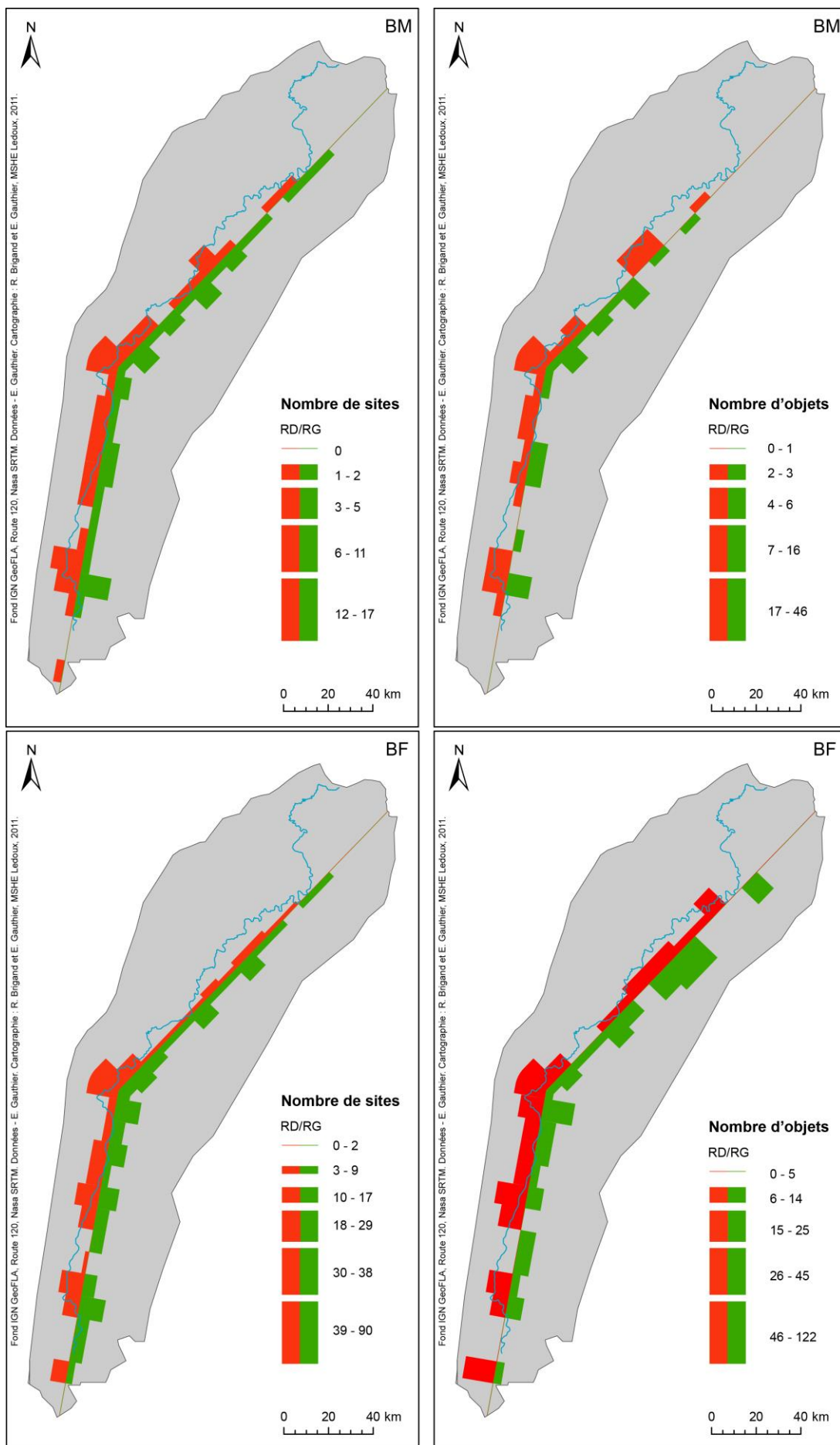


Fig. 102. Projections linéaires du nombre de sites (à gauche) et d'objets de bronze (à droite) de l'âge du Bronze moyen (en haut) et final (en bas) sur l'axe de la Saône (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).

La même méthode peut également être appliquée à l'axe du Rhin à partir de l'inventaire de Th. Logel des trouvailles métalliques protohistoriques en milieu fluvial ou humide. 248 découvertes sont recensées pour l'âge du Bronze, essentiellement entre l'Ill et le Rhin. Mis à part trois dépôts, il s'agit d'objets isolés.

Nous avons ici aussi simplifié le tracé de manière à ne conserver que les directions principales. L'axe est ensuite divisé en tronçons de 10 km de long (Fig. 103). Les projections linéaires appliquées à l'ensemble des données montrent que le Bas Rhin est nettement plus riche en découvertes, en particulier le secteur de Ehl ainsi que celui de Strasbourg. En revanche, au niveau de Haguenau, alors que l'on connaît de nombreux sites funéraires du Bronze moyen en milieu forestier, relativement peu de découvertes en milieu humide ont été signalées. On n'observe donc pas cette surreprésentation des données signalée plus haut (voir partie 6.5.1). Dans le Haut-Rhin, le secteur d'Appenwihr présente également une petite concentration de découvertes, ainsi que celui de Saint-Louis

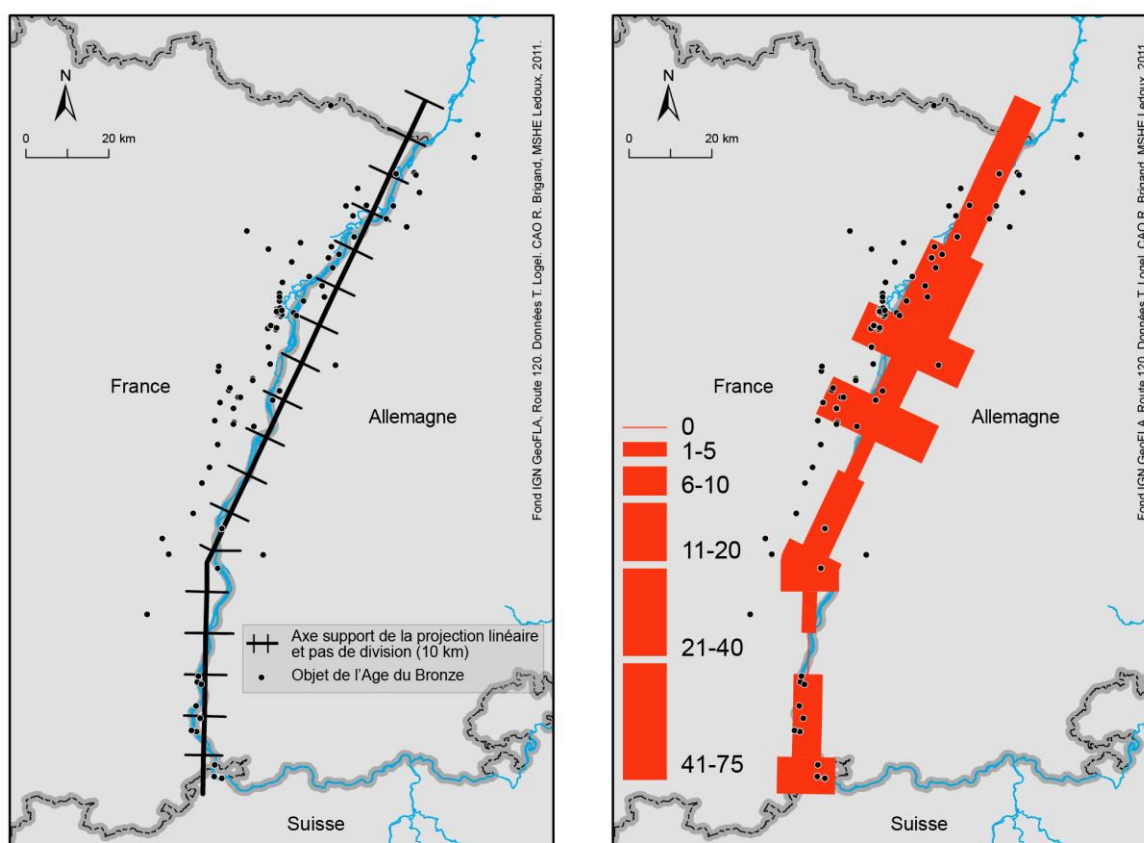


Fig. 103. Projections linéaires des objets de l'âge du Bronze trouvés en milieu fluvial ou humide le long de l'axe du Rhin (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données Th. Logel, CAO ! R. Brigand, 2011).

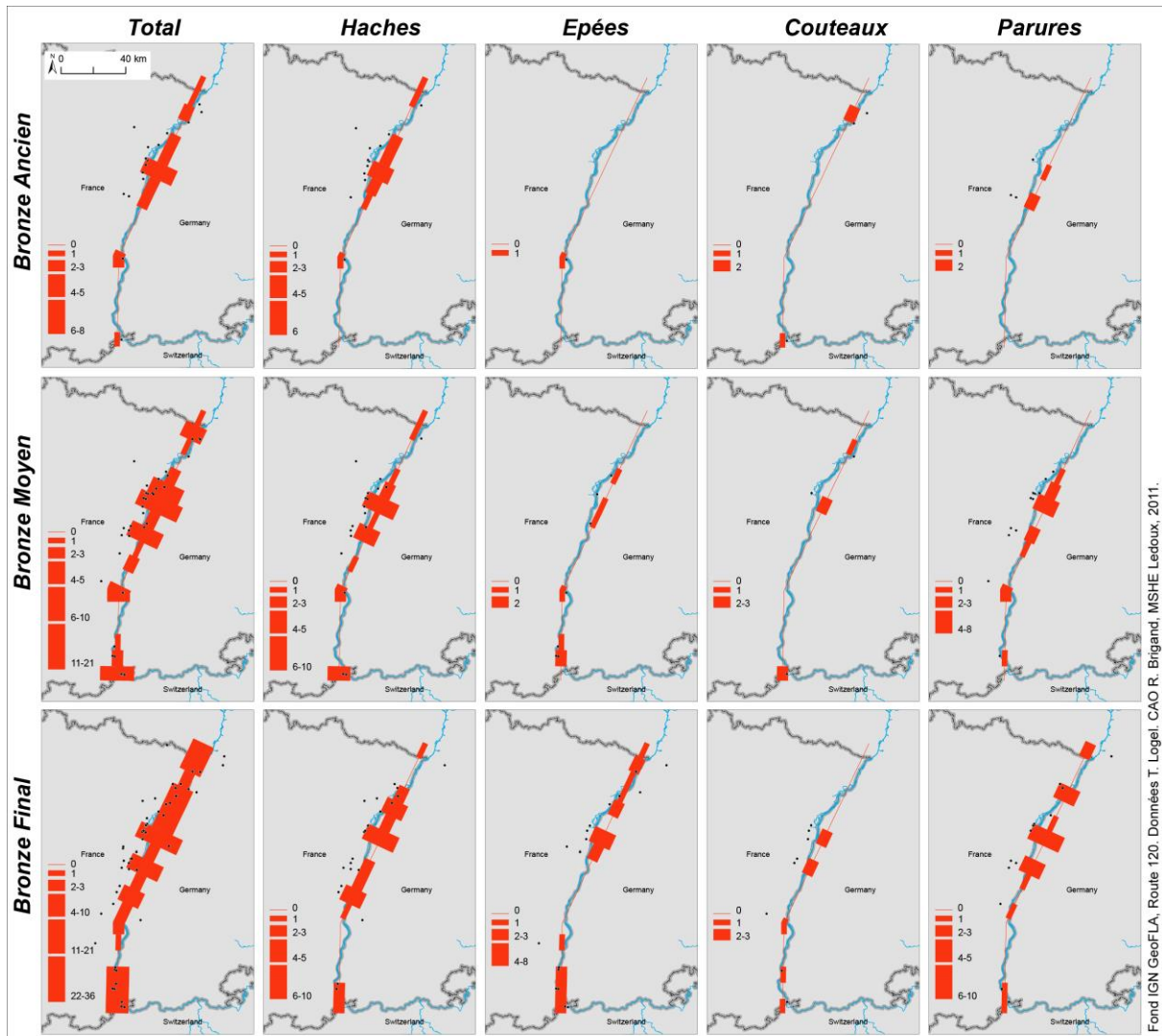


Fig. 104. Projections linéaires des objets de l'âge du Bronze trouvés en milieu fluvial ou humide le long de l'axe du Rhin : comparaison des trois phases de l'âge du Bronze et des principales familles d'objets rencontrés (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données Th. Logel, CAO : R. Brigand, 2011).

Nous comparons les résultats pour les trois phases de l'âge du Bronze et pour quelques familles d'objets relativement fréquentes (haches, épées, couteaux et parures, Fig. 104). La prédominance du Bas-Rhin s'observe depuis le Bronze ancien, alors même que le nombre global de découvertes semble augmenter de façon progressive jusqu'au Bronze final. Les haches sont les plus nombreuses à toutes les phases et suivent assez bien les tendances générales. Les épées sont un peu moins nombreuses. Le secteur de Strasbourg en a livré le plus grand nombre ; elles sont aussi bien présentes autour de Saint-Louis et dans le secteur de Haguenau, mais celui de Ehl en est complètement dépourvu. Les couteaux se rencontrent de façon anecdotique quelle que soit la phase. Les parures, enfin, sont présentes presque exclusivement dans le Bas-Rhin.

D'une manière générale, assez peu d'objets métalliques du Bronze ancien ont été découverts sur le cours du Rhin, ce qui est conforme aux observations faites pour les autres cours d'eau de France orientale. Les haches de cette phase sont bien représentées. Les découvertes en milieu humide du Bronze moyen présentent une image assez différente de celle apportée par les habitats et les nécropoles, celles de Haguenau, mais aussi d'autres secteurs comme Colmar, Appenwihr, Mulhouse ou du Sundgau. Enfin, le Bronze final correspond à une phase d'augmentation globale des découvertes dans les zones déjà identifiées comme les pôles principaux.

Cette première analyse exploratoire simple des données brutes permet donc d'appréhender les évolutions des trouvailles en milieu humide sur le cours du Rhin pendant l'âge du Bronze et de mettre en évidence des particularités pour certains types de mobilier. Il est bien sûr difficile d'interpréter ces variations en termes d'occupation ou d'utilisation du cours du Rhin pour la circulation des produits. La nature même de ces objets en milieu fluvial ou humide est difficile à interpréter. S'agit-il de simples pertes ? De dépôts volontaires ? Quoi qu'il en soit ces concentrations pourraient correspondre à des pôles de consommation au même titre que ceux du val de Saône, même si les indicateurs sont ici plus discrets. Dans les deux cas nous remarquons en effet que l'axe n'est pas occupé de manière uniforme et que des pôles de concentration peuvent être distingués. La nature des indicateurs est variable d'un secteur à l'autre ce qui suggère que les utilisations du bronze et/ou les pratiques de dépôt ne sont pas les mêmes. Il semblerait néanmoins que ces pôles soient relativement stables puisque d'une phase à l'autre ce sont globalement les mêmes zones de concentration de données qui apparaissent. Les effectifs présentent des évolutions comparables dans les deux secteurs étudiés, avec une augmentation nette des découvertes au Bronze final. La durée un peu plus longue de cette phase ne saurait à elle seule expliquer l'ampleur de cette augmentation, que l'on pourrait plutôt attribuer à une amplification de la consommation du bronze et/ou au développement des pratiques de dépôt dans les cours d'eau pendant cette dernière étape de l'âge du Bronze.

Les projections linéaires sont une méthode simple de quantification des données le long d'un axe qui peut être employée pour mettre en évidence l'organisation de l'occupation humaine ou de la consommation d'un produit le long d'une voie de circulation. Cette méthode facilite également les comparaisons de plusieurs phases ou de plusieurs indicateurs. Au contraire des méthodes utilisées dans la [partie 4](#) qui visaient à étudier l'espace de consommation sous forme de zonages (méthode des densités de noyaux), cette approche présente l'avantage de considérer l'espace comme linéaire, la voie de circulation ayant probablement eu un impact sur l'organisation locale de la consommation des produits. Néanmoins, si elle met en évidence des états ou des fonctionnements différents, cette méthode ne permet pas d'appréhender la circulation des produits à proprement parler. Dans la partie qui suit nous tentons d'aller plus loin en reconstituant le parcours des objets pour modéliser leurs déplacements le long des réseaux de transferts. A cette occasion, nous revenons également sur l'exemple des longues haches en jades alpins pris comme exemple dans les parties précédentes.

6.6. Analyse des flux de haches en jades alpins : un cas d'étude à l'échelle européenne

Au cours des V^e et IV^e millénaires av. n.è., les longues lames en jades alpins ont circulé, depuis les Alpes italiennes, sur des distances considérables à travers l'Europe entière ([voir la présentation du cas d'étude dans la partie 3.1](#)). Il a été démontré qu'elles ont suivi des parcours complexes et variés ([Pétrequin, Errera et al. 2009](#), [Pétrequin, Pétrequin et al. 2012b](#)), et qu'elles ont été transférées progressivement en passant par de grands centres de pouvoir ([voir plus haut les parties 3.1.2 et 4.1](#)). En cours de route, elles ont parfois subi des sélections et des modifications de forme visant à leur réappropriation et au changement de leur valeur ([voir plus haut la partie 3.1.3](#)). Elles ont enfin été intégrées à la représentation des élites sociales ([Pétrequin, Pétrequin et al. 2015](#)) ainsi qu'à des mythologies et des symbolismes lointains (carnacéens notamment, [Cassen 2012, 2017a, 2017b](#)). Elles constituent ainsi un cas d'étude particulièrement intéressant pour la compréhension des modes de transferts de biens socialement valorisés au Néolithique.

Nous proposons ici de modéliser leurs flux, c'est-à-dire de quantifier leur circulation à travers l'Europe néolithique. Cet exemple sera l'occasion de mettre en application d'une part le modèle conceptuel de données (et la géodatabase associée) décrit dans la partie 2.3 (Fig. 29 et 30) et d'autre part les principes de la modélisation selon la théorie des graphes et de l'analyse de réseau (voir ci-dessus l'introduction la partie 6). Cette étude repose sur des données d'une qualité exceptionnelle, le résultat de plus de trente années de recherches de la part de Pierre et Anne-Marie Pétrequin avec l'aide d'une équipe de spécialistes européens⁹⁰. Rares sont les cas permettant de reconstituer de façon suffisamment précise le parcours des objets ; le cas des longues haches en jades alpins fait office d'exception.

Cette proposition de modélisation qui tente ainsi de synthétiser les connaissances acquises sur les jades se veut un modèle hypothétique des réseaux de transferts, certes très imparfait mais tout au moins suffisamment complet pour rendre compte du fonctionnement de la circulation des longues haches en jades, tant quantitativement que qualitativement.

6.6.1. Reconstitution du réseau

Il s'agit dans un premier temps d'identifier pour chacune des lames et pour chaque étape de son cycle de vie les lieux par lesquels elles ont transité. En effet, comme nous l'avons vu plus haut (voir partie 2.2.4), on ne peut se contenter d'étudier seulement la distribution des sites de découverte (voir la Fig. 31) ; il est nécessaire de prendre en compte le parcours de chaque objet, souvent bien plus complexe qu'un simple et unique transfert entre le gîte et le lieu de dépôt (voir l'exemple de Lugrin, Pétrequin, Errera et al. 2009, et voir ci-dessus la partie 2.2.5). Nous créons ainsi une table dans laquelle sont inventoriés, dans l'ordre, l'ensemble des lieux fréquentés par chaque objet. Dans un second temps nous proposerons des chemins qui ont pu être empruntés pour ces transferts afin de créer une modélisation du réseau complet. Dans un troisième temps, nous comptabiliserons les haches ayant transité le long de chaque branche de ce réseau afin de représenter les flux de lames en jade pendant toute la durée du phénomène. Nous comparerons ensuite le développement du réseau et l'intensité de son exploitation à différentes phases. Nous chercherons enfin à comprendre le fonctionnement du réseau en nous intéressant à sa structure intrinsèque.

Une géodatabase a été conçue sur ArcGis 10.4 selon le modèle défini sur la Fig. 30 (Gauthier et al. 2013, Gauthier et al. 2017). Une table de tous les lieux impliqués dans les transferts a été créée puis spatialisée sous la forme d'une couche de points. Ces lieux ont été identifiés de différentes manières, à partir d'informations connues (lieu de découverte), d'observations faites sur les objets (matériau, niveau de finition), des résultats des études typologiques ou encore d'analyses spatiales.

Nous distinguons ici cinq types de lieux qui constitueront les nœuds du réseau : des gîtes, des ateliers, des centres de redistribution, des centres de retransformation et enfin les lieux de consommation finale.

- Les gîtes

⁹⁰ Avec deux financements du programme blanc de l'ANR : JADE (2006-2010) et JADE2 (2013-2017) ; Pétrequin, Sheridan et al. 2015, Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017.

Dans les Alpes, en Italie mais aussi en Suisse, dans les Pyrénées et dans les Cyclades, des campagnes de prospections ont été menées afin d'identifier l'origine de la matière première (Pétrequin, Pétrequin et al. 2012, Errera et al. 2017, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017a). Des gîtes ont ainsi été identifiés sur le Mont Viso, le Mont Beigua (Fig. 105), dans les Grisons et en Valais ainsi que sur l'île de Syros⁹¹. Les recherches sur le terrain ont été l'occasion de collecter un vaste référentiel d'échantillons sur lequel s'appuient les analyses pétrographiques et minéralogiques (Prichystal et Trnka 2001, Prichystal 2013), servant aussi à étalonner les analyses spectroradiométriques en réflectance diffuse réalisées sur les objets archéologiques (Errera et al. 2007, 2011, 2012a, 2012b). Des correspondances permettent ainsi d'identifier plus ou moins précisément l'origine de la matière première d'une partie des haches en jade. Pour certaines lames, l'analyse n'a pas permis de trancher mais une observation à l'œil nu basée sur une longue expérience (Pétrequin, Errera et Rossy 2012) permet de proposer une attribution probable. Ainsi, pour un nombre représentatif de lames (1082 sur 1760), les premières étapes du circuit sont connues ou peuvent être supposées de façon relativement fiable. Pour 38% des longues lames en jades alpins, le gîte d'origine n'a malheureusement pas pu être identifié.

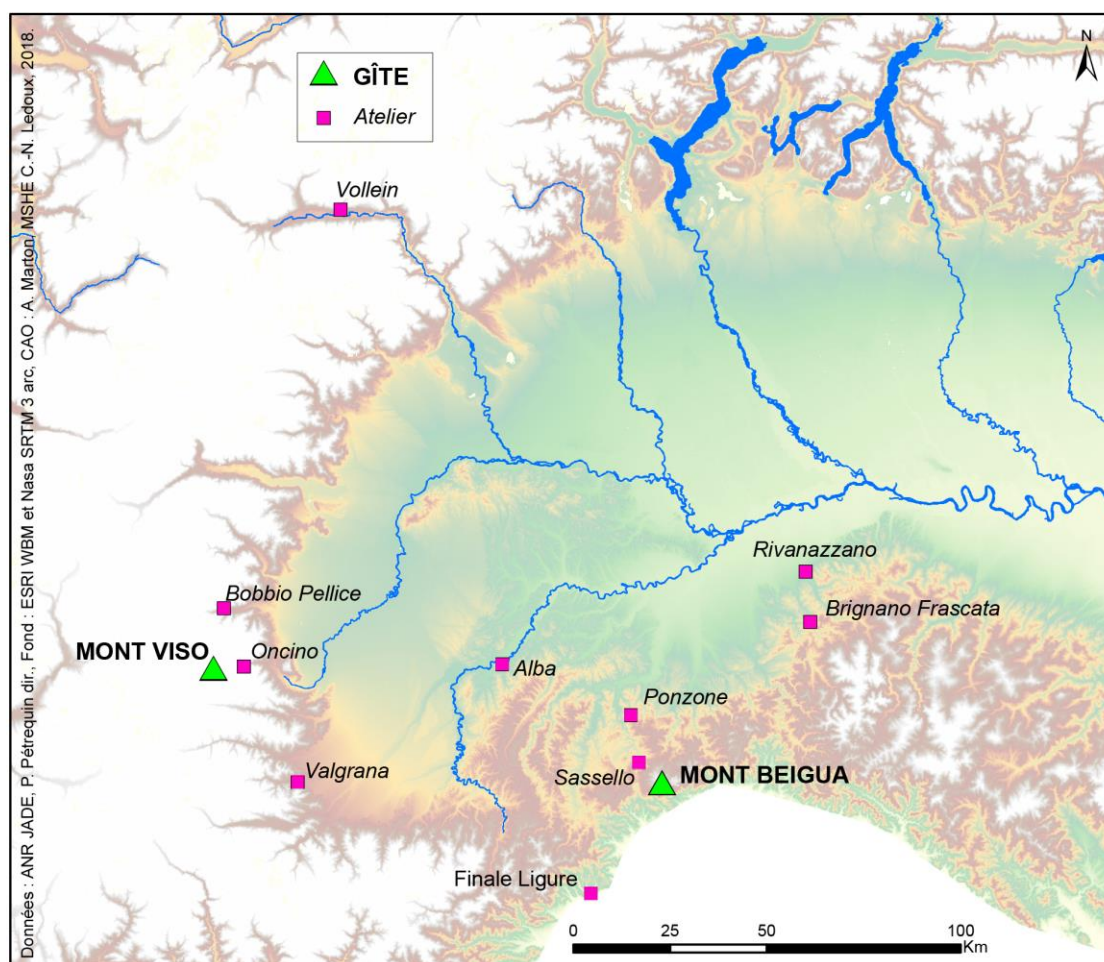


Fig. 105. Gîtes d'exploitation des jades alpins et principaux ateliers de production des lames de jade de la plaine du Pô (ESRI WBM et Nasa SRTM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton, 2018).

⁹¹ Le Mont Viso et le Mont Beigua sont les sources majeures. Il a été démontré que l'île de Syros n'a pas participé à la diffusion à longues distances vers l'Europe occidentale (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017a).

- Les ateliers

Si certaines étapes de la mise en forme des lames ont été réalisées en altitude (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017b, 2017e), les étapes finales tout au moins (bouchardage, polissage), devraient avoir été effectuées au sein de villages de basse altitude, dans un rayon de trois jours de marche autour des sources de matière première (Fig. 105, Pétrequin et Pétrequin 2017b, fig. 4 et 6). Certains sont connus et les ébauches retrouvées ont été étudiées (Pétrequin et Pétrequin 2017b). Il est donc parfois possible de mettre en relation les étapes d'exploitation et celles de mise en forme.

Mais les cas où les ateliers de mise en forme finale sont identifiés sont dans l'ensemble peu nombreux et ils ne concernent pas les lames retrouvées à l'autre bout de l'Europe. Dans notre modèle de réseau, le site d'Alba sera celui qui concentrera les lames issues des deux aires de production principale, celle du Viso et celle du Beigua, et nous lui attribuerons de façon arbitraire les produits d'origine inconnue. En effet les différents habitats néolithiques qui se sont succédés à Alba ont livré plus d'un millier d'ébauches en jades alpins, constituant ainsi une très vaste série couvrant la seconde moitié du VI^e millénaire et la totalité du V^e (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017c). Les analyses ont montré que ces lames avaient une origine mixte, bien que les produits provenant du Viso soient majoritaires⁹². Alba occupe également une position stratégique : elle se situe à peu près à égale distance des deux aires d'exploitation (du Viso et du Beigua) et elle appartient également aux deux aires de production à basse altitude (Pétrequin et Pétrequin 2017b, fig. 6). Elle possède un « incontestable rôle intermédiaire [...] dans le processus de production éclaté dans l'espace » (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017c, p. 273). Nous donnerons ainsi une position privilégiée au site d'Alba dans le modèle du réseau, en tant qu'intermédiaire depuis les gîtes vers le versant nord des Alpes.

- Les centres de redistribution

Nous avons mis en évidence dans la [partie 3.1.2](#), le fait que les transferts des longues haches en jade devaient se faire non pas de proche en proche mais de centre de redistribution en centre de redistribution (Samzun et al. 2012, Pétrequin, Cassen et al. 2012b). En effet, en observant la répartition générale des jades en Europe, on identifie de larges concentrations, séparées par des zones à faible densité de vestiges ([voir la partie 4.1](#)). Cette disposition géographique très particulière, faite de concentrations régionales successives s'apparente à un modèle avec intermédiaires (Renfrew 1975, fig. 10 et 12), fonctionnant en "places centrales" installées le long des axes de diffusion et faisant office de centres de redistribution. Ces centres n'auraient pas simplement contrôlé la circulation et les transferts des lames en jade, ils les auraient aussi accumulées et conservées pour une durée variable, une partie ayant finalement fait l'objet de dépôts à proximité (Pétrequin, Cassen et al. 2009). Ils peuvent donc être identifiés par les concentrations de lames plus ou moins étalées. L'analyse de densité de noyaux réalisée précédemment ([voir ci-dessus, la partie 4.1](#)) permet de proposer les centres jalonnant le parcours des objets (Fig. 106). Nous proposons cette fois de hiérarchiser ces pôles en deux catégories seulement, en distinguant les centres « principaux », marqués par des valeurs nettement plus fortes que dans le reste de la zone d'étude, et les centres « secondaires » qui correspondent à des concentrations plus faibles ou peu étendues. Les poids des centres situés en périphérie ont été réajustés en tenant compte de la faiblesse attendue des valeurs dans les secteurs les plus éloignés des gîtes. La position des centres a également été corrigée pour correspondre au mieux aux concentrations de sites.

