

1 DOSSIER THÉMATIQUE : GESTES RITUELS. DE LA TRACE À L'INTERPRÉTATION

ACTUALITÉ DE LA RECHERCHE

GÉOSCIENCES ET ARCHÉOLOGIE : INTERACTIONS, COMPLÉMENTARITÉS ET PERSPECTIVES

- 114 Bruno GAVAZZI**
Heureuses rencontres. Vers le développement d'approches intégrées en géosciences et archéologie
- 119 Jean-Paul BRAVARD**
Dialogue interdisciplinaire : de l'unité stratigraphique aux interactions culture-environnement
- 129 Ferréol SALOMON**
Les origines d'Ostie : quelles interactions avec la dynamique d'embouchure ? (Delta du Tibre, Italie)
- 141 Quentin BORDERIE, Rowena Y. BANERJEA, Stéphane BONNET, Yannick DEVOS, Cristiano NICOSIA, Christophe PETIT, Ferréol SALOMON, Nathalie SCHNEIDER, Barbora WOUTERS, & Patrice WUSCHER**
Géoarchéologies des contextes urbains : mieux comprendre les modalités de l'artificialisation des géosystèmes
- 158 Patrice WUSCHER, Christophe JORDA, Quentin BORDERIE, Nathalie SCHNEIDER & Laurent BRUXELLES**
De la formation géologique à la tranchée : trouver et comprendre les sites archéologiques menacés par les travaux d'aménagement du territoire
- 176 Morgan MILLET & Michel GUÉLAT**
Les vestiges antiques de Rennaz-Noville (Vaud, Suisse) et leur contexte sédimentaire : nouvelles évidences de l'écroulement du *Tauredunum*
- 188 Théophile PIAU, François BÉTARD, Fabienne DUGAST, Gilles ARNAUD-FASSETTA & Vincent VIEL**
Dynamique géomorphologique holocène et occupation humaine dans le bassin-versant de l'Eure (Bassin de Paris, France) : potentiels d'une approche géoarchéologique multiscalaire et diachronique
- 205 Dominique SCHWARTZ, Vincent ROBIN, Pierre ADAM, Philippe SCHAEFFER, Anne GEBHARDT, Pierre-Alexis HERRAULT, Benjamin KELLER, Daniele DAPIAGGI, Claire STEVENEL, Maxime THISS, Martine TRAUTMANN & Damien ERTLEN**
Les géosciences au service de l'archéologie agraire. Une étude de cas sur les rideaux de culture de Goldbach (68)
- 217 Étienne MANTEL, Stéphane DUBOIS, Jonas PARÉTIAS, Victor VISQUESNEL-SCHLOSSER, Corentin VOISIN, Bruno GAVAZZI & Matthieu RICHARD**
Étudier l'occupation d'une ville : les enjeux du PCR « Topographie générale et insertion territoriale de l'agglomération antique de *Briga* »
- 231 Charlène MOREL**
Un modèle pour comprendre l'influence de l'état de la recherche, des processus post-déposition et de l'attractivité sur la découverte des sites archéologiques dans le Kochersberg (Bas-Rhin, Alsace, Grand-Est, France)
- ▶ 241 Lizzie SCHOLTUS**
Spatialisation des découvertes, modélisation du passé. L'informatique au service de l'archéologie
- 254 Guillaume HULIN & François-Xavier SIMON**
Inrap et géophysique : vers une approche raisonnée
- 260 Hugo REILLER, Matthieu FUCHS, & Bruno GAVAZZI**
Approche multi-méthodes expérimentale pour l'étude d'un site d'occupation romaine et médiévale à Horbourg-Wihr
- 272 François-Xavier SIMON, Julien GUILLEMOTEAU, Guillaume HULIN, Joachim RIMPOT, Julien THIESSON & Alain TABBAGH**
De nouvelles perspectives pour les applications des méthodes électromagnétiques basse fréquence en archéologie
- 283 Rémy WASSONG & Bruno GAVAZZI**
Apport des prospections magnétiques haute résolution à la compréhension d'un habitat protohistorique : l'exemple du site de hauteur fortifié du Maimont
- 294 VARIA**

SPATIALISATION DES DÉCOUVERTES, MODÉLISATION DU PASSÉ. L'INFORMATIQUE AU SERVICE DE L'ARCHÉOLOGIE

Lizzie SCHOLTUS^{1,*}

¹ UMR 7044 Archimède

* l.scholtus@unistra.fr

RÉSUMÉ

Le développement de l'informatique en archéologie permet aujourd'hui de réfléchir sur de grandes quantités de données disparates. Nous proposons ici une modélisation statistique, à travers l'étude du petit mobilier, pour mettre en évidence des groupes régionaux dans l'est de la Gaule à La Tène D1 (150 à 75 av. J.-C.). Cette méthode se fonde sur la division de la zone

d'étude en une grille et le calcul pour chacune de ses mailles d'un profil typologique. Cet article présente les différentes étapes de cette modélisation ainsi que les premiers résultats d'un travail en cours.

The development of computer science in archaeology allows to manage large quantities of disparate data. We propose here a statistical based on the study of small artefacts, in order to highlight regional groups in eastern Gaul during La Tène D1 (150 to 75 BC). This method is based on divid-

ing the study area into a grid and calculating a typological profile for each of its cells. This article presents the different steps of this modelling, as well as the first results of a work in progress.

MOTS-CLÉS

Groupes régionaux, informatique, modélisation, Gaule de l'Est, La Tène, logiciel R.

KEYWORDS

Regional groups, informatics, modelling, Eastern Gaul, La Tène, R software.

Article accepté après évaluation par deux experts selon le principe du double anonymat

L'archéologie produit de plus en plus de données, en particulier depuis le développement de l'archéologie préventive à partir des années 1980. Il devient dès lors compliqué d'analyser manuellement cette grande quantité d'informations et l'utilisation de l'informatique se généralise donc par nécessité.

Par ailleurs, ces données prennent de multiples formes : bases de données, catalogues et inventaires d'objets, rapports de fouilles, monographies papier, sites internet, SIG, etc. Il apparaît alors capital de recourir aux techniques informatiques pour inventorier, normaliser et classifier ces variables disparates. Toutefois, ces outils ne sont pas simplement utilisés afin de visualiser plus facilement les données archéologiques, mais aussi pour les manipuler et les analyser statistiquement.

Ainsi, l'utilisation de ces nouveaux outils, dans le domaine de la recherche archéologique, implique de revoir la manière de traiter l'information, en cherchant des solutions dans d'autres disciplines. De cette manière, la diffusion de l'archéomatique, c'est-à-dire l'informatique appliquée à l'archéologie, nous permet d'appliquer une approche quantitative et de nouveaux modèles aux données archéologiques. Il est désormais possible de mettre à profit ces modèles sur de grandes quantités de données archéologiques spatialisées, et ainsi de les interroger statistiquement pour tenter de modéliser les sociétés du passé.

La méthode développée dans cet article a pour objectif d'étudier la répartition spatiale et la densité de différents types d'objets archéologiques pour déterminer, à l'aide d'outils d'analyses statistiques, des assemblages récurrents. Il s'agit de vérifier s'il existe des différences géographiques permettant de définir des groupes. Cette étude se détache de la recherche traditionnelle en appliquant des méthodes informatiques et statistiques sur les grandes quantités de variables disparates que constituent aujourd'hui les données archéologiques. La modélisation qui en découle, grâce à son informatisation, peut être appliquée sur différents jeux de données, facilitant la multiplication des analyses sur différentes catégories d'objets.

OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUES

Les objectifs de cette étude, centrée sur la Gaule de l'Est entre le III^e siècle av. et le IV^e siècle ap. J.-C., sont multiples. Le premier est de vérifier s'il est possible de déterminer des groupes régionaux en fonction de la répartition spatiale du petit mobilier, et plus particulièrement, par rapport aux différents assemblages de types et sous-types de *l'instrumentum*. Ce sont les objets issus de la vie quotidienne, non céramiques, et qui regroupent de nombreuses catégories ou fonctions [1]. L'idée poursuivie est de modéliser des groupes régionaux pour lesquels une culture matérielle similaire peut être observée, en fonction de la densité typologique du mobilier.

