Les roues de la fortune

Étude d'éléments de char issus de sépultures élitaires laténiennes

Alexandre DISSER(1),
Sylvain BAUVAIS(2), Philippe DILLMANN(1)

(1) IRAMAT-LAPA UMR7065 CNRS et NIMBE UMR3685 CEA/CNRS
(2) IRAMAT-LAPA UMR7065 CNRS et NIMBE UMR3685 CEA/CNRS et CRFJ

DOI : https ://doi.org/10.17184/eac.9854

Résumé : La présente contribution livre les résultats d'une étude archéométallurgique effectuée sur un corpus de 27 bandages de roue ayant équipé des chars d'époque laténienne, retrouvés en contexte funéraire. Ces chars sont associés au complexe culturel de l'Aisne-Marne, dont l'extension occupe le centre du Bassin Parisien. D'après la chrono-typologie établie pour ce type de mobilier, les bandages sont datés majoritairement de La Tène A et B. Dans cet article, nous nous concentrerons uniquement sur le traitement statistique multivarié utilisé pour exploiter les caractéristiques chimiques des inclusions non-métalliques piégées dans les bandages. L'analyse des données chimiques a livré des informations essentielles pour reconstituer les modalités d'acquisition du métal en vue de forger les bandages de roue et d'en équiper ces chars. Ces résultats permettent d'alimenter une discussion relative à la structuration des systèmes de production et d'échange d'alliages et de formuler des pistes de recherche prioritaires pour de futures recherches dans ce domaine.

Abstract: This paper presents the results of an archaeometallurgical study conducted on a corpus of 27 wheel rims from La Tène–period chariots recovered in funerary contexts. These chariots are associated with the Aisne-Marne cultural complex, which extends across the central Paris Basin. Based on the established chrono-typology for this category of artefacts, the tyres are dated mainly to La Tène A and B. The present article focuses exclusively on the application of multivariate statistical methods to the chemical characterisation of non-metallic inclusions trapped within the tyres. The analysis of the chemical data provides key insights into the procurement strategies for metal intended for the manufacture of wheel tyres and their use in vehicle equipment. These results contribute to the discussion on the organisation of production and exchange systems for alloys, and they outline priority avenues for future research in this field.

1 Introduction

Au tournant du Ve siècle av. n.è., les structures de pouvoir connaissent d'importants changements dans le monde celtique, notamment dans un vaste territoire s'étendant entre la Manche et les massifs de l'Eifel et du Hunsrück. Bien que ce processus soit complexe, multifactoriel et d'intensité variable, il semble que le déclin de l'influence hallstattienne et de son système économique en soit un élément clé. Ces changements s'expriment de manière claire dans les rites funéraires pratiqués dans une vaste région couvrant notamment la France du nord et du centre, ainsi que le sud de l'Allemagne (Demoule 1999). Deux types de pratiques ont cours durant le Ve siècle. Le premier est caractérisé par la crémation du corps du défunt, dont les restes sont disposés dans un contenant dont l'esthétique révèle une forte influence des cultures méditerranéennes (cistes, situles, *stamnoi*…) (Verger 1995). Ces rites sont pratiqués de façon plus importante dans le centre de la Gaule que dans les parties plus septentrionales. En Champagne, le rite élitaire dominant dérive d'une tradition culturelle hallstattienne qui consiste à inhumer le défunt avec un char. La version champenoise de ce rite emploie des chars à deux roues, contre quatre auparavant. Ce rite est pratiqué par de nombreux groupes culturels parmi lesquels ceux du Hunsrück-Eifel et de l'Aisne-Marne. Il a persisté localement jusqu'à La Tène finale. En ce qui concerne le groupe culturel Aisne-Marne dont traite cette contribution, des ruptures marquées sont observables, notamment dans la composition des appareils funéraires, et ce dès la Tène A (Thouvenot, Verger 2009). L'équipement des tombes est ainsi plus sobre, et dépourvu de mobilier provenant du monde méditerranéen. Ces ruptures résonnent avec l'arrêt du processus de proto-urbanisation observé dans les dernières décennies du Hallstatt (Brun & Chaume 2013 ; Milcent 2014). La conjonction de ces phénomènes sous-tend une évolution des structures sociales, qui semblent moins stratifiées, moins verticales.

En tant que faits archéologiques de grande valeur intrinsèque et de prestige, les sépultures de chars ont fait l'objet d'une recherche intensive, surtout à la fin du XIXe siècle. Par la suite, en tant qu'un des marqueurs sociaux les plus significatifs à la disposition des archéologues concernant les cultures de La Tène, les sépultures ont été intensivement étudiées durant la seconde moitié du XXe siècle (Olivier 2008, p. 45-48 ; Baray 2008), et ont grandement contribué à mettre en évidence des évolutions sociales distinctes selon le groupe considéré. Si les appareils funéraires laténiens sont globalement plus sobres, ils comportent toujours des quantités notables d'objets (armes, couteaux, éléments de chars…) en alliages ferreux (Lambot 2000). Ces corpus peuvent donc servir de support à des études visant à préciser les structures socio-économiques constituées par le groupe Aisne-Marne. Des études récentes ont fourni des informations importantes sur les modes de production des artefacts en fer dans l'espace celtique, et particulièrement dans le Bassin Parisien (Bauvais *et al.* 2018b, 2020 ; Berranger & Bauvais 2020 ; Leroy & Cabboi dir., 2019). Les données acquises ont conduit à formuler l'hypothèse d'activités en partie intermittentes avec des sites de production majeurs, résidence des artisans, et des sites dans lesquels ces derniers interviennent pour des commandes. Ce système plaide en faveur d'une organisation artisanale développée pour répondre aux besoins qui se manifestent de temps à autre au sein