⁹² Mais c'est le cas pour l'ensemble des lames de l'inventaire.

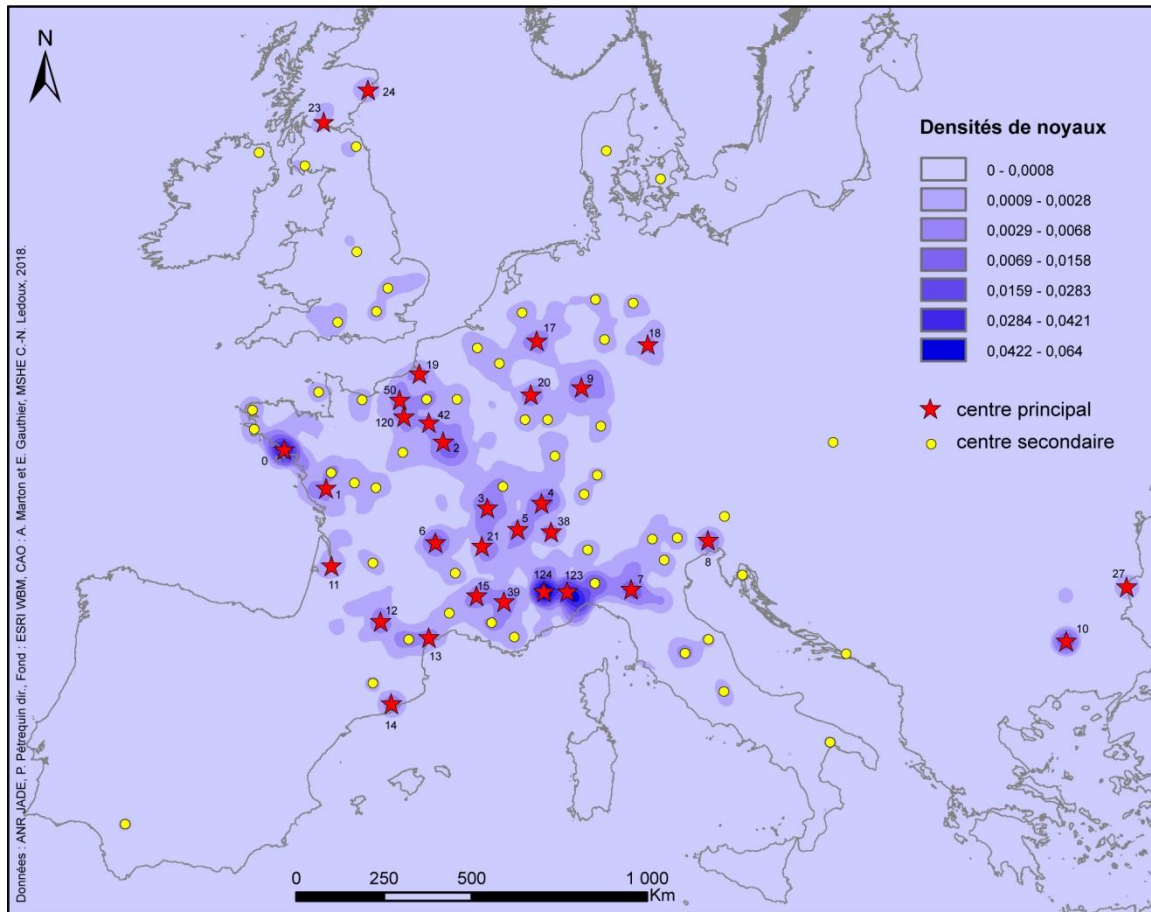


Fig. 106. Localisation des centres principaux et secondaires qui constituent selon nos hypothèses les nœuds du réseau de diffusion des longues haches en jades alpins (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).

- Les centres de retransformation

Les transferts des jades alpins semblent sous-tendus par des processus complexes : selon toute vraisemblance, les haches en jade font l'objet de sélections (matériaux, longueurs, niveaux de finition, types, voir la partie 3.1.1) répondant à la fois à des goûts régionaux et à une valorisation croissante des objets avec l'éloignement (Gauthier et Pétrequin 2017b). Elles peuvent aussi correspondre à des changements plus profonds de la symbolique des objets eux-mêmes au cours des transferts entre centres de pouvoir. Ces modifications de la valeur et de la fonction des objets s'accompagnent parfois de modifications morphologiques, certaines lames d'origine alpine ayant fait l'objet de transformations par des épisodes successifs de mise en forme et d'amincissement par polissage (Pétrequin, Cassen et al. 2012b, Pétrequin, Cassen et al. 2013). En effet, l'absence d'ébauches de certains types, leur présence uniquement sous la forme d'objets finis – voire surpolis – semblent indiquer un mode de production différent du modèle classique et attendu où l'ébauche préfigure déjà le type final. La rareté des ébauches loin des gîtes, la complémentarité de la distribution de certains types (voir la Fig. 51) et la tendance à une augmentation progressive du polissage (voir la Fig. 35) vont également dans le sens d'une transformation progressive des pièces au cours de leurs transferts. Les stigmates de cette transformation sont d'ailleurs bien visibles sur certains exemplaires (notamment des types Puy sur d'anciennes Altenstadt-Greenlaw, Bégude ou Durrington ; des types Chelles sur d'anciennes Puy, Pétrequin, Pétrequin et al. 2017c ; à Vayes une Rarogne sur une ancienne Saint-Michel ; à Bordeaux, une Castello sur une ancienne Bégude, etc.).

Sélectionnées et repolies pour en modifier la forme, cette réappropriation des plus belles pièces devait permettre de relancer leur valeur idéale (Pétrequin, Sheridan *et al.* 2011).

Ces transformations successives débutant en Italie du Nord pour s'achever en Écosse laissent penser à l'existence de centres spécialisés situés sur les principaux axes de transferts et dans les centres régionaux de pouvoir. S'il n'est pas possible de savoir si ces transformations sont le fait d'un seul et même atelier ni de connaître leur emplacement exact, nous pouvons supposer qu'ils se trouvaient au sein d'un centre de redistribution probablement important sur le parcours « habituel » des pièces du modèle considéré⁹³. Le sud du Bassin parisien est un bon candidat pour les types septentrionaux (Altenstadt, Greenlaw, Chenoise mais aussi Tumiach et certaines Chelles), de la même façon le Morbihan pour les modèles dits « carnacéens » (Tumiach, Saint-Michel) ou à poli « carnacéen » (Chelles, Bernon et Bégude repolies) et le secteur de Carcassonne pour le type Pauilhac. En Bulgarie, le secteur de Svoboda pourrait être le berceau du type Varna. Ces centres constituent des points de passage obligé dans le cheminement des lames des types concernés.

- Les lieux de dépôt

En fin de circuit, se trouvent bien entendu les lieux de découverte, habitats, tombes ou bien dépôts isolés ou groupés. Leur spatialisation est réalisée aux centroïdes communaux, sauf si l'origine des objets est trop imprécise. Dans ce cas leur parcours s'arrêtera au dernier centre de redistribution identifié.

- Les routes

Afin de compléter le réseau, il reste à modéliser les routes empruntées entre les différents nœuds qui viennent d'être décrits. Nous tenons bien entendu compte de la table des étapes recensant, pour chaque objet, les différents lieux atteints pendant ses transferts. Les liens identifiés permettent de créer la trame principale du réseau. Les différents pôles reconnus ci-dessus comme des centres de redistribution sont autant de jalons le long de ces grandes voies de diffusion.

Les routes sont proposées en fonction de la topographie. Nous partons de l'hypothèse que les principaux couloirs de circulation sont constitués de grands axes relativement rectilignes et larges, avec le moins possible de barrières naturelles. Ainsi nous proposons de suivre globalement le tracé des cours d'eau principaux (voir plus haut la partie 6.2) ainsi que celui des littoraux dans les secteurs concernés. Lorsque le relief peut limiter ou constituer un frein à la circulation, nous privilégions les passages les plus probables, en nous basant sur les vallées intra-montagneuses ou les cols ou bien en proposant un contournement. Lorsque les tracés se font moins évidents, nous nous aidons d'une modélisation des chemins optimaux à partir du MNT à 90m du SRTM⁹⁴ puis nous les confrontons pour validation à la répartition des sites, et également, mais avec prudence, au réseau routier actuel.

Enfin l'objet ayant atteint le centre de redistribution le plus proche de son lieu de découverte, nous le raccordons à celui-ci de façon directe, en créant un ensemble d'« oursins » reliant les différents centres aux sites de découvertes les plus proches. Ces nombreuses branches secondaires constituent les extrémités du réseau.

⁹³ Comme pour les centres de consommation/redistribution, pour la bonne structuration du modèle de réseau, nous proposerons par commodité un point unique, mais il peut très bien s'agir de plusieurs sites relativement proches. Il ne s'agit encore une fois pas de pointer un site précis mais le centre de la zone la plus probable.

⁹⁴ NASA SRTM 3 arc, que nous estimons suffisant à l'échelle de l'Europe pour définir les principales voies de circulation. Il s'agit en effet de définir de grands axes de circulation plutôt que des chemins précis.

Ces différents éléments nous permettent enfin de proposer un modèle du réseau qui reste bien sûr une hypothèse de travail (Fig. 107).

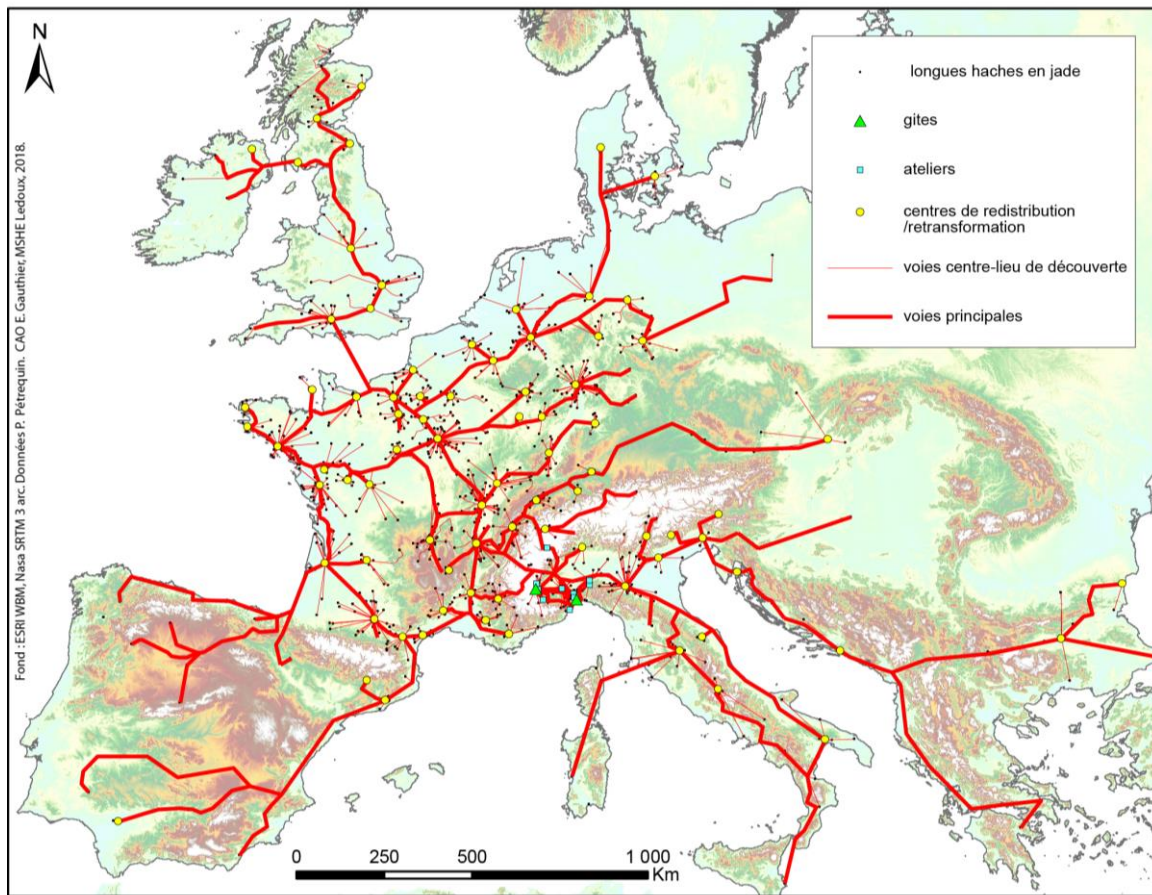


Fig. 107. Proposition de modélisation du réseau de diffusion des longues haches en jades alpins (ESRI WBM, Nasa SRTM, Données P. Pétrequin, CAO : E. Gauthier, 2018).

6.6.2. Validation du réseau

La géodatabase se compose de plusieurs classes d'entités de points correspondant aux différents types de lieux inventoriés, et d'une classe d'entités de lignes, c'est à dire l'ensemble des voies formant la trame du réseau. Toutes les classes d'entités doivent avoir le même système de projection.

L'étape suivante revêt une grande importance puisqu'il s'agit de vérifier la bonne construction du réseau et de le mettre en forme pour permettre son exploitation dans des conditions optimales (Sevtsuk et Mekonnen 2012). Il s'agit de créer un « jeu de données réseau » exploitable ensuite avec différents outils d'analyse de réseau disponibles tels que l'extension *Network Analyst* d'ArcGis, l'*Urban Network Analysis (UNA) Toolbox* de City Form Lab (Sevtsuk et Mekonnen 2012) ou encore le logiciel *Spatial Design Network Analysis (sDNA)* de l'Université de Cardiff, pour n'en citer que quelques-uns.

En effet même dessiné avec la plus grande précision possible, le réseau a généralement besoin d'être nettoyé et vérifié afin d'assurer qu'il respecte les règles de topologie spécifiques aux réseaux. Il est important de vérifier notamment que les tronçons et les jonctions sont correctement formés afin d'obtenir des résultats précis et valides lors de l'analyse. Sur cet aspect, la notion la plus importante

est celle de connectivité, qui repose sur la coïncidence géométrique des points de fin de ligne. Il est en effet nécessaire que toutes les entités se connectent au niveau de sommets afin de garantir la bonne prise en charge des relations spatiales : chaque ligne (voie) doit partir ou se terminer au niveau d'un nœud⁹⁵ ; ceux-ci constituent des jonctions lorsqu'ils forment l'extrémité d'au moins 3 voies ; aucune ligne ne doit traverser un nœud ; les lignes ne doivent pas s'entrecouper et ne doivent être coïncidentes qu'à leurs extrémités, auquel cas, elles sont dites « connectées ».

Le réseau de voies doit donc être redécoupé en un plus grand nombre d'entités linéaires. En effet, pour répondre à ces règles topologiques, les voies de départ doivent être fractionnées en tronçons au niveau des sommets (nœuds) coïncidents. Par exemple si nous avons défini une route partant d'un atelier à un centre de redistribution en passant par plusieurs autres intermédiaires, il est nécessaire de la découper en autant de tronçons individualisés qu'il y a de couples de lieux à relier le long du parcours. De la même façon, deux voies qui se croisent sont divisées en quatre tronçons avec un nœud partagé. Nous créons ainsi également davantage de nœuds dans ce réseau mais ils n'auront bien entendu pas le même rôle que les centres et les sites : en tant que simples embranchements, ils ne servent qu'à la construction et au bon fonctionnement du réseau.

Il est parfois nécessaire d'effectuer des corrections géométriques qui consistent généralement en des déplacements de sommets, la suppression de micro-segments ou encore la suppression de doublons. Deux voies ne peuvent pas se superposer, même partiellement et deux nœuds ne peuvent pas se confondre. Le problème le plus fréquent est la multiplication de nœuds qui ne devraient en former qu'un seul. En effet, lors du tracé des voies reliant deux nœuds, même en travaillant à une échelle très grande et en utilisant les options d'accrochage des outils d'édition, il arrive fréquemment qu'il existe un décalage entre le nœud visé et l'endroit où l'on termine la ligne. Il n'y a alors pas de connexion et cela crée un nouveau nœud, qui aurait dû être confondu avec celui existant. S'il est possible de corriger ce type de problème manuellement, il existe aussi des logiciels et des plugins permettant de les détecter et éventuellement de les corriger en utilisant des paramètres de tolérance définis (par exemple dans sDNA ou OpenJUMP). Le programme calcule la distance séparant l'extrémité de la ligne et le nœud visé ; en dessous du seuil de tolérance, l'outil considère que la ligne aurait dû être accrochée au nœud et peut éventuellement la compléter ou la réduire en projetant l'extrémité à l'endroit voulu.

Après avoir créé la géodatabase sur ArcGis et y avoir intégré les différentes classes d'entités, nous créons donc le jeu de données réseau et nous le validons, ce qui nous permet d'utiliser les fonctions de l'extension Network Analyst.

6.6.3. Modélisation des parcours et quantification des flux

Il s'agit ensuite de reconstituer physiquement le parcours de chaque objet en identifiant la succession des tronçons empruntés et des nœuds franchis. Nous listons pour chaque lame en jade et pour chaque étape de sa biographie, le parcours le plus probable. Pour cela nous nous appuyons :

- d'une part sur les différentes étapes enregistrées, c'est-à-dire la liste, dans l'ordre, des lieux fréquentés. Ceux-ci sont identifiés par un code de nœud.

⁹⁵ Ces polygones sont considérées comme indivisibles.

- d'autre part sur le chemin le plus probable dans le réseau. Les outils Network Analyst nous proposent des itinéraires les plus courts⁹⁶. Les tronçons sont également identifiés par des codes. Ces propositions sont ensuite revues et éventuellement réajustées en fonction de nos hypothèses sur la circulation des haches des différents types.

Enfin, pour quantifier les flux globaux des haches en jade, c'est-à-dire déterminer combien sont passées par telle ou telle voie, il suffit de comptabiliser le nombre de haches par tronçon puis de le représenter en ajustant l'épaisseur du tracé en fonction de la valeur obtenue (Fig. 108). Nous obtenons ainsi une première modélisation des flux cumulés des jades alpins tous types et toutes périodes confondues, qui malgré ses défauts et les incertitudes qui subsistent, donne sans doute une image bien plus proche de la réalité des transferts des jades alpins que la traditionnelle carte de répartition des seuls lieux de découverte.

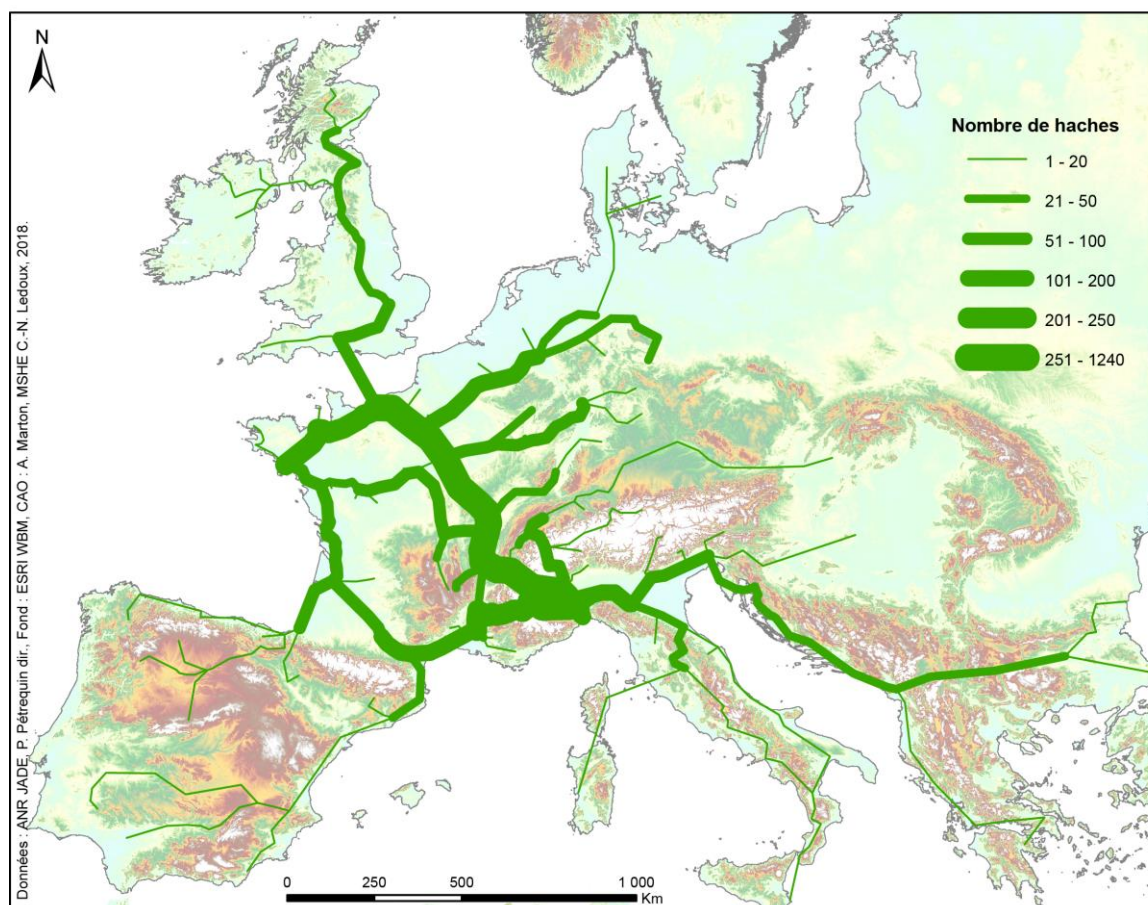


Fig. 108. Modélisation des flux cumulés des longues haches en jades alpins durant le Néolithique (ESRI WBM. Données P. Pétrequin. CAO : A. Marton, 2018).

Le résultat final de cette carte des flux permet de mieux comprendre l'organisation du réseau de diffusion⁹⁷ : trois routes théoriques relient les gîtes alpins au Golfe du Morbihan. L'axe Mont Viso-Bassin parisien a été de loin le plus important, tandis que la diffusion par l'Auvergne et le val de Loire serait plus limitée par rapport au volume total des transferts. La circulation par le Midi via le Toulousain et la Vendée a sans doute également permis les transferts d'un nombre important de

⁹⁶ Selon l'Algorithme de Dijkstra (Documentation en ligne ESRI ArcGis 10.4).

⁹⁷ Voir la monographie Jade volume 3 chapitre 21 (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d). Voir également le modèle interprétatif dans la conclusion du tome 2 de la monographie Jade (Pétrequin, Cassen et al. 2012b).

lames de jade (mais tout de même très loin des volumes atteints sur l'axe du Bassin parisien) en direction de la Bretagne. Le plus gros de la circulation se serait fait le long de ces axes majeurs orientés globalement sud-est/nord-ouest, afin de relier les deux épïcètres de la distribution des jades, le secteur alpin et le domaine carnacéen. En complément, d'autres voies secondaires partent en direction du nord et de l'est de l'Europe et, dans une moindre mesure, vers le sud. De nombreux exemplaires ont été transportés vers l'intérieur du continent, jusqu'en Allemagne orientale et certaines sont même parvenues jusqu'au Danemark. Des circulations maritimes sont démontrées en direction de la Grande-Bretagne et de l'Irlande au nord et de la côte cantabrique et du Portugal au sud. L'Italie péninsulaire est touchée de façon relativement modérée par la diffusion des longues lames de jade. Finalement l'ensemble de ces circulations majeures constitue un système d'autant plus cohérent que ses limites externes en sont très claires. Il n'y a pas de surprise du côté occidental, bien sûr, où l'Atlantique et la mer du Nord sont infranchissables. Du côté du continent, les limites d'expansion des jades sont également très tranchées (hormis pour quelques exemplaires isolés) : la péninsule ibérique (excepté l'enclave de Catalogne), l'Ombrie et le nord du Latium, l'Europe centrale, où une frontière nord-sud remarquablement étanche s'étend du Danemark à la Suisse ([Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d](#)). Seule la circulation vers le sud-est, c'est-à-dire en direction des Balkans, constitue une exception, avec des transferts lointains en direction de la Roumanie et de la Bulgarie pour la plupart, mais en quantité très modérée.

Bien entendu, avec une telle carte générale des flux, nous perdons l'information temporelle. A l'échelle considérée, il aurait été impossible de saisir la chronologie des transferts de façon précise d'un bout à l'autre de l'Europe. Si nous souhaitions mesurer les évolutions des flux des haches en jade, il faudrait non seulement prendre en compte la datation de chaque objet mais également la durée de son parcours. Or les transferts se sont faits sur des durées considérables ; il existe des décalages chronologiques entre les zones proches des gîtes et celles situées aux marges de l'Europe ([Cassen et Pétrequin 1999](#), [Pétrequin et Pétrequin 2012](#)). Par ailleurs, certains objets ont pu être thésaurisés sur de longues plages de temps et avoir été déposés bien après leur arrivée. A l'heure actuelle seule une approche par la typologie est possible mais il s'agit d'une approche simplificatrice. Nous pouvons en effet comparer les flux de plusieurs types de haches représentatifs d'une étape spécifique des transferts des jades ([Pétrequin, Cassen et al. 2012b](#)). Il est notamment intéressant de comparer les flux des haches de type Bégude et Durrington, les plus anciens, à celles des types Altenstadt-Greenlaw, Tumiac et enfin Puy ([Fig. 109](#)). Cette comparaison est d'autant plus intéressante que certains de ces types dérivent directement des précédents ([cf la partie 3.1.3](#)).

La phase la plus ancienne ([Fig. 109 en haut](#)) est marquée par une opposition entre deux fonctionnements complètement différents. Si les types Bégude et Durrington sont tous deux diffusés essentiellement le long des deux axes majeurs, l'un passant par le Languedoc, le Toulousain et la Vendée, l'autre par le Bassin parisien et le val de Seine, le type Bégude reste avant tout méridional. Les quelques lames parvenues bien plus loin, certaines jusqu'aux confins de l'Europe des jades, aux Pays-Bas, au Danemark, au Portugal et même au-delà, dans l'Europe du cuivre font figure d'exceptions. En effet, si la diffusion du type Bégude est extrêmement large puisqu'elle touche pratiquement toutes les parties de l'Europe, la majeure partie des lames de ce type sont restées dans le secteur alpin, le nord de l'Italie ou le Midi de la France. Le type Durrington quant à lui est nettement privilégié le long de l'axe traversant le Bassin parisien et parvient jusqu'en Ecosse.

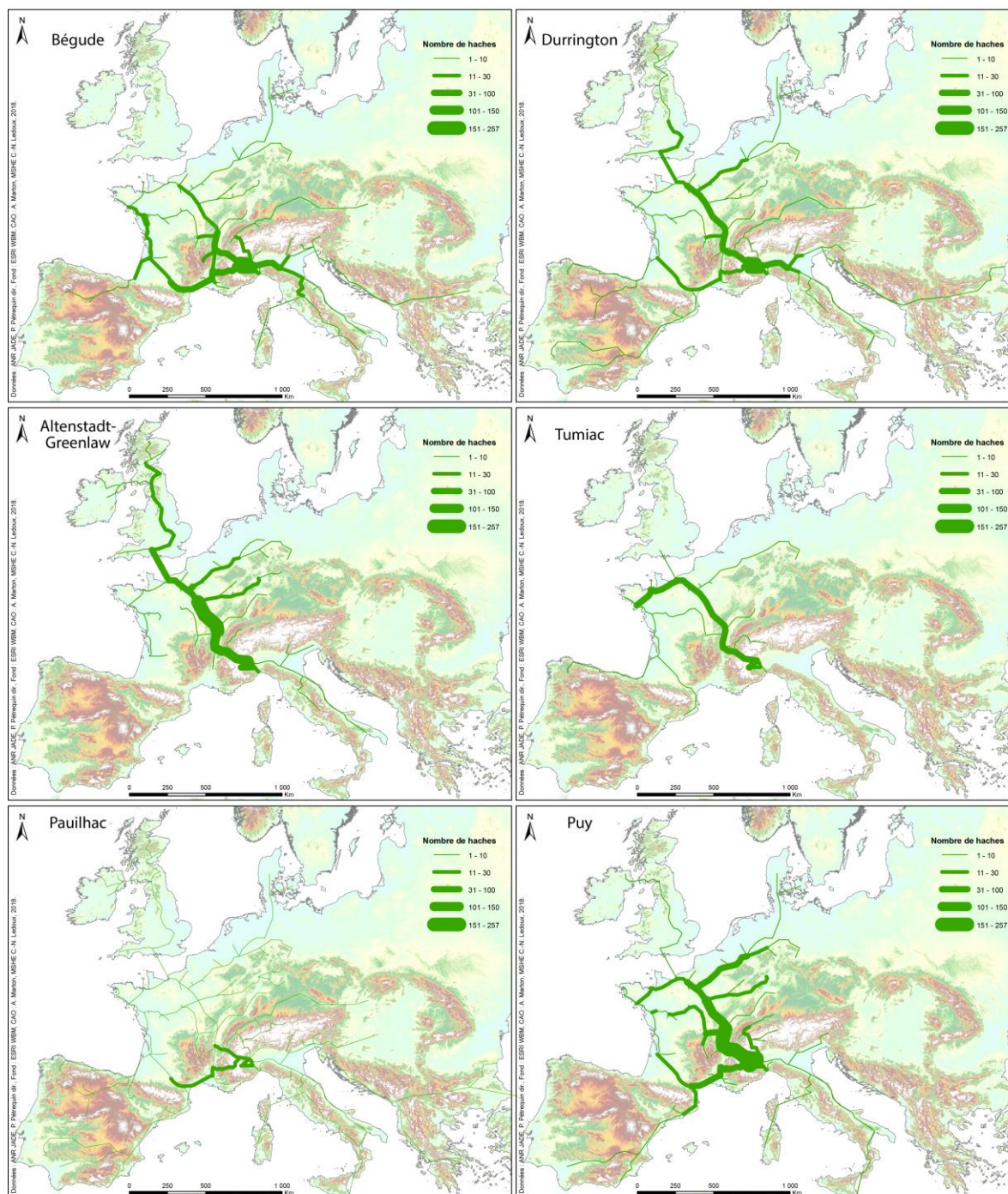


Fig. 109. Modélisation des flux pour différents types de haches en jade (ESRI WBM. Données P. Pétrequin. CAO : A. Marton, 2018).