Le deuxième objectif est de prendre en considération de grandes quantités d'objets et de catégories, et non simplement quelques centaines d'individus au sein d'une typologie unique, comme cela se pratique généralement dans ce type d'analyses [2]. Ainsi, cette étude s'appuie sur une démarche classique de l'archéologie consistant à utiliser la répartition des types d'objets dans l'espace [3], afin d'identifier des groupes. Toutefois, là où les études classiques prennent en considération la présence ou l'absence de l'un ou l'autre type [4], ce travail a pour ambition d'observer plus largement la culture matérielle et de se concentrer sur les assemblages de mobiliers. De plus, le recours aux outils informatiques offre la possibilité de multiplier les types d'objets observés, mais aussi les tests et les analyses, afin d'examiner l'incidence de ces différents objets sur la détermination des groupes régionaux. L'idée est aussi d'intégrer à ce type de recherches les informations accessibles grâce à la numérisation

[1] BERTHON *et al.* 2013; ROUX 2013, p. 44.

[2] Voir, par exemple, les cartes de répartition chez FEUGÈRE 1985; WAGNER 2006; ROTH-ZEHNER 2010.

[3] COLLIS 2003.

[4] DJINDJIAN 2017, p. 430.

[5] BERNARD [s. d.]; BUCHSENSCHUTZ & GRUEL [s. d.]; FEUGÈRE [s. d.]. Entre autres.

d'une partie des données archéologiques, maintenant disponibles en ligne [5].

Enfin, le troisième objectif est de mettre en place une méthode de travail qui puisse être facilement reproductible et réutilisable pour d'autres types de mobiliers et d'autres ères chronologiques et/ou géographiques.

L'objet est porteur de sens par sa typologie, sa chronologie, sa fonction, son origine et son contexte de découverte. Il s'agit donc de recourir à toutes ces informations, combinées à l'outil informatique et aux possibilités statistiques qu'il offre, pour ouvrir et tester un nouveau champ d'hypothèses et de réflexions à travers la modélisation. Il est alors possible de synthétiser de grandes quantités de variables et, par là même, rendre perceptibles des phénomènes qu'il n'aurait pas été possible d'analyser sans cet outil.

Pour ce faire, le logiciel libre R sera utilisé. Ce logiciel s'appuie sur un langage orienté vers le traitement de données et l'analyse statistique. Il offre l'avantage d'être flexible puisqu'il fonctionne avec son propre langage de programmation, permettant à l'utilisateur de manipuler ses fonctionnalités à l'aide de lignes de code. De plus, les différentes opérations effectuées sur les données sont consignées au sein de scripts, facilitant ainsi leur automatisation et leur reproductibilité [6].

Avant de présenter les différentes étapes de la méthode, il semble important de garder à l'esprit les difficultés inhérentes à l'utilisation de grandes quantités de données. En effet, la qualité de l'information utilisée ne sera pas identique pour tous les objets inventoriés. Elle est dépendante des sources dont elle provient et il n'est pas toujours possible ni pratique de revenir à l'objet en lui-même lorsque l'on prend en compte plusieurs milliers d'artefacts. Il est donc nécessaire de sélectionner en amont les informations que l'on peut intégrer au corpus, et surtout celles qui sont interrogeables [7]. Quels que soient les éléments sélectionnés, la donnée archéologique, par nature, est invariablement partielle. Cela signifie qu'il faut forcément effectuer une homogénéisation des données, que ce soit d'un point de vue chronologique ou typologique [8].

LA MÉTHODE

La méthode mise en place pour identifier ces groupes s'appuie en particulier sur les travaux d'O. Nakoinz, qui emploie pour la culture de l'Hunsrück-Eifel, au Hallstatt (800 à 500 av. J.-C.) en Allemagne, une analyse automatisée des regroupements de profils typologiques « Typenspektrum » à

l'aide de dendrogrammes hiérarchiques et de *cluster analysis* [9].

La détermination de ces groupes, à travers la culture matérielle, a logiquement pour point de départ les cartes de répartition des différents mobiliers pris en compte, superposées les unes sur les autres (fig. 1, n° 1).

L'étape suivante (fig. 1, n° 2) consiste à effectuer un échantillonnage régulier de cet ensemble de données, afin de limiter l'impact de la distribution inégale du mobilier et du poids des sites importants et mieux connus. La taille de cet échantillonnage est fixée à une grille d'environ deux-cents mailles. Celles-ci mesurent ainsi environ 40 km de côté et couvrent une surface suffisamment large pour inclure plusieurs sites, mais suffisamment petite pour ne pas prendre en considération un nombre trop important de sites. Il s'agit ici d'éviter une analyse trop fine, qui aboutirait à une interprétation plus hiérarchique des sites, et une échelle trop large, qui masquerait leurs différences, mais bien de sélectionner un sous-ensemble qui soit le plus représentatif possible de l'ensemble des données [10]. Ensuite, un calcul de l'estimation par noyau (ou *Kernel density*) est réalisé pour chaque type et sous-type des deux cents échantillons. Il s'agit d'observer la densité de chaque type et sous-type, et non leur distribution réelle. Pour cette analyse, le noyau est fixé au centre de la maille et une courbe gaussienne est utilisée en paramètre de lissage. Ce dernier point interpole donc des données là où elles manquent, en fonction de celles présentes à proximité, et permet de pallier le problème de la représentativité des données d'un corpus déséquilibré par l'état de la recherche et la nature même des informations archéologiques [11].

Par la suite, pour chaque échantillon, un profil typologique est calculé (fig. 1, n° 3), illustrant la densité typologique de chaque maille de la carte. Il s'agit d'une sorte de code-barre (fig. 2) ou « empreinte digitale » [12] caractéristique d'un site, d'une région, d'une période ou de toute autre entité. Pour préparer les données à l'analyse par grappe qui va suivre, ces profils sont consignés au sein d'une matrice (fig. 1, n° 4) reprenant l'estimation de noyau de chaque type ou sous-type présent dans chaque échantillon.

[6] BARNIER 2013, p. 6 ; NAKOINZ & KNITTER 2016, p. 45.

[7] BERNARD 2014, p. 78.

[8] DJINDJIAN 2005, p. 41.

[9] NAKOINZ 2005.

[10] MARCHAL 2018, p. 12.

[11] CONLEN [s. d.] ; NAKOINZ 2010, p. 323 ; NAKOINZ 2013, p. 180.

[12] NAKOINZ 2014.

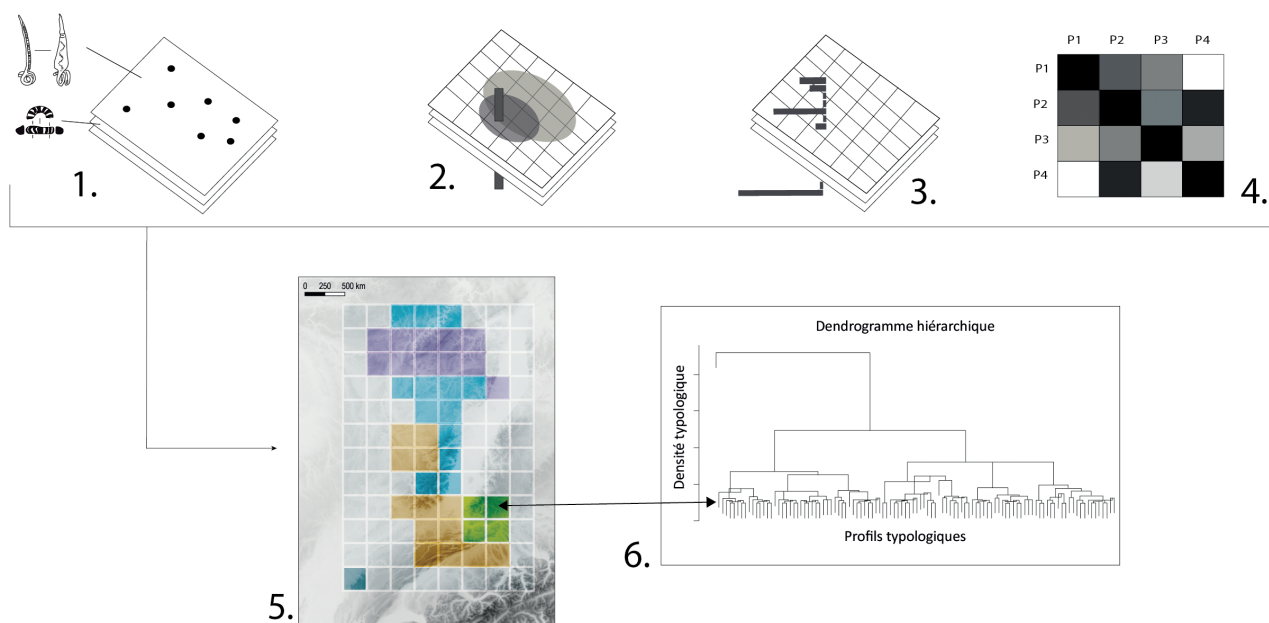


Figure 1 : modèle théorique de la méthode.