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

du groupe culturel, en particulier pour subvenir aux besoins des élites en mobilier ostentatoire et en armement (Bauvais 2008 ; Bauvais *et al.* 2021).

Les développements méthodologiques réalisés en archéométallurgie dans les décennies 2000 et 2010 ont permis la détermination fiable de la provenance des alliages ferreux archéologiques. Le programme de recherche ANR-DFG « Circulation of iron products in the Iron-Age of Eastern France and Southern Germany » (CIPIA) a largement contribué à ces développements. Une vaste campagne analytique a été réalisée sur des objets ferreux[1] associés à des contextes datés du Hallstatt final (Ha D) et de la Tène ancienne (LT A) avec l'objectif de mettre en évidence les formes d'organisation de la production et des échanges du fer. La présente contribution expose les résultats obtenus à partir de l'étude de plusieurs contextes funéraires associés à la culture Aisne-Marne (La Tène A). Plusieurs questions d'ordre économique ont motivé le travail présenté ici : le groupe Aisne-Marne a-t-il organisé une activité sidérurgique suffisante pour subvenir aux besoins de ses forgerons ? Quel était le degré de segmentation de la chaîne opératoire ? La production des éléments de char est-elle le fait d'ateliers établis/pérennes et de taille importante, ou l'œuvre de forgerons travaillant « sur commande » et peut-être mobiles ? En d'autres termes, est-ce que l'analyse des bandages de roue des sépultures à chars de Champagne peut permettre d'apporter des informations sur les modes d'organisation de la production sidérurgique ? Ces bandages sont-ils produits localement ou sont-ils issus d'une importation ? Les bandages des sépultures à chars hallstattiennes semblent employés comme des biens de prestige (Dillmann *et al.* 2017) ; ceux des tombes du groupe Aisne-Marne sont-ils considérés de la même manière ? Peuvent-ils nous donner des informations sur les réseaux d'approvisionnement et la façon dont les élites ont acquis leurs objets ferreux ?

2 Méthodologie d'étude

Vingt-sept fragments de bandages de roue ont été étudiés, parmi lesquels 24 proviennent des collections du Musée des Antiquités Nationales (MAN). Ces objets proviennent de 7 nécropoles associées à la culture Aisne-Marne (Tableau 1). Chaque échantillon a été enrobé dans une résine époxy puis polie afin d'obtenir une section polie qui a servi de support à des examens métallographiques. Ces sections ont ensuite fait l'objet d'analyses chimiques portant sur les inclusions non-métalliques. Les teneurs des éléments majeurs ont été mesurées par MEB-EDS et les teneurs des éléments traces par LA-ICP-MS selon une méthodologie décrite par ailleurs (par exemple Disser *et al.* 2017). Nous nous concentrerons ici sur l'étude des données chimiques, les données morphométriques et métallographiques seront présentées dans une synthèse ultérieure.

Afin de tester les hypothèses de provenance du métal formulées au cours de l'étude, nous avons rassemblé un corpus de référence constitué par les caractéristiques chimiques de plusieurs secteurs de production sidérurgique, données disponibles dans la littérature. Dans le cadre de la présente étude, nous avons cherché à examiner l'hypothèse selon laquelle la culture Aisne-Marne aurait été intégrée à des réseaux

[1] Principalement des demi-produits en contexte de dépôt non-funéraires et des bandages de roue en contexte funéraire.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

d'échange du fer d'ampleur régionale. Nous avons donc sélectionné les secteurs sidérurgiques limitrophes. Les données ont été principalement acquises dans le cadre du Programme Collectif de Recherche « Les formes d'organisation de la production du fer en métallurgie ancienne. Systèmes de production et chaîne opératoire dans les ateliers de l'est du Bassin parisien, de l'âge du fer au haut Moyen Âge (Lorraine, Bourgogne, Île-de-France, Champagne-Ardenne) » (Leroy, Cabboi dir. 2019) et le programme ANR-DFG CIPIA (Dillmann *et al.* 2017). Les nécropoles, ainsi que les sites constituant le référentiel sont reportés sur la carte en Figure 1. Dix éléments chimiques[2] ont été retenus pour les traitements présentés ici. Leur choix a été conditionné à la fois par le fait qu'ils aient été dosés pour tous les individus du corpus, mais également par la cohérence de leurs rapports à l'échelle de chaque objet. Les teneurs ont été transformées selon la méthode des *log ratios* discutée par Leroy *et al.* (Leroy *et al.* 2012).

