



HAL
open science

Composition élémentaire d'objets en alliage à base cuivreuse. Une approche de la métallurgie de l'âge du Bronze dans l'Ouest de la France

Vincent Dartois

► **To cite this version:**

Vincent Dartois. Composition élémentaire d'objets en alliage à base cuivreuse. Une approche de la métallurgie de l'âge du Bronze dans l'Ouest de la France. Bronze 2019 - 20 ans de recherches, Jun 2019, Bayeux, France. pp.125-138. hal-03880373

HAL Id: hal-03880373

<https://hal.science/hal-03880373>

Submitted on 16 Dec 2022

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.



Composition élémentaire d'objets en alliage à base cuivreuse

Une approche de la métallurgie de l'âge du Bronze dans l'Ouest de la France

Vincent Dartois

Résumé

Issue d'un travail universitaire, cette étude s'inscrit dans la recherche autour des compositions élémentaires des bronzes. Elle tente de mettre en lumière les caractéristiques des compositions des bronzes à partir d'un corpus atlantique existant, notamment produit par le laboratoire de Rennes 1. Le travail repose sur le tri et le classement des données relatives à l'alliage, aux teneurs absolues en impuretés et aux teneurs relatives en arsenic, nickel et antimoine. L'étude aboutit à une typologie des compositions qui traduit des traditions régionales et chronologiques au sein de cet espace atlantique et constitue un prisme de lecture de la métallurgie de l'âge du Bronze atlantique. L'observation des compositions permet effectivement de caractériser autrement les productions de chaque région, d'entrevoir des affinités techniques entre les groupes culturels et de mettre en lumière d'éventuelles différences dans l'approvisionnement.

Mots-clés

Métallurgie, composition élémentaire, typologie, bronze, âge du Bronze, domaine atlantique, France

Abstract

Taken from my Master dissertation, this study focusses on the elementary composition of bronze objects and in particular, on the characteristics of the copper alloy composition from an Atlantic corpus produced by the University of Rennes 1 laboratory. The study uses the sorting and classification of the alloy data, including impurities and the percentages of arsenic, nickel and antimony. The study results in a typology of compositions that reflects regional and chronological traditions within the Atlantic area and constitutes a framework for the understanding of Atlantic Bronze Age metalworking. Observing alloy compositions enables us to characterise the productions of each region in a different way, to recognise technical affinities between cultural groups and to highlight potential differences in supply.

Keywords

Metalworking, elementary composition, typology, bronze, Bronze Age, Atlantic area, France



Les analyses de composition élémentaire des métaux à base cuivre n'ont cessé de stimuler les chercheurs, notamment au niveau des échanges et de la circulation des matières premières. Elles ont d'ailleurs constitué un point central de la recherche dans les années 1990. On pense, par exemple, à la session tenue à Neuchâtel à l'occasion du colloque de 1996 intitulé « L'atelier du bronzier en Europe » (Mordant *et al.*, 1998). Le présent article, issu de travaux universitaires (Dartois, 2007 ; 2008) s'inscrit donc dans une réflexion globale autour de la caractérisation des alliages et de la détermination de traditions métallurgiques propres à certaines cultures voire à certains groupes culturels durant l'âge du Bronze. Le colloque anniversaire de l'APRAB était l'occasion, d'une part, de présenter un travail effectué dans cet intervalle de vingt ans et, d'autre part, de l'actualiser en interrogeant notamment son positionnement dans l'horizon actuel de la recherche. S'inspirant de la méthode mise en œuvre par V. Rychner pour le corpus suisse (Rychner et Kläntschi, 1995) et de la démarche d'A. Verney et A. Bocquet pour le corpus nord-alpin (Verney et Bocquet, 1998), ce travail visait à proposer une typologie des compositions et par là même à réamorcer une exploitation des nombreuses analyses réalisées par J. Briard et J.-R. Bourhis au laboratoire de l'université de Rennes 1 entre les années 1960 et 1990 (Bourhis *et al.*, 1965 ; 1969 ; 1975 ; Bourhis et Briard, 1979), ainsi que de procéder à leur saisie informatisée. Bien que de nombreux travaux aient également abordé le sujet, comme ceux de C. Véber et B. Mille pour le Nord et l'Est (Véber *et al.*, 2003 ; Véber, 2018) ou de C. Le Carlier de

Veslud concernant certains dépôts de l'Ouest (Le Carlier de Veslud *et al.*, 2015), l'observation des compositions des objets à base cuivreuse de l'Ouest de la France reste encore à explorer.

1. Définition des cadres de l'étude

1.1. Cadres géographique et chronologique

Le support géographique répond à une certaine cohérence atlantique durant la période. Néanmoins, il a fallu jalonner l'étude et adapter les ambitions à l'échelle de l'Ouest de la France. Le regard porté sur l'ensemble de l'âge du Bronze nécessitait aussi de s'adosser à un découpage chronologique. La partition chronologique classique a été conservée. Toutefois, au vu de la quantité restreinte de données concernant la première moitié de l'âge du Bronze, le Bronze ancien a été traité d'un seul tenant, contrairement au Bronze moyen traité en deux étapes et au Bronze final traité en trois. Si le groupe armoricain est bien circonscrit et cohérent au sein de chaque intervalle, les groupes du Centre-Ouest et de la Manche reflètent des réalités plus fluctuantes, notamment durant la première moitié de l'âge du Bronze. Malgré tout, cette zone d'étude correspond à une partie de la façade atlantique qui s'inscrit dès le Bronze ancien dans une particularité atlantique bien marquée face au monde continental et méditerranéen. Le cadre géographique s'articule donc entre Seine et Gironde, Maine-et-Loire et pointe finistérienne (fig. 1). La façade atlantique et la Manche nous donnent les limites occidentales de l'étude

tandis que la Gironde en constitue la limite sud. La limite orientale est plus évanescence et traduit la difficulté à percevoir les frontières, au sens de la limite indéfinie ou zone d'interface au sein de laquelle les influences bilatérales sont perceptibles de façon plus ou moins marquée. Au final, la limite choisie trace grossièrement un axe entre la Dordogne et l'Eure. L'étude couvre ainsi 18 départements, à savoir : la Charente, la Charente-Maritime, les Deux-Sèvres, la Dordogne, la Gironde, le Maine-et-Loire et la Sarthe concernent la zone Centre-Ouest ; les Côtes-d'Armor, le Finistère, l'Ille-et-Vilaine, la Loire-Atlantique, le Morbihan et la Vendée concernent la zone Armorique ; et le Calvados, l'Eure, la Manche, l'Orne et la Seine-Maritime concernent la