1. Superposition des cartes de répartition de mobilier ; 2. Calcul de l'estimation par noyau ; 3. Création des profils typologiques ; 4. Matrice de dissimilitude ; 5. Calcul et projection des *clusters* ; 6. Dendrogramme hiérarchique.

DAO : L. Scholtus (d'après TREMBLAY CORMIER *et al.* 2017).

Pour finir, les mailles sont regroupées au sein de groupes (*clusters*) en fonction de la similarité de leur densité typologique à l'aide de l'algorithme de partitionnement des K-médoïdes qui prend en considération la distance entre tous les points d'une classe et le point central de la même classe pour déterminer des groupes dans le jeu de données [13]. La distance utilisée pour ce calcul est la distance euclidienne puisque l'on considère que les mailles et les assemblages typologiques qu'elles contiennent sont assimilés à des entités géographiques [14]. Le résultat est projeté sur une carte (fig. 1, n° 5), et un dendrogramme hiérarchique peut être utilisé pour vérifier la composition de ces groupes (fig. 1, n° 6).

Les profils typologiques sont un aspect central de cette méthode, puisqu'ils sont le point de départ des comparaisons entre les mailles et leur regroupement. Tout élément peut être pris en compte pour construire ces profils, mais le mobilier reste généralement une source considérable de données en archéologie [15]. Toutefois, pour que ces profils soient le plus

représentatifs possible, il est important d'utiliser le plus de types de données et, présentant de nombreux niveaux de similarités qui vont permettre de les regrouper. C'est pourquoi ces profils sont construits autour des informations typologiques. De cette manière, ils ont l'avantage de considérer tous les objets pour lesquels un type est connu, de la typologie la plus précise au type générique, même si le contexte de découverte n'est pas détaillé. Les seules informations nécessaires pour pouvoir intégrer un objet au sein de l'étude sont donc sa typologie et sa géolocalisation. Cela signifie que la mention d'un artefact, sans la moindre précision typologique autre que sa catégorie fonctionnelle, ne pourra être examinée.

D'autre part, dans ces profils, la quantité d'objets d'un même type, sur un même site, est également prise en compte. On ne se fonde pas uniquement sur le rapport présence/absence d'un type de fait sur un site, mais bien sur la représentativité du type au sein du groupe matériel étudié. De plus, ils sont construits grâce à un « code typologique » permettant de rassembler les sous-types dans le décompte du type global [16]. Ainsi, l'histogramme issu de la création de ces profils typologiques (fig. 2) se compose de barres représentant la quantité totale d'un type d'objet donné, suivies de barres plus petites illustrant les sous-types de ce même type. Cela signifie par exemple, qu'à l'intérieur d'une même maille, une fibule de Nauheim de type Striwe 1996 A1, sera prise en compte dans la quantité

[13] MAECHLER *et al.* 2018 ; MAECHLER *et al.* 2019 ; MAECHLER & STUDER [s. d.].

[14] TREMBLAY CORMIER 2013, p. 311 ; NAKOINZ 2014, p. 193.

[15] TREMBLAY CORMIER *et al.* 2017.

[16] NAKOINZ 2013, p. 156.

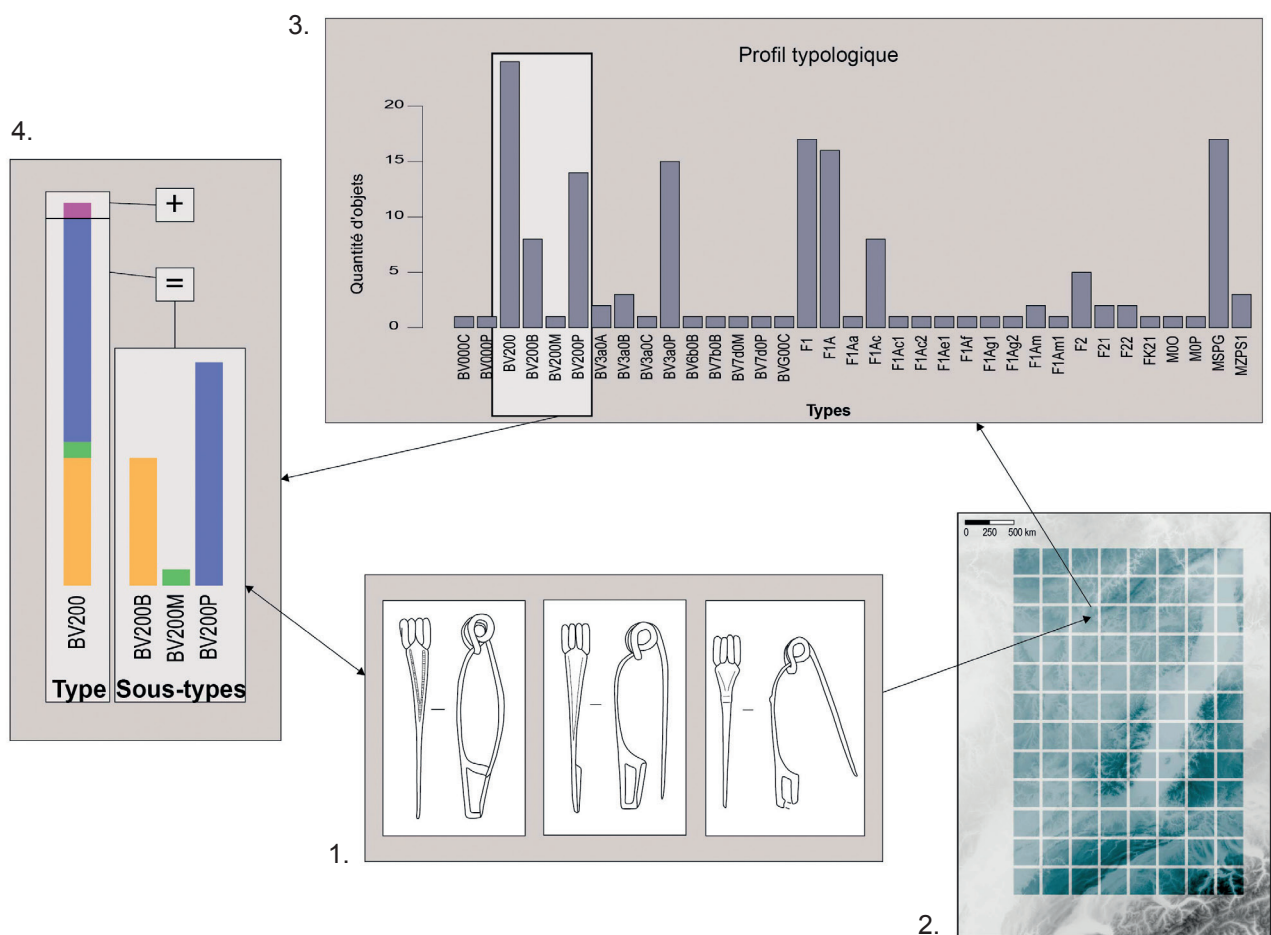


Figure 2 : fonctionnement des profils typologiques.

1. Exemple d'objets mis au jour dans la maille considérée ;
 2. Localisation de la maille dans la zone d'étude ;
 3. Profil typologique créé à partir du mobilier mis au jour dans la maille considérée ;
 4. Illustration du fonctionnement hiérarchique parent/enfants au sein du profil typologique.
- DAO : L. Scholtus.

de fibules de type Striwe 1996 A et dans la somme de fibules de Nauheim de la même maille.

Ce système hiérarchique, de forme parent/enfants, permet de lisser l'état des connaissances des données utilisées en augmentant la part d'objets définis par un type parent [17], par rapport aux types enfants [18] qui sont généralement moins bien renseignés dans la littérature. Cela est important parce qu'il permet de comparer des données pour lesquelles ni la qualité ni le nombre d'informations ne sont similaires, et cela, sans avoir forcément à retourner à l'objet lui-même.

L'utilisation des typologies dans la création de ces profils pose aussi la question de la gestion de cette

information, d'autant plus lorsqu'il existe plusieurs typologies pour une même catégorie d'objet à la même période. Cette réflexion ne sera pas développée ici puisqu'elle fait déjà l'objet d'un article [19].