Egalement diffusé à travers toute l'Europe, ses transferts à très longues distances ne concernent encore qu'un petit nombre d'exemplaires.

Le type Altenstadt-Greenlaw (Fig. 109 au centre à gauche) poursuit et renforce les tendances observées pour le type Durrington. Le Bassin parisien devient véritablement le point clé des réseaux de transfert des jades. Cela ne peut pas être expliqué en termes d'influences ou même simplement de rapports culturels ; durant des millénaires, le Bassin parisien a soutiré un nombre considérable de jades alpins et en a largement redistribué en direction du Morbihan et de la Bretagne dès le début du V^e millénaire, puis de l'Allemagne à partir du 43^e siècle, et de la Grande-Bretagne au début du IV^e millénaire. Le rapport avec la puissance d'expansion des différentes entités culturelles (V.S.G., Cerny,

Michelsberg ancien) qui puisent leurs racines dans le Bassin parisien apparaît on ne peut plus clairement (Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d).

L'analyse réalisée pour le type Altenstadt-Greenlaw comme pour le type Tumiach (Fig. 109 au centre à droite) que nous décrivons ci-après ne révèle sans doute pas un fonctionnement unique, car il ne s'agit que de modèles parmi d'autres à une phase où la régionalisation des types de haches en jades alpins est importante. D'autres types (par exemple Pauilhac, Fig. 109 en bas à gauche) pourraient donc apporter une vision complémentaire ; la voie du Bassin parisien n'est bien entendu pas exclusive. Le type Tumiach marque une autre étape de l'évolution du réseau. L'aire morbihannaise est alors non seulement une zone d'attraction et d'accumulation mais aussi le point de départ de réexportations spectaculaires de produits qui, s'ils n'ont plus nécessairement une valeur exotique puisqu'ils ont été intégrés à la sphère des symboles et des objets-signes typiquement carnacéens, revêtent toujours une valeur sociale, religieuse et culturelle extraordinaire. L'axe de diffusion nord de l'Italie - Bassin parisien constitue encore la voie principale de circulation, mais cette fois-ci en sens inverse et pour des quantités toutefois plus limitées.

Enfin le type Puy marque une rupture par rapport aux étapes précédentes (Fig. 109 en bas à droite). Les transferts des jades s'essouffent et se replient sur la partie centrale du réseau. Les quantités en circulation sont alors plus importantes mais les transferts lointains se font plus rares. Les jades suivent les mêmes routes que précédemment, quoique l'axe Auvergne - Val de Loire a pu gagner en importance.

Bien entendu il s'agit d'une vision encore très générale et qui ne correspond pas tout à fait à la réalité des évolutions du réseau. Il serait notamment nécessaire de confronter ce modèle à l'occupation humaine ou à d'autres produits. Par ailleurs, il peut exister un décalage de plusieurs siècles entre l'utilisation d'un modèle dans la zone des gîtes et son utilisation à l'autre extrémité des voies de transferts. Mais cet exercice, si insatisfaisant soit-il, donne un premier aperçu assez cohérent des grandes évolutions du réseau de transferts sur les deux millénaires concernés.

6.6.4. Analyse de la structure du réseau : objectifs et principes

L'image qui se dégage des cartes de répartition et des contextes de dépôt est celle de sociétés fortement inégalitaires où la sphère des échanges était contrôlée par les puissants. La structure du réseau de circulation des jades reflète non seulement l'organisation des transferts mais également l'attractivité des différents centres de redistribution et, à travers eux, les phénomènes de compétition qui régissent les relations sociales entre les différents groupes humains dans l'Europe néolithique.

Le développement de ces sites répond probablement à des stratégies d'ordre économique, social, culturel ou politique, les avantages liés à leur position entraînant une plus grande activité. Dans une dernière étape de cette analyse, nous souhaitons savoir si les centres les plus importants dans la circulation des jades, ceux que nous considérons aussi comme des centres de pouvoir, ont tiré parti de leur position avantageuse dans le réseau ou inversement s'ils possédaient d'autres qualités (position stratégique dans l'espace géographique, présence de ressources, influence sociale ou culturelle, etc.) qui ont pu susciter le développement du réseau vers ou à partir d'eux. Nous nous intéressons surtout à la façon dont la distribution de ces éléments apparaît à différents endroits d'Europe, en cherchant à distinguer les « effets réseau », qui correspondent à un positionnement

avantageux au sein du graphe, et les « effets spatiaux » liés à la situation géographique et environnementale du lieu (Gleyze 2007).

Ces sites constituent ici les nœuds du réseau. Or leur position dans le graphe joue beaucoup sur leur capacité à remplir les différentes fonctions que les nœuds peuvent avoir au sein d'un réseau (connexion, relai, rupture de charge, changement de mode ou de portée spatio-fonctionnelle, Bavoux 2005). Il s'agit donc d'observer si l'importance d'un nœud est corrélée à sa position au sein du système, en évaluant différents indicateurs propres à une analyse de réseau (Sevtsuk et Mekonnen 2012). Cette analyse ne s'intéresse qu'au graphe en tant que tel ; elle se veut donc, dans un premier temps, totalement indépendante de la distribution des haches en jades alpins, du statut estimé des centres mais aussi de leur environnement géographique ou culturel.

Deux facteurs principaux peuvent affecter le développement individuel des nœuds : leur accessibilité et leur centralité. L'accessibilité (Sevtsuk 2010) est la facilité ou la rapidité avec laquelle les sites peuvent être atteints à partir des autres nœuds du réseau. En effet, un nœud peu accessible devrait théoriquement être désavantagé : s'il ne possède pas un atout autre qui le rende indispensable ou particulièrement attractif⁹⁸, les connexions devraient privilégier les nœuds plus accessibles, dans l'hypothèse de stratégies de transferts à moindre coût (Emerson 1962, Cook 1977). Plusieurs paramètres entrent en jeu pour définir l'accessibilité (Sevtsuk 2010) : le nombre de destinations possibles, la taille de chacune de ces destinations et le coût du déplacement nécessaire pour les atteindre. Celui-ci peut correspondre par exemple à la durée de cheminement ou bien à la distance linéaire parcourue.

La notion de centralité est un autre élément clé dans l'analyse des réseaux, particulièrement quand il s'agit de comprendre leur structure hiérarchique. Les recherches de l'équipe travaillant autour de Richard M. Emerson et Karen S. Cook ont en effet montré qu'il existe un lien entre la dépendance au pouvoir et l'organisation des réseaux d'échanges (Emerson 1962, Cook et al. 1983). Leur approche se base sur l'hypothèse que le pouvoir est fonction de la centralité. Le concept de « position » est ici important car celle-ci a prouvé être un paramètre déterminant des comportements des sociétés au sein des réseaux d'échanges (voir Cook et Emerson 1978, Harkess 1976). En effet, la position qu'occupe un acteur dans un réseau détermine la dépendance relative qu'il exerce (Stolte et Emerson 1977), sa propre indépendance et son influence (Bavelas 1948, Friedkin 1991) et donc son « pouvoir »⁹⁹. Si ces principes concernent surtout des réseaux sociaux, ils peuvent être aussi appliqués, au moins en partie, aux réseaux spatiaux (Sevtuk 2010, Sevtsuk et Mekonnen 2012, Dale et Fortin 2010).

Il n'est pas possible de « prédire » à partir de la seule centralité structurelle quels sont les centres de pouvoir pour tous les types de réseaux ; il a été démontré que cela ne s'applique de façon satisfaisante qu'aux relations impliquant des connexions positives (Cook et al. 1983).¹⁰⁰ Dans notre cas, les connexions sont majoritairement positives, en particulier à la fin de la chaîne des transferts, étant donné que les produits circulant doivent d'abord être passés par les premières étapes pour arriver aux dernières, l'augmentation des transferts en fin de parcours ne peut se faire que si elles ont augmenté en début de parcours.

⁹⁸ Selon les conditions, les êtres humains choisiront leurs connexions en fonction des avantages de différentes natures (ou « récompenses ») qu'ils sont susceptibles d'en retirer (Homans 1974, Emerson 1976).

⁹⁹ Pour une discussion sur la mesure du statut et du pouvoir et une bibliographie afférente, voir Friedkin 1991.

¹⁰⁰ La connexion est positive si l'échange dans une relation est subordonné à l'échange dans l'autre ; elle est négative si l'échange dans une relation est subordonné à l'absence d'échange dans l'autre (Emerson 1972).

Nous partons donc de l'idée qu'un nœud du réseau plus accessible ou plus central joue un rôle plus déterminant dans les transferts. L'accessibilité et la centralité sont deux qualités dont l'importance relative peut être évaluée sous la forme de scores reposant sur le calcul d'indicateurs. Ces deux concepts sont en réalité intimement liés. En lui-même le terme de centralité ne correspond pas seulement à la situation « centrale » d'un nœud, mais également à tout ce que cela implique pour les connexions et les transferts (Freeman 1979). Le terme peut donc être pris dans un sens plus général regroupant en fait une multitude de notions complémentaires qui régissent les relations au sein du réseau comme l'accessibilité, la proximité, l'intégration, la connectivité, le coût, l'effort (Porta et al. 2006). Bien que de nombreux indicateurs aient été proposés dans la littérature¹⁰¹, la plupart se concentrent autour de cinq indices principaux (Freeman 1977, 1979, Sevtsuk et Mekonnen 2012) mesurant de différentes manières la situation relative d'un nœud à l'intérieur du réseau et l'importance de sa position structurelle dans ses relations aux autres nœuds du réseau, toujours en suivant les chemins les plus courts¹⁰² :

- La portée (« Reach », Sevtsuk 2010) mesure le nombre de destinations accessibles dans un rayon de recherche donné. Cet indice très simple s'apparente à ce que l'on nomme le « degré » du nœud qui représente le nombre de ses connexions (Albert et Barabási 2002, Porta et al. 2006, Bavoux 2005). Il peut être complété par la taille des destinations accessibles et par l'indice « Remoteness » qui mesure l'impédance des routes conduisant au nœud en question (Sevtsuk 2010).
- L'intermédiation (« Betweenness », Freeman 1977, Sevtsuk 2010) mesure le potentiel du nœud à être traversé, c'est-à-dire la proportion des connections qui impliquent le nœud en question parmi l'ensemble des connections deux-à-deux du réseau. Cet indice mesure la sollicitation d'un nœud par comptage des plus courts chemins qui y transitent.
- La proximité (« Closeness », Sabidussi 1966) mesure l'inverse de la distance cumulée requise pour atteindre le nœud depuis tous les autres qui se trouvent dans le rayon de recherche donné.
- La rectitude (« Straightness », Vragovic et al. 2005) mesure les écarts positifs dans les distances de déplacement qui résultent des contraintes géométriques du réseau routier par rapport aux distances linéaires dans un plan sans relief.
- La gravité (« Gravity », Hansen 1959, Sevtsuk 2010) suppose que l'accessibilité au nœud est proportionnelle à l'attrait (au poids) des destinations environnantes, et inversement proportionnelle aux distances les séparant.

Ces différents indicateurs peuvent être mesurés conjointement pour chaque nœud du réseau afin d'évaluer l'importance relative de ceux-ci. Il est possible de les considérer tous ensemble comme des indices complémentaires, chaque mesure répondant à une question différente sur le fonctionnement du réseau (Friedkin 1991). Mais il faut prendre garde au fait qu'ils sont souvent corrélés entre eux (Porta et al. 2006)¹⁰³. Il est également possible de généraliser le calcul sur l'ensemble du système pour définir la centralité du réseau lui-même par un indice unique (Bavelas 1950, Parlebas 1972,

¹⁰¹ La littérature sur ce sujet est très abondante. Pour les concepts fondamentaux et leur traduction mathématique, voir notamment : Bavelas 1948, 1950, Leavitt 1951, Freeman 1979. Pour les fondements théoriques liés aux processus sociaux, voir Friedkin 1991. Pour des applications à des réseaux spatiaux : Porta et al. 2006, Dale et Fortin 2010 ; en Archéologie : Brughmans 2013.

¹⁰² Sur la question des plus courts chemins et la notion de chemins optimaux en analyse de réseau, voir Gleyze 2007.

¹⁰³ Avec une liste bibliographique concernant les études portant sur l'analyse des différences et des corrélations entre les indices de centralité appliqués aux réseaux sociaux, voir Porta et al. 2006, p. 718.

Nieminen 1973).¹⁰⁴ Des indices d' « efficacité » globale du réseau (Latora et Marchiori 2001, Porta et al. 2006) ont également été proposés.

Néanmoins, le concept de dépendance au pouvoir sur lequel repose notre hypothèse de départ a été conçu pour être utilisé en microsociologie, pour analyser des relations dyadiques, et se révèle donc plus difficile à appliquer dans l'analyse globale de réseaux complexes (Cook et al. 1983). En effet, les qualités d'accès ou de centralité attribuables à la configuration spatiale d'un site affectent également la totalité des axes de circulation qui lui sont connectés et la distribution des centres suivants sur le parcours, par un effet de chaîne. L'impact des propriétés d'accessibilité et de centralité ne joue donc pas que sur les sites individuellement ou deux à deux, mais également sur l'ensemble du réseau. Il faut donc rester prudent quant à une interprétation plus globale de l'ensemble des mesures de centralité des nœuds à l'échelle d'un réseau complexe.

Comme autre limite à prendre en compte dans l'interprétation des différents niveaux de centralité, nous citerons l'« effet de bord » qui tend au regroupement des scores les plus élevés autour du centre géométrique du réseau puisque ce sont plus souvent des intersections de plusieurs voies, alors que les nœuds situés aux extrémités du réseau servent de destination finale et sont donc plus fréquemment dotés de valeurs faibles (Porta et al. 2006). C'est notamment vrai dans le cas des transferts des haches en jades alpins puisque les marges de l'Europe (péninsule ibérique, Ecosse, Irlande, Europe sud-orientale) ont été atteintes en tout dernier, avec un décalage chronologique important, et ont attiré globalement beaucoup moins de haches en jade. Néanmoins, la situation est bien plus complexe ; il n'est pas possible de généraliser l'idée selon laquelle les nœuds situés dans la zone centrale du réseau sont toujours avantagés aux dépens des nœuds extérieurs. Il existe une évidente hiérarchie des centres de redistribution partout dans le réseau qui ne suit pas une règle spécifique liée à l'éloignement aux gîtes alpins. Il s'agira donc plutôt, lors de l'interprétation des résultats, de compenser les effets de bord normalement présents.

6.6.5. Analyse de la structure du réseau : application au cas des haches en jades alpins

Dans le cas spécifique du réseau de transferts des jades alpins, nous avons choisi de calculer les indicateurs suivants :

Portée (avec différents rayons de recherche) / connectivité :

- Nombre de centres atteints lors d'un trajet de 1000km le long du réseau depuis le centre en question
- Nombre de centres atteints lors d'un trajet de 500km le long du réseau depuis le centre en question
- Nombre de centres atteints lors d'un trajet de 200km le long du réseau depuis le centre en question
- Distance du plus long trajet partant, passant ou arrivant dans ce centre

¹⁰⁴ Voir notamment l'indice de centralité de Bavelas (1950), qui s'appuie sur la somme des distances de chaque sommet et sur la somme des distances du réseau. Mais cet indice ne semble pas convenir pour tous les types de réseaux (Parlebas 1972).

Degré du centre

- Nombre de branches raccordées directement au centre

L'intermédiarité

- Nombre de trajets (fréquence) sur lesquels le centre en question est un intermédiaire (comptabilisé parmi tous les parcours les plus courts entre toutes les paires de centres du réseau)

La proximité et l'accessibilité

- Durée moyenne (et écart-type) des trajets (depuis tous les autres centres) arrivant dans le centre considéré
- Distance moyenne (et écart-type) des trajets (depuis tous les autres centres) arrivant dans le centre considéré
- Nombre moyen (et écart-type) de tronçons empruntés par trajet (depuis tous les autres centres) vers le centre considéré
- Nombre moyen (et écart-type) de centres intermédiaires traversés par trajet (depuis tous les autres centres) vers le centre considéré

Centralité spatiale globale

- Ecart au point moyen de tous les centres (distance en km)
- Ecart au point moyen des haches en jade (distance en km)
- Ecart au centroïde de l'emprise de la zone d'étude (distance en km)

Ces indicateurs correspondent à trois des principaux indices de centralité définis précédemment : la portée/connectivité, l'accessibilité, l'intermédiarité. Comme il s'agit de confronter la centralité des nœuds avec leur statut (poids) respectif, nous avons choisi de ne pas prendre en compte la gravité, car le raisonnement aurait été circulaire. Nous avons également écarté la rectitude qui à cette échelle devrait moins compter qu'à une échelle plus grande, comme par exemple en milieu urbain.

La connectivité est évaluée d'abord tout simplement par le degré du nœud, c'est à dire le nombre de branches connectées, qui indique son potentiel de connexion avec les autres parties du réseau. En effet, plus d'embranchements partiront de ce nœud plus il aura de chances de relier un grand nombre de destinations différentes. D'autre part, la portée est évaluée aussi de façon plus précise par le nombre des autres nœuds du réseau qui peuvent être atteints à différents pas de distance. En effet, certains nœuds tendent à se connecter à de nombreux autres nœuds et embranchements immédiatement autour d'eux, par exemple dans le cas de sous-ensembles au sein du réseau, mais guère plus loin, tandis que d'autres présentent une bonne connectivité par rapport à l'ensemble du réseau, c'est pourquoi il est intéressant de comparer des distances courtes et d'autres importantes. Les pas ont été choisis de façon empirique en considérant l'échelle du réseau étudié. Le rayon de recherche est appliqué en distance de chemin le plus court¹⁰⁵. Enfin, comme nous traitons d'un espace géographique, la portée n'est pas seulement mesurable en termes de connexions mais également en termes de distances. Ainsi la longueur maximale des trajets passant par le nœud considéré montre à quel point il est connecté à l'ensemble du réseau, en particulier à ses marges, et s'il permet donc des relations de très grande amplitude.

¹⁰⁵ "Shortest-path distance " ou "shortest path length " (Sevtsuk 2010, Newman 2010).

L'intermédiarité représente la capacité du nœud à être traversé fréquemment. Plus précisément ici, c'est son degré d'utilisation en tant qu'intermédiaire au sein du réseau qui nous intéresse, en supposant que certains nœuds ont été quasiment des passages obligés pour rallier certaines régions d'Europe. Il est à noter que le degré du centre peut aussi être considéré comme un indice d'intermédiarité puisque plus le centre aura d'embranchements, plus il pourra jouer un rôle d'intermédiaire dans les parcours.

Les paramètres liés à la proximité ou à l'accessibilité du nœud mesurent plutôt la difficulté à atteindre ce centre depuis n'importe quel nœud de départ. Il s'agit de considérer différents types de frictions comme la durée, la distance ou la complexité du trajet. Ce paramètre peut donc s'exprimer de différentes manières : une mesure de temps de parcours ou de distance linéaire cumulée le long des axes de circulation du réseau, en nombre de branches à longer ou de nœuds intermédiaires à traverser.

Nous avons également ajouté des indices de centralité spatiale globale. Comme nous considérons ici un réseau spatial, il est possible d'utiliser des indicateurs de centralité tels que ceux utilisés en géostatistiques, en particulier les points centraux (Pumain et Saint-Julien 1997). La comparaison avec la position géographique des points centraux du réseau donne une idée de leur position par rapport à l'ensemble du graphe. Nous proposons ici d'analyser la proximité des différents nœuds avec trois points centraux différents : le centre géométrique de l'emprise du réseau, le point moyen de l'ensemble des nœuds du réseau et le point moyen de la distribution des haches en jade. Dans le premier cas, nous considérons le réseau comme un espace continu et délimité par une emprise. C'est par rapport à la géométrie de cet espace que nous évaluons la centralité des nœuds. Ce centroïde géométrique vrai est calculé par rapport à l'enveloppe minimale convexe obtenue à partir de la couche de l'ensemble des lignes du réseau. Dans le second cas, nous considérons que seule importe la répartition des nœuds qui forment un semis de points (sans nous intéresser aux possibles voies qui les relient).¹⁰⁶ Le troisième considère l'emprise globale de la répartition des haches en jade tout en tenant compte des possibles déséquilibres dans leur répartition et donc dans le fonctionnement du réseau lui-même.

Nous disposons ainsi d'un ensemble d'indicateurs adaptés pour évaluer le degré de centralité de chacun des nœuds du réseau de transferts des haches en jades alpins. Chacun de ces indices apporte une information complémentaire, qui peut d'ailleurs être différente d'un indicateur à l'autre. Nous souhaitons à présent en faire la synthèse et comparer le niveau de centralité des différents nœuds.

Nous mesurons tout d'abord la corrélation des valeurs pour les différents indicateurs définis (Fig. 110).

¹⁰⁶ Cet aspect est compris dans le calcul des indices d'intermédiarité et d'accessibilité.

	indices de friction à l'accessibilité				indices d'intermédiarité		indices de centralité spatiale globale			indices de connectivité (portée)		
	Durée moy.	Dist moy.	Nb voies moy.	Nb centres travers.	Nb branches	Fréquence interméd.	Dist ptm centres	Dist ptm haches	Dist centroïde emprise	Nb centre atteints 1000km	Nb centre atteints 500km	Nb centre atteints 200km
Durée moy.	1											
Dist moy.	0,997	1										
Nb voies moy.	0,902	0,908	1									
Nb centres travers.	0,843	0,848	0,835	1								
Nb branches	-0,201	-0,199	-0,271	-0,254	1							
Fréquence interméd.	-0,328	-0,326	-0,453	-0,320	0,692	1						
Dist ptm centres	0,913	0,919	0,830	0,757	-0,111	-0,238	1					
Dist ptm haches	0,951	0,958	0,875	0,795	-0,125	-0,261	0,987	1				
Dist centroïde emprise	0,780	0,789	0,686	0,739	-0,128	-0,156	0,873	0,857	1			
Nb centre atteints 1000km	-0,928	-0,928	-0,928	-0,835	0,214	0,380	-0,833	-0,885	-0,707	1		
Nb centre atteints 500km	-0,801	-0,795	-0,826	-0,711	0,301	0,558	-0,657	-0,719	-0,545	0,895	1	
Nb centre atteints dans les 200km	-0,584	-0,585	-0,614	-0,459	0,384	0,499	-0,464	-0,500	-0,326	0,635	0,684	1

corrélation positive forte
 corrélation positive assez bonne
 corrélation négative forte

Durée moy. = durée moyenne (en jours) de tous les trajets arrivant dans ce nœud (depuis tous les autres nœuds)
Dist moy. = distance moyenne (en km) de tous les trajets arrivant dans ce nœud (depuis tous les autres nœuds)
Nb voies moy. = Nb moyen de voies de chaque trajet arrivant dans ce nœud (depuis tous les autres nœuds)
Nb centres travers. = Nb moyen de nœuds intermédiaires franchis (sans doublon et sans être ni l'arrivée ni la fin du parcours) de chaque trajet arrivant dans ce nœud (depuis tous les autres nœuds)
Nb branches = Nb de branches raccordées au nœud (direct)
Fréquence interméd. = nb de fois que le centre est un intermédiaire parmi tous les parcours possibles
Dist ptm centres = distance au point moyen de tous les nœuds (en km)
Dist ptm haches = distance au point moyen des haches en jade (en km)
Dist centroïde emprise = distance au centroïde de l'emprise de la zone d'étude calculée par enveloppe minimale convexe du réseau
Nb centre atteints 1000km = Nb de nœuds atteints lors d'un trajet de 1000km (distances de chemin) le long du réseau depuis le nœud en question
Nb centre atteints 500km = Nb de nœuds atteints lors d'un trajet de 500km (distances de chemin) le long du réseau depuis le nœud en question
Nb centre atteints 200km = Nb de nœuds atteints lors d'un trajet de 200km (distances de chemin) le long du réseau depuis le nœud en question

Fig. 110. Calcul des indices de corrélation linéaire de Bravais Pearson entre tous les indices permettant d'évaluer la place des différents nœuds dans le réseau (E. Gauthier).

Le calcul de corrélation linéaire de Bravais Pearson (Groupe Chadule 1994) montre que la plupart des paramètres sont fortement corrélés à plusieurs autres (voir aussi Porta et al. 2006). Nous pouvons composer trois groupes d'indices :

- la durée moyenne des trajets, leur longueur moyenne, le nombre de voies à parcourir, le nombre de centres intermédiaires à franchir, la distance aux trois points centraux.
- Le nombre de branches (degré du nœud) et la fréquence d'intermédiarité
- Le nombre de centres accessibles à 200, 500 ou 1000 km

En d'autres termes, le premier groupe correspond aux indices de friction à l'accessibilité et de centralité spatiale globale, le second groupe aux indices d'intermédiarité et le troisième à la connectivité (portée). La corrélation positive entre la centralité spatiale et la friction à l'accessibilité est tout à fait normale puisque, plus le nœud se trouve loin du centre du réseau, plus le chemin à parcourir pour l'atteindre est long et complexe. Les nœuds situés sur les marges du réseau ont donc généralement des valeurs fortes pour la friction et pour l'indice de distance au centre du réseau. Nous constatons également que les indices de connectivité et ceux de friction à l'accessibilité ont une corrélation négative, ce qui est également logique puisque les nœuds situés sur les marges constituent fréquemment l'extrémité des parcours, tandis que ceux du centre du réseau connectent souvent plusieurs voies.

Afin d'attribuer une valeur globale à chacune des quatre catégories d'indices de centralité (friction à l'accessibilité, centralité spatiale globale, connectivité et intermédiarité, chacune composée de

plusieurs indicateurs), il est tout d'abord nécessaire de mettre à la même échelle toutes les valeurs mesurées, en créant un système de scores sur une échelle de 1 à 100. Pour estimer si la valeur est forte ou faible par rapport à l'ensemble des valeurs de l'indicateur, nous proposons d'attribuer le score de 100 à la valeur maximale et de relativiser toutes les autres par rapport à ce chiffre. Puis nous calculons la moyenne des scores obtenue dans chaque catégorie d'indices de centralité. Les différents indices sont alors comparables (Fig. 111)¹⁰⁷.