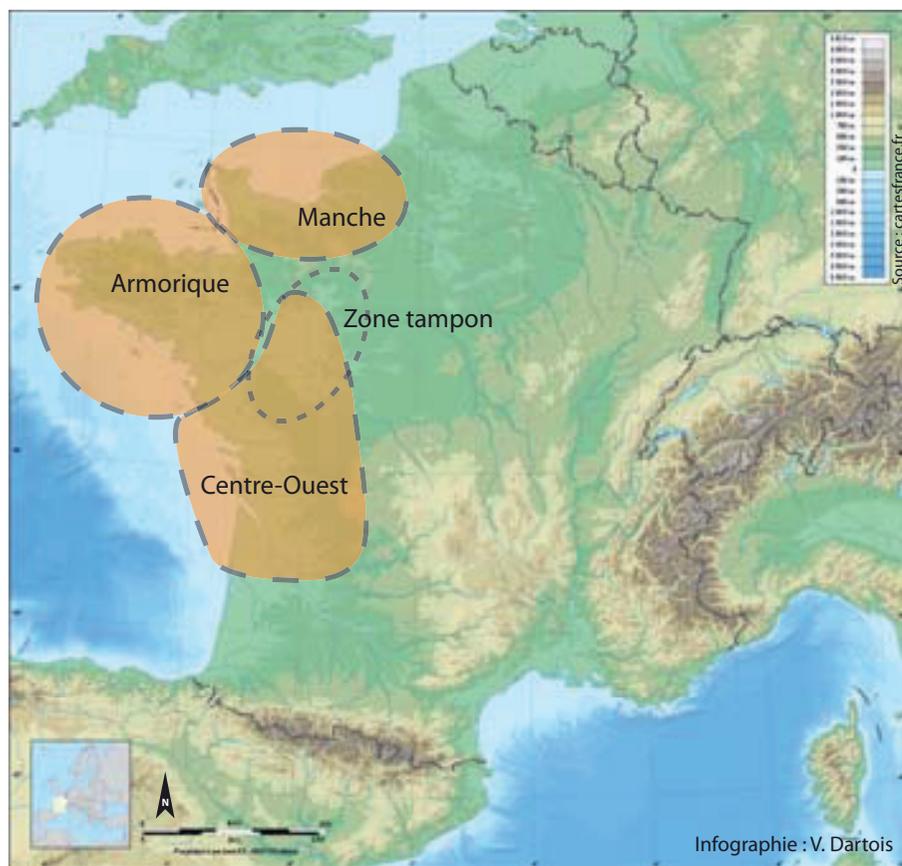


Figure 1 - Matérialisation des groupes définis pour l'étude.

zone Manche. Cette répartition est valable pour la deuxième moitié de l'âge du Bronze. Dans le cas de la zone tampon utilisée pour la première moitié de l'âge du Bronze, elle intègre le Maine-et-Loire ainsi que les objets dits du « Saumurois ».

1.2. Objectifs et problématique

Outre la saisie et la relance de l'exploitation des données notamment produites par le laboratoire de Rennes 1 entre les années 1960 et 1990, l'objectif principal de ce travail était de tenter de dégager une typologie des compositions sur la base de la triade arsenic / nickel / antimoine, impuretés principales définies par V. Rychner et Z. Stos-Gale comme cardinales (Rychner et Stos-Gale, 1998). L'arsenic et l'antimoine possèdent d'ailleurs des comportements analogues et conservent les mêmes proportions du minerai au métal (Dupouy, 1998). De même, le nickel et l'argent, qui comptent parmi les impuretés principales, conservent également leur rapport avec le cuivre mais le nickel provient du minerai de cuivre contrairement à l'argent qui, dans le cas d'ajout de plomb, peut avoir deux origines différentes et donc malgré un comportement pyrométallurgique similaire au nickel peut afficher dans ce cas un rapport Ag/Cu différent entre minerai et alliage. Le zinc et le fer, moins réductibles, ne sont pas intégrés dans la méthode. Il s'agissait de regarder si la synthèse des données permettait de mettre en évidence des particularités en fonction de la chronologie et de la dispersion spatiale et, le cas échéant, d'en tirer certaines conclusions en termes de compositions. Après avoir observé les caractéristiques des alliages au niveau des teneurs en étain et, le cas échéant, en plomb, voire en arsenic, l'objectif était de mettre en évidence le comportement de certains éléments du cortège d'impuretés, à savoir : l'arsenic, le nickel et l'antimoine. Leur comportement relatif ou leur « corrélation » (Verney et Bocquet, 1998) est abordé sous l'expression « teneur relative » dans ce travail. C'est l'étude de ces teneurs relatives qui aboutit à l'observation de schémas de composition qui sont susceptibles de varier selon l'espace et le temps comme dans le cas de la Suisse (Rychner, Kläntzchi, 1995).

Les problématiques soulevées par cette approche concernent en effet différents points. La première question réside dans le rapport simple entre la composition, la chronologie et l'espace. En d'autres termes, est-il possible de dessiner une typologie des compositions? La deuxième touche au savoir-faire et aux traditions métallurgiques qui pourraient se refléter dans des compositions particulières des teneurs en éléments majeurs que sont les éléments d'alliage. Ainsi, la typologie des compositions peut-elle être révélatrice de particularités techniques propres à chaque groupe culturel ou, comme le formulait J.-M. Dupouy, les variations de composition ne pourraient-elle pas « correspondre à des évolutions dans la technique d'élaboration » (Dupouy, 1998)? Enfin, une dernière question doit être formulée. Elle concerne également la technique et nous renvoie à la notion de catégorie fonctionnelle des objets. La question du lien entre catégorie fon-

ctionnelle d'un objet et composition se pose d'emblée, mais la représentation de chacune des catégories n'étant pas assurée pour chaque « case » chronologique définie, il a fallu renoncer dans cette approche à intégrer cette problématique. De même, cette étude ne s'attachait pas à aborder la question de l'origine du minerai.

Ce travail constitue ainsi un préalable à l'interprétation des données et ne prétend en aucun cas apporter de réponse péremptoire quant à la compréhension des éventuelles variations de composition. Il apporte une base à la réflexion autour des bronzes atlantiques, en gardant à l'esprit les facteurs de variabilité des compositions tels que l'origine du minerai (qui ne constitue pas ici la motivation première), sa préparation, son traitement, l'élaboration du métal et les éventuels recyclages intervenants dans les chaînes opératoires. Ce travail présente ainsi un essai de synthèse autour d'une forme d'exploitation des données de composition disponibles pour l'âge du Bronze atlantique au travers du prisme des éléments principaux du cortège d'impuretés.