PRÉSENTATION DES DONNÉES

À l'heure actuelle, l'inventaire se compose d'environ vingt mille objets d'*instrumentum*, datés entre le III^e siècle av. et le IV^e siècle ap. J.-C. (fig. 3). Dans le cadre de cette étude, étant donné l'importance de ce corpus, la datation de chaque objet en fonction de son contexte de découverte précis présentait une entreprise bien trop importante, c'est pourquoi il a été décidé de ne se fonder que sur les datations apportées par les typologies, même s'il est évident que cela induit des périodes de circulation bien plus larges que la datation réelle de ces objets. Pour les mêmes raisons, les ensembles clos n'ont pas été déterminés. Par ailleurs, la prise

[17] Comme le type des fibules de Nauheim, pour garder le même exemple que précédemment.

[18] C'est-à-dire les sous-types issus du type parent, comme le type Striwe 1996 A1 ou A2, toujours selon le même exemple.

[19] SCHOLTUS (à paraître).

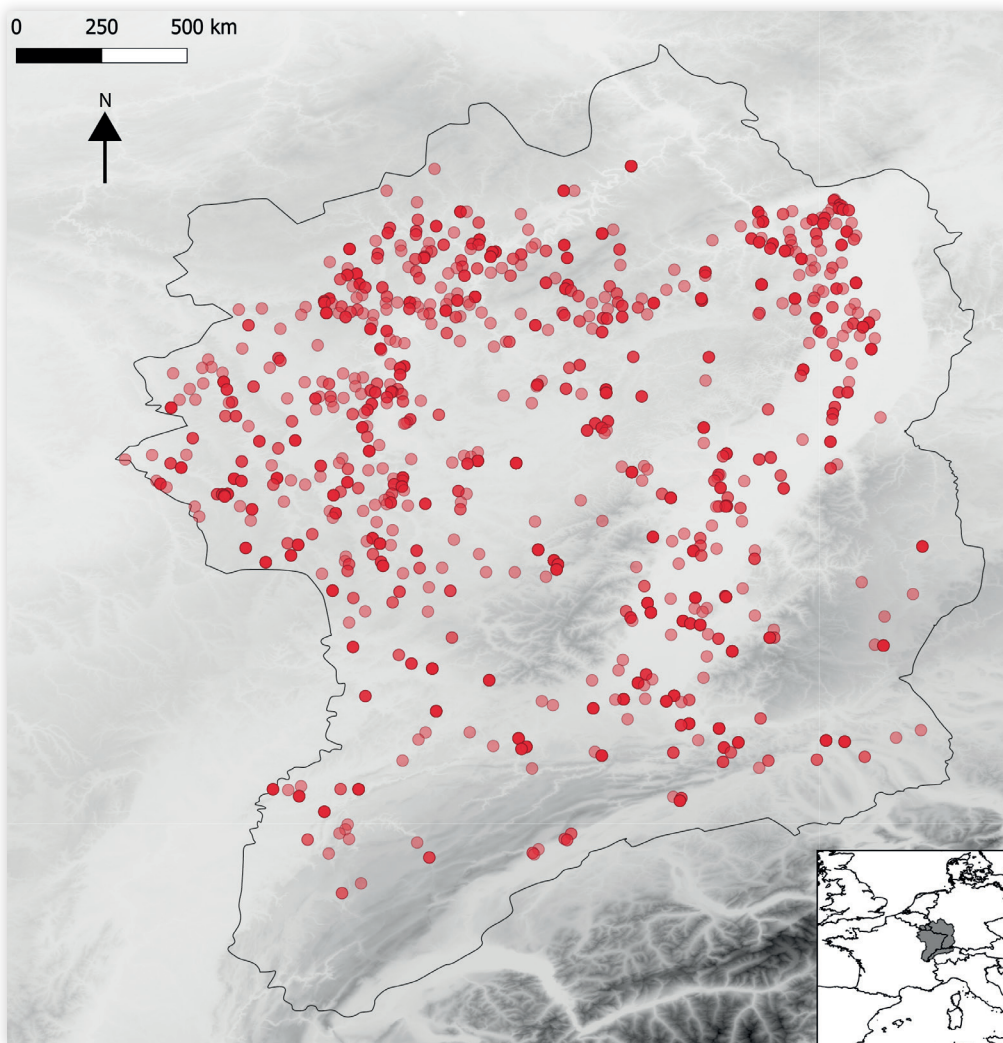


Figure 3
 Carte de localisation de la zone d'étude et répartition du mobilier inventorié à ce jour.
 DAO : L. Scholtus. Fond orographique : données SRTM DEM Version 4 (<http://srtm.csi.cgiar.org>), localisation de la zone d'étude : fond OpenStreetMap.

en compte de ces ensembles clos semblait biaiser l'analyse, puisque cela implique de ne prendre en considération que les tombes et les dépôts, privant l'étude d'un grand nombre de contextes différents.

Ce corpus est divisé en dix-huit phases chronologiques, correspondant aux découpages archéologiques de La Tène moyenne et finale pour la période celtique [20], et à des demi-siècles pour l'époque romaine à partir du changement d'ère. Ce travail étant en cours, ne seront présentés ici que les résultats obtenus pour La Tène D1a [21], pour laquelle l'inventaire est assez conséquent et contient différentes catégories d'objets, répartis sur l'ensemble de la zone d'étude.

Cette période recense environ 14 000 marqueurs, correspondant à 62 perles divisées en 33 types, 829 bracelets divisés en 32 types, 907 fibules divisées en 146 types et 12 138 monnaies divisées en 89 types (fig. 4). La majorité des types de marqueurs pris en compte dans ce corpus est composée d'éléments de parure, généralement considérés comme des marqueurs culturels [22]. On peut également noter une part importante, en quantité d'objets, de monnaies au

sein de ce corpus, apportant un marqueur économique à la caractérisation des groupes régionaux [23]. Cet article ayant pour objectif de présenter la méthode mise en place et les premiers résultats issus de son application, ne seront développés ici que des exemples de mise en évidence de groupes régionaux à partir de l'exemple des fibules. Ces objets présentent un nombre assez important d'individus, des types variés et une dispersion géographique assez étendue pour tester cette méthode.

[20] Ce découpage correspond à des périodes de 25 à 50 ans entre 260 et 52 av. J.-C. selon la chronologie établie dans BARRAL & FICHTL 2012.

[21] C'est-à-dire 150 à 125 av. J.-C.

[22] MILLET 2012.

[23] L'idée, quant à la variété de ces marqueurs, est de pouvoir tester la mise en place des groupes qu'ils permettent de lire, en jouant avec leur présence ou non au sein de l'analyse. En d'autres mots, est-ce que l'utilisation des monnaies lors de l'application de la méthode modifie les groupes déterminés par les éléments de parure? Ce questionnement, en cours d'analyse, ne sera pas développé ici.