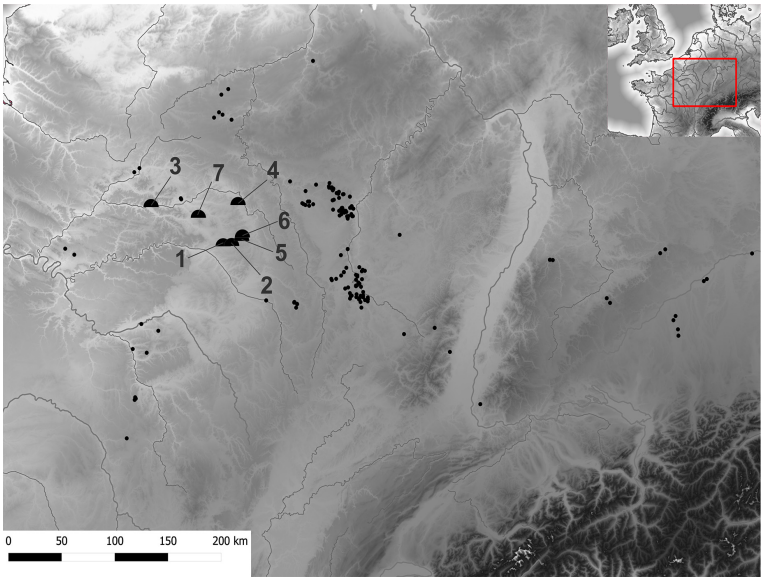


Fig. 1 : Localisation des nécropoles dont sont issus les bandages (demi-cercles), ainsi que des sites de production constituant le référentiel (points). 1 : Cuperly ; 2 : Bussy-le-Château ; 3 : Chassemy ; 4 : Bourcq 'La Bannière' ; 5 : Somme-Tourbe 'Voie d'Hans' ; 6 : Saint-Jean-sur-Tourbe 'Le Malinet' ; 7 : Witry-lès-Reims 'Le Fort'.

Étant donné la taille de la population analysée dans cette étude (194 inclusions non-métalliques dans les bandages de roue et 392 minerais et scories de réduction), nous avons procédé à une modification du processus de traitement de données mis en place lors du programme de recherche ANR-DFG CIPIA (Dillmann *et al.* 2017). En effet, à partir d'un certain nombre d'individus (environ 300) comme c'est le cas ici, il devient délicat pour l'opérateur de synthétiser les informations observées sur plusieurs plans factoriels. Or l'examen visuel des données chimiques dans un espace de dimensionnalité réduite nous semblait être une étape importante, en amont de tout

[2] Ces éléments sont : Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Th, U.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

analyse de *clustering,* pour appréhender la structure de l'information chimique. Afin d'explorer celle-ci, l'algorithme *t-distributed stochastic neighbor embedding* (abrégé en t-SNE) présente plusieurs avantages compatibles avec l'approche développée précédemment, qui reposait sur l'utilisation de l'algorithme HCPC (pour 'Classification hiérarchique sur Composantes Principales') (Husson *et al.* 2010). En revanche, à l'inverse des analyses factorielles, la position des individus sur le plan de dimensionnalité réduite obtenu par le biais de t-SNE est conditionnée par l'optimisation de l'entropie relative entre ces derniers (Van der Maaten & Hinton 2008). En ce sens, la distance entre les individus n'est pas une métrique à proprement parler, et ne peut donc être exploitée au moyen d'algorithmes de partitionnement de données (Van der Maaten & Hinton 2012). D'autre part, le t-SNE s'avère particulièrement sensible au paramétrage (dimensions initiales, perplexité, itérations), les résultats pouvant varier considérablement. Nous avons donc pris le parti d'exploiter cet algorithme pour ses indéniables qualités en termes de visualisation de l'information[3], susceptible de mettre en évidence des similarités chimiques entre bandages, mais également avec des espaces de production sidérurgique sélectionnés dans le jeu de données (Figure 1). Les observations effectuées sur les espaces de dimensionnalité réduite ont servi à diviser le corpus complet en plusieurs parties, qui ont ensuite été analysées par le biais de l'approche HCPC itérative adoptée par ailleurs (Dillmann *et al.* 2017). Nous avons donc établi des correspondances chimiques à partir d'une démarche multivariée employant de manière successive un *médium* de visualisation de données multidimensionnelles (le t-SNE) et une méthode de partitionnement des données (le HCPC).