2. Corpus d'analyses et méthodologie

2.1. Choix et limites

Au même titre que les limites chronologiques et spatiales, il a fallu poser un cahier des charges quant au recrutement des analyses. Pour la majorité, les analyses ont été réalisées entre 1965 et 1979 par P.-R. Giot, J.-R. Bourhis et J. Briard au laboratoire de l'université de Rennes 1 ; seulement quelques analyses ont été réalisées par J.-R. Maréchal pour la Normandie (Briard et Maréchal, 1958), et J.-P. Northover pour le complément des analyses de Saint-Brieuc-des-Iffs (Ille-et-Vilaine) [Briard, 1988]. Notons qu'aujourd'hui, de nouvelles analyses sont disponibles pour des découvertes récentes réalisées entre autres par le laboratoire de Rennes 1 sous la direction de C. Le Carlier de Veslud, qui analyse également à nouveau d'anciennes découvertes avec davantage de précision. Le choix des analyses a été réalisé selon deux critères : la précision de la datation et la fiabilité de la provenance des objets. Ainsi, certaines analyses dont le contexte n'est pas un minimum défini ont été écartées. Cette étape a nécessité bien sûr le renvoi aux informations sources. À cela s'ajoute de façon anecdotique, malgré la satisfaction à ces deux conditions, la mise à l'écart des analyses incomplètes concernant les éléments considérés. La question des lingots a également été sujette à discussion. Au final, les analyses faites sur des lingots n'ont pas été prises en compte dans cette étude. Les lingots ne s'inscrivent en effet pas dans la même étape de la chaîne opératoire que les objets.

2.2. Représentativité

Au total, 835 analyses ont été sélectionnées et compilées dans un corpus couvrant l'ensemble de l'âge du Bronze au sein duquel chaque période n'est malgré tout pas représentée

par un nombre équivalent d'analyses (fig. 2). On remarque d'emblée la sous-représentation du Bronze ancien au sein de chaque groupe et notamment concernant le groupe Manche. D'autres analyses existent pour le Bronze ancien mais n'ont pas été intégrées au moment de l'étude par méconnaissance. Le Bronze moyen I est très bien représenté dans le Centre-Ouest et l'Armorique. *A contrario*, il est sous-représenté dans les zones Manche et tampon. De même que dans le cas du Bronze ancien, les données concernant la Manche et la zone tampon ne peuvent pas être intégrées statistiquement de façon fiable. Le Bronze moyen II affiche bien sûr une forte représentation confirmant naturellement la tendance amorcée pour le Centre-Ouest et l'Armorique au Bronze moyen I. À l'instar du Bronze moyen II et du Bronze final IIIb, l'Armorique est souvent bien documentée tandis que la Manche affiche une faible quantité de données dans l'ensemble. À trois reprises, ce groupe n'est en effet représenté que par deux analyses.

Dans les cas d'objets analysés deux fois afin de tester l'homogénéité de sa composition, les analyses surnuméraires ont été écartées du corpus pour le traitement statistique afin de ne pas amplifier le déséquilibre déjà mis en évidence en termes de représentation des entités définies. En matière de représentativité, la question de la typologie a été assez rapidement écartée de la problématique, car il paraissait peu fiable de s'appuyer sur des données aussi déséquilibrées (fig. 3). Les haches sont largement présentes dans le corpus jusqu'au début du Bronze final où s'amorce une diversification des catégories représentées. Le Bronze final IIB-IIIa affiche par exemple un nombre d'objets variés et d'épées supérieur au nombre de haches. Enfin, aucune distinction entre milieu terrestre et milieu humide n'a été faite.

De manière générale, les quelques compositions s'écartant de la norme ont été conservées comme celle d'une hache à talon du dépôt de La Chapelle-du-Bois-des-Faulx affichant quasiment 25 % d'étain car elles sont anecdotiques parmi

les analyses retenues. Enfin, il faut garder en tête la variabilité même des résultats d'analyses d'un laboratoire à un autre comme le soulignait H. Gandois (Gandois, 2018) qui pointait « jusqu'à près 80 % d'écart moyen sur l'arsenic ou l'argent par exemple ». Ici, la très grande majorité des analyses provient du laboratoire de Rennes (près de 91,5 %). D'un point de vue relatif, nous parlons du principe que les résultats sont *a priori* cohérents entre eux. Toutefois, un biais pourrait persister si un paramètre affecte le dosage des éléments traces de façon différentielle selon les laboratoires par rapport à leur teneur réelle. En d'autres termes, les compositions relatives pourraient varier légèrement du fait qu'il pourrait y avoir des différences de dosages n'affectant que certains éléments, modifiant naturellement l'ensemble de la composition en termes de pourcentage massique. De plus, les nouvelles analyses menées par C. Le Carlier de Veslud sur des échantillons du corpus du laboratoire de Rennes montrent des différences qui poussent à prendre avec précaution les anciennes analyses. Toutefois, si les tendances affichées sont moins prononcées avec les anciennes analyses, elles demeurent cohérentes.

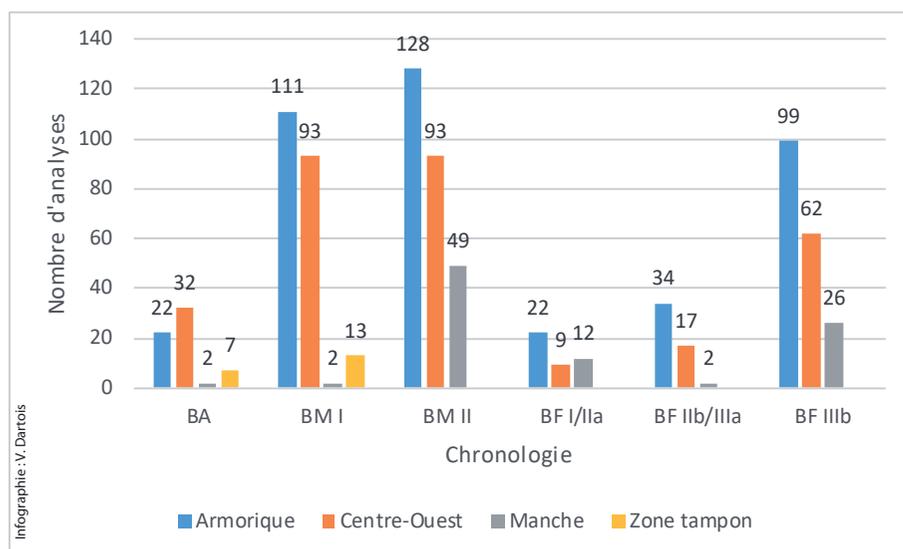


Figure 2 - Nombre d'objets analysés pour chaque groupe géographique durant l'âge du Bronze.