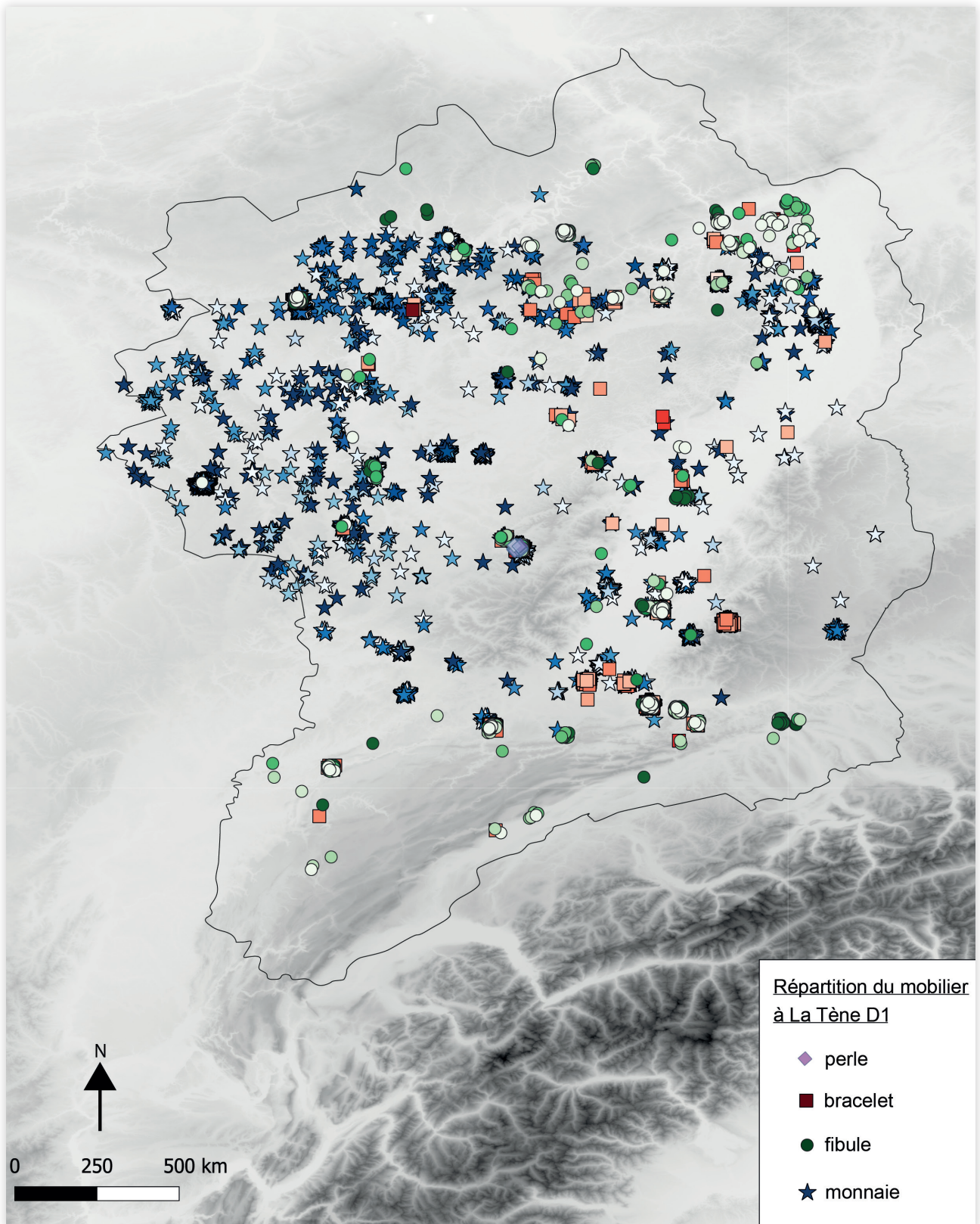


Figure 4

Carte de répartition des différents types (couleurs) selon les catégories (formes) de mobilier pour la période de LTD1a.
 DAO : L. Scholtus. Fond orographique : données SRTM DEM Version 4 (<http://srtm.csi.cgiar.org>).

RÉSULTATS

La méthode traditionnelle pour mettre en exergue des groupes régionaux consiste à déterminer des aires englobant la répartition géographique de chaque type de mobilier étudié. Le résultat obtenu, selon ce principe et avec les données utilisées (**fig. 5**), est difficilement lisible. On peut discerner une division en quart de la zone d'étude et quelques espaces qui semblent se distinguer du reste, mais ce n'est pas une observation claire au premier abord. Si l'on prend en considération la distribution effective du mobilier utilisé pour produire cette carte, il apparaît que de nombreuses zones ne sont pas renseignées par du mobilier, mais simplement par l'aire de répartition d'autres objets plus éloignés [24]. Cet élément complexifie et fausse la lecture de cette carte.

Il paraît alors évident que cette méthode ne peut fonctionner pour de grandes quantités d'objets, ses limites étant déjà atteintes avec moins de mille fibules, en raison de la multitude de types et sous-types pris en compte.

Par ailleurs, lorsque l'on observe la répartition des différents types de fibules par site sur le graphique (**fig. 6**), un certain nombre d'éléments apparaît, alors qu'ils n'étaient pas perceptibles sur la carte de répartition précédente (**fig. 5**).

Premièrement, on remarque qu'un certain nombre de types de fibules est présent sur l'ensemble des sites de la zone d'étude (**fig. 6**, cadre jaune pâle). Il

[24] C'est le cas en particulier pour les extrémités ouest et est de la zone d'étude.

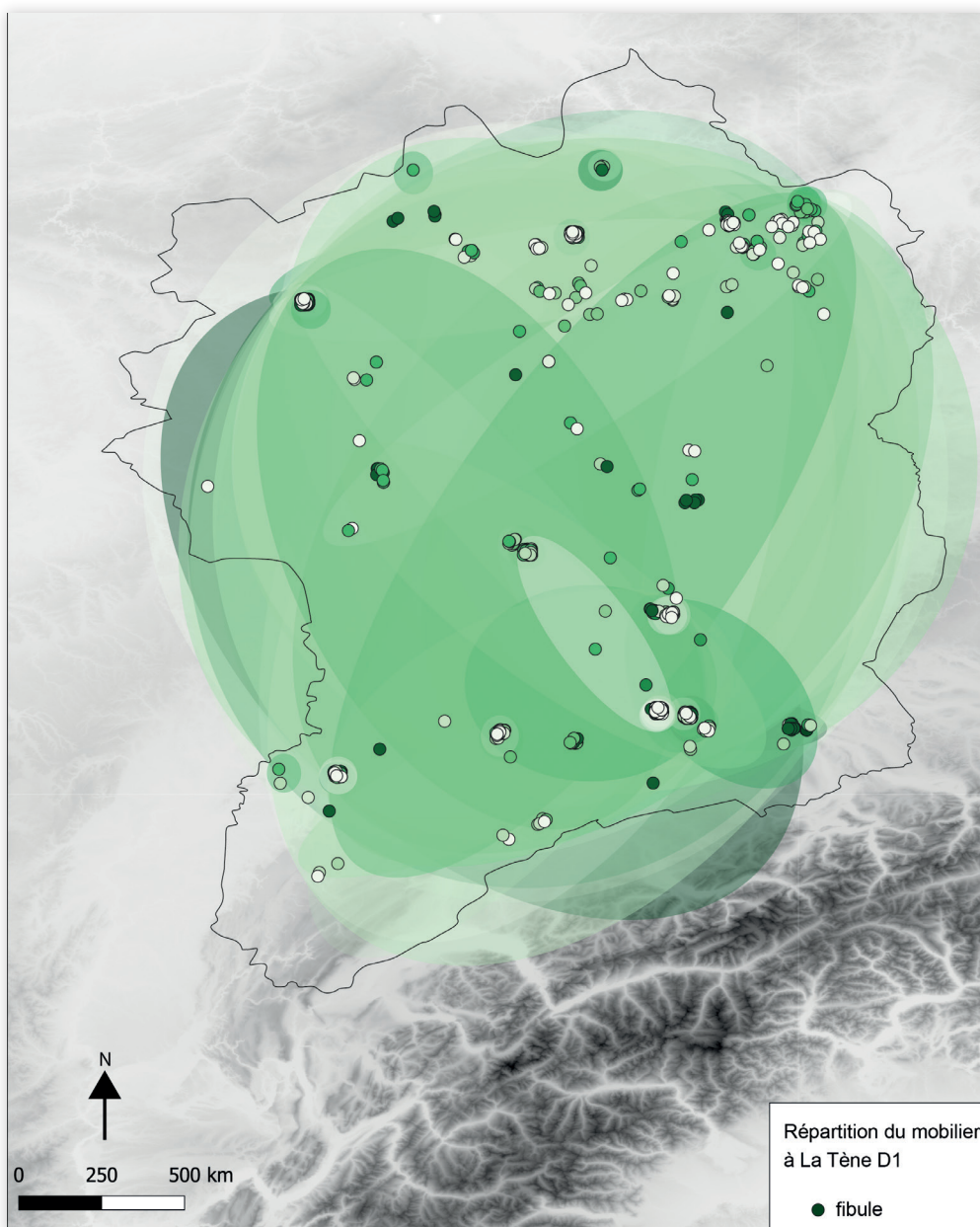


Figure 5 : carte de groupes régionaux, en couleur, en fonction des types de fibules à LTD1a selon la méthode traditionnelle.

DAO : L. Scholtus. Fond orographique : données SRTM DEM Version 4 (<http://srtm.csi.cgiar.org>).