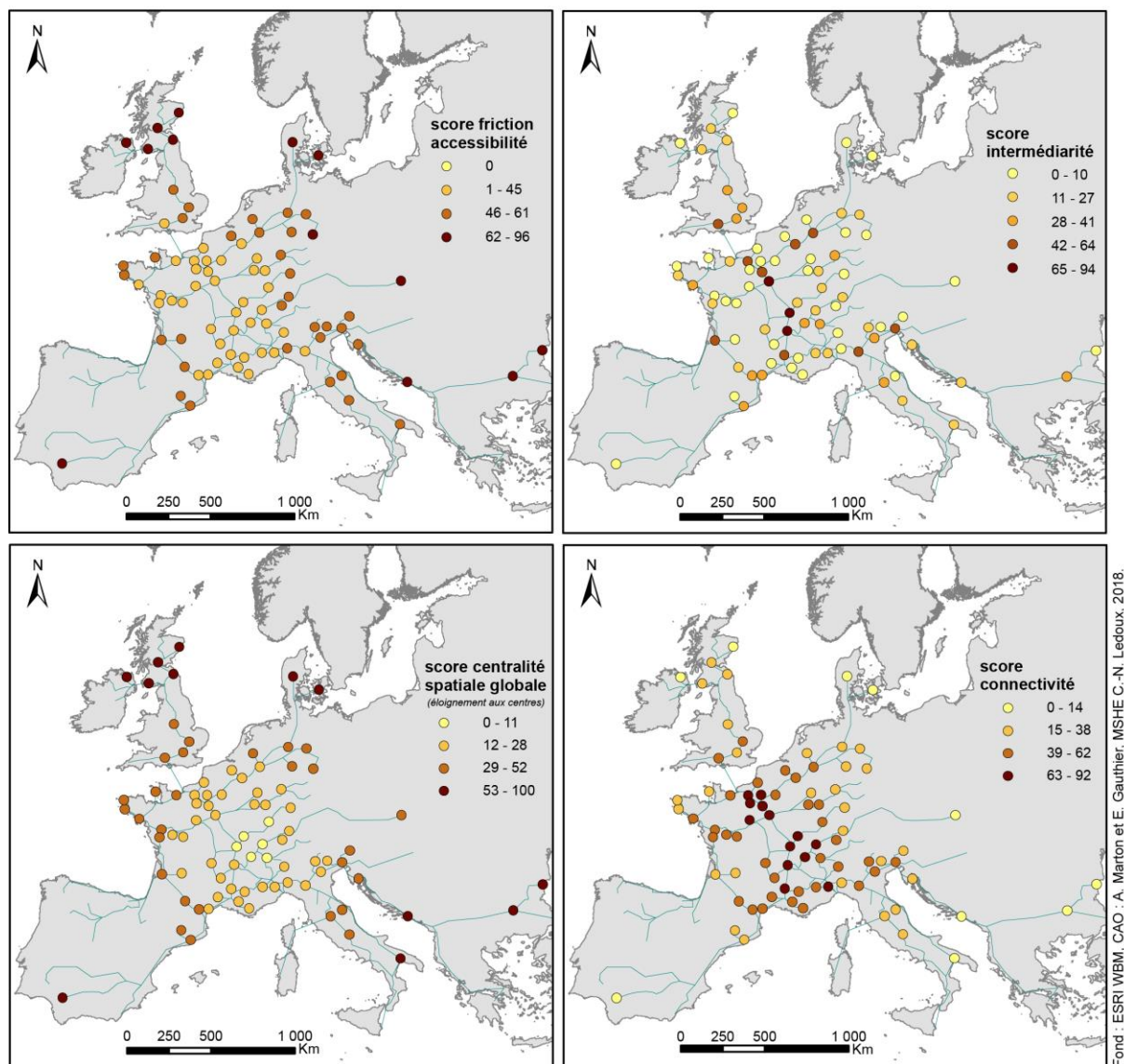


Fig. 111. Scores obtenus par les différents nœuds du réseau pour les différents indices calculés (ESRI WBM, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).

¹⁰⁷ Pour la représentation, la méthode de discrétisation des valeurs utilisée ici est la méthode des seuils naturels (Jenks 1967).

Dans l'ensemble, le résultat obtenu correspond à ce qui était attendu, à savoir des nœuds proches du centre géographique du réseau mieux connectés, avec une meilleure accessibilité et souvent plus d'intermédiarité et au contraire, des nœuds situés sur les marges du réseau, moins bien connectés, moins accessibles avec une moins bonne intermédiarité¹⁰⁸. Le plus intéressant concerne la répartition des nœuds à très forte intermédiarité : on conçoit aisément la présence d'une voie principale de circulation qui concentre la grande majorité des flux depuis le nord des Alpes en direction du nord de l'Europe. La situation rappelle fortement une « nodalité linéaire » telle que décrite par J.J. Bavoux (2005) dans laquelle, à l'image d'une « colonne vertébrale », l'axe a une fonction de nœud donnant naissance à de multiples endroits à d'autres tronçons plus ou moins parallèles entre eux.¹⁰⁹

Il est également intéressant de comparer le statut des nœuds que nous avons évalué à partir des densités de noyaux de longues haches en jade (voir Fig. 106), et leur degré global de centralité (Fig. 112). Si l'on compare le score moyen de tous les indices de centralité¹¹⁰, il est clair que les centres principaux ont tendance à avoir plus volontiers un meilleur potentiel au sein du réseau que les centres secondaires.

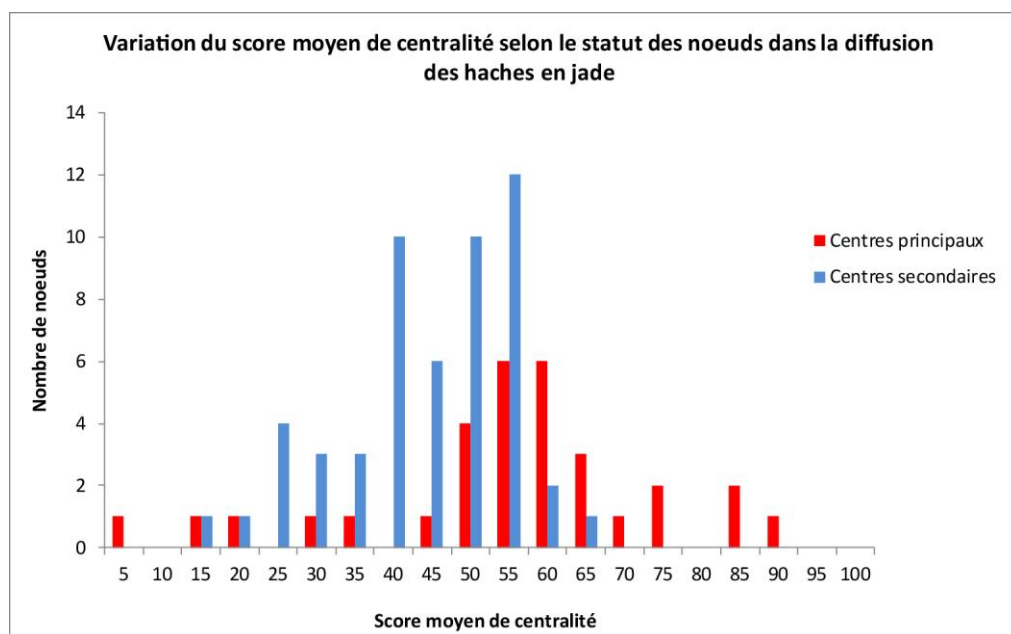


Fig. 112. Comparaison du score global de centralité des nœuds considérés comme des centres principaux ou comme des centres secondaires (DAO : E. Gauthier, 2018).

¹⁰⁸ Voir la question de l'effet de bord : Porta et al. 2006. Il est aussi « possible d'isoler les "effets réseau" et les "effets spatiaux" associés [aux nœuds, indépendamment des facilités dont ceux-ci bénéficient compte-tenu de leur positionnement spatial a priori], en comparant les plus courts chemins traditionnellement utilisés pour calculer ces indicateurs avec une classe de chemins optimaux appelés "chemins de Delaunay" » (Gleyze 2007).

¹⁰⁹ Voir la théorie du corridor de C. Whebell (1969).

¹¹⁰ Pour calculer le potentiel global des nœuds, nous avons réalisé la moyenne des scores des 4 indicateurs de centralité. Les scores ayant une progression inversée par rapport au potentiel qu'ils renseignent ont été recalculés. Par exemple le score de friction à l'accessibilité devient le score d'accessibilité en soustrayant ce score à la valeur maximale de 100. Il en va de même pour le score de distance au centre qui devient un score de proximité.

Il est également intéressant d'observer la position de certains nœuds stratégiques dans la circulation des jades. Les centres situés à proximité immédiate des gîtes alpins, où se situent les ateliers de mise en forme (n°123 et 124 de la Fig. 106), bien qu'ils ne possèdent pas une intermédiation très importante, sont les points de départ de la circulation et à ce titre des étapes obligées ; ils possèdent une bonne accessibilité et une bonne connectivité.

La position de Carnac au sein du réseau est également intéressante (Fig. 106, nœud n°0). Bien que le site soit relativement éloigné du centre du réseau, il possède un score global assez comparable voire plus élevé que les nœuds situés près du centre, sur les axes secondaires du réseau. Il possède en particulier une bonne accessibilité et une assez bonne connectivité qui lui permettent de tenir un rôle important dans la redistribution des jades. En comparaison, le nœud situé dans le secteur de Bordeaux, qui possède un éloignement similaire par rapport au centre du réseau a une meilleure intermédiation puisqu'il constitue un point de passage « obligé » par la route qui remonte du Midi le long de la façade atlantique, mais une moins bonne connectivité et davantage de friction à l'accessibilité. Carnac possède également une meilleure intermédiation par rapport aux sites de la vallée de la Loire plus proches du centre du réseau. On peut donc proposer de voir dans la position de Carnac au sein du réseau un atout dans la redistribution des produits en jade. Ce n'est bien entendu sans doute pas le facteur principal qui a permis son développement, son poids socio-culturel important étant probablement à l'origine de son rôle d'épicentre de l'attraction et de la redistribution des jades.

Ce sont les nœuds situés le long de l'axe Rhône-Seine, qui possèdent le meilleur potentiel global au sein du réseau de transfert des jades. Il s'agit notamment des secteurs de Lyon (Fig. 106, nœud n°21), Chalon-sur-Saône (n°3), Sens (n° 2) et Rouen (n° 50). Ils sont assez proches du centre géométrique du réseau et ils possèdent tous une faible friction à l'accessibilité, une bonne connectivité et surtout un score élevé d'intermédiation. C'est ce qui semble constituer leur principal avantage. On l'a vu, dans les faits, cet axe est bien celui qui devait concentrer la part la plus importante des flux cumulés des haches en jade (Fig. 108) et serait resté le plus actif tout au long de la période concernée (Fig. 109). Il est probable que cette position avantageuse au sein du réseau ait favorisé le développement de ces centres de pouvoir, leur conférant un rôle particulier dans le contrôle de la diffusion des produits. C'est également dans ces centres que la forme et la valeur des jades auraient été réinterprétées avant de poursuivre leur route en direction du nord et de l'ouest. L'intermédiation semble donc être le critère qui favorise le plus le développement de certains nœuds au sein du réseau de transfert. Un calcul de la corrélation de Bravais Pearson entre le score d'intermédiation et le volume global des flux cumulés ayant transité par chaque nœud donne d'ailleurs un résultat de 0,72, ce qui est largement supérieur à la corrélation avec les autres critères de centralité.¹¹¹ Cela semble jouer particulièrement sur les nœuds ayant les plus forts scores d'intermédiation (Fig. 113)¹¹², ce qui montre que ce critère exerce probablement un rôle favorable sur le dynamisme des nœuds.

¹¹¹ La corrélation avec le score moyen de centralité donne un résultat de 0,61 seulement.

¹¹²A noter que l'on observe aussi de fortes valeurs de flux sur des nœuds n'ayant pas un fort score d'intermédiation, ce critère n'est donc pas le seul à jouer.

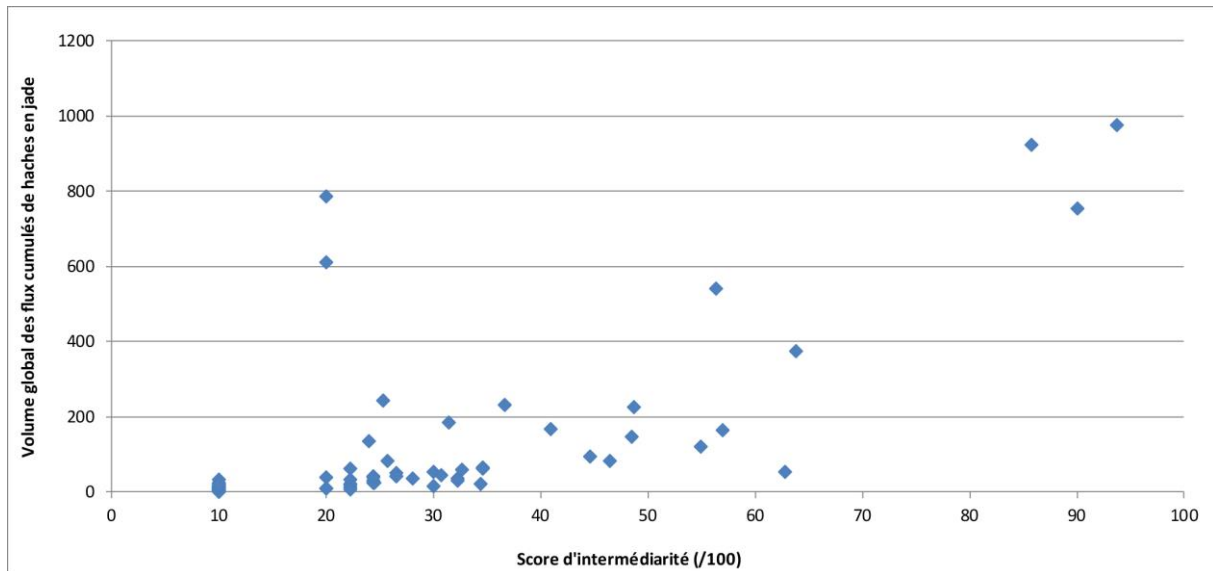


Fig. 113. Confrontation entre le score d'intermédiarité des nœuds du réseau et le volume global estimé des flux de haches en jade (DAO : E. Gauthier, 2018).

Malgré ces tendances générales, certains nœuds qui ont un bon score de centralité global et des avantages au sein du réseau n'affichent pas une importance à la mesure de leur potentiel, les flux estimés restant assez faibles (par ex. le nœud n° 30, Belgique, n° 47 vers Villabazana, n° 48 autour de Dijon). Au contraire, certains nœuds, qui pourtant ont un potentiel peu élevé concentrent un nombre important de haches (par ex. n° 12 autour de Toulouse, n°20, autour de Trier, n° 9, autour de Mainz, etc.). Enfin, même avec un score très faible de centralité, certains sites très éloignés ayant un potentiel très faible au sein du réseau (en particulier avec une forte friction à l'accessibilité) ont été atteints, en petit nombre, par la diffusion des haches en jades (par exemple, nœuds n° 10 et 27, Svoboda et Varna, n° 24 Aberdeenshire, n°107, Séville, n°55 sud de l'Italie).

On peut en conclure que même si les avantages procurés par leur position au sein du réseau a sans doute eu un rôle dans le développement de certains centres, ce n'est probablement pas le seul critère, ni le plus important, qui ait joué sur les flux des haches en jades. Par ailleurs les transferts ont aussi touché des régions éloignées avec un faible potentiel de connectivité... tout est question de volonté.

Conclusion/synthèse

L'atelier 3 de l'ACI ArchaeDyn et de l'ANR ArchaeDyn II a été avant tout une expérience collective. Pour la première fois des chercheurs travaillant sur la circulation de matériaux ou de produits très divers se réunissaient pour se pencher sur des approches méthodologiques communes et nouvelles, faisant appel aux géostatistiques et à la modélisation spatiale. Face à la très grande diversité des jeux de données et des questionnements, l'entreprise s'est avérée au premier abord plutôt complexe, mais, en nous appuyant sur les produits les mieux documentés, plusieurs méthodes d'analyse spatiale se sont révélées efficaces et surtout ré-applicables ou adaptables à d'autres cas d'étude. Nous regroupons ici, en guise de conclusion, quelques remarques synthétiques concernant notre expérience, même si l'ensemble de ces recherches doivent être encore approfondies, en particulier pour les premières approches développées sur la multitude des questionnements possibles.

Avec des bases de données déjà acquises dans le cadre d'autres programmes, il est très vite apparu nécessaire de formaliser les conditions dans lesquelles ces inventaires avaient été conçus et l'impact d'éventuels déséquilibres documentaires sur le plan spatial ([voir la partie 1.2](#)). Ainsi l'atelier 3 s'est rapproché de l'atelier 4, dédié aux recherches purement méthodologiques, pour concevoir un outil commun d'évaluation de la confiance que l'on peut avoir dans l'interprétation des cartes de répartition. Si cet outil a été adopté par l'ensemble des ateliers du programme, les critères d'évaluation de la fiabilité des données restent spécifiques à notre thématique. Nous préconisons une définition très personnelle des niveaux de fiabilité (et donc subjective, mais qui d'autre que le concepteur de la base données, connaissant toutes les conditions de sa réalisation, pourrait en faire une évaluation critique ?). Il s'agit de s'appuyer sur des critères variés, tels que la quantité et la qualité des investigations archéologiques, les conditions de découverte fortuite, la conservation et l'accessibilité des informations mais aussi des choix personnels. Tous ces critères sont à hiérarchiser et peuvent être différents d'un secteur à l'autre. Ces cartes de fiabilité sont également un outil efficace d'aide à l'interprétation des répartitions. Il s'agit d'une première étape nécessaire avant l'analyse des données.

Le second constat de notre équipe est que, pour obtenir des résultats nouveaux et pertinents, nous devons dépasser la simple carte de répartition des découvertes et nous pencher sur les processus mêmes de diffusion en mettant en relation divers lieux d'un bout à l'autre du réseau : des gîtes, des ateliers, des intermédiaires (par ex. des centres de redistribution), des lieux de consommation, des lieux de dépôt, etc. Ils représentent autant de maillons importants dans la chaîne des transferts. Les seuls lieux de découverte, qui ne représentent que la dernière étape de la vie des objets, ne sont pas suffisants pour appréhender correctement la question de leur diffusion (ou du moins n'en montrent qu'un aspect). Pour arriver à intégrer tous ces sites et étapes, il est nécessaire de reconstituer la biographie des objets et leur parcours ([voir la partie 2.2](#)). Dans le cas des haches néolithiques en jades alpins, un tel travail a été rendu possible par une étude longue et minutieuse des pièces, couplée à des recherches de terrain et à un inventaire quasiment exhaustif. Ces recherches de plus de trente années ont permis notamment d'identifier les sources de la matière première (analyses spectro-radiométriques, analyses physico-chimiques, prospections), des ateliers de mise en forme ou retransformation (sondages, études morpho-typologiques et cartographiques), des acteurs (origine des exploitants, statut des consommateurs) et des comportements (sélections, modifications de la forme des objets, conditions de dépôt) qui apportent une meilleure compréhension des mécanismes

de la circulation des objets en jade en Europe. Pour le bronze, le travail est tout aussi complexe, puisque l'origine même des différents matériaux qui le composent reste difficile à identifier. Toutefois les travaux de l'équipe de Maréva Gabillot sur la morpho-typologie et les modes de production des haches à talon normandes apportent des données nouvelles sur les modes de diffusion de cette production depuis les ateliers.

La prise en compte de ces multiples lieux intervenant dans les processus de diffusion ne peut se faire de façon traditionnelle, par de simples cartes en points. En effet, l'étude des transferts suppose de considérer les interactions. Les liens entre ces sites sont tout aussi importants que leur identification et leur positionnement sous forme d'unités cartographiques. Ainsi c'est en concevant le système d'information géographique comme un réseau que ces liens pourront être pris en compte. Ces nœuds (lieux) et ces arêtes (liens, chemins, axes) doivent en effet constituer tous ensemble un « graphe ».

L'intégration des données dans cette structure nécessite que les bases de données soient réorganisées. En effet, pour prendre en compte à la fois la dimension spatiale (la position des lieux et des axes), temporelle (la biographie des objets) et fonctionnelle (le rôle des lieux dans le réseau), nous proposons de concevoir une géodatabase dont l'élément le plus important, celui faisant le lien entre les différents types de lieux et les artefacts, serait la liste des étapes de la biographie des objets (voir la partie 2.3). C'est en effet la dimension temporelle qui permet d'étudier la mobilité des objets dans le réseau.

Néanmoins cette temporalité reste relative dans la plupart des cas. En effet, nous sommes confrontés à la grande difficulté d'appréhender le temps de la circulation (durée du parcours entre deux sites, temps de conservation, etc.) ou le temps de l'objet lui-même (« durée de vie ») qui semblent bien plus courts que nos possibilités de datation pour les périodes du Néolithique et de la Protohistoire ancienne (voir la partie 2.4). Alors que nous datons la plupart des sites et des types d'objets par phases, en chronologie relative (sauf dans quelques cas, datés par des méthodes de datation absolue mais avec l'imprécision que nous leur connaissons), il nous faudrait une bien meilleure précision pour percevoir le temps de la circulation. La biographie des objets est donc conçue comme une succession d'étapes (t1, t2, etc.) et non comme une série de dates qui nous auraient permis d'appréhender les évolutions au cours du temps (en années solaires). La question des dynamiques temporelles pourra cependant être approchée au travers de la confrontation de grandes phases, par exemple grâce à la prise en compte de la typologie.

On le voit, les travaux préliminaires à réaliser avant les analyses spatiales proprement dites étaient nombreux. Il a fallu évaluer les inventaires, retravailler les bases de données, trouver des solutions pour gérer les datations et également les incertitudes (voir la partie 1.1.2). Ces réflexions ont abouti à plusieurs propositions de solutions et d'outils (cartes de fiabilité, géodatabase tridimensionnelle) qui ne peuvent faire l'économie de longues études préalables des artefacts (études morphométriques, analyses physico-chimiques, typologiques, reconstitutions de la chaîne opératoire, expérimentations, etc.).

Passant à l'analyse des données, trois thèmes de recherche principaux (Fig. 2) ont été abordés :

- La diffusion de la matière première ou des produits manufacturés depuis les gîtes ou les ateliers. A travers l'étude des liens entre lieux « sources », identifiés formellement ou supposés, et sites de consommation (voir la partie 3), il s'agit non seulement d'identifier la direction des transferts, d'estimer des distances de diffusion, éventuellement de quantifier les flux, mais surtout de mettre en évidence des mécanismes particuliers dans les processus de diffusion comme des phénomènes de sélections ou des modes de transferts particuliers qui ne correspondraient pas forcément au traditionnel modèle « down-the-line ».
- L'organisation spatiale de la consommation. Dans un cas, l'étude de la répartition des lieux de découverte permet de mettre en évidence des configurations particulières, notamment des zones de concentration de produits que nous envisageons comme d'importants pôles de consommation (voir la partie 4). Cette approche offre la possibilité d'appréhender l'organisation de la consommation au regard du peuplement, des dynamiques culturelles, de l'organisation territoriale et sociale, des ressources ou des axes de communication. Dans un second cas, c'est l'interaction entre ressources naturelles et zones de peuplement qui est interrogée à travers l'exemple de l'exploitation des sources salées de Moldavie aux périodes néolithique et énéolithique (voir la partie 5). Il s'agit d'appréhender les stratégies de peuplement et de caractériser les effets de l'exploitation des ressources en sel sur la stabilité et le développement des communautés. Ces travaux s'appuient sur la mise en place d'indicateurs liés à l'environnement des sites, à la topographie en particulier. Plusieurs approches ont été proposées à travers des analyses de visibilité, de temps de parcours ou par le calcul de différents indices synthétiques.
- La structure des réseaux de circulation. Les axes de circulation sont au centre de ce dernier thème (voir la partie 6). Quelle est leur organisation et leur importance au sein du réseau ? Comment se sont-ils développés ? Il s'agit d'évaluer le poids de chaque axe en quantifiant la consommation le long de voies identifiées ou supposées. En reconstituant le parcours de chaque objet, nous avons également comptabiliser non plus seulement les découvertes à proximité du réseau, mais aussi le nombre d'artefacts qui seraient effectivement passés par chaque tronçon à un moment donné, afin d'obtenir une modélisation plus réaliste de la circulation des produits. Au final, une analyse du réseau par différents indices de centralité des nœuds permet de mieux en comprendre la structure. En tentant de distinguer les « effets réseaux » des « effets spatiaux » sur l'implantation des nœuds les plus importants, nous cherchons par exemple à déterminer si les pôles majeurs ont une position particulièrement avantageuse dans le graphe dont ils auraient pu tirer parti.

Tous ces questionnements ont en commun la recherche d'une organisation et de fonctionnements particuliers dans la diffusion des produits, notamment à travers l'étude des liens qui existent entre les différents lieux impliqués dans les transferts. La plus grande limitation à l'étude de la diffusion d'un produit serait de considérer que la carte de répartition issue de la spatialisation des données du corpus se suffirait à elle-même. C'est par la recherche de particularités au sein de la diffusion du produit que l'on peut mettre en évidence des mécanismes spécifiques. En effet, si nous avons considéré le corpus des haches en jade comme un tout, il n'aurait pas pu en ressortir de fonctionnements particuliers tant leur répartition semble - à première vue seulement - homogène à l'échelle de l'Europe occidentale. La mise en évidence de modes de diffusion différents d'une région à l'autre n'a été rendue possible que par la prise en compte de multiples critères distinctifs (typo-chronologie et matières premières avant tout, gîtes d'origine, niveaux de finition, contextes de

découverte etc.). C'est également le cas pour tous les jeux de données que nous avons mobilisés. Des critères chronologiques notamment sont nécessaires à la mise en évidence des dynamiques spatiales, mais tout un ensemble d'autres paramètres peuvent être pris en compte (des critères physico-chimiques, morphométriques, techniques, iconographiques, selon les cas). La démultiplication des indicateurs peut également apporter des informations complémentaires pour mieux caractériser la diffusion et éventuellement compenser la faible représentativité de certaines données. Il est toujours possible de rechercher au sein du corpus des particularités à observer ensuite en cartographie. C'est avant tout sur de telles discriminations des données que repose l'originalité et la pertinence des résultats.

Toutes les approches proposées ont en commun le besoin de dépasser les cartes de répartition des découvertes. En effet, nous avons déjà souligné que la prise en compte des seuls lieux de découverte n'est pas suffisante, mais il convient aussi de se détacher d'une représentation discrète des données dans l'espace par une approche purement cartographique. Une simple distribution ponctuelle permet certes de positionner les sites mais elle ne permet pas à elle seule d'appréhender leurs relations ni de percevoir des tendances plus globales à l'échelle de la zone d'étude. Le recours aux statistiques et à la modélisation spatiale doit nous permettre de mettre en évidence des phénomènes par la création d'informations qui ne sont pas du ressort de la seule interprétation visuelle. En effet l'usage de la quantification et des statistiques permet d'objectiver les résultats afin de dépasser une lecture qui pourrait être vague, imprécise et trop subjective. La modélisation quant à elle a pour objectif de sélectionner les éléments pertinents et d'en matérialiser les relations sous une forme compréhensible immédiatement sans que le lecteur ait à intervenir dans cette interprétation. La maîtrise des méthodes de calcul (mais aussi de représentation : sémiologie, discrétisation) est alors la condition même de la pertinence des résultats.

Dans un premier temps nous avons mobilisé des analyses du semis de points (méthode du plus proche voisin, voir la partie 5.1.2) et des statistiques descriptives sous la forme des points moyens (barycentres) et de leurs ellipses de déviation standard (voir la partie 3.1). Cette approche simple permet de présenter les tendances principales d'une distribution, d'observer si les données sont réparties de façon homogène ou concentrées dans un secteur en particulier et, dans ce cas, la direction prise par la distribution. Il est intéressant de comparer le point moyen au centre géométrique de la zone d'étude, au barycentre de la distribution globale ou bien à l'origine des transferts. Nos exemples, concernant une source unique, s'y prêtaient particulièrement. Cette méthode est également utile pour comparer plus facilement un grand nombre d'indicateurs ou plusieurs distributions. Ainsi nous avons observé, aussi bien pour les longues haches en jade que pour les haches à talon normandes, une tendance similaire à l'augmentation progressive des niveaux de finition à mesure que l'on s'éloigne de l'origine supposée de la production. La disposition des points moyens nous amène à suggérer que ces haches font l'objet forme de circulation spécifique que nous interprétons comme une diffusion par expansion combinée à une diffusion par migration. Cette forme particulière de diffusion serait liée à des phénomènes de sélection progressive des pièces les mieux travaillées pour les transferts les plus lointains.

Suite à ces premières approches globales faisant ressortir des tendances générales, plusieurs approches locales ont été développées afin de mettre en évidence les variations dans l'espace. Cette étape passe par une quantification des données.

Ainsi, partant d'une origine unique, nous nous sommes intéressés aux quantités de produits présentes à des pas de distance réguliers depuis cette source, ce qui permet de visualiser graphiquement les variations avec l'éloignement (voir la partie 3.1.2). En comparant les schémas obtenus avec les différents modèles théoriques de Colin Renfrew (1975), les modes de diffusion

peuvent être caractérisés. Ainsi, pour les haches en jade, les accumulations de produits plus ou moins loin des gîtes alpins correspondraient à une diffusion via des centres de redistribution, des places centrales disposées tout le long des réseaux de transferts.