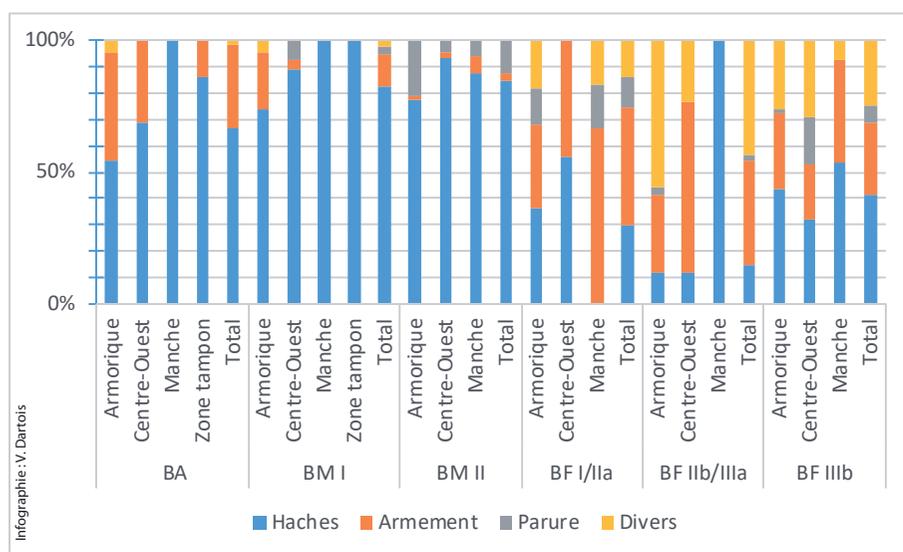


Figure 3 - Part de chaque catégorie fonctionnelle d'objets analysés pour chaque groupe géographique durant l'âge du Bronze.

2.3. Éléments chimiques considérés

Le cuivre est le principal élément de la matrice des alliages étudiés ici. Son calcul est souvent effectué par différence avec les autres éléments chimiques. Le dosage de l'étain permet de caractériser la recette de l'alliage. Le plomb est un élément plus difficile à appréhender car il peut être naturellement présent dans le minerai ou ajouté volontairement par les bronziers, comme cela devint le cas en se rapprochant de la fin du Bronze final. Les autres éléments présents dans le minerai de cuivre ont un comportement pyrométallurgique très proche de celui du cuivre et restent avec le cuivre lors de la phase de réduction. Les rapports Ag/Cu, Ni/Cu et Bi/Cu restent identiques du minerai au métal. Quant à l'arsenic et l'antimoine, leur comportement similaire induit une conservation de leur rapport entre le minerai et le métal. Par ailleurs, ces deux éléments se comportent de la même façon quelle que soit la pression en oxygène, leur élimination semble comparable. En revanche, l'arsenic s'élimine plus nettement que l'antimoine lors d'une refusion par le phénomène de vaporisation (Dupouy, 1998). Enfin, le zinc et le fer sont moins réductibles et passent de préférence dans la scorie. Ainsi, par refonte, on obtient une baisse certaine de leur teneur. Dans cette étude, nous laisserons de côté ces deux éléments. V. Rychner a observé pour la Suisse une variation des teneurs relatives et absolues en arsenic, nickel et antimoine (Rychner, Kläntsch, 1995). La même démarche est appliquée dans ce travail. On peut noter toutefois une différence entre les analyses réalisées pour l'étude de V. Rychner, plus récentes, et celles réalisées au laboratoire de l'université de Rennes 1 où le cobalt n'était pas dosé à l'époque pour des raisons techniques.

2.4. Méthode de traitement

La méthode a consisté à saisir les données puis à organiser une base de données à partir de laquelle un traitement statistique a été opéré *via* les logiciels Excel et Statistica. La première étape a consisté à caractériser les alliages des bronzes analysés, car il a été observé une différence notable de la teneur en étain des alliages du complexe atlantique par rapport au complexe nord-alpin (Rychner et Kläntsch, 1995). Mais il a fallu non seulement observer les alliages atlantiques de façon globale, mais également d'un point de vue diachronique et régional, afin de saisir d'éventuelles variations de tradition métallurgique dans le temps et dans des espaces plus réduits que le complexe atlantique. Dans un second temps, il était important de mettre en perspective l'évolution du cortège d'impuretés avec l'évolution de l'alliage. De ce fait, pour une lecture plus claire, il paraissait plus simple de présenter les graphiques de compositions des alliages et les teneurs en impuretés correspondantes sous la forme de diagrammes en barres permettant une appréhension des teneurs absolues et relatives des éléments et d'observer les corrélations éventuelles entre évolution de l'alliage et évolution des impuretés. Enfin, dans un troisième temps il s'agissait d'observer *via* des diagrammes

ternaires le comportement des trois éléments que V. Rychner a pris en compte pour l'observation des compositions des objets suisses, à savoir, l'arsenic, l'antimoine et le nickel. L'idée était donc de se doter des mêmes repères d'observation afin de faciliter d'éventuelles comparaisons. Les graphiques les plus parlants à ce sujet sont donc les diagrammes ternaires à nuages de points en deux dimensions qui permettent d'apprécier la distribution spatiale des compositions. De plus, ces diagrammes ont l'avantage de permettre une visualisation des déplacements de points, ou d'ensembles de points, synonymes de variations de composition. Ce travail a été effectué par groupe chronologique pour observer, à terme, d'éventuelles évolutions diachroniques. Étant donnée la visée spatiale, la procédure intervient dans chaque étape chronologique de manière globale et régionale pour observer des potentielles variations géographiques au sein de l'espace considéré. Il s'agit en fait de se doter de moyens de comparaison entre les différents groupes culturels à travers le temps. Enfin, la typologie escomptée est basée sur le même principe de classement que celui employé par V. Rychner. Il s'agit d'un tri statistique des compositions selon des types de schéma de composition. Sept schémas de composition ont été mis en évidence sur le modèle suivant : $As \geq Ni > Sb$ (ce schéma est donné à titre d'exemple, l'ordre des éléments et les rapports sont variables).

3. L'exploitation des données

3.1. La question des alliages

En observant les alliages du Bronze ancien, on s'aperçoit de la régularité du mélange à cette étape (fig. 4). Variant de 6,9 % pour les objets armoricains à 8,9 % pour les objets de la Manche, les teneurs en étain sont relativement groupées. Ces teneurs s'accordent bien aux résultats produits par H. Gandois pour le Bronze ancien. Les teneurs en étain des objets de son corpus hexagonal étaient comprises entre 5,0 et 9,2 % entre le Bronze A1 et le Bronze A2 (Gandois, 2018). Rappelons toutefois que les résultats concernant ici la Manche reposent sur deux analyses seulement. Le fait est que les objets du Bronze ancien ne montrent que peu de variations régionales au niveau de leur teneur en étain. Il est par ailleurs utile de préciser que les écarts-types concernant l'Armorique et le Centre-Ouest sont de l'ordre, respectivement, de 3,9 % et 3,1 %, donnant ainsi une idée à propos de la dispersion des teneurs en étain. La différence remarquable se fait, non au niveau spatial mais au niveau diachronique. En effet, les objets du Bronze moyen I présentent des teneurs en étain comprises entre 11,6 % et 13 % en moyenne, dépassant largement celles des objets du Bronze ancien. Les écarts-types s'échelonnent pour chaque division spatiale entre 2,3 % et 2,7 %, autant dire que dans ce cas encore, les teneurs en étain sont assez groupées (fig. 4). L'information importante qui ressort de cette observation est la nette augmentation de la teneur en