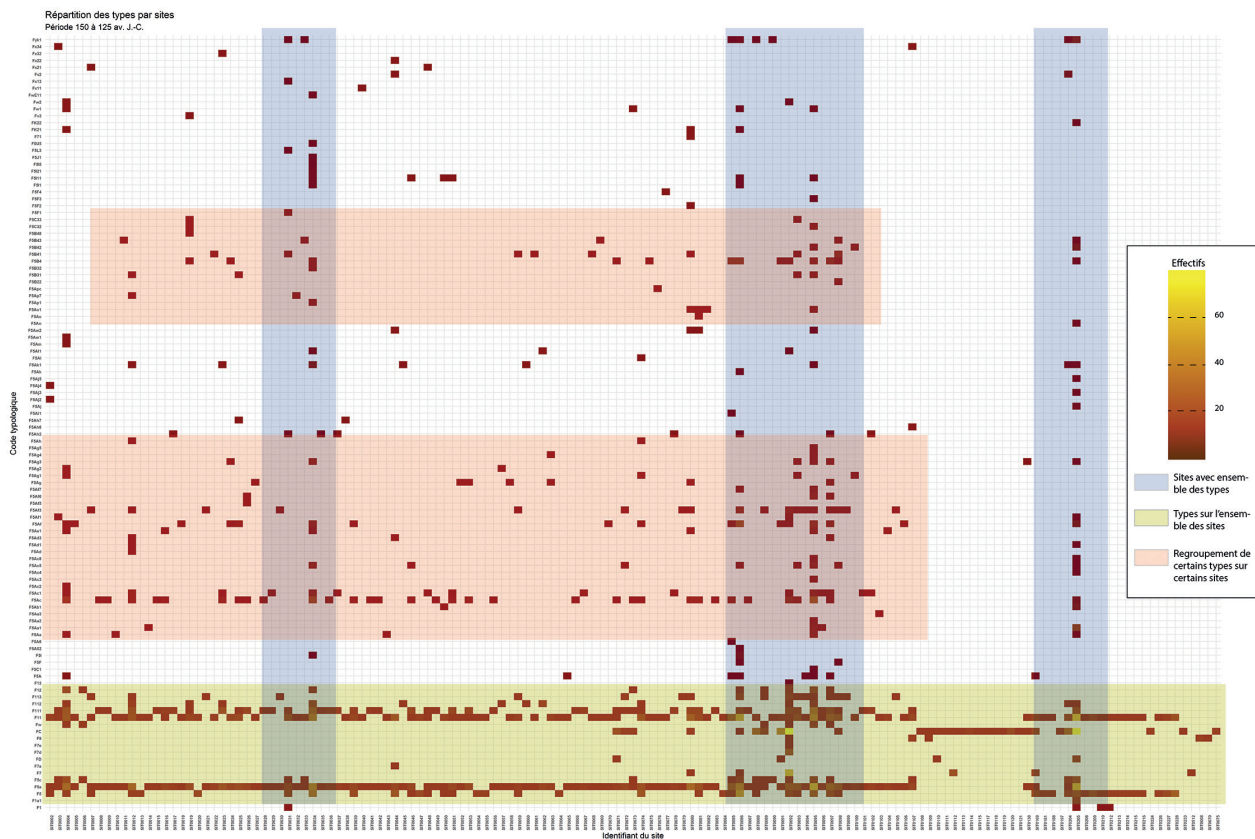


Figure 6 : graphique illustrant la répartition des types de fibules par sites pour LTD1a.
Analyse et DAO : L. Scholtus.

s'agit essentiellement de fibules de type Lauterach et Nauheim Striwe 1996 A3 [25] et leurs sous-types, ainsi que de fibules simples à ressort à quatre spires selon la typologie de Riha 1994 type 1 [26]. On note aussi, si l'on regarde la densité d'effectifs pour ces objets, qu'ils sont présents en grande quantité sur un grand nombre de sites. Ce sont d'ailleurs les seuls objets pour lesquels on note une si forte présence. Ils ne pourront donc avoir une grande influence dans la création des groupes régionaux, étant donné qu'ils se retrouvent sur l'ensemble de la zone d'étude et qu'ils se retrouvent en grande quantité sur une majorité de sites. Toutefois, les densités d'effectifs étant bien plus importantes sur certains de ces sites, il est possible qu'elles aient un poids pour ces mêmes lieux dans la détermination des groupes à l'aide des profils typologiques.

Dans un deuxième temps, on observe plusieurs contextes pour lesquels la majorité des types de fibules est signalée (fig. 6, cadres bleu pâle). Il s'agit de Mayence en Rhénanie-Palatinat, de La Pierre d'Appel et de La Bure dans les Vosges, des sites d'Augst et de Bâle en Suisse, et du Titelberg au Luxembourg. Ce sont aussi les sites pour lesquels les densités de fibules présentées précédemment sont parmi les plus importantes. Ils ont fait l'objet de longs programmes de fouilles ou d'études approfondies de leurs

mobiliers [27]. Cette différence peut s'expliquer par l'état de la recherche, mais il faut noter que beaucoup d'entre eux ont un statut particulier. En effet, ce sont tous des sites d'habitats possédant de nombreuses structures et, pour la plupart, des fortifications. Le Titelberg est même considéré comme étant la capitale de cité du peuple des Trévires. Il s'agit donc de sites hors norme, par rapport à la globalité de l'inventaire, composé surtout de découvertes isolées.

Pour finir, on distingue plusieurs regroupements de certains types présents uniquement sur quelques nombres de sites (fig. 6, cadres rouge pâle). Cependant, ces éléments ne sont pas plus évidents à délimiter que sur la carte précédente, d'autant plus que la position géographique des lieux de découverte n'est pas prise en compte sur ce graphique. La comparaison de chaque maille de la zone d'étude, les unes par rapport aux autres, prend donc tout son sens ici.

La carte obtenue en confrontant les assemblages typologiques pour chaque maille de la zone

[25] STRIEWE 1996.

[26] RIHA 1994.

[27] DEYBER *et al.* 1984 ; RIHA 1994 ; MIKLER 1997 ; GASPAR 2007 ; SCHOLTUS 2014.

d'étude (**fig. 7**) met bien évidence des mailles pour lesquelles la densité typologique est similaire. Ici, six *clusters* [28] ont été déterminés selon l'algorithme des k-médoïdes. Le premier, représenté en transparent sur la carte, correspond à l'assemblage de mobiliers présents de manière générale sur l'ensemble de la zone. Il correspond certainement aux mêmes objets que ceux illustrés par le graphique (**fig. 6**) dans l'ensemble

regroupant les types de fibules présents sur l'ensemble des sites. D'autre part, les mailles représentées en hachures ne sont pas prises en compte dans l'analyse, puisqu'elles se situent en dehors de la fenêtre observée.

L'algorithme met en évidence cinq *clusters* sur lesquels il est possible de réfléchir. Le postulat de départ était de mettre en évidence des groupes régionaux à partir des assemblages typologiques, toutefois, il ne semble pas y avoir de localisation géographique particulière à chacun de ces *clusters* ou de réelles différences que l'on pourrait qualifier de régionales. En effet, le *cluster 2*, même s'il est plus centré sur les Vosges et le sud de la Forêt Noire, semble se disperser sur l'ensemble de la carte. Il en va de même pour le

[28] Créer des *clusters*, ou analyse en grappe, consiste à assigner un ensemble d'éléments à un groupe, de sorte que les éléments au sein du même *cluster* soient les plus similaires possibles les uns par rapport aux autres, et en comparaison avec les éléments contenus dans les autres *clusters*. CHARRAD *et al.* 2014, p. 1.