3 Résultats

En premier lieu, nous avons cherché à déterminer si des bandages pouvaient être compatibles chimiquement, ce qui indiquerait que le métal les constituant a été obtenu par la réduction d'un même minerai. Nous avons donc appliqué la méthode HCPC sur le corpus de 194 inclusions non-métalliques des bandages. Les résultats obtenus mettent en évidence onze groupes de composition chimique à cette échelle d'analyse. Chacun de ces groupes a constitué un nouveau jeu de données soumis à l'HCPC. Le fait que ces nouveaux jeux de données présentent une variance totale significativement moindre que celle du corpus initial permet de valider ou non les correspondances chimiques esquissées au terme de la première étape. Les résultats de l'ensemble de cette démarche sont synthétisés dans le Tableau 1. Au final, 19 groupes de composition chimique ont été identifiés. Il est à noter d'emblée que les inclusions non-métalliques analysées pour un même échantillon présentent une très bonne cohérence chimique. À l'exception du clou 14726-2b (collection Napoléon III), les inclusions d'un même individu sont systématiquement classées dans un groupe chimique commun (Figure 2). Ceci suggère à la fois la bonne qualité du jeu de données analytiques considéré et l'homogénéité de la signature chimique inclusionnaire à l'échelle de chaque échantillon.

[3] En utilisant les fonctions des librairies R 'tsne' et 'plotly'.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Tab. 1 : Références des échantillons analysés

Échantillon	Département	Commune	Site	Type	Datation
24325-1	Marne	Witry-lès-Reims	Fort	Bandage	LT A
24325-2	Marne	Witry-lès-Reims	Fort	Bandage	LT A
24325-3	Marne	Witry-lès-Reims	Fort	Bandage	LT A
24325-4	Marne	Witry-lès-Reims	Fort	Bandage	LT A
24325-5	Marne	Witry-lès-Reims	Fort	Bandage	LT A
17847-0	Aisne	Chassemy	Fosse Chapelet	Bandage	LT A
17847-1	Aisne	Chassemy	Fosse Chapelet	Bandage	LT A
17847-5	Aisne	Chassemy	Fosse Chapelet	Bandage	LT A
17847-6	Aisne	Chassemy	Fosse Chapelet	Bandage	LT A
17842-1a	Aisne	Chassemy	Fosse Chapelet	Bandage	LT A
BLB 59	Ardennes	Bourq	La Bannière	Bandage	LT A
BLB 93	Ardennes	Bourq	La Bannière	Bandage	LT A
STVH 160	Marne	Somme-Tourbe	La Voie d'Hans	Bandage	LT A
22143-1	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-2	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-3	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-4a	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-5a	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-5b	Marne	Bussy-le-Château	NA	Bandage	LT A
22143-4b	Marne	Bussy-le-Château	NA	Clou de bandage	LT A
14726-1	Marne	Collection NapIII	NA	Bandage	LT A
14726-2a	Marne	Collection NapIII	NA	Bandage	LT A
14726-2b	Marne	Collection NapIII	NA	Clou de bandage	LT A
27714-1	Marne	Cuperly	NA	Bandage	LT A
27804-1	Marne	Cuperly	NA	Bandage	LT A
27714-2a	Marne	Cuperly	NA	Bandage	LT A
27714-2b	Marne	Cuperly	NA	Clou de bandage	LT A
27804-2a	Marne	Cuperly	NA	Bandage	LT A
27804-2b	Marne	Cuperly	NA	Bandage	LT A
20292-1	Marne	Saint-Jean-sur-Tourbe	Le Malinet	Bandage	LT A
20292-2	Marne	Saint-Jean-sur-Tourbe	Le Malinet	Bandage	LT A

Les caractéristiques chimiques des inclusions non-métalliques ont ensuite été confrontées aux signatures chimiques des sites de réduction définies à l'échelle régionale (cf. *supra,* Figure 1). Ces données se rapportent à des secteurs de production sidérurgique qui pour la plupart se trouvent en périphérie de l'espace occupé par le groupe culturel de l'Aisne-Marne. Les données ont en premier lieu fait l'objet d'une exploration au moyen du t-SNE, afin de fractionner le corpus initial en plusieurs sous-ensembles plus facilement exploitables par le biais de l'HCPC.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