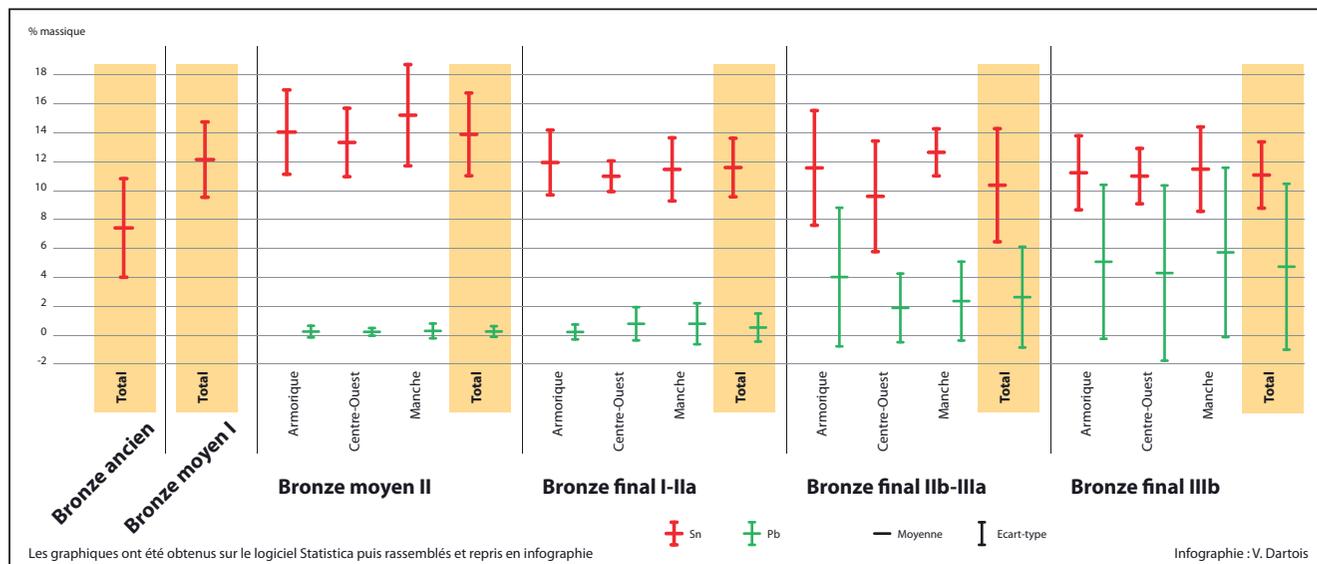


Figure 4 - Variation et variabilité des teneurs en étain et en plomb dans les alliages de l'âge du Bronze atlantique.

étain dans les mélanges atlantiques entre le Bronze ancien et le Bronze moyen I. Ceci peut laisser penser que c'est à l'approche du Bronze moyen I qu'une véritable tradition métallurgique atlantique se dessine.

Cette tendance à la hausse de la part d'étain concerne également le Bronze moyen II (fig. 4). Les objets de cette phase présentent en effet des teneurs moyennes en étain de l'ordre de 14 %, s'échelonnant, de l'Armorique à la Manche, entre 13,3 % et 14,9 %. On observe que l'étain, entre le Bronze final I-IIa et le Bronze final IIIb, ne varie en moyenne que de 0,3 % de la masse pour des valeurs comprises entre 11,2 et 11,5 %, exception faite de la teneur moyenne en étain au Bronze moyen II, atteignant donc plus de 14 %. S'agissant des écarts-types concernant l'étain, l'amplitude des teneurs peut varier de plus de 3 %. La baisse générale et progressive de l'étain dans les alliages est manifeste, sauf pour le Bronze final IIIb qui affiche un taux d'étain en général supérieur à 10 %. Cette baisse s'accompagne d'une hausse tout aussi progressive de la teneur en plomb qui devient progressivement un élément d'alliage à part entière. Une corrélation est donc à mettre en évidence entre l'étain et le plomb, non pas qu'elle soit chimique, mais que l'action du métallurgiste y soit pour quelque chose. Ce qui est visible sur les « boîtes à moustaches », c'est l'amplitude des teneurs que traduisent les écarts-types, car les moyennes absorbent les anomalies et les écarts de valeur. En l'occurrence, on peut voir que le plomb augmente dans les mélanges au cours du temps ; le plomb passe en effet du statut d'impureté au statut d'élément d'alliage aux alentours du Bronze final IIb-IIIa, mais ce qui est notable par ailleurs, c'est la considérable augmentation des écarts-types de ce même élément à l'inverse de l'étain qui voit les siens, certes forts, mais à peu près constants. Entre le Bronze moyen II et le Bronze final IIIb, le taux de plomb, en moyenne, passe de 0,25 à 5 % de la masse, soit une augmentation de facteur 20.

Au Bronze moyen II, le plomb affiche un écart-type d'environ 0,3 %, au Bronze final I-IIa de quasiment 1 % ; il appartient encore au cortège d'impuretés. Au Bronze final IIb-IIIa et au Bronze final IIIb, les moyennes élevées admettent des écarts-types passant respectivement de 3 % à plus de 5 %, ce qui signifie une totale irrégularité des teneurs en plomb dans les objets. Le principe passe donc de l'objet à faible teneur en plomb, variant peu dans l'ensemble, à un objet à teneur accrue en plomb, variant désormais de façon beaucoup plus marquée. Or cela correspond à une diversification des catégories fonctionnelles d'objets dans les dépôts à l'approche de la fin du Bronze final. L'idée de compositions différentes selon la catégorie fonctionnelle d'objets pourrait être évoquée mais une étude récente montre pour le dépôt de Surtainville daté du Bronze final IIIb, qu'outre les haches à douille qui contiennent beaucoup de plomb, les différents types d'objets restant affichent une relative homogénéité du point de vue de l'alliage (Le Carlier de Veslud *et al.*, 2018). Par ailleurs, si la variabilité peut être forte, notamment pour la teneur en étain au Bronze moyen II et au Bronze final IIb-IIIa ainsi que la teneur en plomb à partir du Bronze final IIb-IIIa, les moyennes et les écarts-types sont à peu près similaires d'un groupe à l'autre. Seul le Bronze final IIb-IIIa montre une légère disparité régionale avec un territoire septentrional à forte teneur en étain et faible variabilité et un territoire méridional déjà marqué par la très forte teneur en plomb de certains objets.