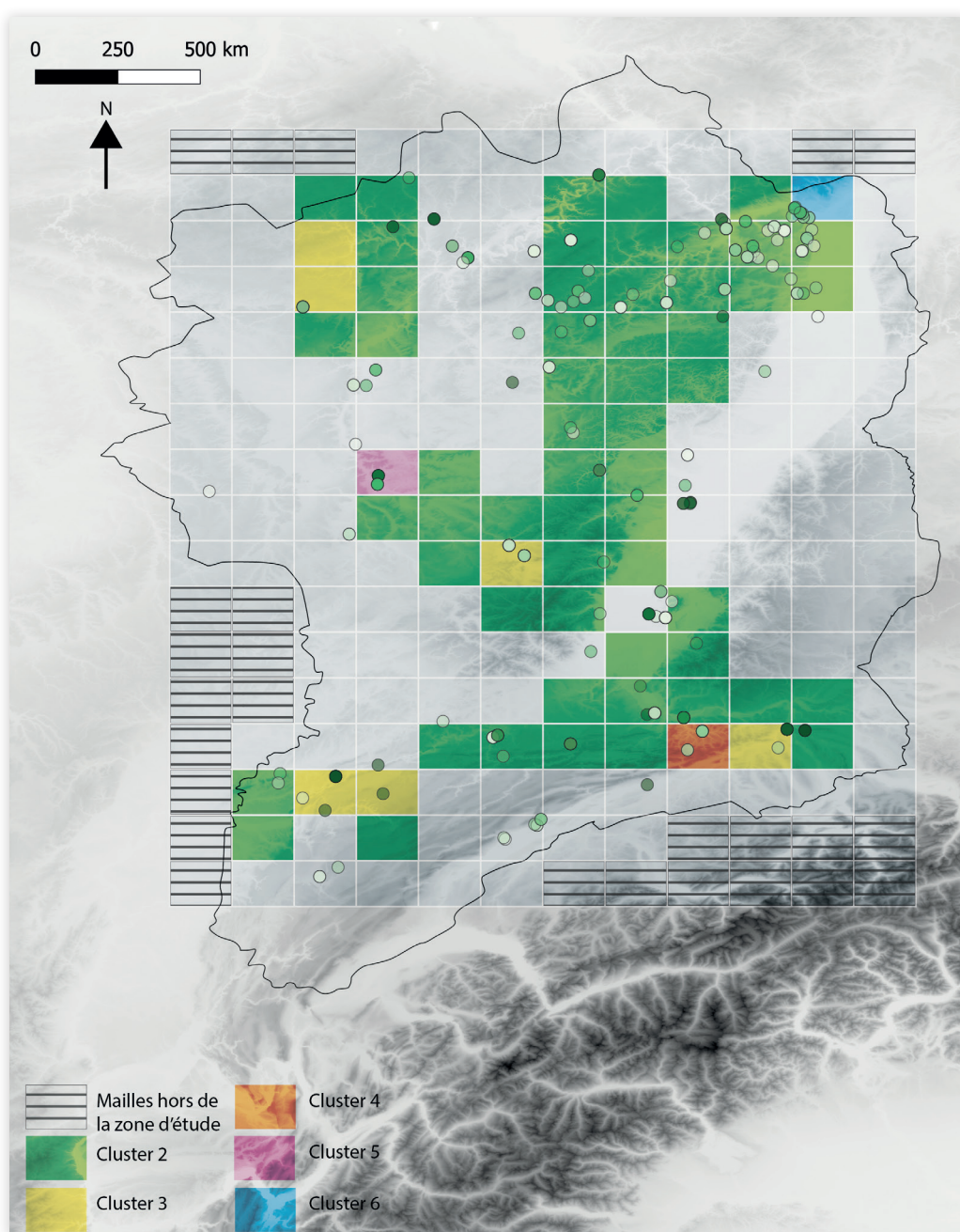


Figure 7

Résultat de l'analyse des *clusters* sur les types de fibules à LTD1a (partitionnement des données en fonction des assemblages typologiques selon la méthode des K-médoïdes).

DAO : L. Scholtus.
Fond orographique : données SRTM DEM Version 4 (<http://srtm.csi.cgiar.org>).

cluster 3 qui, bien qu'il ne corresponde qu'à un petit nombre de mailles, se retrouve à la fois au sud de la zone et au nord-ouest, ainsi que sur les Vosges et ne correspond donc pas à la vision archéologique d'un groupe régional dont toutes les entités se trouveraient localisées dans un même ensemble géographique. Toutefois, ce *cluster* est intéressant, car, bien que non contiguës dans l'espace, le résultat de l'analyse indique que ces mailles contiennent bien un assemblage typologique identique ou très proche. Par ailleurs, au moins trois d'entre elles renferment des sites mentionnés dans le paragraphe précédent, dans la catégorie des sites pour lesquels presque l'ensemble des types du corpus est représenté. On retrouve le Titelberg au nord-ouest, La Pierre d'Appel et La Bure dans le bassin de Saint-Dié-des-Vosges dans les Vosges et Augst au sud-est. Tout comme lors de l'interprétation du graphique (**fig. 6**), il est légitime de se demander si cette différenciation n'est pas due à un état de la recherche, puisque ce sont des sites sur lesquels les recherches sont denses. Toutefois, ce fait a été pris en compte au moment de la détermination des *clusters*, en fondant la création des profils sur la proportion de découvertes, et non sur les effectifs. Les différences de quantités d'objets entre les mailles et l'état de la recherche sont donc pondérées, ce qui permet d'affirmer que les mailles contenues dans le *cluster* 3 possèdent un profil typologique différent de celui des autres *clusters*. Enfin, les *clusters* 4, 5 et 6 ne se sont attribués chacun qu'à une seule maille. Là encore, cet élément est intéressant, puisque cela signifie que, pour chacune de ces trois mailles, le profil typologique ne correspond à aucun autre de la zone d'étude.

D'autres observations peuvent aussi être faites en prenant en considération la répartition réelle du mobilier. Le *cluster* 2, présenté comme disséminé sur l'ensemble de la zone d'étude, est plus intéressant dans les parties nord-est et sud de la carte, qui contiennent un grand nombre de découvertes, plutôt qu'au centre ou au nord-ouest où les objets sont plus diffus. Si, malgré une grande quantité d'éléments, ces mailles sont toujours présentées comme faisant partie du *cluster* 2 et non du 3 [29], l'hypothèse selon laquelle elles appartiennent à un groupe matériel différent est valide. Il en va de même pour les *clusters* 4, 5 et 6. À l'évidence, leurs mailles respectives contiennent plusieurs découvertes, et leur attribution à des groupes distincts est correcte.

[29] Pour ce cluster, il a déjà été montré plus haut qu'il s'agit des sites contenant le plus de types, mais aussi d'objets.

CONCLUSION

Cette étude présente la mise en place d'une méthode de modélisation qui se fonde sur la répartition des assemblages de mobilier d'*instrumentum* pour tenter de mettre en évidence des groupes régionaux de culture matérielle. Pour ce faire, elle s'appuie sur un corpus composé d'une grande quantité d'objets, issus de contextes variés.

Le résultat obtenu à l'aide de l'outil informatique et de la création de profils typologiques nécessite de prendre en compte l'ensemble des éléments archéologiques et statistiques à notre disposition. Il présente l'avantage de déterminer clairement quels espaces géographiques, représentés par des mailles, possèdent des assemblages typologiques similaires et lesquels sont explicitement différents, contrairement aux simples cartes de répartition.

Les résultats présentés sur le graphique (**fig. 6**) et sur la carte (**fig. 7**) laissent envisager que ces *clusters* illustrent des espaces différents en fonction du statut des sites qu'ils contiennent, ce qui semblerait être particulièrement le cas pour le *cluster* 3. En effet, ces sites, du fait de leur statut (capitales de cité, sites fortifiés, etc.), sont plus riches et entretiennent certainement des réseaux d'interactions et d'échanges plus étendus et livrent donc des types d'objets plus variés et rares. La même réflexion peut être faite pour les sanctuaires, dans lesquels la nature des découvertes est elle aussi différente puisque le fait de dépôt(s) volontaire(s). L'idée première de cette modélisation était de considérer l'ensemble du mobilier sélectionné sans faire de distinction de contexte puisqu'il ne s'agit pas d'une information toujours fiable. En effet, la nature d'un site n'est pas toujours connue selon qu'il s'agisse d'un élément issu de fouilles, de prospections ou encore de découvertes anciennes. Cela s'avère d'autant plus problématique lorsqu'on s'intéresse aux phénomènes culturels. Les sanctuaires de cette période ne sont pas toujours reconnus et la distinction entre un dépôt votif, une cachette ou toute autre interprétation n'est pas évidente. Toutefois, pour donner suite à ce premier résultat, il paraît intéressant de multiplier les analyses en ne prenant en compte que ces sites hors normes ou au contraire en les excluant. La même opération pourra être faite avec les sanctuaires connus et les dépôts. Il s'agira ensuite de comparer les résultats obtenus.

De plus, les données utilisées ici ne concernent que les typologies de fibules. Il faudra donc par la suite réaliser les mêmes étapes pour l'ensemble des catégories d'objets retenues présentées précédemment, de manière séparée et conjointe, pour observer la

manière dont les résultats obtenus varient et l'impact que peuvent avoir les différents champs fonctionnels dans la création de ces groupes.

Enfin, la connaissance de la composition typologique exacte de ces *clusters* apparaît également nécessaire à leur compréhension et leur interprétation. La création de ces groupes repose-t-elle sur une plus grande diversité typologique à l'intérieur des différentes mailles ? Ces mailles contiennent-elles des types d'objets radicalement différents les uns des autres ? Cet aspect reste encore à traiter.