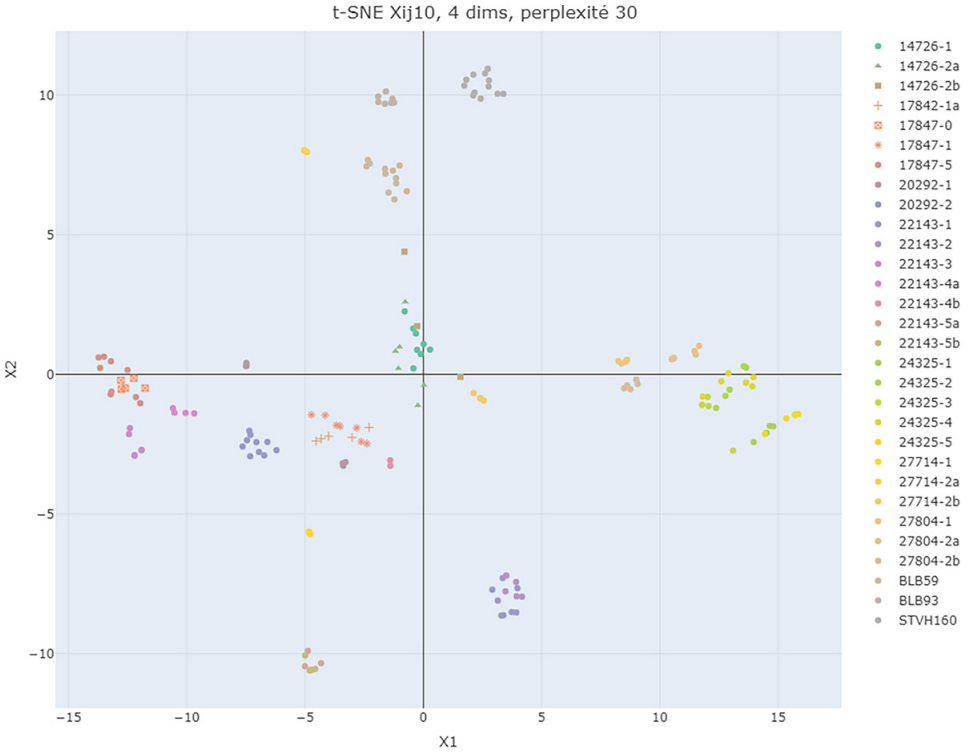


FIG. 2 : Représentation du corpus d'inclusions non-métalliques analysées par le biais du t-SNE (dimensions initiales : 4, perplexité : 30, itérations : 700).

L'exploitation des données par cette approche a souvent abouti à une comparaison entre des groupes de composition établis *supra* et un ou plusieurs ensembles chimiques de production. L'hypothèse de compatibilité n'est validée que si les signatures chimiques des échantillons ne peuvent être distinguées du domaine chimique de l'ensemble de production en question. Les résultats issus de cette démarche sont présentés dans le Tableau 2.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Tab. 2 : Synthèse des résultats de l'analyse multivariée.

Nécropole	Nom échantillon	Catégorie	Groupes chimiques	Compatibilité avec espace sidérurgique
Witry-les-Reims	24325-1	Bandage	WIT1	Non
	24325-5	Bandage		
	24325-2	Bandage	WIT2	
	24325-3	Bandage		
	24325-4	Bandage		
Bussy-le-Château	22143-5	Bandage	BUS4	
	22143-1	Bandage	BUS1	
	22143-2	Bandage		
	22143-4b	Clou	BUS3	
	22143-3	Bandage	BUS2	Sénonais - Pays d'Othe
	22143-4a	Bandage		
Chassemy - Fosse Chapelet	17842-1a	Bandage	CHA2	Fer fort
	17847-1	Bandage		
	17847-0	Bandage	CHA1	Non
	17847-5	Bandage		
Cuperly	27804-1	Bandage	CUP4	
	27804-2	Bandage		
	27714-1	Bandage	CUP1	
Cuperly	27714-2a	Bandage	CUP2	
Cuperly	27714-2b	Clou	CUP3	Bajocien-Bathonien
Saint-Jean-sur-Tourbe - Le Malinet	20292-1	Bandage	SJT1	Non
	20292-2	Bandage	SJT2	
Somme Tourbe - Voie d'Hans	STVH160	Bandage	VDH1	
Bourcq - La Bannière	BLB59	Bandage	BOU1	
	BLB93	Bandage	BOU2	
Collection Napoléon III	14726-1	Bandage	NAP1	
	14726-2a	Bandage		
	14726-2b	Clou	NAP2	

Un exemple de l'étape de validation est présenté dans la Figure 3. Il présente la comparaison chimique entre les inclusions non-métalliques associées au groupe de composition BUS2 et trente-cinq scories de réduction associées à l'ensemble de production 'Sénonais – Pays d'Othe'. Cet ensemble est représenté dans le référentiel par quatre contextes de réduction : Les Clérimois – 'Les Fouetteries', Villiers-sur-Seine – 'Défendable', Noslon – 'Cuy' et Charmoy – 'Ecuelles'. Ces quatre contextes sont datés de la période laténienne. Les deux derniers pourraient quant à eux avoir fonctionné au moment des inhumations, étant datés de La Tène A ou B.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