Une autre solution pour quantifier l'information et modéliser cartographiquement le résultat, consiste à restaurer la continuité de l'espace. Il est alors nécessaire que l'information soit renseignée partout, c'est-à-dire que les données ne peuvent pas rester discrètes. Il s'agit à la fois de changer l'échelle et la forme de la représentation des données. D'une représentation ponctuelle discrète nous passons à une généralisation des données au niveau d'une unité d'espace surfacique ou linéaire. L'espace est alors renseigné en tout point, c'est-à-dire de façon continue. Néanmoins, il n'est pas justifié de tenter de reconstituer la continuité des données elles-mêmes par une interpolation de celles-ci. En effet, l'interpolation s'applique pour des données variant de manière continue et progressive dans l'espace (notamment des données environnementales liées à la topographie ou au climat : altitude, températures, etc.), dont il est alors possible d'estimer les manques à partir d'échantillons. Mais pour des données de nature discrète (comme la répartition des populations, des produits ou des ressources), il n'est pas question de faire de telles interpolations. Il s'agit de comptabiliser les données par unités, éventuellement avec une pondération et un lissage (local uniquement).

Il est alors nécessaire d'adopter une unité d'espace qui servira de référence au comptage des données. Dans un même espace, ces unités doivent être les mêmes partout ou bien le résultat doit être relativisé en tenant compte de la variation de ces unités. Deux jeux de données à confronter doivent également adopter la même unité de division (résolution).

Par exemple, quand nous avons souhaité appréhender l'organisation des aires de consommation (voir la partie 4), l'espace étant une surface, nous avons choisi le plus simplement de créer un maillage carré régulier. Chaque maille résume alors toute l'information qu'elle contient en un chiffre unique. Cette donnée peut être qualitative (présence, majorité d'un critère codé numériquement) ou quantitative (somme, somme focale, densité de noyau). Nous avons privilégié la méthode des densités de noyaux pour sa capacité à faire ressortir les principaux pôles de concentration. En jouant sur la discrétisation des données, il apparaît des pôles aux poids différents (en termes d'intensité, de stabilité et/ou d'entendue), ce qui permet de les hiérarchiser. Plusieurs méthodes ont également été proposées pour discrétiser les valeurs de densité afin de sélectionner les pôles les plus importants et pouvoir les confronter à d'autres jeux de données. Il est aussi possible de comparer ou combiner différents indicateurs au sein d'un même corpus (matériaux, types, catégories, datations, etc.). Ainsi la confrontation de telles cartes de densités de noyaux réalisées pour des phases successives, permet d'appréhender les évolutions des dynamiques spatiales des principales aires de consommation.

Pour l'étude des voies de circulation, c'est un « espace linéaire » qui est considéré (voir la partie 6). Ici, seul l'axe compte et non l'espace qui l'entoure. La projection des données sur un axe découpé en tronçons selon un pas régulier permet de les quantifier tout le long de cette ligne. La question se pose ici des limites de l'aire de sélection des données, qui, suivant le jeu de données, peut-être tantôt une distance fixe de part et d'autre de l'axe (zone tampon), tantôt un espace choisi selon le contexte géographique, comme par exemple un bassin versant.

Pour ces deux approches nécessitant un découpage de l'espace, surfacique pour l'une, linéaire pour l'autre, le paramètre le plus important à définir est la résolution à adopter (pour la segmentation de l'axe, le maillage de la zone d'étude ou la taille du voisinage dans le cas des densités de noyaux). Plusieurs méthodes peuvent être employées pour optimiser la résolution : un calcul basé sur le nombre de sites et la surface totale de la zone d'étude, à partir de tests empiriques ou encore selon

un choix logique (la taille estimée des territoires par ex.), l'important étant d'obtenir des résultats significatifs par rapport aux données et à la thématique.

Pour ces analyses à petite échelle (suprarégionale à européenne), nous avons volontairement considéré l'espace comme homogène et uniforme. Différents tests ont en effet montré qu'à cette échelle, la prise en compte du relief jouait assez peu sur le résultat. Par ailleurs les études ethnographiques ont prouvé que lorsqu'il s'agit d'atteindre une ressource convoitée, le franchissement d'un col n'est pas un réel problème en soi ; dans ces cas-là les contraintes à la circulation ne peuvent pas être évaluées au regard de nos critères modernes. En revanche lorsque nous envisageons de confronter le peuplement à la présence de ressources à l'échelle d'une région ou d'un petit territoire, les critères environnementaux interviennent forcément. Bien sûr ils conditionnent le positionnement de ladite ressource (la géologie par ex.) mais ils jouent également sur les possibilités de contrôle de son exploitation (la topographie par ex.). Ainsi, outre les classiques questions de distances euclidiennes, interviennent également des notions d'accessibilité (distances réelles à parcourir, difficultés de franchissement, barrières, chemins à adapter) mais aussi de temps de parcours. Deux endroits d'un même territoire ne seront pas nécessairement aussi bien positionnés par rapport à la ressource. Une localisation plus avantageuse peut favoriser le développement économique et/ou social d'un habitat. De tels critères peuvent donc intervenir dans les choix d'implantation des sites.

Par ailleurs un autre type de relation que le contact direct peut entrer en ligne de compte dans le contrôle d'une ressource ou d'un territoire : il s'agit de la relation visuelle. Si le fait de voir ne veut pas dire posséder, une relation visuelle permet néanmoins un contact permanent et immédiat. Elle offre donc des conditions plus stables de contrôle et permet des réactions plus rapides. Les approches développées sur les sites néolithiques et énéolithiques de Moldavie ([voir la partie 5.3.1](#)) ont montré que ces critères ont une forte influence sur l'organisation et les dynamiques spatiales du peuplement.

Il reste bien entendu encore de nombreuses pistes à explorer. D'un point de vue thématique, il serait notamment intéressant d'étudier des produits dont on connaît plusieurs sources afin d'identifier les mécanismes liés aux choix d'approvisionnement. Nous souhaiterions également appliquer nos méthodes d'analyse à de multiples productions participant à un même réseau de diffusion, afin d'identifier les situations complexes liées à des circulations en échange ou en retour. La restitution d'un vaste réseau de circulation de produits socialement valorisés permettrait d'établir une cartographie des dynamiques sociales dans un système combinant différents modes d'expression du pouvoir. Il serait également séduisant de confronter les circulations de produits de statuts différents, depuis les objets du quotidien aux produits les plus précieux, les plus rares et les plus recherchés, pour appréhender le fonctionnement des réseaux de transferts sur de multiples échelles emboîtées. Les études que nous avons menées ont constitué un premier pas vers une approche plus globale de la circulation des produits au sein de systèmes économiques, culturels et sociaux à la fois divers et complexes. Mais il reste encore bien du chemin à parcourir et d'autres voies à explorer.

En tout état de cause, cette expérience collective a montré la nécessité d'observer les données par un autre biais que celui de la simple carte de répartition des découvertes, en faisant appel à des analyses statistiques ou à de la modélisation spatiale. Si l'analyse à un niveau global ou local des semis de points apporte de nombreuses informations sur les modes de diffusion, à l'échelle

régionale, la prise en compte de l'environnement des sites permet également de mieux comprendre les liens entre peuplement et gestion des ressources.

Nous avons également souligné l'utilité de discriminer les données par de multiples critères. L'étude de la diffusion passe ainsi par une meilleure connaissance de l'objet et de son histoire. C'est seulement à ce moment-là que son parcours peut être véritablement appréhendé.

Mais si le produit ou l'artefact archéologique est au cœur de la thématique, ce sont bien les lieux et les routes qui font l'objet de l'analyse spatiale. La reconstitution du réseau passe par la modélisation, sous la forme d'un graphe, de l'ensemble des relations entre tous les lieux impliqués dans les transferts. Les flux correspondent ainsi à une succession de déplacements d'artefacts, considérés individuellement, entre les divers nœuds du réseau. Il est alors possible de quantifier le volume global des transferts le long des axes de circulation mais également d'observer des états successifs des flux en prenant en compte des unités de temps plus ou moins régulières.

La particularité de la modélisation des réseaux de circulation est la possibilité de prendre en compte tout le cheminement de chaque objet, y compris des circulations en double sens ou des parcours très complexes, ce qui nous échapperait totalement sur une carte de répartition traditionnelle. Cela permet de renouveler la lecture des données dans une approche plus dynamique et surtout plus complète. Ceci modifie profondément la lecture des réseaux de transfert, en passant d'une vision statique et diffuse des répartitions ponctuelles à un ensemble cohérent de lieux liés par un même phénomène : la volonté de mettre relation les populations et les produits convoités.

Références

Ademe 2005 : Collectif ADEME – *Comment évaluer les impacts environnementaux au moyen de l'analyse du cycle de vie (ACV)*, Document réalisé par le groupe de travail ACV, Animé par AMORCE dans le cadre d'une convention avec l'ADEME, 2005.

Agache 1978 : AGACHE R. – *La Somme pré-romaine et romaine*. Amiens, Société des Antiquaires de Picardie, 1978.

Albert et Barabási 2002 : ALBERT R. et BARABÁSI A. L. – Statistical Mechanics of Complex networks, *Review of Modern Physics*, 74, 2002, p. 47-97.

Alexianu et al. 2016 : ALEXIANU M., WELLER O. et BRIGAND R. – Romanian Salt Springs, Intangible Cultural Heritage, Archaeological Reconstruction: A Variable Geometry. In: S. Biagetti, F. Lugli (Eds.), *The Intangible Elements of Culture in Ethnoarchaeological Research*. Springer International Publishing Switzerland, Cham, 2016, p. 231-240.

Alexianu et al. 2011 : ALEXIANU M., WELLER O., BRIGAND R., CURCĂ R.-G., COTIUGĂ V. et MOGA I. – Salt springs in today's rural world. An ethnoarchaeological approach in Moldavia (Romania). In: M. Alexianu, O. Weller, R.-G. Curcă (Eds.), *Archaeology and Anthropology of Salt: A Diachronic Approach*. Proceedings of the International Colloquium (Iași, Romania, 2008). Archaeopress, Oxford, 2011, p. 7-23 (BAR International Series 2198).

Bailly et Béguin 1998 : BAILLY A. et BEGUIN H. – *Introduction à la géographie humaine*. Paris, Armand Colin, 1998.

Bailly et al. 2016 : BAILLY A., BEGUIN H., SCARIATI R. – *Introduction à la géographie humaine*. Paris, Armand Colin, 2016.

Bailly et Plisson 2008 : BAILLY M., PLISSON H. – La valeur fonctionnelle des objets sépulcraux. *Actes de la table ronde d'Aix-en-Provence*, 25-27 oct. 2006, Éditions APPAM, Aix-en-Provence, 2008 (*Préhistoire Anthropologie méditerranéennes* 14, 2005-2008).

Barge et Chataignier 2004 : BARGE O. et CHATAIGNIER C. – Un SIG pour l'analyse des approvisionnements : l'exemple de l'obsidienne en Arménie, *Revue d'Archéométrie*, 28.1, 2004, p. 25-33.

Bavelas 1948 : BAVELAS A. – A mathematical model for group structures, *Human Organization*, 7, 1948, p. 16-30.

Bavelas 1950 : BAVELAS A. – Communication patterns in task oriented groups, *Journal of the Acoustical Society of America*, 22, 1950, p. 271-282.

Bavoux 1994 : BAVOUX J.-J. – *Le "carrefour bourguignon", analyse d'un espace de circulation*. Paris, 1994 (*Mémoires et Documents de Géographie*, nouvelle collection).

Bavoux 2005 : BAVOUX J.-J. – La nodalité : un concept fondamental de l'organisation de l'espace. Introduction au dossier, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 48, 2005, p. 5-14.

Beauguitte 2010 : BEAUGUITTE L. – *Graphes, réseaux, réseaux sociaux : vocabulaire et notation*. Version 1 - Septembre 2010. Groupe f.m.r. (flux, matrices, réseaux), 2010.

- Beauguitte 2016** : BEAUGUITTE L. – L'analyse de réseaux en sciences sociales et en histoire : Vocabulaire, principes et limites. In : *Le réseau. Usages d'une notion polysémique en sciences humaines et sociales*. Presses Universitaires de Louvain, 2016, p. 9-24.
- Béguin et Pumain 1994** : BEGUIN M. et PUMAIN D. – *La représentation des données géographiques, statistique et cartographie*. Paris, Armand Colin, 1994.
- Berge 1967** : BERGE C. – *Théorie des graphes et ses applications*. Paris, Dunod, 1967.
- Berge 1970** : BERGE C. – *Théorie des graphes et des hypergraphes*. Paris, Dunod, 1970.
- Berger et al. 2005** : BERGER J.-F., BERTONCELLO F., BRAEMER F., DAVTIAN G., GAZENBEEK M. (dir.), *Temps et Espaces de l'Homme en Société, Analyses et Modèles Spatiaux en Archéologie, XXVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*. Antibes, Éditions APDCA, 2005.
- Bertoncello et al. 2012** : BERTONCELLO, F., FOVET, E., GANDINI, C., TRÉMENT, F., NUNINGER, L. – Spatio-temporal dynamics of settlement patterns in central and southern Gaul from 800 BC to 800 AD: models for long-term interregional comparison. In : Gandini et. al. 2012, p. 51-64.
- Biau 2003** : BIAU G. – Spatial Kernel Density Estimation, *Mathematical Methods of Statistics*, 12, 2003, p. 371-390.
- Binford 1982** : BINFORD L. R. – The archaeology of place, *Journal of Anthropological Archaeology*, 1, 1982, p. 5-31.
- Boghian 2004** : BOGHIAN D. – *Comunitățile cucuteniene din bazinul Bahluiului*. Univ. Ștefan cel Mare, Suceava, 2004.
- Bonnamour 1969** : BONNAMOUR L. – *L'Age du Bronze au Musée de Chalon-sur-Saône*. Chalon sur Saône, ed. du CNRS, 1969.
- Bonnamour 1981** : BONNAMOUR L. – *La Saône : une rivière, des hommes*. Le Puy, ed. C. Bonneton, 1981.
- Bonnamour 2000** : BONNAMOUR L. – *Archéologie de la Saône: le Fleuve Gardien de la Mémoire*. Paris, Editions Errance, 2000.
- Bouillé 1977** : BOUILLE F. – *Un modèle universel de banque de données simultanément portable, répartie*. Thèse d'Etat Es Sciences (spécialité : mathématiques, mention : informatique). Paris, Université Pierre et Marie Curie- Paris VI, 1977.
- Bouillé 1978** : BOUILLÉ F. – Structuring cartographic data and spatial processes with the hypergraph-based data structure. In : G. Dutton ed., *First International Symposium on Topological Data Structures for GIS*, Cambridge, Massachusetts, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University, 1978.
- Bradley 1990** : BRADLEY R. – *The Passage of arms, an archaeological analysis of prehistoric hoards and votive deposits*. Cambridge, University Press, 1990.
- Bradley 2000** : BRADLEY R. – *An Archaeology of Natural Places*. London - New York, Routledge, 2000.
- Bradley et Edmonds 1993** : BRADLEY R. et EDMONDS M. – *Interpreting the axe trade. Production and exchange in Neolithic Britain*. Cambridge, Cambridge University Press, 1993 (*New studies in Archaeology* 236).

Brigand et Weller 2012 : BRIGAND R. et WELLER O. – Natural resources and settlements dynamics during Later Prehistory in Central Moldavia (Romania). An integrated GIS for spatial archaeological studies. In: V. Cotiugă, Ș. Caliniuc (Eds.), *Interdisciplinarity Research in Archaeology*. Proceedings of the First Arheoinvest Congress (Iași, Romania, 2011). Archaeopress, Oxford, 2012, p. 1-18 (BAR International Series 2433).

Brigand et Weller 2013 : BRIGAND R. et WELLER O. – Neolithic and Chalcolithic settlement patterns in central Moldavia (Romania), *Documenta praehistorica*, 40, 2013, p. 195-207.

Brigand et Weller 2015 : BRIGAND R. et WELLER O. – Spatial analysis for salt archaeology. A case study from Moldavian Neolithic. In: R. Brigand et O. Weller (Eds.), *Archaeology of Salt: Approaching an Invisible Past*. Sidestone Press, Leiden, 2015, p. 157-179.

Brigand et Weller 2018a : BRIGAND R. et WELLER O. – Neo-Eneolithic settlement pattern and salt exploitation in Romanian Moldavia, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, 2018, p. 68-78. doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.10.032

Brigand et Weller 2018b : BRIGAND R. et WELLER O. – Kernel density estimation and transition maps of Moldavian Neolithic and Eneolithic settlements, *Data in Brief*, 17, 2018, p. 452-458. doi.org/10.1016/j.dib.2018.01.051

Brughmans 2010 : BRUGHMANS T. – Connecting the dots: towards archaeological network analysis, *Oxford Journal of Archaeology*, 29.3, 2010, p. 277-303.

Brughmans 2013 : BRUGHMANS T. – Thinking Through Networks: A Review of Formal Network Methods in Archaeology, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 20, 2013, p. 623-662.

Brun 2011 : BRUN P. – Les territoires en Europe pendant les Âges du Bronze et du Fer. In : Kourtessi-Philippakis G. et Treuil R. (dir.), *Archéologie du territoire, de l'Égée au Sahara*. Paris, Publications de la Sorbonne, p. 213-230.

Brun et Marcigny 2012 : BRUN P. et MARCIGNY C. – Une connaissance de l'âge du Bronze transfigurée par l'archéologie préventive. In : P. Depaepe (dir.), *INRAP 10 ans. Nouveaux champs de la recherche archéologique*. Paris, INRAP, p. 133-139 (*Archéopages*, Numéro spécial).

Brun et Mordant 1988 : BRUN P. et MORDANT C. – Le Bronze final IIb-IIIa en Ile de France. In : P. Brun et C. Mordant (dir.), *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'Urnes*, actes du colloque international de Nemours, 1986. Nemours, APRAIF, 1988, p. 295-304 (*Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile-de-France* 1).

Brun et Pion 1992 : BRUN P. et PION P. – L'organisation de l'espace dans la vallée de l'Aisne pendant l'Age du Bronze. In : C. Mordant et A. Richard (dir.), *L'habitat et l'occupation du sol à l'Age du Bronze en Europe*, actes du colloque international de Lons-le-Saunier, 16-19 mai 1990, Comité des travaux historiques et scientifiques. Paris, 1992, p. 117-127 (*Documents Préhistoriques* 4).

Brun et al. 2005 : BRUN P., CATHELINAIS C., CHATILLON S., GUICHARD Y., LE GUEN P. et NERE E. – L'âge du Bronze dans la vallée de l'Aisne. In : J. Bourgeois et M. Talon (eds.), *L'âge du Bronze du nord de la France dans son contexte européen*. Paris, éditions du CTHS, 2005, p. 189-208.

Brunet et al. 1992 : BRUNET R., FERRAS R. et THERY H. – *Les mots de la géographie*. Montpellier – Paris, GIP Reclus, 1992 (*La Documentation française*).

Cassen 2000 : CASSEN S. – Le poli des lames et la chronologie des haches dites de prestige. In : Cassen S. (ed.), *Éléments d'architecture. Exploration d'un tertre funéraire à Lannec er Gadouer*

(Erdeven, Morbihan). Chauvigny, Association des Publications Chauvinoises, 2000, p. 397-415 (Mémoire XIX).

Cassen 2003 : CASSEN S. – Importer, Imiter, Inspirer ? Objets-signes centre-européens dans le Néolithique armoricain, *L'Anthropologie*, 107, 2003, p. 255-270.

Cassen 2007 : CASSEN S. – Un pour tous, tous contre un... Symboles, mythe et histoire à travers une stèle morbihannaise du Ve millénaire. In : A. Testart, L. Barray, P. Brun (eds.), *Pratiques funéraires et sociétés. Nouvelles approches en archéologie et en anthropologie sociale*. Dijon, Éditions universitaires de Dijon, 2007, p. 37-67.

Cassen 2012 : CASSEN S. – L'objet possédé, sa représentation : mise en contexte général avec stèles et gravures. In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, Tome 2, p. 1310-1353.

Cassen 2014 : CASSEN S. – Sites de passage (1). Le modèle carnaçois des pierres dressées à l'épreuve des rivières, des lacs et des montagnes (France, Suisse, Italie). In : R.M. Arbogast et A. Greffier-Richard (ed.), *Entre archéologie et écologie, une Préhistoire de tous les milieux*. Mélanges offerts à Pierre Pétrequin. Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté, 2014, p. 281-302 (*Annales Littéraires de l'Université de Franche-Comté*, 928, Série *Environnement, sociétés et archéologie*, 18).

Cassen 2017a CASSEN S., 2017.- Stèles et gravures du Massif armoricain, du Bassin parisien et de la Bourgogne : introduction. In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin (eds.) 2017, tome 4, p. 759-760.

Cassen 2017b : CASSEN S. – D'un signe à l'autre, des Alpes à l'Atlantique : représentant et représenté. In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin (eds.) 2017, tome 4, p. 883-909.

Cassen et Pétrequin 1999 : CASSEN S. et PÉTREQUIN P. – La chronologie des haches polies dites de prestige dans la moitié ouest de la France, *European Journal of Archaeology*, 2.1, 1999, p. 7-33.

Cassen et Vaquer 2015 : CASSEN, S. et VAQUER, J. – La variscite ibérique. In : Chancerel et al. 2015, p. 64-69.

Cassen et al. 2011 : CASSEN, S., PÉTREQUIN, P., BOUJOT, C., DOMÍNGUEZ-BELLA, S., GUIAVARC'H, M., QUERRÉ, G. – Measuring distinction in the megalithic architecture of the Carnac region: from sign to material. In : M. Furholt, F. Lüth, J. Müller (eds.). *Megaliths and identities*. Bonn, Rudolf Habelt, 2011, p. 225-248.

Cassen et al. 2012 : CASSEN S., BOUJOT C., DOMINGUEZ-BELLA S., GUIAVARC'H M., LE PENNEC C., PRIETO MARTINEZ M.P., QUERRE G., SANTROT M.E. et VIGIER E. – Dépôts bretons, tumulus carnaçais et circulations à longue distance. In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 918-995.

Cassen et al. 2014 : CASSEN, S., LESCOP, L., GRIMAUD, V., CALDWELL, D. – A discovery of exceptional Neolithic engravings in Buthiers, Seine-et-Marne, France, *Antiquity: A Review of World Archaeology*, 201488 (340). <http://journal.antiquity.ac.uk/projgall/cassen340>

Cauvin 1997 : CAUVIN C. – Au sujet des transformations cartographiques de position, *Cybergeog* : *European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 15, 1997. <https://journals.openedition.org/cybergeog/5385>

Chancerel et al. 2015 : CHANCEREL A., VAQUER J. et CLAYET-MERLE J.-J. – *Signes de Richesse, Inégalités au Néolithique*. Paris, Réunion des Musées nationaux, 2015.

Chapelon 1996 : CHAPELON L. – Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité, *Mappemonde*, 3/96, 1996, p. 28-36.

Chouquer dir. 1997 : CHOUQUER G. (éd.) – *Les formes du paysage*. Tome 1 : *Études sur le parcellaire*. Tome 2 : *Archéologie du parcellaire*. Paris, Errance, 1997.

Christaller 1933 : CHRISTALLER W. – *Die zentralen Orte in Süddeutschland*, Iéna, Université d'Iéna, 1933.

Clark et Evans 1954 : CLARK P.J. et EVANS F.C. – Distance to Nearest Neighbour as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology*, 35.4, 1954, p. 445-453.

Coccatto et al. 2013 : COCCATO, A., KARAMPELAS, S., WÖRLE, M., VAN WILLIGEN, S. et PÉTREQUIN, P. – Gem quality and archeological green “jadeite jade” vs “omphacite jade”, *Journal of Raman Spectroscopy*, 45 (11-12), 2013, p. 1260-1265.

Comendador Rey et Manteiga Brea 2011 : COMENDADOR REY B. et MANTEIGA BREA A. – Challenges and prospects of Geographic Information Systems in Bronze Age hoards in Atlantic Europe. In : Martins C., Bettencourt A., Martins J., Carvalho J. (coord.) *Povoamento e Exploração dos Recursos Mineiros na Europa Atlântica Ocidental*. Braga, CITCEM, 2011, p. 15-29.

Conesa 2010 : CONESA A. – *Modélisation des réseaux de transport collectifs métropolitains vers la structuration territoriale des réseaux. Applications au Nord-Pas-de-Calais et à Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Thèse de doctorat. Géographie et Aménagement. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2010.

Conolly et Lake 2006 : CONOLLY J. et LAKE M. – *Geographical Information Systems in Archaeology, Cambridge Manuals in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge, 2006.

Cook 1977 : COOK K. S. – Exchange and Power in Networks of Interorganizational Relations. *The Sociological Quarterly*, 18.1, Special Issue: *Organization Analysis: Critique and Innovation*, 1977, p. 62-82.

Cook et Emerson 1978 : COOK K. S. et EMERSON R. M. – Power, Equity and Commitment in Exchange Networks, *American Sociological Review*, 43, 1978, p. 721-739.

Cook et al. 1983 : COOK K. S., EMERSON R. M., GILLMORE M. R. et YAMAGISHI T. – The Distribution of Power in Exchange Networks: Theory and Experimental Results, *American Journal of Sociology*, 89.2, 1983, p. 275-305.

CTHS 1989 : Comité des Travaux Historiques et Scientifiques – Dynamique du Bronze moyen en Europe occidentale, actes du 113^e congrès national des Sociétés Savantes, Strasbourg, 1988, commission de Pré- et Protohistoire. Paris, CTHS, 1989.

Cučkovic 2015 : Z. CUČKOVIC – Exploring Intervisibility Networks: A case Study from Bronze and Iron Age Istria (Croatia and Slovenia). In: F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscati, S. Robert (Eds.), *CAA 2014. 21st Century Archaeology. Concepts, Methods and Tools*. Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Paris, 2014). Archaeopress, Oxford, 2015, 2015, p. 469-478.

Dale et Fortin 2010 : DALE M.R.T. et FORTIN M.-J. – From Graphs to Spatial Graphs, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 2010, p. 21-38.

Desbrière 2016 : DESBRIERE N. – Les franchissements anciens des plateaux jurassiens entre Grozon et Saint-Germain-en-Montagne, *Bulletin de la Société d'Emulation du Jura*, 2016, p. 99-114.

Di Salvo et al. 2005 : DI SALVO M., GADAIS M. et ROCHE-WOILLEZ G. – *L'estimation de la densité par la méthode du noyau : Méthode et outils. Note méthodologique et technique*. Lyon, Certu, 2005.

Dumitroaia 1987 : DUMITROAIA G. – La station archéologique de la Lunca-Poiana Slatinii. in: M. Petrescu-Dîmbovița, N. Ursulescu, D. Monah, V. Chirica (Eds.), *La Civilisation de Cucuteni en contexte européen*. Session Scientifique dédiée au centenaire des premières découvertes de Cucuteni (Iași-Piatra Neamț, 1984), Bibliotheca Archaeologica Iassiensis. Universității Alexandru Ioan Cuza, Iași, 1987, p. 253-258.

Dumont 2002 : DUMONT A. – *Les passages à gué de la Grande Saône : approche archéologique et historique d'un espace fluvial (de Verdun-sur-le-Doubs à Lyon)*, supplément à la *Revue Archéologique de l'Est*. Dijon, 2002, 280p.

Dumont 2013 : DUMONT A. – Les passages à gué de la Saône. In : A. Testart (dir.), *Les armes dans les eaux : questions d'interprétation*. Paris, Errance, 2013, p. 83-96.

Dupuy et al. 1988 : DUPUY G., AMAR G. et le groupe réseaux – *Réseaux territoriaux*. Caen, Paradigme, 1988.

Earle 2000 : EARLE, T. – Archaeology, Property, and Prehistory, *Annual Review of Anthropology*, 29, 2000, p. 39-60.

Edmonds 2012 : EDMONDS M. – Axes and Mountains. A view from the West. In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1194-1207.

Ellis 1984 : ELLIS L. – *The Cucuteni-Tripolye culture: study in technology and the origins of complex society*. Archaeopress, Oxford, 1984 (BAR International Series 217).

Emerson 1962 : EMERSON R. M. – *Power-Dependence Relations*, *American Sociological Review*, 27.1, 1962, p. 31-41.

Emerson 1972 : EMERSON R. M. – *Position and Power in Exchange Networks*. Seattle, WA: Institute of Sociology, University of Washington, 1972.

Emerson 1976 : EMERSON R. M. – Social Exchange Theory, *Annual Review of Sociology*, 2, 1976, p. 335-362.

Emerson 1981 : EMERSON R. M. – Social Exchange Theory. In : M. Rosenberg and R. Turner, *Social Psychology: Sociological Perspectives*. New York, Academic Press, 1981, p. 30-65.

Errera et al. 2006 : ERRERA M., HAUZEUR A., PÉTREQUIN P. et TSONEV T. – Etude spectroradiométrique d'une lame de hache trouvée dans le district de Chirpan (Bulgarie), *Interdisciplinary Studies*, XIX, Sofia, Archaeological Institute and Museum- Bas, 2006, p. 7-24.