3.2. Les impuretés

Le plomb bénéficie d'une plus large place à la fin de l'âge du Bronze mais le cortège d'impuretés profite également dans certains cas d'une part plus importante. C'est ainsi qu'au Bronze moyen I, les objets de la Manche et de l'Armorique affichent des taux d'impuretés très élevés, dépassant les 2 % (fig. 5).

Dans ces deux cas, il est important de préciser que le plomb représente 1,1 % soit près de la moitié des impuretés, alors que dans les autres régions, il n'excède pas 0,4 %. La question de la provenance du minerai utilisé se pose en l'occurrence plus naturellement. Le Bronze moyen II montre également des teneurs absolues en impuretés équivalentes pour chaque zone, contrairement à la période suivante où les valeurs absolues baissent (environ 0,5 %) pour l'Armorique et le Centre-Ouest alors qu'elles repassent la barre des 1 % pour la Manche. Au Bronze final I Ib/IIIa, c'est le Centre-Ouest et la Manche qui affichent des valeurs absolues inférieures à 0,5 % alors que celles de l'Armorique explosent jusqu'à dépasser les 2 %. Enfin, le Bronze final IIIb annonce une nouvelle stabilité des teneurs absolues en impuretés avec des taux homogènes autour de 0,3 %.

3.3. Le rapport entre arsenic, nickel et antimoine et les schémas de composition

Les diagrammes ternaires à nuage de points permettent de visualiser rapidement les tendances dans les rapports des éléments entre eux et d'extraire des schémas de composition. Ces représentations permettent également de se rendre compte du nombre d'analyses mises en perspectives (fig. 6).

Ainsi, pour le Bronze ancien, représenté par 63 analyses, le manque de données est manifeste, notamment pour la Manche et la zone tampon. Néanmoins, on peut observer la faible dispersion des données pour l'Armorique avec un arsenic largement dominant tandis que le Centre-Ouest s'écarte partiellement avec une série d'objets dispersés dans une zone lâche à antimoine dominant. Pour autant, un groupe d'objets se masse dans la zone arsenic de façon claire. Si la zone tampon livre quelques objets qui semblent faiblement pourvus en nickel, les deux objets de la Manche sont eux-mêmes dispersés et de fait ne traduisent aucune tendance. Du point de vue général, l'évolution de la composition relative en arsenic, nickel et antimoine s'amorce au Bronze ancien avec une diversité de profils. On peut toutefois remarquer une prédominance de l'arsenic sur l'antimoine, lesquels dominent généralement le nickel. Le schéma $As \geq Sb > Ni$ prend le pas sur un schéma $Sb \geq Ni > As$ voire $Ni \geq Sb > As$.

Au Bronze moyen I, si le manque de données persiste encore pour la Manche et la zone tampon, la tendance générale est plus claire avec un arsenic dominant dans l'ensemble, mais davantage accompagné par le nickel. Ce phénomène est plus marqué au niveau des objets du Centre-Ouest dont le nuage plus diffus s'écarte davantage vers le nickel et le centre.

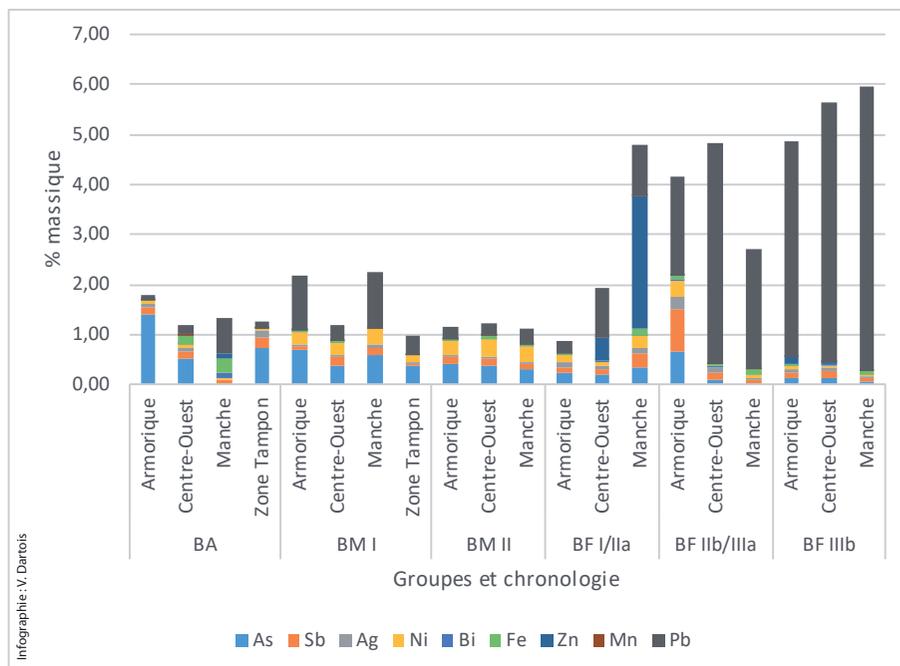


Figure 5 - Évolution de la moyenne des teneurs en impuretés au sein de chaque groupe durant l'âge du Bronze.

Les objets de la zone tampon, aussi peu qu'ils soient, semblent suivre la tendance générale. De même, les deux objets de la Manche montrent le faible rapport Sb/As, bien qu'il faille prendre ce résultat avec toute la prudence qui s'impose. Le Bronze moyen I montre donc toujours une prédominance de l'arsenic, mais le nickel prend largement le pas sur l'antimoine. Le schéma principal devient $As \geq Ni > Sb$, mais une partie du corpus s'inscrit dans le schéma $Ni \geq As > Sb$.

Le Bronze moyen II présente une apparente homogénéité. La quasi-totalité des points sont en effet regroupés sur la gauche, ce qui correspond à des teneurs dominantes en arsenic et en nickel par rapport à l'antimoine. On se retrouve donc dans un schéma de composition de type : $As = Ni > Sb$. Ce qui caractérise les objets du Bronze moyen II, c'est donc la faible teneur relative en antimoine et la distribution équilibrée des teneurs relatives en arsenic et nickel. Si le Bronze moyen II densifie le nuage, il affiche une légère migration de l'arsenic vers le nickel de sorte que les schémas $As \geq Ni > Sb$ et $Ni \geq As > Sb$ sont représentés de façon à peu près équivalente. Une partie du corpus est par ailleurs attirée vers le centre du diagramme et montre ainsi une part non négligeable tendant à gagner en antimoine.