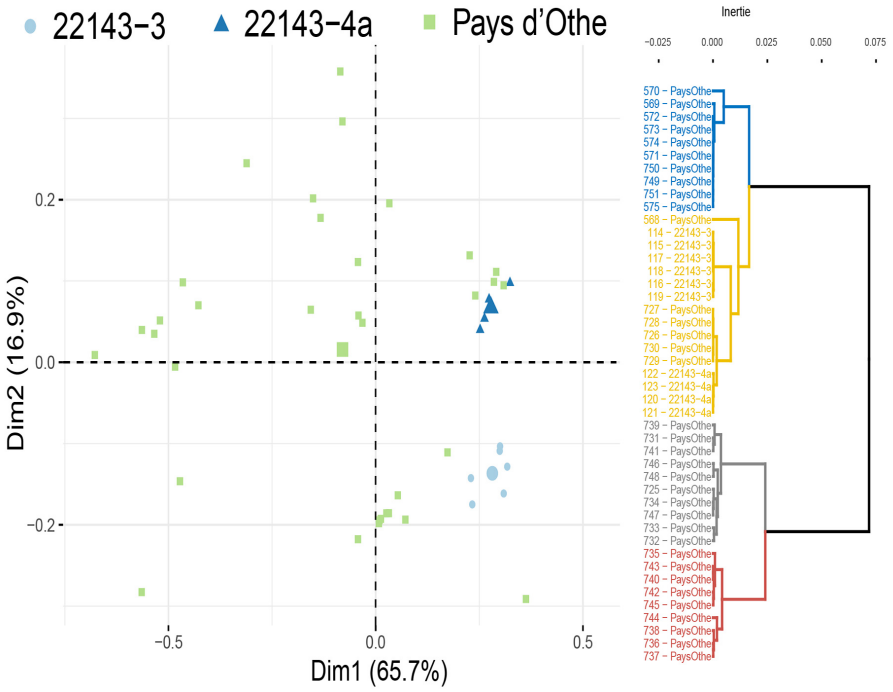


FIG. 3 : Exemple de compatibilité chimique par la HCPC ; à gauche : premier plan factoriel de l'ACP ; à droite : dendrogramme de la classification effectuée sur les quatre premiers facteurs de l'ACP (98,1 % de la variance totale).

Le résultat le plus marquant de notre approche est que les groupes chimiques sont nombreux à l'échelle du corpus étudié, à savoir 19 groupes pour un total de 28 échantillons. Ceci sous-entend que de nombreuses sources de métal ont été impliquées pour approvisionner les réseaux de fourniture de métal auxquels les forgerons ont eu accès. D'autre part, dès lors qu'une compatibilité chimique est établie entre deux échantillons, il s'agit de bandages provenant d'une même tombe, ou tout du moins du même site. Ceci est observable pour Cuperly (groupe CUP4), Chassemy (CHA1 et CHA2), Bussy-le-Château (BUS1 et BUS2). Dans le cas de Witry-lès-Reims, les cinq échantillons présentent une signature chimique similaire. Ce n'est qu'en analysant le jeu de données restreint correspondant au cluster 2 que l'on peut distinguer deux groupes de composition qui correspondent respectivement à 2 et 3 échantillons. Il est possible dans ce cas que les différents bandages aient été fabriqués en forgeant un métal obtenu à partir de la réduction d'un même minerai. La différence observée pourrait être due à des conditions opératoires différentes (ajouts éventuels, matériaux utilisés pour les parois de four par exemple), ou à une variabilité chimique du minerai au sein d'un même gisement. On pourrait dans ce cas envisager une provenance commune. Les données de l'inventaire du MAN ne sont en revanche pas assez précises dans le cas de ce lot pour déterminer le nombre de tombes concernées. Bien que seuls trois clous aient pu faire l'objet d'un prélèvement dans le cadre de cette étude, il est intéressant de noter que leur signature chimique ne correspond dans aucun des cas à celle du ban-

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

dage auquel ils ont été assemblés. Ceci concerne les contextes de Bussy-le-Château, Cuperly et la collection Napoléon III.

Deux bandages[4], issus vraisemblablement de deux tombes du site de la 'Fosse Chapelet' à Chassemy sont quant à eux compatibles chimiquement avec des scories associées à la réduction du minerai de 'fer fort', dont les principaux gisements se trouvent dans le nord des départements actuels de la Moselle et de la Meurthe-et-Moselle. Enfin, un clou associé à un bandage mis au jour dans la nécropole de Cuperly est compatible avec des scories liées à la réduction d'un minerai sédimentaire du Bajocien-Bathonien, activité attestée sur le plateau de Haye, dans la région de Nancy. Bien que les occurrences soient légèrement antérieures (Hallstatt D) aux inhumations de Cuperly, il est raisonnable de penser qu'une activité sidérurgique se soit poursuivie dans le secteur de Haye au cours de La Tène A et B.

4 Conclusions

L'acquisition, dans le cadre du programme CIPIA, de données chimiques relatives à des bandages de roue a permis de mettre en évidence de premières caractéristiques des réseaux d'échange qui ont pu alimenter en fer des communautés formant la culture Aisne-Marne. L'étude de cas présentée ici a pour cela reposé sur le recours à l'utilisation combinée de méthodes de visualisation et d'analyse de données chimiques, reposant sur la réduction de dimensionnalité des données. Nous avons cherché à tirer le meilleur parti des avantages et des limites de chacune de ces méthodes : t-SNE et HCPC. Le résultat le plus marquant de cette étude est probablement que 19 groupes de composition chimique aient été identifiés à partir d'un corpus de 28 objets. Bien que celui-ci soit lié à des contextes dont l'amplitude chronologique couvre environ deux siècles, cette diversité est frappante et amène à suggérer que l'économie du fer de cette période dans cette région était reliée à de multiples gisements. En associant ce constat au fait que les correspondances chimiques de bandages soient toujours limitées au même contexte, voire à la même tombe, nous sommes enclins à privilégier l'hypothèse d'une coexistence de nombreux secteurs sidérurgiques aux volumes de production relativement restreints. Nous pouvons dès lors envisager deux hypothèses. La première implique que les réseaux de fourniture de matériaux auprès desquels s'approvisionnaient les forgerons présentaient une connectivité très faible. Ceci contraste par exemple avec les caractères de centralisation des réseaux d'échange au sein du complexe nord-alpin mis en évidence par l'étude de demi-produits métalliques (Berranger *et al.* 2017 ; Dillmann *et al.* 2017 ; Bauvais *et al.* 2018a). L'autre hypothèse implique que le forgeron ayant réalisé l'objet se soit directement approvisionné auprès du producteur du métal. Il est même possible qu'un même individu remplisse les deux fonctions (producteur de métal et forgeron). Bien que le corpus étudié ne comporte que trois clous, ceux-ci sont systématiquement distincts chimiquement du bandage auquel ils sont assemblés. À l'échelle du corpus analysé, clous et bandages ne sont donc pas obtenus à partir des mêmes produits intermédiaires.