Errera et al. 2007 : ERRERA M., PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., CASSEN S. et CROUTSCH C. – Contribution de la spectroradiométrie à la compréhension des transferts longue-distance des lames de hache au Néolithique, *Société Tournaisienne de Géologie, Préhistoire et Archéologie*, X.4, 2007, p. 101-142.

Errera et al. 2011 : ERRERA M., PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M. – De l'image à l'objet : détermination de la provenance d'artefacts archéologiques par spectroradiométrie en réflectance diffuse, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, Télédétection et Archéologie*, 193, 2011, p. 27-38.

- Errera et al. 2012a** : ERRERA M., PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M. – Spectroradiométrie, référentiel naturel et étude de la diffusion des haches alpines. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 440-533.
- Errera et al. 2012b** : ERRERA M., PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M. – Origine des jades alpins entre Provence et Adriatique. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 750-821.
- Errera et al. 2017** : ERRERA M., PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., VAQUER J. et PRICHYSTAL A. – Les néphrites alpines et pyrénéennes. Prospections, référentiels et reconnaissance spectroradiométrique. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 87-112.
- Favory et al. 1998** : FAVORY F., MATHIAN H., RAYNAUD C., SANDERS L. – Sélection géographique, déterminisme et hasard. *In* : *ARCHAEOMEDES, Des oppida aux métropoles*. Paris, Anthropos, coll. « Villes », 1998, p. 151-248.
- Favory et al. 2016** : FAVORY F., VAN DER LEEUW S. (ed.), en coll. avec GAUDEY J., BERTONCELLO F., FOVET E., GANDINI C., GAUTHIER E., NUNINGER L., POIRIER N. – *Voyage dans l'archéologie spatiale anglo-saxonne*. Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté, 2016 (*Les cahiers de la MSHE Ledoux*).
- Felling 1975** : FELLING A. J. A. – A Graph-Theoretical Approach to the Structure of Local Elites, *Zeitschrift für Soziologie*, 4.3, 1975, p. 221-233.
- Fontijn 2002** : FONTIJN D. R. – *Sacrificial landscapes : Cultural biographies of persons, objects and 'natural' places in the Bronze Age of the southern Netherlands, c. 2300-600 BC*. University of Leiden, 2002 (*Analecta Praehistorica Leidensia* 33/34).
- Forel et al. 2009** : FOREL B., GABILLOT M., MONNA F., FOREL S., DOMMERGUES C.H., GERBER S., DOMMERGUES J.L., PETIT C., MORDANT C., CHATEAU C. – Morphometry of Middle Bronze Age palstaves by Discrete Cosine Transform, *Journal of Archaeological Science*, 36.3, 2009, p. 721-729.
- Freeman 1977** : FREEMAN L. C. – A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness, *Sociometry*, 40.1, 1977, p. 35-41.
- Freeman 1979** : FREEMAN L. C. – Centrality in social networks: conceptual clarification, *Social Networks* 1, 1979, p. 215-239.
- Friedkin 1991** : FRIEDKIN N. E. – Theoretical Foundations for Centrality Measures, *American Journal of Sociology*, 96.6, 1991, p. 1478-1504.
- Frois 1997** : FROIS P. – *Entreprise et écologie*. Paris, L'Harmattan, 1997.
- Gabillot 2003** : GABILLOT M. – *Dépôts et production métallique du Bronze moyen en France nord-occidentale*. Oxford, Archaeopress, 2003 (*BAR International Series* 1174).
- Gabillot 2006** : GABILLOT M. – Les manipulations après la fonte des objets en alliage cuivreux : caractéristique sociale, économique, culturelle ? L'exemple des haches à talon du Bronze moyen du Nord-Ouest français, Normes techniques et pratiques sociales, de la simplicité des outillages pré-et protohistoriques. *In* : L. Astruc, F. Bon, V. Léa, P.-Y. Milcent, S. Philibert (dir.), *Actes des XXVIe Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, 2005. Antibes, Éditions APDCA, 2006, p. 287-296.
- Gabillot et al. 2009** : GABILLOT M., FOREL B., NAUDIN A., MONNA F., LOSNO R., PININGRE J.-F. et MORDANT C. – Influences atlantiques dans les productions métalliques en Bourgogne et Franche-Comté au Bronze moyen. *In* : A. Richard, P. Barral, A. Daubigny, G. Kaenel, C. Mordant et J.-F.

Piningre (eds.), *L'Isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la Protohistoire, Approches nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte*, 16-18 octobre 2006. Besançon, Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté, 2009, p. 133-144.

Gabillot et al. 2015 : GABILLOT M., MORDANT C., WIRTH S. – La production métallique non-funéraire de l'âge du Bronze en Bourgogne. Bilan des études 1995-2007, *Revue archéologique de l'Est*, 64, 2015, p. 69-84.

Gabillot et al. 2017 : GABILLOT M., MONNA F., ALIBERT P., BOHARD B., CAMIZULI E., DOMMERGUES C.-H., DUMONTET A., FOREL B., GERBER S., JEBRANE A., LAFFONT R., NAVARRO N., SPECHT M., CHATEAU C. – Productions en série vers 1500 avant notre ère ; notions de règles de fabrication au Bronze moyen entre la Manche et les Alpes à la lumière d'une étude morphométrique. In : C. Mordant et S. Wirth (dir.), *Normes et variabilités au sein de la culture matérielle des sociétés de l'âge du Bronze*, Journée thématique de la Société Préhistorique Française, Juin 2013. Dijon, Société préhistorique française, 2017, p. 19-31.

Gaffney et Stancic 1991 : GAFFNEY V. et STANČIČ Z. – *GIS approaches to regional analysis: a case study of the island of Hvar*. Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana, 1991.

Gandini et al. 2012 : GANDINI C., FAVORY F. et NUNINGER L. (dir.) – *Archaeodyn. 7 millennia of territorial dynamics. Settlements pattern, production and trades from Neolithic to Middle Ages*. Oxford, Archaeopress, 2012 (*BAR International Series 2370*).

Gaucher et Robert 1967 : GAUCHER G. et ROBERT Y. – Les dépôts de Cannes Ecluses (77), *Gallia Préhistoire*, X.1, 1967, p. 169-224.

Gauthier 2004 : GAUTHIER E. – L'évolution de la consommation du métal à l'Âge du Bronze, en France orientale et en Transdanubie, *Histoire et Mesure*, XIX : 3/4, *Systèmes d'Information Géographique, Archéologie et Histoire*, 2004, p. 345-376.

Gauthier 2005a : GAUTHIER E. – *La consommation du métal en France orientale et en Transdanubie du XVII^e au IX^e s. avant notre ère. Analyse spatiale et modélisation des systèmes socio-économiques de l'Age du Bronze*. Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne, sous la direction de Claude Mordant, et Miklós Szabó. Dijon, 11 octobre 2005, inédite.

Gauthier 2005b : GAUTHIER E. – Recherche d'une méthode d'analyse comparée des flux de métal à l'Age du bronze (XVII^e-IX^e s.) en France orientale et en Transdanubie : utilisation et adaptation de la méthode des sommes focales. In : Berger et al. 2005, p. 161-171.

Gauthier 2007 : GAUTHIER E. – Représentations de l'éphémère en cartographie : quelques solutions pour visualiser les évolutions chronologiques d'entités ponctuelles, *Sciences Humaines combinées*, 1, *L'éphémère*. Revue électronique de l'ED202, 2007.

<http://revuesshs.u-bourgogne.fr/lisit491/document.php?id=56>

Gauthier et Gabillot 2013 : GAUTHIER E. et GABILLOT M. – Reliability of the representation of a distribution: a case-study on Middle Bronze Age metal finds in the Seine valley. In : E. Graeme, T. Sly, A. Chrysanthi, P. Murrieta- Flores, C. Papadopoulos, I. Romanowska et D. Wheatley (eds), *e-Papers from the 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Southampton, 26-30 March 2012. Amsterdam University Press, *Archaeology in the Digital Era*, Volume II, 2013, p. 846-853.

Gauthier et Pétrequin 2017a : GAUTHIER E. et PÉTREQUIN P. – Atlas européen des grandes haches en jade. In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 4, p. 951-1067.

Gauthier et Pétrequin 2017b : GAUTHIER E. et PETREQUIN P., en collaboration avec les membres du programme JADE 2 – Interprétations sociales des transferts de grandes lames polies en jades alpins dans l'Europe néolithique. Analyses spatiales dans le cadre du programme ANR JADE 2, *ArchéoSciences*, 41.1, 2017/1, p. 7-23.

Gauthier et Piningre 2017 : GAUTHIER E. et PININGRE J.-P., avec la collaboration de GRUT H. – Dépôts de bronzes et relations visuelles autour du Camp du Château à Salins-les-Bains (Jura, France) à la fin du Bronze moyen et au début du Bronze final. *In* : Lachenal et al. 2017, p. 905-914.

Gauthier et al. 2012 : GAUTHIER E., WELLER O., NUNINGER L., avec la coll. de GABILLOT M. et QUILLIEC B. – Chapter 4 - The search for a common methodology for studying the spatial dynamics of material and product circulation in ancient times. *In* : Gandini et al. 2012, p. 65-76.

Gauthier et al. 2013 : GAUTHIER E., WELLER O., GIRAUD J., BRIGAND R., PÉTREQUIN P. et GABILLOT M. – Theoretical space-time modelling of the diffusion of raw materials and manufactured objects". *In* : E. Graeme, T. Sly, A. Chrysanthi, P. Murrieta- Flores, C. Papadopoulos, I. Romanowska et D. Wheatley (eds.), *e-Papers from the 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Southampton, 26-30 March 2012. Amsterdam University Press, *Archaeology in the Digital Era*, Volume II, 2013, p. 863-873.

Gauthier et al. 2017 : GAUTHIER E., PÉTREQUIN P. et GABILLOT M., en collaboration avec WELLER O., GIRAUD J. et BRIGAND R. – A method of data structuring for the study of diffusion processes of raw materials and manufactured objects. *In* : A. Gorgues, K. Rebay-Salisbury et R. B. Salisbury (eds.), *Material Chains in Late Prehistoric Europe and the Mediterranean*. Bordeaux, Ausonius Edition, 2017, p. 31-46 (*Mémoires* 48).

GCVN 1972 : Groupe central des villes nouvelles – *Centre et centralité dans les villes nouvelles françaises et britanniques*. Paris, CRU, 1972.

Gleyze 2007 : GLEYZE J.-F. – Effets spatiaux et effets réseau dans l'évaluation d'indicateurs sur les nœuds d'un réseau d'infrastructure, *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, N° 370, 03 avril 2007. <https://journals.openedition.org/cybergeo/5532>

Godelier 1996 : GODELIER M. – *L'énigme du don*. Paris, Fayard, 1996.

Goldenberg 1998 : GOLDENBERG G. – L'exploitation du cuivre dans les Alpes Autrichiennes à l'Age du Bronze. *In* : Mordant et al. 1998, tome II, p. 9-24.

Gosden et Marshall 1999 : GOSDEN C. et MARSHALL Y. – The Cultural Biography of Objects, *World Archaeology*, 31.2, 1999, p. 169-17.

Grancher et al. 2016 : GRANCHER D., MOURALIS D., BRUNSTEIN D., BEAUGUITTE L., VAROUTSIKOS B., COUILLET A., ROBIN A.-K. – Reconstituer des réseaux de diffusion d'outils en obsidienne. *In* : *Actes des Quatrièmes rencontres du groupement RES-HIST*, MSHS Sud-Est, 22 septembre 2016. Nice, 2016.

Groupe Chadule 1994 : GROUPE CHADULE – *Initiation aux pratiques statistiques en Géographie*. 3è éd., Paris, Masson, 1994.

Guilaine et al. 2015 : GUILAINE, J., VAQUER, J., GRATUZE, B. et QUERRE, G. – Les perles en variscite de la grotte de las Claousos IV et de la grotte René Carrié. *In* : J. Guilaine, J. Vaquer, J. Zammit (dir.), *Grottes sépulcrales des Hautes Corbières. Les grottes de Las Claousos à Auriac et de René Carrié à Termes (Aude)*. Toulouse, Monographie des Archives d'Ecologie Préhistorique, EHESS, 2015, p. 89-104.

Haggett 1965 : HAGGETT P. – *Locational analysis in human geography*. E. Arnold, London, 1965.

- Hansen 1959** : HANSEN, W. G. – How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of the American Planning Association*, 25.2, 1959, p. 73-76.
- Harary 1969** : HARARY F. – *Graph Theory*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1969.
- Harary et al. 1965** : HARARY F., NORMAN R. Z. et CARTWRIGHT D. – *Structural models: An introduction to the theory of directed graphs*. New York, Wiley, 1965.
- Harding et Kavruc 2013** : HARDING A. et KAVRUK V. – *Explorations in salt archaeology in the Carpathian Zone*. Archaeolingua, Budapest, 2013.
- Harkess 1976** : HARKESS S. – Centrality in a Regional Elite Network: Organizational Relationships as the Medium, *Sociological Focus*, 9.1, 1976, p. 11-26.
- Herzog 2013** : HERZOG I. – Theory and practice of cost functions. In : F. Contreras, M. Farjas, F. Melero, (Eds.), *Fusion of Cultures*. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (Granada, Spain, April 2010). Archaeopress, Oxford, 2013, p. 375-382 (BAR International Series 2494).
- Hodder 1972** : HODDER I. – The Interpretation of Spatial Patterns in Archaeology: Two Examples. *Area* 4.4, 1972, p. 223-229.
- Hodder 1974** : HODDER I. – Regression analysis of some trade and marketing patterns, *World Archaeology*, 6.2, 1974, p. 172-189.
- Hodder 1978** : HODDER I. – *Social organisation and human interaction: the development of some tentative hypotheses in terms of material culture*. In : I.R. Hodder (ed.), *The Spatial Organisation of Culture*. London, Duckworth, 1978, p. 199-269.
- Hodder 1982** : HODDER I. – Towards a Contextual Approach to Prehistoric Exchange. In : J. Ericson and T. Earle (eds.), *Contexts for Prehistoric Exchange*, 1982, p. 199-211.
- Hodder et Hassal 1971** : HODDER I. et HASSALL M. – The Non-Random Spacing of Romano-British Walled Towns, *Man* 6.3, 1971, p. 391-407.
- Hodder et Orton 1976** : HODDER I. et ORTON C. – *Spatial Analysis in Archaeology*. Cambridge, Cambridge University Press, 1976.
- Jenks 1967** : JENKS G. F. – The Data Model Concept in Statistical Mapping, *International Yearbook of Cartography*, 7, 1967, p. 186-190.
- Jeunesse et al. 2003** : JEUNESSE C., LEFRANC P., DENAIRE A. – *Groupe de Bischheim, origine du Michelsberg, genèse du groupe d'Entzheim. La transition entre le Néolithique moyen et le Néolithique récent dans les régions rhénanes*. Zimmersheim, APRAA, 2003.
- Jurietti 2017** : JURIETTI S. (dir.) – *Bric-à-brac pour les dieux ? Les dépôts d'objets métalliques à l'âge du Bronze*. Lons-le-Saunier, Ville de Lons-le-Saunier, Musée d'archéologie, 2017.
- Kansky 1963** : KANSKY, K. J. – *Structure of Transportation Networks: Relationships Between Network Geometry and Regional Characteristics*. Chicago, University of Chicago, 1963.
- Kansky 1989** : KANSKY K. – Measures of Network Structure, *Flux*, No. spécial 1989, p. 93-121.
- Kimmig 1989** : KIMMIG W. – Remarques sur la culture du Bronze moyen. In : CTHS 1989, p. 11-20.

- Klassen et al. 2009** : KLASSEN L., PÉTREQUIN P. et ERRERA M. – Ein herausragendes neolithisches Jadebeil aus Hiddenhausen-Bermbeck, *Archäologie in Westfalen-Lippe*, 9, 2009, p. 162-165.
- Klassen et al. 2012a** : KLASSEN L., CASSEN S. et PÉTREQUIN P. – Alpine axes and early metallurgy. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1280-1309.
- Klassen et al. 2012b** : KLASSEN L., DOBES M., PÉTREQUIN P. – Dreieckige Kupferflachbeile aus Mitteldeutschland und Böhmen. Zum kulturgeschichtlichen Hintergrund einer bemerkenswerten Fundgruppe, *Alt-Thüringen*, 41, 2012, p. 7-35.
- Koenig et al. 1989** : KOENIG M.-P., LAMBERT G., PININGRE J.-F., PLOUIN S. — La Civilisation des tumulus en Alsace et le groupe de Haguenau : aspects chronologiques et culturels. *In* : CTHS 1989, p. 193-218.
- Kopytoff 1986** : KOPYTOFF I. – The cultural biography of things: Commoditization as process. *In* A. Appadurai (ed.), *The Social Life of Things*, 1986, p. 64-94.
- Kristiansen 1978** : KRISTIANSEN K. (ed.) – *New directions in Scandinavian archaeology*. Copenhagen, National Museum of Denmark, 1978 (*Studies in Scandinavian Prehistory and Early History* 1)
- Kristiansen 1998** : KRISTIANSEN, K. – A theoretical strategy for the interpretation of exchange and interaction”. *In* : Mordant et al. 1998, tome III, p. 333-343.
- Kristiansen 2000** : KRISTIANSEN K. – *Europe before History, New Studies in Archéologie*. Cambridge University Press, 2000.
- Kubach-Richter et Kubach 1989** : KUBACH-RICHTER I. et KUBACH W. – Bronzezeitliche Hügelgräberkultur zwischen Rhein und Mosel. *In* : CTHS 1989, p. 79-98.
- Kvamme 1988** : KVAMME K. – *Quantifying the present and predicting the past: theory, method, and application of archaeological predictive modelling*. Bureau of Land Management, Denver, 1988.
- Labarthe et Pirot 2008** : LABARTHE H. et PIROT F. – De la modélisation HBDS à l’implémentation sur ArcCatalog-ArcInfo© : un simple prolongement. A propos de la géodatabase obediences. **Actes de la conférence francophone ESRI 2008, Issy-les-Moulineaux**, 2008.
https://www.esrifrance.fr/sig2008/pirot_hbds.htm
- Lachenal et al. 2017** : LACHENAL T., MORDANT C., NICOLAS T., VEBER C. (dir.) – *Le Bronze moyen et l’origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVIIe-XIIIe siècle avant notre ère)*, Actes du colloque APRAB “Bronze 2014”, Strasbourg, 17-20 juin 2014. Strasbourg, 2017 (Mémoires d’Archéologie du Grand-Est 1).
- Larousse 2011** : Dictionnaire de la langue française, ed. Larousse, 2011.
- Latora and Marchiori 2001** : LATORA V., MARCHIORI M. – Efficient behavior of small-world networks, *Physical Review Letters*, 87.19, 2001, p. 198701.1-4.
- Lazarovici 2006** : LAZAROVICI C.-M. et LAZAROVICI G. – *Arhitectura neoliticului și epocii cuprului în România*, Bibliotheca Archaeologica Moldaviae. Trinitas, Iași, 2006.
- Lazarovici et Lazarovici 2015** : LAZAROVICI G. et LAZAROVICI M.-C. – New data and observations related with exploitation and transport of salt in Transylvanian prehistory (Romania). *In* : R. Brigand, O. Weller (Eds.), *Archaeology of Salt: Approaching an Invisible Past*. Sidestone Press, Leiden, 2015, p. 139-156.

- Leavitt 1951** : LEAVITT H. J. – Some effects of certain communication patterns on group performance, *Journal of Ab-normal and Social Psychology*, 46, 1951, p. 38-50.
- Lillios 1999** : LILLIOS K.T. – Objects of Memory : The Ethnography and Archaeology of Heirlooms. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 6.3, 1999, p. 235-262.
- Llobera 2003** : LLOBERA M. – Extending GIS based analysis: the concept of visualscape, *International Journal of Geographic Information Science*, 17.1, 2003, p. 25-49.
- Lösch 1940** : LÖSCH A. – *Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*. Iéna, New Haven, Yale UP, 1940 (The Economics of location).
- Mantu 1998** : MANTU C.-M. – *Cultura Cucuteni: evolutie, cronologie, legaturi*, Bibliotheca Memoriae Antiquitatis. Muzeul de Istorie Piatra Neamț, Piatra Neamț, 1998.
- Mareș 2002** : MAREȘ I. – *Metalurgia aramei în neo-eneoliticul României*, Seria arheologie. Bucovina Istorică, Suceava, 2002.
- Mareș 2012** : MAREȘ I. – *Metalurgia aramei în civilizațiile Precucuteni și Cucuteni*. Univ. Ștefan cel Mare, Karl A. Romstorfer, Suceava, 2012.
- Marsden 1981** : MARSDEN P. V. – Introducing Influence Processes into a System of Collective Decisions, *American Journal of Sociology*, 86, 1981, p. 1203-1235.
- Marsden 1983** : MARSDEN P. V. – Restricted Access in Networks and Models of Power, *American Journal of Sociology*, 88.4, 1983, p. 686-717.
- Mathis 2003** : MATHIS Ph. (dir.) – *Graphes et réseaux – modélisation multiniveau*. Éditions Hermès, Traité IGAT : « Information Géographique et Aménagement du Territoire », 2003.
- Mauss 1923-1924** : MAUSS, M. – *Essai sur le don. Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques*, *L'Année Sociologique*, nouvelle série I, 1923-1924, p. 30-186.
- Mauss 1950** : MAUSS, M. – *Sociologie et anthropologie*, recueil de textes avec une préface de Claude Lévi-Strauss). Presses universitaires de France, 1950.
- Merlin et Choay 1988** : MERLIN P., CHOAY F. – *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Paris, PUF, 1988, p. 118-119.
- Meruțiu 1912** : MERUȚIU V. – *Contribuțiune la studiul Masivelor de Sare din Romania*. Albert Baer, București, 1912.
- Millotte 1963** : MILLOTTE J.-P. – *Le Jura et les plaines de la Saône aux Ages des Métaux*. Besançon, Annales littéraires de l'Université de Besançon, 1963.
- Mohen 1989** : MOHEN J.-P. – Les relations Bronze atlantique, Bronze continental à l'Age du Bronze moyen. In : CTHS 1989, p. 39-46.
- Mohen 1990** : MOHEN J.-P. – *Métallurgie préhistorique, Introduction à la paléoméallurgie*, Collection Préhistoire. Paris, Masson, 1990.
- Monah 1991** : MONAH D. – L'exploitation du sel dans les Carpates orientales et ses rapports avec la culture de Cucuteni-Tripolye. In: M. Chirica, D.Monah (Eds.), *Le Paléolithique et Le Néolithique de La*

Roumanie en contexte européen, Bibliotheca Archaeologica Iassiensis. Universităţii Alexandru Ioan Cuza, Iaşi, 1991, p. 387-400.

Monah 2002 : MONAH D. – L'exploitation préhistorique du sel dans les Carpates orientales. In : O. Weller (Ed.), *Archéologie du sel techniques et sociétés dans la pré- et protohistoire européenne*. Actes du XIV^e congrès UISPP (Liège, 2001) et de la table ronde du Comité des salines de France (Paris, 1998), Internationale Archäologie, ASTK 3. M. Leidorf, Rahden Westfalen, 2002, p. 135-146.

Monna et al. 2013 : MONNA F., JEBRANE A., GABILLOT M., SPECHT M., CAMIZULI E., ALIBERT P., LAFONT R. et CHATEAU C. – Morphometry of Middle Bronze Age palstaves II, Study of the regional variation of shape in two typological groups, implications on trade and production, *Journal of archaeological science*, 40, 2013, p. 507-516.

Mordant 1989 : MORDANT C. – Transgression culturelle et mouvements de populations aux XIV^e-XIII^e siècles avant notre ère dans le Bassin Parisien, compétition culturelle et phénomène de lisière. In : CTHS 1989, p. 283-303.

Mordant 1992 : MORDANT D. (dir.) – *La Bassée avant l'histoire archéologie et gravières en Petite-Seine*. Nemours, A.P.R.A.I.F., 1992.

Mordant 1998 : MORDANT C. – Dépôts de bronze et territoires à l'Âge du Bronze en Bourgogne (XVII-IX è s. avt. J.C.). In : Mordant et al. 1998, tome III, p. 185-210.

Mordant 2001 : MORDANT C. – À propos des recherches sur l'Âge du Bronze en France orientale et occidentale (1996-2000), *Documents d'Archéologie méridionale*, 24, 2001, p. 267-272.

Mordant et Gouge 1992 : MORDANT C. et GOUGE P. – L'occupation du sol au Bronze final dans les vallées de l'Yonne et de la Haute-Seine. In C. Mordant et A. Richard (dir.), *L'habitat et l'occupation du sol à l'Age du Bronze en Europe*, actes du colloque international de Lons-le-Saunier, 16-19 mai 1990, CTHS. Paris, 1992, p. 133-164 (*Documents Préhistoriques* n°4).

Mordant et Mordant 1970 : MORDANT C. et MORDANT D. – Un enclos circulaire à 4 fossés successifs à Gravon (Seine-et-Marne), *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 67.8, 1970, p. 254-256.

Mordant et al. 1976 : MORDANT C., MORDANT D., PRAMPART J.-Y., BOURHIS J., BRIARD J., MOHEN J.-P. – *Le dépôt de bronze de Villethierry* (Yonne). Paris, CNRS, 1976 (IX^e supplément à *Gallia Préhistoire*).

Mordant et al. 1998 : MORDANT C., PERNOT M., RYCHNER V. (dir.) – *L'atelier du Bronzier en Europe du XX^e à s. au VIII^e à s. avant notre ère*. Paris, CTHS, 1998.

Mordant et al. 1999-2000 : MORDANT C., MORDANT D., PIETTE J., SIMONIN D. et GOUGE P. – *L'Age d'Or de l'Age du Bronze. Les vallées de la Seine et de l'Yonne aux XIII^e et XII^e siècles avant J.-C.*, catalogue d'exposition. Nogent-sur-Seine, Nemours, 1999-2000.

Mordant et al. 2004 : MORDANT C., GABILLOT M., KROLIKOWSKI F. et SALIGNY L. – Approche de la notion de flux de métal et de recyclage au sein des sociétés européennes de l'Âge du Bronze. In : A. Lehöreff (dir.), *L'Artisanat métallurgique dans les sociétés anciennes en Méditerranée occidentale*. Actes du colloque de Ravello, 2000. Rome : École française de Rome, coll. de l'École française de Rome, 332, 2004, p. 263-285.

Mordant et al. 2005 : MORDANT C., POULET-CROVISIER N. et SALIGNY L. – Nouvelle approche pour la quantification des flux de circulation des matériaux métalliques à l'Âge du Bronze. In : Berger et al. 2005, p. 191-204.

Mordant et al. 2006 : MORDANT C., SALIGNY L., POULET-CROVISIER N. – La circulation des objets métalliques à l'âge du Bronze entre Rhône et Saône : utilisation d'une transformation cartographique linéaire, *Mappemonde*, N° 83.3, 2006. <http://mappemonde.mqm.fr>

Mordant et al. 2007 : MORDANT C., ROTTIER S., SALIGNY L. – Dynamisme et espaces culturels. De la notion de mobilité au sein des populations du Bronze moyen à l'étape initiale du Bronze final en France orientale (XVe-XIIIe siècles av. J.-C.). In : H. Richard., M. Magny et C. Mordant (eds) : *Dynamisme et espaces culturels. De la notion de mobilité au sein des populations du Bronze moyen à l'étape initiale du Bronze final en France orientale (XVe-XIIIe siècles av. J.-C.)*, Avril 2004. Besançon, CTHS, Annales littéraires de l'Université de Besançon, 2007, p. 143-157 (*Documents préhistoriques* 21).

Munteanu et al. 2007 : MUNTEANU R., GARVĂN D., NICOLA D., PREOTEASA C., DUMITROAIA G. – Cucuieți-Slatina Veche (Romania). Prehistoric Exploitation of a Salt Resource. In : D. Monah, G. Dumitroaia, O. Weller, J. Chapman (Eds.), *L'exploitation du sel à travers le temps*, Bibliotheca Memoriae Antiquitatis. Constantin Matasă, Piatra-Neamț, 2007, p. 57-70.

Murrieta-Flores 2012 : P. MURRIETA-FLORES – Understanding human movement through spatial technologies. The role of natural areas of transit in the Late Prehistory of South-western Iberia. *Trabajos de Prehistoria*, 69.1, 2012, p. 114-133.

Nandriș 1987 : NANDRIȘ J. – Romanian Ethnoarchaeology and the Emergence and Development of Cucuteni in the European Context. In : Petrescu-Dîmbovița, M., Ursulescu, N., Monah, D., Chirica, V. (Eds.), *La Civilisation de Cucuteni En Contexte Européen. Session Scientifique Dédiée Au Centenaire Des Premières Découvertes de Cucuteni (Iași-Piatra Neamț, 1984)*, Bibliotheca Archaeologica Iassiensis. Universităţii Alexandru Ioan Cuza, Iași, 1987pp. 201-222.