Pour finir, il sera intéressant, par la suite, de vérifier les compositions récurrentes d'ensembles clos présents

sur la zone d'étude et d'interroger le corpus pour les mettre en évidence. Les résultats de cette analyse supervisée pourront être comparés à ceux obtenus avec la méthode présentée ici et ainsi observer si les assemblages typologiques résultant d'un choix culturel sont concordants avec ceux mis en évidence par l'analyse non supervisée.

Le modèle mis en place ici assure la reproductibilité de l'analyse et permet donc la multiplication des tests sur le corpus de mobilier désormais créé pour la Gaule de l'Est entre le III^e siècle av. et le IV^e siècle ap. J.-C. et ainsi observer l'évolution des groupes mis en évidence sur le temps long. ■

BIBLIOGRAPHIE

- BARNIER, Julien, 2013**, *Introduction à R*, <https://juba.github.io/tidyverse/> (consulté le 11 février 2018).
- BARRAL, Philippe & FICHTL, Stephan (dir.), 2012**, *Regards sur la chronologie de la fin de l'âge du Fer (III^e - I^{er} siècle avant J.-C.) en Gaule non méditerranéenne, Actes de la table ronde sur la chronologie de la fin de l'âge du Fer dans l'Est de la France tenue à Bibracte, Glux-en-Glenne, 15 - 17 octobre 2007*, Glux-en-Glenne.
- BERNARD, Loup, 2014**, « Études de cas et réflexions à partir de la situation de la vallée du Rhin sur l'intérêt du WebSIA coopératif ArkeoGIS », dans Géraldine Alberti, Clément Féliu & Gilles Pierrelvelcin (éd.), *Transalpinare, Mélanges offerts à Anne-Marie Adam*, Bordeaux, p. 77-85.
- BERNARD, Loup, [s. d.]**, *ArkeoGIS, partage et interrogation de données spatialisées sur le passé*, <http://arkeogis.org/> (consulté le 20 janvier 2018).
- BERTHON, Amélie, CHANSON-BERTOLIO, Karine, FEUGÈRE, Michel, & KAURIN, Jenny, 2013**, « Projet de charte pour l'étude des objets archéologiques », *Les nouvelles de l'archéologie* 131, p. 5-6.
- BUCHSENSCHUTZ, Olivier & GRUEL, Katherine, [s. d.]**, *BaseFer*, <https://basefer.huma-num.fr/index.php?zt=tcnt> (consulté le 20 septembre 2019).
- CHARRAD, Malika, GHAZZALI, Nadia, BOITEAU, Véronique, & NIKNAFS, Azam, 2014**, « NbClust : An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set », *Journal of Statistical Software* 61/6, p. 1- 36.
- COLLIS, John, 2003**, « Grands groupes et petits groupes, L'étude de la culture matérielle de l'âge du Fer », dans Suzanne Plouin & Peter Jud (éd.), *Habitats, mobiliers et groupes régionaux à l'âge du Fer*, Dijon, p. 207-215.
- CONLEN, Matthew, [s. d.]**, *Kernel Density Estimation*, <https://mathisonian.github.io/kde/> (consulté le 19 mars 2019).
- DEYBER, Alain, DALAUT, Marc, LADIER, Edmée, & WEISROCK, André, 1984**, « L'habitat fortifié laténien de la « Pierre d'Appel » à Étival-Clairefontaine (Vosges) », *Gallia* 42/1, p. 175-217.
- DJINDJIAN, François, 2005**, *Apports théoriques et méthodologiques en archéologie : applications à la connaissance du paléolithique supérieur européen*, Habilitation, Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne, Paris.
- DJINDJIAN, François, 2017**, *L'archéologie : théorie, méthodes et reconstitutions*, Malakoff.
- FEUGÈRE, Michel, 1985**, « Les fibules en Gaule Méridionale de la conquête à la fin du V^e s. ap. J.-C. », *Revue archéologique de Narbonnaise* 12/1, p. 5-509.
- FEUGÈRE, Michel, [s. d.]**, *Artefacts - Encyclopédie en ligne des petits objets archéologiques*, <http://artefacts.mom.fr/fr/home.php> (consulté le 20 janvier 2018).
- GASPAR, Nicolas, 2007**, *Die keltischen und gallo-römischen Fibeln vom Titelberg*, Luxembourg.
- MAECHLER, Martin, ROUSSEUW, Peter, STRUYF, Anja, HUBERT, Mia, HORNIK, Kurt, STUDER, Matthias, ROUDIER, Pierre, GONZALEZ, Juan, KOZLOWSKI, Kamil, SCHUBERT, Erich, & MURPHY, Keefe, 2019**, *cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions*, R package version 2.1.0.
- MAECHLER, Martin & STUDER, Matthias, [s. d.]**, *Partitioning Around Medoids*, <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/cluster/html/pam.html> (consulté le 3 avril 2019).
- MARCHAL, Olivier, 2018**, *Statistiques appliquées avec introduction au logiciel R*, Paris.
- MIKLER, Hubertus, 1997**, *Die römischen Funde aus Bein im Landesmuseum Mainz*, Montagnac.

- MILLET, Émilie, 2012**, « Le costume funéraire des régions du Rhin moyen et supérieur entre le V^e et le III^e siècle avant J.-C. : de nouvelles perspectives de recherches », dans Martin Schönfelder & Susanne Sievers (éd.), *L'âge du Fer entre la Champagne et la vallée du Rhin, 34e colloque de l'AFEAF, 13-16 mai, Aschaffenburg (Allemagne), Mainz*, p. 421-444.
- NAKOINZ, Oliver, 2005**, *Studien zur räumlichen Abgrenzung und Strukturierung der älteren Hunsrück-Eifel Kultur*, Bonn.
- NAKOINZ, Oliver, 2010**, « Kulturelle Räume der älteren Eisenzeit in Südwestdeutschland », dans Dirk Krausse (éd.), « Fürstensitze » und Zentralorte der frühen Kelten, Stuttgart, p. 317-332.
- NAKOINZ, Oliver, 2013**, *Archäologische Kulturgeographie der ältereisenzeitlichen Zentralorte Südwestdeutschlands*, Bonn.
- NAKOINZ, Oliver, 2014**, « Fingerprinting Iron Age Communities in South-West Germany », dans Catalin Nicolae Popa & Simon Stoddart (éd.), *Fingerprinting the Iron Age : Approaches to Identity in the European Iron Age: Integrating South-Eastern Europe into the Debate*, Oxford, p. 187- 199.
- NAKOINZ, Oliver & KNITTER, Daniel, 2016**, *Modelling human behaviour in landscapes, Basic Concepts and Modelling Elements*, New York.
- RIHA, Emilie, 1994**, *Der römischen Fibeln aus Augst und Kaiseraugst: die Neufunde seit 1975*, Augst.
- ROTH-ZEHNER, Muriel, 2010**, *La céramique de La Tène finale et du début de l'époque romaine en Alsace*, Strasbourg.
- ROUX, Émilie, 2013**, *Approche qualitative et quantitative de l'usage du mobilier non céramique dans les agglomérations (II^e s. av. J.-C. - III^e s. ap. J.-C.), L'exemple des territoires turon, biturige et carnute*, Thèse de doctorat, Université François - Rabelais, Tours.
- SCHOLTUS, Lizzie, à paraître**, « From the artefacts to material culture, Statistical modelling using R », dans *Actes du colloque du CAA, Cracovie avril 2019*.
- Scholtus, Lizzie, 2014**, *La Bure : Relecture des données*, Mémoire de Master, Université de Strasbourg, Strasbourg.
- STRIEWE, Karin, 1996**, *Studien zur Nauheimer Fibel und ähnlichen Formen der Spätlatènezeit*, Espelkamp.
- TREMBLAY CORMIER, Laurie, 2013**, *Identités culturelles et contacts entre Rhin et Rhône du 10eme au 5eme siècle av. n. e. : dynamiques sociales et échanges*, Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon.
- TREMBLAY CORMIER, Laurie, NAKOINZ, Oliver, & POPA, Catalin Nicolae, 2017**, « Three Methods for Detecting Past Groupings : Cultural Space and Group Identity », *Journal of Archaeological Method and Theory* 20/3, p. 643- 661.
- WAGNER, Heiko, 2006**, *Glasschmuck der Mittel- und Spätlatènezeit am Oberrhein und den angrenzenden Gebieten*, Grunbach.