[4] Les individus 17842-1a et 17847-1.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Ceci suggère un choix différencié de produits intermédiaires[5] en fonction de l'objet à élaborer, mais laisse aussi à penser que clous et bandages ne sont pas fabriqués dans un même élan. Enfin, les caractéristiques de trois groupes de composition s'avèrent chimiquement compatibles avec des zones de production de fer utilisés comme référentiel. Ces correspondances impliquent une distance de déplacement d'environ 150-200 kilomètres entre le lieu de production du métal et le lieu d'enfouissement. La plupart des provenances n'ont pas pu être déterminées dans le cadre de la présente étude. La structuration des réseaux d'échange de produits ferreux qui ont servi à acquérir le métal dont sont faits les bandages reste difficile à appréhender. Néanmoins, le nombre de groupes chimiques identifiés (19) laisse à penser que ces réseaux s'appuient sur de nombreuses sources de métal. Dans ce contexte précis, il est peu probable que la production de métal brut ait été centralisée, reposant sur l'exploitation intensive d'un seul type de gisement de minerai de fer. Le nombre important d'origines inconnues rend également délicate l'évaluation de l'ampleur de ces réseaux d'échange. Le fait d'avoir identifié des sources de métal localisées dans l'est du Bassin Parisien suggère que ces réseaux ont une ampleur au moins régionale. Il est probable que ces réseaux s'étendaient à une échelle transrégionale.

Bien qu'il faille encore raisonner sur un corpus de taille relativement restreinte, cette première étude systématique sur des bandages de roue d'époque laténienne ouvre de nombreuses pistes de réflexion particulièrement stimulantes quant à la structuration des échanges d'alliages ferreux en Europe occidentale au début du second âge du Fer. Il serait intéressant à l'avenir de confronter ces données aux connaissances relatives aux différentes formes d'organisation du travail du fer, notamment à l'échelle du Bassin Parisien dans sa totalité, pour saisir avec plus de précisions la réalité des activités des forgerons laténiens et les trames relationnelles au sein desquelles ils agissent.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à remercier Laurent Olivier, conservateur général au Musée d'Archéologie Nationale, chargé des collections celtique et gauloise, pour avoir permis l'échantillonnage des bandages de roue conservés dans ce musée, ainsi que pour les discussions scientifiques qui ont pris place à cette occasion. Cette étude a bénéficié d'un financement de l'ANR à travers le programme CIPIA 'The Circulation of Iron Products in the Iron Ages'.

Bibliographie

Baray, L., 2008. Dimension socio-économique et symbolique des dépôts funéraires aristocratiques d'Europe occidentale (VIII^{e}-I^{er} s. avant J.-C.). *Préhistoires Méditerranéennes*, 14, 2008 : 183-208.

Bauvais, S., 2008. Du prestige à la proto-industrie : évolution des pratiques sidérurgiques au second âge du Fer dans le nord du Bassin parisien. *The Arkeotek Journal*, 2.

Bauvais, S., Berranger, M., Boukezzoula M., Leroy, St., Disser, A., Vega, A., Aubert, M., Dillmann, Ph., Fluzin, Ph., 2018a. 'Guard the Good Deposit' : Technology, Provenance and Dating of Bipyramidal Iron Semi-Products of the Durrenentzen Deposit (Haut-Rhin, France). *Archaeometry*, 60, (2) : 290-307.

[5] Par ce terme, nous qualifions les formes sous lesquelles le métal circule entre les lieux de production primaire (réduction du minerai) et les lieux d'élaboration des objets. Ces formes sont variables : masses brutes de métal (loupes), barres, « lingots », etc. (Berranger 2014).

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Bauvais, S., Disser, A., Dillmann, Ph., 2018b. La métallurgie du fer à l'âge du fer dans le bassin versant du Crould : organisation des productions et études de provenance, dans C. Touquet Laporte-Cassagne (ed.) - Les sites ruraux du second âge du fer dans le bassin versant du Crould en Val-d'Oise et ses marges. Paris : Revue Archéologique d'Ile-de-France : 453-506.