Needham 1993 : NEEDHAM S. – Displacement and Exchange in Archaeological Methodology. In : C. Scarre et F. Healy (eds.), *Trade and Exchange in Prehistoric Europe*, Proceedings of a Conference held at the University of Bristol, April 1992. NHBS, 1993, p. 161-169 (*Oxbow monographs* 33).

Needham 1998 : NEEDHAM S. – Modelling the flow of metal in the Bronze Age. In : Mordant et al. 1998, tome III, p. 285-298.

Newman 2010 : NEWMAN M. – *Networks: An Introduction*, Oxford University Press. NY, Inc. New York, 2010.

Nicola et al. 2007 : NICOLA D., MUNTEANU R., GARVĂN D., PREOTEASA C. et DUMITROAIA G. – Solca-Slatina Mare (Roumanie). Preuves archéologiques de l'exploitation du sel en préhistoire. In : D. Monah, G. Dumitroaia, O. Weller, J. Chapman (Eds.), *L'exploitation du sel à travers le temps*, Bibliotheca Memoriae Antiquitatis. Constantin Matasă, Piatra-Neamț, 2007, p. 35-56.

Nieminen 1973 : NIEMINEN U. J. – On the centrality of a directed graph, *Social Science Research*, 2, p. 371-378.

Nuninger et Sanders 2006 : NUNINGER L. et SANDERS L. (dir.) – La modélisation des réseaux d'habitat en archéologie : trois expériences. *Mappemonde*, 83, 2006. <http://mappemonde.mgm.fr/num11/articles/art06302.html>

Nuninger et al. 2012 : NUNINGER L., SALIGNY L., OSTIR K., POIRIER N., FOVET E., GANDINI C., GAUTHIER E., KOKALJ Ž., TOLLE F., avec la collaboration de l'équipe ArchaeDyn – Chapter 1- Models and tools for territorial dynamic studies. In : Gandini et. al. 2012, p. 23-37.

Ostir et al. 2008 : OŠTIR K., KOKALJ Ž., SALIGNY L., TOLLE F. et NUNINGER L. – Confidence Maps: a Tool to Evaluate Archaeological Data's Relevance in Spatial Analysis. *In* : *Layers of perception*, proceedings of the CAA 2007 Conference, Berlin 2-6 avril, article n°11.12 sur CD-Rom, 2008.

Paegelow et Vidal 2004 : PAEGELOW M. et VIDAL F. – *La Géographie aujourd'hui : Méthodes et Techniques - Outils de représentation de l'information géographique*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, 2004.

Paillet et Sheridan 2009 : PAILLET Y., SHERIDAN A. – Everything you always wanted to know about... la néolithisation de la Grande Bretagne et de l'Irlande, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 106.1, 2009, p. 1-32.

Pare 2000 : PARE Ch. – The Bronze and the Bronze Age. *In* : Ch. Pare (ed.), *Metals make the world go round*. Oxbow Books, 2000, p. 1-38.

Parlebas 1972 : PARLEBAS P. – Centralité et compacité d'un graphe, *Mathématiques et Sciences humaines*, 39, 1972, p. 5-26.

Parzen 1962 : PARZEN E. – On the estimation of a probability density function and the mode, *Annals of Mathematical Statistics*, 33, 1962, p. 1065-1076.

Pétrequin, Cassen et al. 2006 : PÉTREQUIN P., CASSEN S., CROUTSCH C. – Imitation ou convergence : les haches néolithiques à talon perforé au nord-ouest des Alpes. *In* : L. Baray (ed.), *Artisanats, sociétés et civilisations*. Hommage à Jean-Paul Thévenot. Supplément à la *Revue Archéologique de l'Est*, Dijon, 2006, p. 163-177.

Pétrequin, Cassen et al. 2009 : PÉTREQUIN P., CASSEN S., ERRERA M., GAUTHIER E., KLASSEN L., PAILLET Y., PÉTREQUIN A.-M. et SHERIDAN A. – L'Unique, la Paire, les Multiples. À propos des dépôts de haches polies en roches alpines en Europe occidentale pendant les Ve et IVe millénaires. *In* : S. Bonnardin, C. Hamon, M. Lauwers et B. Quilliec (dir.), *Du matériel au spirituel. Réalités archéologiques et historiques des « dépôts » de la Préhistoire à nos jours*, XXIXe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. Antibes, Éditions APDCA, 2009, p. 417-427.

Pétrequin, Cassen et al. 2012a : PÉTREQUIN P., CASSEN S., ERRERA M., KLASSEN L., SHERIDAN A. et PÉTREQUIN A.-M. (eds.) – Jade. Grandes haches alpines du Néolithique européen. Ve et IVe millénaires av. J.-C. Cahiers de la MSHE C.N. Ledoux, Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté et Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Ain, tomes 1 et 2, 2012 (Les Cahiers de la MSHE Ledoux 17).

Pétrequin, Cassen et al. 2012b : PÉTREQUIN P., CASSEN S., GAUTHIER E., KLASSEN L., PAILLET Y. et SHERIDAN A. – Typologie, chronologie et répartition des grandes haches alpines en Europe occidentale. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 574-727.

Pétrequin, Cassen et al. 2012c : PÉTREQUIN P., CASSEN S., KLASSEN L., FABREGAS VALCARCE R. – La circulation des haches carnacéennes en Europe occidentale. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1015-1045.

Pétrequin, Cassen et al. 2012d : PÉTREQUIN P., CASSEN S., ERRERA M., TSONEV T., DIMITROV K., KLASSEN L. et MITKOVA R. – Les haches en « jades alpins » en Bulgarie. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1231-1279.

Pétrequin, Cassen et al. 2012e : PÉTREQUIN P., CASSEN S., ERRERA M., KLASSEN L. et SHERIDAN A. – Des choses sacrées... fonctions idéelles des jades alpins en Europe occidentale. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1354-1423.

Pétrequin, Cassen et al. 2013 : PÉTREQUIN P., CASSEN S., ERRERA M., KLASSEN L., PÉTREQUIN A. M., SHERIDAN A. – The value of things: the production and circulation of Alpine jade axes during the 5th – 4th millennia in a European perspective. In : T. Kerig, A. Zimmermann (eds.), *Economic archaeology: from structure to performance in European archaeology*. Bonn, Rudolf Habelt, 2013, p. 65-82.

Pétrequin, Croutsch et Cassen 1998 : PÉTREQUIN P., CROUTSCH C. et CASSEN S. – A propos du dépôt de la Bégude : haches alpines et haches carnacéennes pendant le Ve millénaire, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 95.2, 1998, p. 239-254.

Pétrequin, Errera et Rossy 2012 : PÉTREQUIN P., ERRERA M. et ROSSY M., en collab. avec D'AMICO C. et GHEDINI M. – Viso ou Beigua : approche du référentiel des « jades alpins ». In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 292-419.

Pétrequin, Errera et al. 2006 : PÉTREQUIN P., ERRERA M., PÉTREQUIN A.-M., ALLARD P. – The Neolithic Quarries of Mont Viso (Piedmont, Italy). Initial Radiocarbon Dates, *European Journal of Archaeology*, 9.1, 2006, p. 7-30.

Pétrequin, Errera et al. 2009 : PÉTREQUIN P., ERRERA M., PÉTREQUIN A.-M. et GAUTHIER E. – Une production du Mont Viso en Italie : l'ébauche de haches de Lugrin (Haute-Savoie, France). In : *De la Méditerranée et d'ailleurs*. Mélanges offerts à Jean Guilaine. Toulouse, Archives d'Ecologie Préhistorique, 2009, p. 583-595.

Pétrequin, Errera et al. 2012 : PÉTREQUIN P., ERRERA M., CASSEN S., GAUTHIER E., KLASSEN L., PÉTREQUIN A. M., SHERIDAN A. – Austausch auf europäischer Ebene – alpine Jade des 6. bis 4. Jahrtausends v. Chr., *Archäologie in Deutschland*, 2012 (2), p. 22-25.

Pétrequin, Errera et al. 2017 : PÉTREQUIN P., ERRERA M., VOINEA V., TSONEV T., TURCANU S., SERBANESCU D., KIOSAK D., PERESUNCHAK O., POLISCHUK L et CHERNAKOV D. – Des Alpes à la mer Noire (Bulgarie, Roumanie et Ukraine). In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 467-489.

Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2010 : PÉTREQUIN, P., GAUTHIER, E., PÉTREQUIN, A.-M. – Les haches en silex de type Glis-Weisweil en France, en Suisse et en Allemagne du Sud-Ouest. Des imitations de haches alpines à la transition Ve-IVe millénaires. In : I. Matuschik et al. (dir.), *Vernetzungen, Aspekte siedlungsarchäologischer Forschung*, Festschrift für Helmut Schlichtherle, Lavori, Freiburg im Breisgau, 2010, p. 237-252.

Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017 : PÉTREQUIN P., GAUTHIER E. et PÉTREQUIN A.-M. (eds.) – Jade. Objets-signes et interprétations sociales des jades alpins dans l'Europe néolithique, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté et Centre de recherche archéologique de la vallée de l'Ain, tome 3 et 4, 2017 (Les Cahiers de la MSHE Ledoux 27, Dynamiques territoriales, 9).

Pétrequin, Gauthier et al. 2012 : PÉTREQUIN P., GAUTHIER E., JACCOTTEY L., JEUDY F., MAITRE A. et VAQUER J. – Les exploitations de Réquista (Aveyron) et de Plancher-les-Mines (Haute-Saône, France). Exemples de diffusion de haches à moyenne distance. In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 544-573.

Pétrequin, Paillet et al. 2017 : PÉTREQUIN P., PAILLET Y., CASSEN S., ERRERA M., PÉTREQUIN A.-M. et PRODEO F. – Autres anneaux-disques alpins réguliers. In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 639-652.

Pétrequin et Pétrequin 1993 : PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M., avec la coll. de CORAS J., DARTEVELLE H., MAITRE A. et ROSSY M. – *Ecologie d'un outil : la hache de pierre en Irian Jaya (Indonésie)*. Paris, Editions du CNRS, 1993 - 2^e édition, complétée, Editions du CNRS, Paris, 2000 (Monographie du C.R.A. n°12).

Pétrequin et Pétrequin 1999 : PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M. – La poterie en Nouvelle-Guinée : savoir-faire et transmission des techniques, *Journal de la Société des Océanistes*, 108.1, 1999, p. 71-101.

Pétrequin et Pétrequin 2006 : PÉTREQUIN A.-M. et PÉTREQUIN P. – *Objets de pouvoir en Nouvelle-Guinée. Catalogue de la donation Anne-Marie et Pierre Pétrequin*. Musée d'Archéologie Nationale, Saint-Germain-en-Laye. Paris, Editions de la Réunion des Musées nationaux, 2006.

Pétrequin et Pétrequin 2012 : PÉTREQUIN P. et PÉTREQUIN A.-M. – Chronologie et organisation de la production de la production dans le massif du Mont Viso. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 214-257.

Pétrequin et Pétrequin 2017a : PÉTREQUIN A.-M. et PÉTREQUIN P. – Modélisation ethnoarchéologique en Nouvelle-Guinée : techniques, modes de production et circulation des producteurs. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 159-182.

Pétrequin et Pétrequin 2017b : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., avec la coll. de CHIARENZA N., CINQUETTI M., MANCUSI V., ZAMAGNI B., VENTURINO M. – A l'origine des routes du jade alpin : spécialisation régionale et premiers transferts. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 323-361.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2006 : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M., CASSEN S. et CROUTSCH C. – Complexité technique et valorisation sociale : haches polies de Nouvelle-Guinée et du Néolithique alpin. *In* : L. Astruc, F. Bon, V. Léa, P.Y. Milcent et S. Philibert (eds.), *Normes techniques et pratiques sociales : de la simplicité des outillages pré- et protohistoriques*, XXVIe Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Antibes, Editions APDCA, 2006, p. 419-433.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2007 : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M., CASSEN S., CROUTSCH C., DUFRAISSE A., GAUTHIER E. et ROSSY M. – Les carrières néolithiques de jadéite du Monviso (Piémont, Italie). *In* : *Actes du XIe Colloque sur les Alpes dans l'Antiquité, Champsec / Val de Bagnes / Valais-Suisse. Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Archéologiques Alpines*. Aoste, 2007, p. 167-188.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2008 : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M., JAIME RIVERON O., BAILLY M., GAUTHIER E. et ROSSI G. – Premiers épisodes de la fabrication des longues haches alpines : ramassage de galets ou choc thermique sur des blocs, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 105.2, 2008, p. 309-334.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2012 : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M. et PRODEO F. – Prospections alpines et sources de matières premières. Historique et résultats. *In* : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 1, p. 46-183.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2015 : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., CASSEN S., ERRERA M., GAUTHIER E., PRODEO F. et VAQUER J. – Les grandes haches polies en jades alpins. *In* : Signes de richesse, inégalités au Néolithique. 27 Juin 2015 - 15 Novembre 2015. Musée de Préhistoire, Les Eyzies-de-Tayac 27 juin-15 novembre 2015, Musée des Confluences, Lyon, 1er décembre 2015-17 avril 2016. Paris 2015, p. 43-54.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2017a : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M. et PRICHYSTAL A. – Les jadéites de Syros (Cyclades, Grèce). *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 25-46.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2017b : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., CINQUETTI M. et PRODEO F. – La Balma di Rosso à Melle : une introduction aux exploitants des jades du Mont Viso. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 139-158.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2017c : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M., BUSSEUIL N., PRODEO F. et CHIARENZA N. – Alba (Cuneo, Piémont) : le mobilier des fouilles anciennes. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 273-322.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2017d : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., GAUTHIER E. et SHERIDAN A. – Mécanismes sociaux : les interprétations idéelles des jades alpins. *In* : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 521-598.

Pétrequin, Pétrequin et al. 2017e : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., GAUTHIER E. et SHERIDAN A. – Alpine jades : from scientific analysis to Neolithic know-how. *In* : T. Pereira, X. Terradas et N. Bicho (eds), *The Exploitation of Raw Materials in Prehistory : Sourcing, Processing and Distribution*. Cambridge, Cambridge Scholars Publishing, 2017, p. 354-367.

Pétrequin, Pétrequin et al. à paraître : PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A. M., CINQUETTI M., ERRERA M., FABREGAS VALCARCE R., GAUTHIER E., JALLET F., PAILLER Y., PRODEO F., SHERIDAN A. – Anneaux et haches en jades alpins : importations et exportations du golfe du Morbihan pendant le Ve millénaire et le début du IVe. *In* : Actes du colloque "Callaïs", *La parure en callaïs (variscite, turquoise) du Néolithique européen. Nature, origine, exploitation, circulation, utilisation*, Avril 2015, Carnac, à paraître.

Pétrequin, Sheridan et al. 2008 : PÉTREQUIN P., SHERIDAN A., CASSEN S., ERRERA M., GAUTHIER E., KLASSEN L., LE MAUX N., PAILLER Y. – Neolithic Alpine axeheads, from the Continent to Great Britain, the Isle of Man and Ireland, *Analecta Praehistorica Leidensia*, 40, 2008, p. 262-279.

Pétrequin, Sheridan et al. 2011 : PÉTREQUIN P., SHERIDAN A., CASSEN S., ERRERA M., GAUTHIER E., KLASSEN L., LE MAUX N., PAILLER Y., PÉTREQUIN A. M., ROSSY M. – Eclogite or jadeite: the two colours involved in the transfer of alpine axeheads in western Europe. *In* : V. Davis, M. Edmonds (eds.), *Stone Axe Studies III*. Oxford, Oxbow Books, 2011, p. 55-82.

Pétrequin, Sheridan et al. 2012 : PÉTREQUIN P., SHERIDAN A., CASSEN S., ERRERA M., KLASSEN L. et PÉTREQUIN A.M. – Consecration and sacrifice : long Alpine jade axeheads in Neolithic Europe. *In* : H. Lasch et B. Ramingier (eds.), *Menschen – Hunde – Artefakte. Gedenkschrift für Gretel Gallay/Callesen*. Schriften des Vereins für Vor- und Frühgeschichte im unteren Niddertal e.V., Bd II, 2012, p. 33-64.

Pétrequin, Sheridan et al. 2015 : PÉTREQUIN P., SHERIDAN A., GAUTHIER E., CASSEN S., ERRERA M. et KLASSEN L. – Project JADE 2. 'Object-signs' and social interpretations of Alpine jade axeheads in the European Neolithic: theory and methodology. *In* : *Connecting networks: characterising contact by measuring Lithic exchange in the European Neolithic*. Oxford, Archaeopress, 2015, p. 83-102.

Pétrequin et Weller 2007 : PÉTREQUIN P. et WELLER O. – XVe siècle av. J.-C. La reprise de la croissance démographique dans le Jura. *In* : H. Richard, M. Magny et C. Mordant (eds), *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale*. Paris, CTHS, 2007, p. 197-210.

Petrescu-Dîmbovița et Valeanu 2004 : PETRESCU-DIMBOVITA M. et VALEANU M.-C. – *Cucuteni-Cetățuie: săpăturile din anii 1961-1966*. Monografie arheologică, Bibliotheca Memoriae Antiquitatis. Constantin Matasă, Piatra-Neamț, 2004.

Piette 1998 : PIETTE J. – Les pectoraux : les découvertes récentes de la Saulsotte (Aube, France). Mordant et al. 1998, tome III, p. 129-140.

Piette 1999 : PIETTE J. – Les nécropoles du Bronze final de Barbuise-Courtavant (Aube). *In* : B. Chaume, J.-P. Mohen et P. Périn (dir.), *Archéologie des Celtes*, Mélanges à la mémoire de René Joffroy. Ed. Monique Mergoïl, 1999, p. 271-298 (Protohistoire européenne 3).

Piette et al. 1999 : PIETTE J., SIMONIN D., LECLERC A.-S. – *L'âge d'or de l'Âge du Bronze, les vallées de la Seine et de l'Yonne aux XIII e et XII e siècles av. J.-C.*, catalogue d'exposition, musée municipal P. Dubois-A. Boucher de Nogent-sur-Seine. Musée de Préhistoire d'Île-de-France de Nemours, 1999.

Piningre et Grut 2009 : PININGRE J.-F. et GRUT H. – Dépôts et lieux de déposition de bronzes dans la région salinoise (Jura) au XVe-XIVe siècle av. J.-C. In : A. Richard, Ph. Barral, A. Daubigney (dir.), *L'isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la Protohistoire. Approches nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte*, actes du colloque de Besançon, 17-18 octobre 2006. Besançon, 2009, p. 183-199.

Pirot et Saint-Gérand 2004 : PIROT F. et SAINT-GERAND T. – Du concept HBDS à la geodatabase topologique: 25 ans les séparent. In : *Actes de la Conférence Francophone des utilisateurs ESRI*, 6-7 octobre 2004. Issy-les-Moulineaux, 2004.

<http://www.esrifrance.fr/sig2004/communications/pirot/pirot.htm>

Pirot et Saint-Gérand 2005 : PIROT F. et SAINT-GERAND T. – La Geodatabase sous ArcGIS, des fondements conceptuels à l'implémentation logicielle, *Géomatique Expert*, 41-42, 2005, p. 62-66.

Pirot et Varet-Vitu 2004 : F. PIROT et A. VARET-VITU (dir.) – Systèmes d'information géographique, archéologie et histoire, *Histoire et Mesure*, XIX - 3/4, 2004.

Pirot et al. 2005 : PIROT F., SAINT-GERAND T., GAUTHIER E., BANZA-NSUNGU A. – L'analyse spatiale versus algèbre de cartes sous ArcGis. Des exemples en sciences de l'homme et de la société, Colloque Francophone, ESRI 2005, Issy les Moulineaux.

<http://www.esrifrance.fr/sig2005/communications2005/Pirot3/pirot3.htm>

Poirier 2010 : POIRIER N. – *Un espace rural à la loupe. Paysage, peuplement et territoires en Berry de la préhistoire à nos jours*. Tours, Presses Universitaires François-Rabelais, 2010.

Porta et al. 2006 : PORTA S., CRUCITTI P., LATORA V. – The network analysis of urban streets: A dual approach, *Physica A* 369, 2006, p. 853–866.

Prichystal 2013 : PRICHYSTAL A. – *Lithic raw materials in prehistoric times of Eastern Central Europe*. Brno, Masaryk University, 2013.

Prichystal et Trnka 2001 : PRICHYSTAL A., TRNKA G. – Raw materials of polished artifacts from two Lengyel sites in Lower Austria, *Slovak Geological Magazine*, 7.4, 2001, p. 337-339.

Pumain et Béguin 2003 : PUMAIN D. et BEGUIN M. – *La représentation des données géographiques*. Paris, Cursus, Armand Colin, 2003.

Pumain et Saint-Julien 1997 : PUMAIN D. et SAINT-JULIEN T. – *L'analyse spatiale*. Paris, Armand Colin, 1997.

Pumain et Saint-Julien 2001 : PUMAIN D. et SAINT-JULIEN T. – *Les interactions spatiales*. Paris, Armand Colin, 2001.

Pydyn 2000 : PYDYN A. – Value and exchange of bronzes in the Baltic area and in north-east Europe. In : Ch. Pare, *Metals make the world go round*. Oxford, Oxbow Books, 2000, p. 225-232.

Querré et al. à paraître : QUERRÉ G., CALLIGARO T., CASSEN S. et DOMINGUEZ-BELLA S. – Long distance provenances of the callaïs adornments along Atlantic Europe from the fifth to the third millenium. In : *Raw materials exploitation in Prehistory: sourcing, processing and distribution*, International congress, Faro, Portugal, 10-12 March 2016, à paraître.

- Reilly 1931** : REILLY W. J.– *The law of retail gravitation*. New York, Knickerbocker Press, 1931.
- Renfrew 1974** : RENFREW C. – Commerce et société pendant la préhistoire, *La Recherche*, 5, 1974, p. 846-852.
- Renfrew 1975** : RENFREW C. – Trade as Action at a Distance: Questions of Integration and Communication. *In* : J. Sabloff et C. Lamberg-Karlovsky (eds.), *Ancient Civilization and Trade*. Albuquerque, University of New-Mexico, 1975, p. 3-59.
- Renfrew 2005** : RENFREW C.– Characterisation and Exchange theory. *In* : C. Renfrew et P. Bahn (eds.). *Achaeology the Key Concepts*. London - New York, Routledge, 2005, p. 23-26.
- Renfrew et Bahn 1991** : RENFREW C. et BAHN P. – *Archaeology : Theories, methods and practice*. London, Thames and Hudson, 1991, p. 351- 384.
- Renfrew et Bahn 2000** : RENFREW C. et BAHN P. – *Archaeology. Theories and Practice*. London, Thames and Hudson, 2000.
- Rodier et al. 2012** : RODIER X., BARGE O., SALIGNY L., NUNINGER L., et BERTONCELLO F. – *Information spatiale et archéologie*. Paris, Errance, 2012.
- Rosenblatt 1956** : ROSENBLATT M. – Remarks on some nonparametric estimates of a density function, *Annals of Mathematical Statistics*, 27,1956, p. 832-837.
- Rothé 2001** : ROTHÉ M.-P. – *Le Jura 39, Carte Archéologique de la Gaule*. Paris, Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 2001.
- Rottier et al. 2012** : ROTTIER S., PIETTE J., MORDANT C. (dir.) – *Archéologie funéraire du Bronze final dans les vallées de l'Yonne et de la haute Seine : les nécropoles de Barbey, Barbuise et la Saulsotte*. Dijon, Éd. Universitaires de Dijon, 2012 (Art, archéologie et patrimoine).
- Rouse et al. 1974** : ROUSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W. et HARLAN J.C. – *Monitoring the Vernal Advancements and Retrogradation of Natural Vegetation*, Final Report, NASA/GSFC: Greenbelt, MD, USA, 1974, p. 1-137.
- Roussot-Laroque 2008** : ROUSSOT-LAROQUE J. – La « sépulture de chef » de Pauilhac, *Préhistoire du Sud-Ouest*, 16.1, 2008, p. 91-142.
- Sabidussi 1966** : SABIDUSSI G., *The centrality index of a graph*. *Psychometrika*, 31.4, 1966, p. 581-603.
- Saint-Gérand 2005** : SAINT-GERAND T. – Comprendre pour mesurer... ou mesurer pour comprendre ? HBDS: pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel. *In* : Y. Guermond (ed.), *Modélisations en géographie : déterminismes et complexités*. Paris, Hermès, 2005, p. 261-297.
- Saligny et al. 2005** : SALIGNY L., POULET-CROVISIER N., MORDANT C. – Les anamorphoses linéaires : une nouvelle approche pour l'analyse des flux de circulation des objets métalliques à l'Âge du Bronze. *In* : Berger et al. 2005, p. 151-161.
- Saligny et al. 2008** : SALIGNY L., NUNINGER L., OSTIR K., BERTONCELLO F., FOVET E., GANDINI C., GAUTHIER E., KOKALJ Z. et POIRIER N. – Models and tools for territorial dynamic studies. *In* : ArchaeDyn, *7 millénaires de dynamiques territoriales : peuplement, production et échanges du Néolithique au Moyen-Age*, Pré-actes du colloque international de l'ACI « espaces et territoires », Dijon, 23-25 juin 2008, p. 25-44.

Samzun et al. 2012 : SAMZUN, A., PETREQUIN, P., GAUTHIER, E. – Une imitation de hache alpine type Bégude à Buthiers-Boulancourt (Seine-et-Marne) au début du Ve millénaire. In : P.A. de Labriffe, E. Thirault (dir.), *Produire des haches au Néolithique, de la matière première à l'abandon*. Paris, Société préhistorique française, 2012, p. 219-234.

Şandru 1952 : ŞANDRU I. – Contribuții geografico-economice asupra exploatării slatinelor în Bucovina de Sud. *Studii și Cercetări Științifice*, 1-4, 1952, p. 407-428.

Schaeffer 1926 : SCHAEFFER F.A. – *Les tertres funéraires préhistoriques de la forêt de Haguenau, I- Les tumulus de l'Age du Bronze*. Publication du Musée de Haguenau (Alsace), 1926.

Schiffer 1972 : SCHIFFER M. B. – Archaeological Context and Systemic Context, *American Antiquity*, 37.2, 1972, p. 156-165.

Scott 2011 : SCOTT J. – Social physics and social networks. In : J. Scott et P. J. Carrington (Eds.), *The SAGE handbook of social network analysis*. London, 2011, p. 55-66.

Sevtsuk 2010 : SEVTSUK A. – *Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville*, PhD Dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Department of Urban Studies & Planning, 2010.

Sevtsuk et Mekonnen 2012 : SEVTSUK A. et MEKONNEN M. – Urban Network Analysis Toolbox, *International Journal of Geomatics and Spatial Analysis*, 22.2, 2012, p. 287-305.

Sheridan et Paillet 2012 : SHERIDAN A. et PAILLET Y., 2012 – Les haches alpines et leurs imitations en Grande Bretagne, Irlande et dans les Iles anglo-normandes. In : Pétrequin, Cassen et al. 2012a, tome 2, p. 1046-1087.

Sheridan et al. 2010 : SHERIDAN A., FIELD D., PAILLET Y., PÉTREQUIN P., ERRERA M., CASSEN S. – The Breamore jadeitite axehead and other neolithic axeheads of Alpine rock from Central Southern England, *Wiltshire Archaeological and Natural History*, 103, 2010, p. 16-34.

Shott 1998 : SHOTT M. J. – Status and Role of Formation Theory in Contemporary Archaeological Practice, *Journal of Archaeological Research*, 6.4, 1998, p. 299-329.

Sørensen et al. 2017 : SØRENSEN L., PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., ERRERA M., HOREJS B. et HERBAUT F. – Les limites sud-orientales des jades alpins (Grèce et Turquie). In : Pétrequin, Gauthier et Pétrequin 2017, tome 3, p. 491-520.

Stepniak 1986 : STEPANIAK T. – *Quantitative aspects of Bronze Age metalwork in Western Poland*. Oxford, Archaeopress, 1986 (*BAR International Series* 317).

Steponaitis 1978 : STEPONAITIS V. – Location theory and complex chiefdoms: A Mississippian example. In : B. D. Smith (ed.), *Mississippian Settlement Patterns*. New York, Academic Press, 1978, p. 417-453.

Stolte et Emerson 1977 : STOLTE J. et EMERSON R. M. – *Structural Inequality: Position and Power in Network Structures*. In : R. Robert, L. Hamblin et J. H. Kunkel (eds.), *Behavioral Theory in Sociology*. Essays in Honor of George C. Homans. New Brunswick, Transaction Books, 1977, p. 117-138.

Tanțau et al. 2011 : TANȚAU I., FEURDEAN A., BEAULIEU J.-L. de, REILLE M. et FĂRCAȘ S. – Holocene vegetation history in the upper forest belt of the Eastern Romanian Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 309 (3-4), 2011, p. 281-290.