Malgré son affection due à un manque de données, le Bronze final I-IIa affiche une tendance proche de celle du Bronze moyen II. L'Armorique conserve une prédominance de l'arsenic et du nickel. Si ce n'est pour deux objets, la Manche conserve un schéma à arsenic et nickel dominant. Malgré le faible nombre d'analyses pour le Centre-Ouest, il semble que le schéma de composition migre en faveur d'un arsenic et d'un antimoine dominant. Au Bronze final I-IIa, si un groupe de points stationne donc entre arsenic et nickel selon un schéma

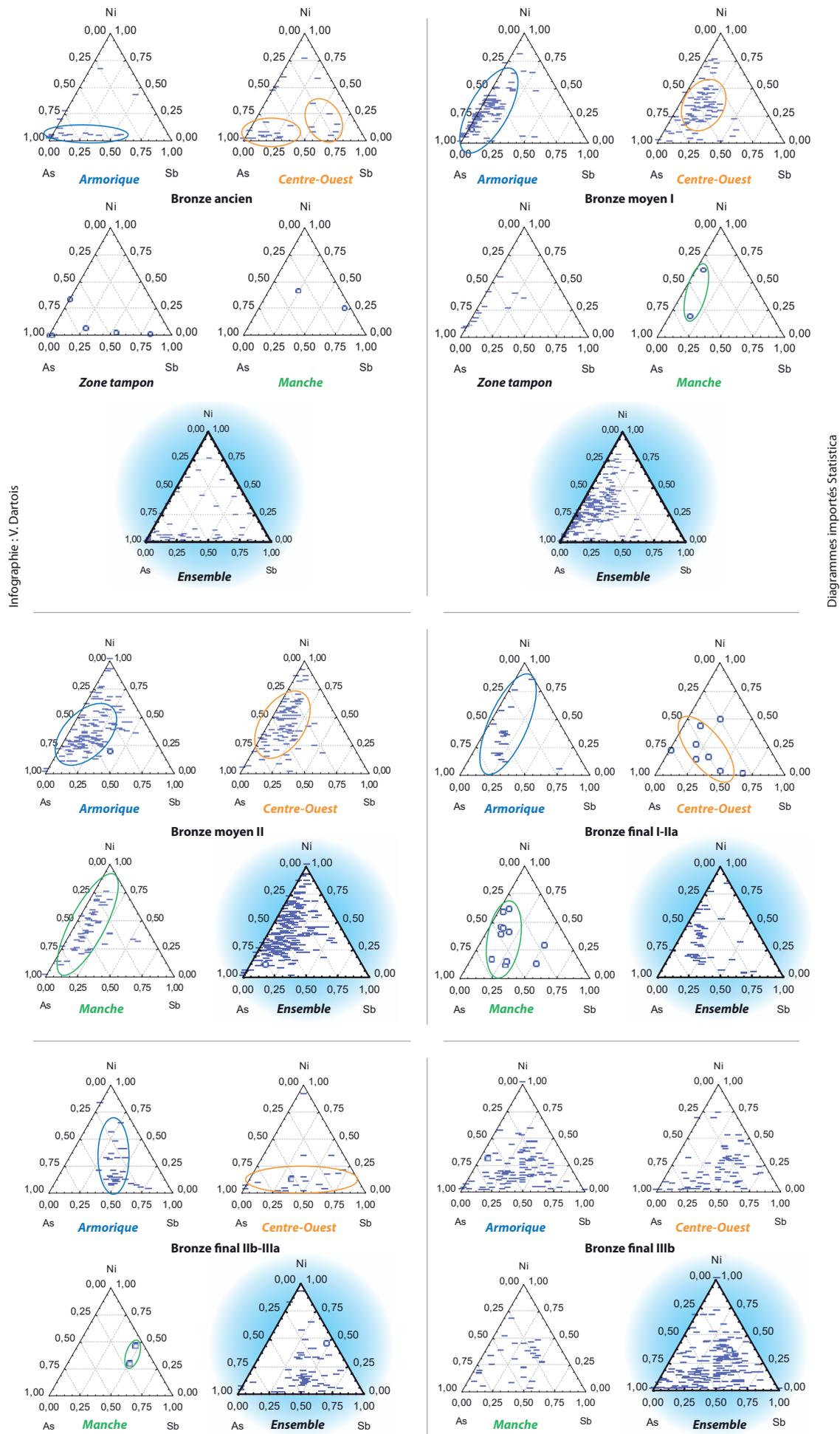


Figure 6 - Évolution par groupe et par phase des teneurs relatives en arsenic, nickel et antimoine des bronzes atlantiques.

$As \geq Ni > Sb$, quelques éléments migrent en direction de l'antimoine. La tendance générale semble en tout cas opérer une distanciation vis-à-vis du nickel.

C'est au Bronze final IIb-IIIa qu'un changement se produit. L'antimoine gagne du terrain, mais pas de la même façon au sein de chaque groupe. Ainsi, pour l'Armorique, le basculement se fait à la fois au détriment du nickel et de l'arsenic avec un déplacement net vers la droite et toujours une légère dispersion. Pour le Centre-Ouest, le basculement vers l'antimoine se fait clairement au détriment du nickel tandis que pour les deux seuls objets de la Manche, il se fait au détriment de l'arsenic. Le phénomène amorcé au Bronze final I-IIa s'accroît donc au Bronze final IIb-IIIa et va également toucher l'arsenic, avec une baisse significative des teneurs en arsenic et nickel au profit de l'antimoine. Le schéma dominant devient alors $Sb \geq As > Ni$.

Le Bronze final IIIb affiche enfin une dispersion plus importante des teneurs relatives. Néanmoins, la tendance générale semble écarter le nickel des schémas de composition au profit de l'arsenic et de l'antimoine. Ce schéma est au moins valable pour l'Armorique qui montre une distribution équilibrée entre arsenic et antimoine. Le groupe du Centre-Ouest semble montrer un sous-groupe avec une prédominance de l'antimoine sur l'arsenic et le nickel plus présent et un autre à dominante arsenic sur antimoine et pauvre en nickel. La Manche, quant à elle, montre un groupe d'objets à l'équilibre tandis que les deux autres montrent pour l'un, un antimoine bas au profit de l'arsenic, et pour l'autre un équilibre arsenic-antimoine au détriment du nickel. Le Bronze final IIIb montre au final une distribution globale très lâche. La pointe clairsemée du diagramme du côté du nickel semble traduire un schéma à arsenic et antimoine dominant, mais il faut souligner la présence d'un regroupement autour du centre indiquant un schéma proche du type $As = Ni = Sb$.

Au terme de ces observations, on voit toute la difficulté à traduire les diagrammes en termes de schémas de composition. Une certaine évanescence perdure dans les limites du découpage schématique, à laquelle il faut ajouter la marge d'erreur du dosage. Malgré tout, des tendances se dessinent et esquissent une règle atlantique qu'il s'agit encore de préciser.