Bauvais, S., Berranger, M., Disser, A., Dillmann, Ph., Leroy, St., & Fluzin, Ph., 2021. Le fer des principautés : « L'Économie du fer » dans le nord-est de la France au Hallstatt D et à La Tène A1. *In* : P. Brun, B. Chaume, F. Sacchetti (ed.), Vix et le phénomène princier des VI^{e}-V^{e} s. av. J.-C. Colloque de Châtillon-sur-Seine, 2016. Bordeaux : Éditions Ausonius, (DAN@ 5).

Berranger, M. 2014. *Le Fer, entre matière première et moyen d'échange, en France, du VII^{e} au I^{er} siècle avant J.-C. : approches interdisciplinaires.* Editions Universitaires de Dijon, Dijon, 382 p.

Berranger, M., Bauvais, S., Boukezzoula M., Leroy, St., Disser, A., Vega, A., Aubert, M., Dillmann, Ph., Fluzin, Ph., 2017. Analyse technologique, étude de provenance et datation par le radiocarbone du dépôt de demi-produits ferreux de Durrenentzen (Haut-Rhin, France) : une vision renouvelée de l'économie du fer au premier âge du Fer ». *Archéosciences, revue d'archéométrie*, 41, (1) : 45-67.

Berranger, M., Bauvais, S., 2020. Changements sociétaux et évolution de l'économie du fer du Hallstatt D à La Tène D dans le Nord-Est de la France. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 117, (4) : 641-671.

Brun, P., Chaume, B., 2013. Une éphémère tentative d'urbanisation en Europe centre-occidentale durant les VI^{e} et V^{e} siècles av. J.-C. ? *Bulletin de la Société préhistorique française*, 110, (2) : 319-349.

Demoule, J.-P., 1999. *Chronologie et société des nécropoles celtiques de la culture Aisne-Marne, du VI^{e} au III^{e} siècle avant notre ère.* Supplément n^{o} 15 à la Revue Archéologique de Picardie, Amiens.

Dillmann, Ph., Schwab, R., Bauvais, S., Brauns, M., Disser, A., Leroy, St., Gassmann, G., Fluzin, Ph., 2017. Circulation of iron products in the North-Alpine area during the end of the first Iron Age (6th-5th c. BC) : A combination of chemical and isotopic approaches. *Journal of Archaeological Science*, 87 : 108-124.

Disser, A., Dillmann, Ph., Leroy, M., L'Héritier, M., Bauvais, S., Fluzin, Ph., 2017. Iron Supply for the Building of Metz Cathedral : New Methodological Development for Provenance Studies and Historical Considerations. *Archaeometry*, 59, (3) : 493-510.

Husson, F., Josse, J. Pagès J., 2010. Principal component methods – hierarchical clustering - partitional clustering : why would we need to choose for visualizing data ? *Technical reports –Agrocampus. Applied Mathematics Department.*

Lambot, B., 2000. Les enclos funéraires en Champagne : indicateurs chronologiques, sociaux, culturels ? *Revue archéologique de Picardie*, 1, (2) : 147-159.

Leroy, M., Cabboi, L., (dir.) 2019. *Produire et travailler le fer : Les ateliers de l'est du Bassin parisien du V^{e} siècle av. J.-C. au X^{e} siècle apr. J.-C.* INRAP, CNRS Éditions, Paris (Recherches archéologiques 16).

Leroy, St., Cohen, S.X., Verna, C., Gratuze, B., Téreygeol, Fl., Fluzin, Ph., Bertrand, L., Dillmann, Ph., 2012. The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses. *Journal of Archaeological Science*, 39, (4) : 1080-1093.

Milcent, P.-Y., 2014. Hallstatt Urban Experience before the Celtic Oppida in Central and Eastern Gaul. Two Cases-Studies : Bourges and Vix. *In* M. Fernandez-Gotz, H. Wendling, K. Winger (ed.), Paths to complexity – Centralisation and Urbanisation in Iron Age Europe. Congress of EAA, Aug 2011, Helsinki, Finland. Oxbow Books, Oxford, 35-51.

Olivier, L., 2008. *Le Sombre Abîme du temps : Mémoire et archéologie.* Le Seuil, Paris.

Thouvenot, S., Verger St., 2009. Chapitre V.5. Les « chars ». *Bucy-le-Long (Aisne). Une nécropole de la Tène ancienne (V^{e}-IV^{e} s. avant notre ère). Présentations et études : une approche de la population, des sépultures et du mobilier* (Revue archéologique de Picardie, n^{o} spécial 26 : 375-392).

Van der Maaten, L.J.P., Hinton, G.E., 2008. Visualizing High-Dimensional Data Using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research,* 9 : 2579-2605.

Van der Maaten, L.J.P., Hinton, G.E., 2012. Visualizing Non-Metric Similarities in Multiple Maps. *Machine Learning,* 87, (1) : 33-55.

Verger, St., 1995. De Vix à Weiskirchen. La transformation des rites funéraires aristocratiques en Gaule du Nord et de l'Est au V^{e} siècle avant J.-C. *Mélanges de l'École française de Rome. Antiquité*, Volume 107 (1) : 335-458.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984