Tanțau et al. 2003 : TANȚAU I., REILLE M., BEAULIEU J.-L. de, FĂRCA S., GOSLAR T. et PATERNE M. – Vegetation history in the Eastern Romanian Carpathians: pollen analysis of two sequences from the Mohoș crater. *Vegetation History and Archaeobotany*, 12.2, 2003, p. 113-125.

Von Thünen 1826 : THÜNEN J. H. von – *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie oder Untersuchungen über den Einfluss, den die Getreidepreise, der Reichtum des Bodens und die Abgaben auf den Ackerbau ausüben*. Düsseldorf, Wissenschaft und Finanzen GmHH, 1826.

Tobler 1993 : TOBLER W.R. – *Three presentations on geographical analysis and modeling. Non-isotropic geographic modeling. Speculations on the geometry of geography*. Global spatial analysis, NCGIA technical report. NCGIA, University of California, Santa Barbara, 1993.

Tomlin 1990 : TOMLIN C. D. – *Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990.

Torbrügge 1989 : TORBRÜGGE W. – La culture des Tumulus en Bavière. In : CTHS 1989, p. 47-50.

Tremblay-Cormier 2012 : TREMBLAY-CORMIER L. – La Trouée de Belfort au Premier âge du Fer aux frontières de la recherche. In : Schönfelder M., Sievers S. (dir.), *L'âge du Fer entre la Champagne et la vallée du Rhin*, Actes du 34e colloque international de l'Association Française pour l'Étude de l'âge du Fer, Aschaffenburg, 13 - 16 mai 2010. Mainz, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, 2012.

Tremblay-Cormier 2013 : TREMBLAY-CORMIER L. – *Identités culturelles et contacts entre Rhin et Rhône du 10e au 5e siècle avant notre ère : dynamiques sociales et échanges*, Thèse de doctorat. Dijon, Université de Bourgogne, 2013.

Tremblay-Cormier 2016 : TREMBLAY-CORMIER L. – *Identités culturelles et contacts entre Rhin et Rhône du 10e au 5e siècle avant notre ère*. Dijon, Editions Universitaires de Dijon, 2016.

Tringham 1994 : TRINGHAM R. – Engendered places in prehistory, *Gender, Place and Culture*, 1.2, 1994, p. 169-203.

Ursulescu 1977 : URSULESCU N. – Exploatarea sării din saramură în neoliticul timpuriu, în lumina descoperirilor de la Solca (jud. Suceava). *Studii și Cercetări de Istorie Veche și Arheologie*, 28.3, 1977, p. 307-317.

Ursulescu 1995 : URSULESCU N. – L'utilisation des sources salées dans le néolithique de la Moldavie (Roumanie). In : M. Otte (Ed.), *Nature et culture*. ERAUL 68, Liege, 1995, p. 487-495.

Velcea et Savu 1982 : VELCEA V. et SAVU A. – *Geografia carpaților și a subcarpaților românești*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.

Verhagen 2007 : VERHAGEN P. – *Case studies in archaeological predictive modelling*. Leiden University Press, Leiden, 2007.

Verhagen et Berger 2001 : VERHAGEN P. et BERGER J.-F. – Hidden Reserve: Predictive Modelling of Buried Archaeological Sites in the Tricastin-Valdaine Region (Middle Rhone Valley, France). In : Z. Stančić, T. Veljanoski (Eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past*. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. CAA 2000. Archaeopress, Oxford, 2001, p. 219-232 (BAR International Series 931).

Vergier 1991 : VERGIER S. – L'épée du guerrier et le stock de métal de la fin du Bronze ancien à l'âge du Fer. In : G. Kaenel et Ph. Curdy (eds.), *L'âge du Fer dans le Jura*, Actes du 15è Colloque de

l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Pontarlier, France et Yverdon-les-Bains, Suisse, 9-12 mai 1991. Pontarlier et Yverdon-les-Bains, 1991, p. 135-151 (*Cahiers d'archéologie romande* 57).

Verney 1988 : VERNEY A. – *L'industrie des haches à talon de type normand en France*. Mémoire de maîtrise, Université de Paris I, 1988.

Villes 1989 : VILLES A. – Fin du Bronze moyen et début du Bronze final dans les pays de la Loire moyenne. *In* : CTHS 1989, p. 219.

Voronoi 1907 : VORONOI G. – Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques, *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 133, 1907, p. 97-178.

Vragovic et al. 2005 : VRAGOVIC I., LOUIS E. et DIAZ-GUILERA A. – Efficiency of informational transfer in regular and complex networks, *Physical Review E* 71, 2005, 036122.

Weber 1929 : WEBER A. (traduit par by C. J. Friedrich de Weber 1909). – *Theory of the Location of Industries*. Chicago, The University of Chicago Press, 1929.

Wansleben et Verhart 1992 : WANSLEEBEN M. et VERHART L.B. – The Meuse Valley Project: GIS and site location statistics. *Analecta Praehistorica Leidensia*, 25, 1992, p. 99-108.

Weller et Brigand 2017 : WELLER O. et BRIGAND R. – Recherches systématiques autour des sources salées de Moldavie. Bilan 2011-2013 et synthèse de 10 ans de prospections, *Memoria Antiquitatis*, 40-42, 2017, p. 145-252.

Weller et al. 2007 : WELLER O., BRIGAND R. et ALEXIANU M. – Cercetări sistematice asupra izvoarelor de apă sărată din Moldova. Bilanțul explorărilor din anii 2004-2007 efectuate în special în județul Neamț, *Memoria Antiquitatis*, 34, 2007, p. 121-190.

Weller et al. 2010 : WELLER O., BRIGAND R. et ALEXIANU M. – Recherches systématiques autour des sources salées de Moldavie. Bilan des prospections 2008-2010. *Memoria Antiquitatis*, 35–36, 2010, p. 437-504.

Weller et al. 2015 : WELLER O., BRIGAND R., DUMITROAIA G., GARVĂN D. et MUNTEANU R. – A pinch of salt in the Prehistoric Eastern Carpathians Mountains (Ro.). *In* : M. Alexianu, R.-G. Curcă, V. Cotiugă (Eds.), *Salt Effect*. Second Arheoinvest Symposium : *From the Ethnoarchaeology to the Anthropology of Salt* (Iași, Romania, 2012). Archaeopress, Oxford, 2015, p. 125-133 (BAR International Series 2760).

Weller et al. 2011 : WELLER O., BRIGAND R., NUNINGER L. et DUMITROAIA G. – Spatial analysis of Prehistoric salt exploitation in Eastern Carpathians (Romania). *In* : M. Alexianu, O. Weller, R.-G. Curcă (Eds.), *Archaeology and Anthropology of Salt: A Diachronic Approach*. Proceedings of the International Colloquium (Iași, Romania, 2008). Archaeopress, Oxford, 2011, p. 69-80 (BAR International Series 2198).

Weller et Dumitroaia 2005 : WELLER O. et DUMITROAIA G. – The earliest salt production in the world. An early Neolithic exploitation in Poiana Slatinei-Lunca, Romania, *Antiquity*, 79 (306), 2005. www.antiquity.ac.uk/projgall/weller306/

Wels-Weyrauch 1989 : WELS-WEYRAUCH U. – Mittelbronzezeitliche Frauentrachten in Süddeutschland (Beziehungen zur Haguenauer Gruppierung). *In* : CTHS 1989, p. 117-136.

Whebell 1969 : WHEBELL C. F. J. – Corridors: A Theory of Urban Systems, *Annals of the Association of American Geographers*, 59.1, 1969, p. 1-26.

Wilson et Gallant 2000 : WILSON J.P. et GALLANT J.C. – *Terrain analysis: principles and applications*. Wiley, New York, 2000.

Yokoama et al. 2002 : YOKOYAMA R., SHIRASAWA M. et PIKE R. – Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68.3, 2002, p. 257-265.

Zaharia et al. 1970 : ZAHARIA N., PETRESCU-DIMBOVITA M. et ZAHARIA E. – *Așezări din Moldova: de la paleolitic pînă în secolul al XVIII-lea*. Academia Republicii Socialiste România, București, 1970.

Zaksek et al. 2008 : ZAKSEK K., FOVET É., NUNINGER L., PODOBNIKAR T. (). – Settlement Pattern and Path Modelling. In : A. POSLUSCHNY, K. LAMBERS, I. HERZOG (eds), *Layers of Perception*. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Berlin, Germany, 2-6 avril, 2007. Bonn, Habelt, vol. 10, 2008, p. 309-315.

Zaninetti 2005 : ZANINETTI J.-M. – *Statistiques spatiales, méthodes et applications géomatiques*, Lavoisier, Paris, 2005.

Liste des figures

Fig. 1. Extension des programmes impliqués dans l’atelier 3 d’ArchaeDyn (DAO : O. Weller et E. Gauthier, 2012).	6
Fig. 2. Positionnement des différents programmes au sein des trois thématiques de l’atelier (DAO : E. Gauthier et O. Weller, 2012).	8
Fig. 3. Modèle de pondération des données en fonction de la précision de leur datation afin de pouvoir adopter un découpage chronologique régulier. (DAO : L. Nuninger, 2010).	10
Fig. 4. Exemple d’application d’une pondération des données selon la précision de leur datation pour un calcul de densité des sites de l’âge du Bronze final 1 en France orientale : a) répartition des sites sûrs, probables et potentiels, b) densité de sites sans pondération, uniquement avec les sites sûrs, c) avec prise en compte des sites probables et potentiels par l’application d’un système de scores (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2018).	10
Fig. 5. Exemple de carte de représentation des sites de l’âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).	12
Fig. 6. Exemple de carte de fiabilité des sites de l’âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).	13
Fig. 7. Exemple de carte de confiance des sites de l’âge du Bronze en France orientale (Données E. Gauthier, CAO : M. Fury, 2007).	14
Fig. 8. Carte de confiance des découvertes de l’âge du Bronze et du 1 ^{er} âge du Fer entre Rhin et Rhône et critères de fiabilité (d’après Tremblay-Cormier 2013, voir aussi en noir et blanc Tremblay-Cormier 2016).	17
Fig. 9. Carte de fiabilité des exploitations de silex du Néolithique, en Bourgogne, Franche-Comté et dans le centre de la France (IGN GeoFLA, Données J. Affolter, CAO : E. Gauthier, 2007).	19
Fig. 10. Carte de fiabilité de la répartition des briquetages du sel le long de la façade atlantique (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données O. Weller, CAO : M. Fury et E. Gauthier, 2007).	20
Fig. 11. Carte de fiabilité de la répartition du matériel de mouture en Franche-Comté. A gauche : meules va-et-vient, à droite : meules rotatives (Données : A. Milleville et L. Jaccottey, CAO : E. Gauthier, 2006).	22
Fig. 12. Carte de fiabilité de la répartition des haches en jades alpins dans l’Europe néolithique (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, état de la documentation en janvier 2010).	23
Fig. 13. Répartition des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).	25
Fig. 14. Condition de découverte des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (DAO : E. Gauthier).	26
Fig. 15. Part représentée par chaque type d’occupation ou infrastructure considérés au sein des communes de la zone d’étude (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).	27
Fig. 16. Variation de la proportion par commune de la surface cumulée représentée par chaque type d’occupation en comparant les communes sur lesquelles des dépôts ont été découverts et celles qui n’en ont pas livré a) les aires urbaines et zones d’activité ; b) les espaces cultivés ; c) les zones forestière (DAO : E. Gauthier).	29
Fig. 17. Variation par commune de la longueur cumulée représentée par chaque type d’infrastructure en comparant les communes sur lesquelles des dépôts ont été découverts et celles qui n’en ont pas livré. a) le réseau routier ; b) le réseau ferré ; c) les voies d’eau navigables (DAO : E. Gauthier).	30
Fig. 18. Croisement entre la densité des découvertes de dépôts et objets isolés avec les différents facteurs testés (DAO : E. Gauthier).	31
Fig. 19: Potentiel global des communes à avoir livré des découvertes fortuites (Fond IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : E. Gauthier, 2012).	32
Fig. 20. Carte de fiabilité de la répartition des dépôts métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (IGN GeoFLA, Route 120, Données M. Gabillot, CAO : M. Fury et E. Gauthier, 2008).	32
Fig. 21. Modèle temporel représentant le cycle de vie des produits (DAO : E. Gauthier).	36
Fig. 22. Modèle spatial sous sa forme la plus épurée. L’organisation des entités spatiales ponctuelles (lieux) et linéaires (routes) correspond à un graphe (DAO : E. Gauthier).	39
Fig. 23. Modèle théorique complet du cycle de vie d’un produit intégrant les différentes entités fonctionnelles et la nature des actions impliquées dans les transferts des produits (DAO : E. Gauthier).	40
Fig. 24. Modèle Spatio-fonctionnel : nature des actions auxquelles sont soumis les objets durant leurs transferts entre différentes entités spatiales (DAO : E. Gauthier).	41

Fig. 25. Exemple fictif de modélisation des transferts de produits (DAO : E. Gauthier).	42
Fig. 26. L'ébauche de Lugrin, Haute-Savoie, France (Photos et DAO : A.M. et P. Pétrequin).	43
Fig. 27. Modélisation de la biographie de l'ébauche de Lugrin (DAO : E. Gauthier).	44
Fig. 28. Représentation cartographiée du parcours de l'ébauche de Lugrin (CAO : E. Gauthier).	45
Fig. 29. Modèle conceptuel de données conçu pour étudier un processus de diffusion (DAO : E. Gauthier).	47
Fig. 30. Modèle de géodatabase avec exemples des classes d'entités (réalisé sur ArcGis 10.4, E. Gauthier).	48
Fig. 31. Répartition générale des longues haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	52
Fig. 32. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des roches claires et roches sombres. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	54
Fig. 33. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des haches en jade originaires du Mont Viso et du Mont Beigua. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	55
Fig. 34. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des principaux types de haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	56
Fig. 35. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des six niveaux de finition des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	58
Fig. 36. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des six niveaux de finition des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	59
Fig. 37. Points moyens et ellipses de déviation standard de la distribution des contextes de découverte des haches en jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond : ESRI WBM, NASA SRTM. CAO : E. Gauthier, 2016).	60
Fig. 38. Trois des modèles de décroissance avec la distance de C. Renfrew (D'après C. Renfrew 1975, fig.14, modif. E. Gauthier, 2018).	61
Fig. 39. Variation de la distance au Mont Viso des lieux de découverte des longues haches en jades alpins (hormis celles provenant du Mont Beigua) (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : E. Gauthier, 2016).	63
Fig. 40. Variation de la distance des lieux de découverte des haches en jade de type Bégude par rapport aux ateliers d'Alba (DAO. E. Gauthier 2019).	64
Fig. 41. Les 5 axes définis comme les principales voies de diffusion des jades alpins (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : E. Gauthier et E. Le Goff, 2016).	65
Fig. 42. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 1. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	67
Fig. 43. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 2. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	69
Fig. 44. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 3. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	70
Fig. 45. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 4. En haut : représentation graphique ; en bas : représentation cartographique (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	72
Fig. 46. Variations de la distance au Mont Viso des longues haches en jades alpins, distinguées selon leur type et observées le long de l'axe 5. En haut : représentation graphique ; en bas : l'axe utilisé et son découpage selon un pas de 10 km (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	73
Fig. 47. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Bégude, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	75
Fig. 48. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Altenstadt-Greenlaw, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	76
Fig. 49. Variations de la distance au Mont Viso des haches de type Puy, distinguées selon leur niveau de polissage et observées le long des 5 axes définis comme les principales voies de diffusion (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. DAO : A. Marton, 2016).	77
Fig. 50. Variation du degré de finition des longues haches en jades alpins selon leur type. A gauche, effectifs ; à droite : pourcentages par niveau de finition (Données : JADE 2014, P. Pétrequin, DAO: E. Gauthier, 2016).	79
Fig. 51. Complémentarité de la distribution des types Durrington, Altenstadt et Tumiac. Cette complémentarité vient appuyer l'hypothèse de transformations par repolissage des longues haches afin de créer des types régionaux. (Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, NASA SRT. CAO : E. Gauthier, 2016).	80
Fig. 52. Principales circulations de biens socialement valorisés (haches en jades alpins, variscite espagnole) et imitations locales (types Zug, Cangas) en Europe occidentale pendant les Ve et IVe millénaires av. n.e. (Données	

: JADE 2014, P. Pétrequin, Fond : ESRI WBM, NASA SRTM, CAO : E. Gauthier, d'après Pétrequin, Cassen et al. 2012b et Pétrequin, Pétrequin et al. à paraître).....	82
Fig. 53 : Distribution des points moyens correspondant aux niveaux de finition des haches à talon normandes et leurs ellipses de déviation standard (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données : M. Gabillot, CAO : E. Gauthier).	84
Fig. 54: Modèle de la diffusion par expansion combine à la diffusion par migration (DAO : E. Gauthier).	86
Fig. 55. Estimation des densités de noyaux des longues haches en jades alpins en Europe et discrétisation des valeurs par la méthode de Jenks (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).	91
Fig. 56. Estimation des densités de noyaux des longues haches en jades alpins en Europe et discrétisation des valeurs par la méthode de Jenks (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).	92
Fig. 57. Variation des paramètres du calcul de la déviation standard pour la représentation des concentrations de haches en jade. En modifiant progressivement la valeur n de l'écart-type, nous mettons en évidence des centres d'importances différentes (Données : P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, CAO : E. Gauthier, 2015).	93
Fig. 58. Modélisation des centres de consommation des haches en jades alpins ((Données : JADE 2014, P. Pétrequin. Fond ESRI WBM, NASA SRT. CAO : E. Gauthier, 2015).	94
Fig. 59. Variation de la distance des centres à leur voisin le plus proche. (DAO : E. Gauthier, 2015).	95
Fig. 60. Proposition pour un modèle théorique d'organisation des pôles de consommation le long du réseau de transferts des jades alpins (DAO E. Gauthier).	96
Fig. 61. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze moyen en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	99
Fig. 62. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 1 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	100
Fig. 63. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 2 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	100
Fig. 64. Modélisation spatiale des densités de noyaux calculées pour le nombre d'unités de découvertes, le nombre d'objets de bronze et pour les masses métalliques du Bronze final 3 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	101
Fig. 65. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze moyen et le Bronze final 1 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	103
Fig. 66. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze final 1 et le Bronze final 2 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	104
Fig. 67. Variation des densités de noyaux calculées selon les mêmes paramètres à partir du nombre d'unités de découvertes, du nombre d'objets de bronze et des masses métalliques entre le Bronze final 2 et le Bronze final 3 en France orientale (Fond : IGN GeoFLA, Route 120, Données et CAO : E. Gauthier, 2015).	104
Fig. 68. Répartition de tous les halotoponymes (à gauche), des halotoponymes certains (au centre), des longues haches en jade (à droite), confrontée à la répartition des sources salées (IGN GeoFLA, Données O. Weller et P. Pétrequin, CAO : R. Brigand, 2012).	106
Fig. 69. Détermination du rayon optimal. Il correspond approximativement au point d'inflexion de la courbe, établi ici à 25 km pour les halotoponymes (à gauche) et pour les haches en jade (à droite) (DAO : R. Brigand 2012).	107
Fig. 70. Répartition des sources salées comparée à la densité de haches en jade (à gauche) et la répartition des haches en jade comparée à la densité des halotoponymes (à droite). (IGN GeoFLA, Données O. Weller et P. Pétrequin, CAO : R. Brigand, 2012).	108
Fig. 71. Produit des densités de noyaux, à gauche, des sources salées et des haches en jades alpin, à droite, des halotoponymes et des sources salées. Les valeurs fortes correspondent aux secteurs dans lesquels les densités des deux paramètres sont, ensemble, les plus élevées (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin et O. Weller, CAO : R. Brigand, 2012).	108
Fig. 72. Comparaison des trois méthodes de discrétisation proposées afin d'identifier les principales concentrations des haches en jades alpins en France (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin, CAO : E. Gauthier, MSHE Ledoux, 2018).	110
Fig. 73. Confrontation des principaux pôles de concentration des haches en jade, des halotoponymes et des sources salées (IGN GeoFLA, Données P. Pétrequin et O. Weller, CAO : E. Gauthier, 2018).	111
Fig. 74. Carte archéologique du peuplement néolithique, des ressources en sel et des haches en cuivre (Fond dep. Géography, Iasi Univ., SRTM, Données : Brigand, Weller, Alexianu, ARCHEOINVEST, CAO : R. Brigand, 2017).	113
Fig. 75. Synthèse de la dynamique du peuplement et de l'exploitation du sel. Les valeurs sont normées (DAO : R. Brigand).	115

Fig. 76. A- Carte de représentation, B- Carte de fiabilité, C- Carte de confiance (Fond : dep. Géog. Iasi Univ, CAO : R. Brigand 2015).	118
Fig. 77. Évolution des indicateurs d'espacement et d'agrégation. Les valeurs sont normées (DAO : R. Brigand).	120
Fig. 78. Les différences de densité. A- Entre 6000 et 5000 BC, B- Entre 5300 et 4600 BC, C- Entre 5000 et 4100 BC, D- Entre 4600 et 3500 BC (données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2017).	121
Fig. 79. Les domaines visibles en % par site (Moldavie centrale, département de Iasi et du Neamt) (Fond : MNT ZRC Sazu, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2012).	123
Fig. 80. Cartes des visibilité cumulées pour le Cri? (A), la Céramique Linéaire (B), le Précucuteni (C) et le Cucuteni (D). (Fond : MNT ZRC Sazu, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2012).	124
Fig. 81. Synthèse de l'évolution des contextes sitologiques (DAO : R. Brigand).	126
Fig. 82. Temps de parcours à une source salée (Fond SRTM, données O. Weller, R. Brigand, M. Alexianu. CAO : R. Brigand et W. Weller, 2017).	127
Fig. 83. A- Nombre de haches en cuivre, d'habitats fortifiés et d'habitats non-fortifiés situés dans un rayon de trois heures de marche d'une source salée pondéré à la superficie de chaque plage horaire (valeurs normées) ; B-C. À partir d'une distribution aléatoire (DAO : R. Brigand).	129
Fig. 84. Variables du modèle prédictif (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).	130
Fig. 85. Cartes de prédiction pour le Néolithique ancien (à gauche) et le Néolithique moyen (à droite) (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).	135
Fig. 86. Cartes de prédiction de l'Enéolithique ancien (à gauche) à l'Enéolithique final (à droite) (MNT ZRC Sazu, CAO : R. Brigand).	136
Fig. 87. Superficie (en km ²) des plages de temps et importance des classes de sol (DAO : R. Brigand).	139
Fig. 88. Répartition des dépôts d'objets métalliques du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (IGN GeoFLA, Route 120, Nasa SRTM, Données M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).	148
Fig. 89. Projections linéaires du nombre de dépôts métalliques à différents pas de distance en rive gauche et droite de la Seine (IGN GeoFLA, Données M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).	149
Fig. 90. Projections linéaires du nombre de dépôts métalliques du Bronze moyen dans le bassin versant de la Seine (Fond IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Données M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).	150
Fig. 91. Projections linéaires du nombre de haches à talon normandes dans le bassin versant de la Seine (Fond IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Donnée M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).	151
Fig. 92. Projections linéaires du nombre de haches à talon normandes dans le bassin versant de la Seine distinguées en fonction de leur niveau de finition (Fond IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Donnée M. Gabillot, CAO : A. Marton, 2015).	152
Fig. 93. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites de l'âge du Bronze moyen et final dans le quart nord-est de la France selon leur distance aux cours d'eau (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	155
Fig. 94. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites de l'âge du Bronze moyen et final dans le quart nord-est de la France selon les contextes de découverte (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	156
Fig. 95. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre de sites des différentes phases de l'âge du Bronze dans le quart nord-est de la France (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	158
Fig. 96. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau du nombre d'objets socialement valorisés dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	160
Fig. 97. Projections linéaires sur les principaux cours d'eau des masses métalliques cumulées dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	161
Fig. 98. Modélisation de la structure des réseaux de transferts dans le quart nord-est de la France pour les quatre phases de l'âge du Bronze étudiées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : A. Marton, 2015).	163
Fig. 99. Paramètres pris en compte pour l'analyse de l'axe de la Saône : emprise, axe simplifié, pas de segmentation (IGN GeoFLA, Route 120, SRTM, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).	164
Fig. 100. Projections linéaires des sites de l'âge du Bronze moyen et final sur l'axe de la Saône ; à gauche, tous les sites ; à droite : distinction rive droite/rive gauche (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).	165
Fig. 101. Projections linéaires du nombre d'objets de bronze (à gauche) et des masses métalliques (à droite) de l'âge du Bronze moyen et final sur l'axe de la Saône (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).	166

Fig. 102. Projections linéaires du nombre de sites (à gauche) et d'objets de bronze (à droite) de l'âge du Bronze moyen (en haut) et final (en bas) sur l'axe de la Saône (IGN GeoFLA, Route 120, Données E. Gauthier, CAO : R. Brigand et E. Gauthier, 2011).....	167
Fig. 103. Projections linéaires des objets de l'âge du Bronze trouvés en milieu fluvial ou humide le long de l'axe du Rhin (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données Th. Logel, CAO ! R. Brigand, 2011).	168
Fig. 104. Projections linéaires des objets de l'âge du Bronze trouvés en milieu fluvial ou humide le long de l'axe du Rhin : comparaison des trois phases de l'âge du Bronze et des principales familles d'objets rencontrées (Fond IGN GeoFLA, Route 120, Données Th. Logel, CAO : R. Brigand, 2011).....	169
Fig. 105. Gîtes d'exploitation des jades alpins et principaux ateliers de production des lames de jade de la plaine du Pô (ESRI WBM et Nasa SRTM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton, 2018).....	172
Fig. 106. Localisation des centres principaux et secondaires qui constituent selon nos hypothèses les nœuds du réseau de diffusion des longues haches en jades alpins (ESRI WBM, Données P. Pétrequin, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).	174
Fig. 107. Proposition de modélisation du réseau de diffusion des longues haches en jades alpins (ESRI WBM, Nasa SRTM, Données P. Pétrequin, CAO : E. Gauthier, 2018).....	176
Fig. 108. Modélisation des flux cumulés des longues haches en jades alpins durant le Néolithique (ESRI WBM. Données P. Pétrequin. CAO : A. Marton, 2018).	178
Fig. 109. Modélisation des flux pour différents types de haches en jade (ESRI WBM. Données P. Pétrequin. CAO : A. Marton, 2018).	180
Fig. 110. Calcul des indices de corrélation linéaire de Bravais Pearson entre tous les indices permettant d'évaluer la place des différents nœuds dans le réseau (E. Gauthier).....	187
Fig. 111. Scores obtenus par les différents nœuds du réseau pour les différents indices calculés (ESRI WBM, CAO : A. Marton et E. Gauthier, 2018).	188
Fig. 112. Comparaison du score global de centralité des nœuds considérés comme des centres principaux ou comme des centres secondaires (DAO : E. Gauthier, 2018).	189
Fig. 113. Confrontation entre le score d'intermédiarité des nœuds du réseau et le volume global estimé des flux de haches en jade (DAO : E. Gauthier, 2018).	191

Tabl. 1. Les critères de fiabilité de la répartition des briquetages de sel le long de la façade atlantique (Données O. Weller).....	21
Tabl. 2. Récapitulatif des critères considérés pour définir les niveaux de fiabilité de la répartition des artefacts étudiés.	24
Tabl. 3. Critères considérés pour définir les niveaux de fiabilité de la répartition des dépôts et objets isolés du Bronze moyen dans la basse vallée de la Seine (Données : M. Gabillot).	25
Tabl. 4. Récapitulatif des caractéristiques des cinq catégories de centres mises en évidence (E. Gauthier, 2015).	93
Tabl. 5. Nombre de sites archéologiques par période.	114
Tabl. 6. Les ressources en sel de Moldavie roumaine.	115
Tabl. 7. Exploitation du sel par période.	116
Tabl. 8. Caractérisation de la distribution des sites.	119
Tabl. 9. Valeur moyenne des domaines visibles par période (Moldavie centrale, département de Iasi et Neamt).	124
Tabl. 10. Synthèse des variables dérivées de la topographie (moyenne par période).	125
Tabl. 11. Quantité de hache en cuivre, d'habitats fortifiés et de sites non-fortifiés à moins de trois heures d'une source salée.	128
Tabl. 12. Site d'habitat à moins de trois heures d'une source salée et distance moyenne.	128
Tabl. 13. Synthèse des variables significatives pour le Néolithique.....	132
Tabl. 14. Synthèse des variables significatives pour l'Énéolithique.	133
Tabl. 15. Performance du modèle pour le Cris (Neo I).	134
Tabl. 16. Performance du modèle pour la Céramique Linéaire (Neo II).	134
Tabl. 17. Performance du modèle pour l'Énéolithique ancien (Precucuteni, Eneo I).	134
Tabl. 18. Performance du modèle pour l'Énéolithique moyen (Cucuteni A, Eneo II).	134
Tabl. 19. Performance du modèle pour l'Énéolithique final (Cucuteni A-B et B, Eneo III-IV).	135