4. Synthèse

Différents schémas de composition se dessinent donc au niveau de l'âge du Bronze atlantique, mais il s'agit également de les relier à l'alliage (TMA) et aux teneurs absolues (TCI) [fig. 7] afin de proposer une typologie. La teneur moyenne cumulée des trois éléments considérés (TCIM) constitue un critère de classement secondaire ou de deuxième rang pour reprendre les termes de V. Rychner et Z. Stos-Gale (Rychner et Stos-Gale, 1998). Ici également, elle peut s'inscrire dans un cadre tripartite affichant des compositions pauvres, moyennes

et riches. Le découpage de ces catégories a été opéré en fonction des résultats observés. Les compositions pauvres sont inférieures à 0,5 %, les compositions moyennes sont comprises entre 0,5 et 1 % et les compositions riches sont supérieures à 1 %.

Au Bronze ancien, la Manche semble se distinguer particulièrement des autres groupes, à la fois par sa très faible teneur cumulée en arsenic, nickel et antimoine, mais également par son schéma de composition reléguant l'arsenic à la place d'élément mineur. La rigueur impose de rappeler que ce groupe n'est représenté à cette phase que par deux analyses. Parallèlement, si le Centre-Ouest et la zone tampon se rapprochent à la fois au niveau du schéma de composition dominant et de la teneur moyenne cumulée en arsenic, nickel et antimoine, ils diffèrent nettement de l'Armorique au niveau de la teneur cumulée qui, dans ce cas, affiche un facteur 2 par rapport au Centre-Ouest et à la zone tampon avec environ 1,6 %. La Manche se place donc dans les compositions pauvres avec une teneur cumulée de 0,1 % tandis que l'Armorique montre des compositions riches et les deux autres zones se placent dans la moyenne.

Le Bronze moyen I montre une plus grande homogénéité avec un alliage stable et des teneurs cumulées en arsenic, nickel et antimoine situées dans la moyenne, excepté peut-être pour les bronzes de la zone tampon qui affichent une composition au seuil de la composition pauvre. La teneur cumulée des impuretés dosées est d'ailleurs également faible (1,30 %). On considèrera toutefois ces teneurs dans la catégorie moyenne. La tendance générale privilégie l'arsenic au détriment de l'antimoine, mais on peut rappeler la relative importance du nickel.

L'homogénéisation arrive avec le Bronze moyen II. Aux alliages très riches en étain, s'ajoutent des teneurs cumulées en arsenic, nickel et antimoine comprises entre 0,70 et 0,90 %, soit des compositions moyennes, et une prédominance de l'arsenic et du nickel.

Avec une baisse de l'étain dans le mélange et des teneurs cumulées en arsenic, nickel et antimoine moyennes à pauvres, le Bronze final I-IIa réintègre une diversité de compositions et amorce le retour de l'antimoine dans la dominante. Deux types de composition se distinguent donc mais un troisième type pourrait se former sur la base des résultats pour la Manche qui présente en effet des teneurs cumulées en impuretés très fortes (5,3 %) et en arsenic, nickel et antimoine, certes dans la moyenne, mais près de trois fois celles des autres groupes.

Outre la diversification des teneurs en étain, le Bronze final IIb-IIIa se caractérise par la croissance des teneurs en plomb et la baisse des teneurs cumulées en arsenic, nickel et antimoine, sauf s'agissant de l'Armorique qui affiche une composition très riche (1,8 %).

Le Bronze final IIIb montre une stabilisation de l'étain autour de 11 % et un plomb présent quasi systématiquement dans

Chronologie	Groupe	TMA	TCI	TCIM	Schéma type de composition dominant
Bronze ancien	Armorique	Sn : 6,9 %	2,40%	1,60%	As > Sb ≥ Ni
	Centre-Ouest	Sn : 7,8 %	1,70%	0,70%	As > Sb ≥ Ni et Sb > Ni > As
	Manche	Sn : 8,9 %	2,10%	0,10%	Ni > Sb > As et Sb > Ni > As
	Zone tampon	Sn : 7,2 %	1,60%	0,90%	As > Sb ≥ Ni et Sb ≥ As > Ni
	Ensemble	Sn : 7,7 %	1,40%	0,80%	As ≥ Sb ≥ Ni
Bronze moyen I	Armorique	Sn : 11,6 %	2,80%	1,00%	As ≥ Ni > Sb
	Centre-Ouest	Sn : 13,0 %	2,00%	0,80%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As > Sb
	Manche	Sn : 12,4 %	2,60%	1,00%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As > Sb
	Zone tampon	Sn : 11,4 %	1,30%	0,50%	As ≥ Ni > Sb
	Ensemble	Sn : 12,1 %	1,60%	0,80%	As ≥ Ni > Sb
Bronze moyen II	Armorique	Sn : 13,3 %	2,00%	0,80%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As > Sb
	Centre-Ouest	Sn : 14,0 %	2,60%	0,90%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As > Sb
	Manche	Sn : 15,2 %	2,10%	0,70%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As > Sb
	Ensemble	Sn : 14 %	1,20%	0,80%	As ≥ Ni > Sb ou Ni ≥ As > Sb
Bronze final I-Ila	Armorique	Sn : 11,9 %	1,50%	0,50%	As ≥ Ni > Sb
	Centre-Ouest	Sn : 11,0 %	1,90%	0,40%	As > Sb ≥ Ni
	Manche	Sn : 11,5 %	5,30%	0,90%	As ≥ Ni > Sb
	Ensemble	Sn : 11,5 %	1,40%	0,60%	As ≥ Ni > Sb ou As ≥ Sb ≥ Ni
Bronze final IIb-IIIa	Armorique	Sn : 9,6 % / Pb : 1,9 %	3,70%	1,80%	Sb ≥ As > Ni
	Centre-Ouest	Sn : 11,6 % / Pb : 4,0 %	0,60%	0,20%	Sb > As > Ni et As > Sb > Ni
	Manche	Sn : 12,7 % / Pb : 2,4 %	2,30%	0,10%	Sb ≥ Ni > As
	Ensemble	Sn : 11,3 % / Pb : 2,8 %	1,0 % (sans Pb)	0,70%	Sb ≥ As > Ni
Bronze final IIIb	Armorique	Sn : 10,9 % / Pb : 4,3 %	3,20%	0,30%	As ≥ Sb > Ni et Sb ≥ As > Ni
	Centre-Ouest	Sn : 11,2 % / Pb : 5,1 %	1,30%	0,30%	As ≥ Sb > Ni et Sb ≥ As > Ni
	Manche	Sn : 11,4 % / Pb : 5,7 %	1,20%	0,20%	As ≥ Ni > Sb et Ni ≥ As ≥ Sb
	Ensemble	Sn : 11,2 % / Pb : 5 %	0,4 % (sans Pb)	0,30%	As ≥ Sb > Ni ou Sb ≥ As > Ni

Lorsque le plomb est un élément d'alliage la teneur cumulée en impuretés dosées est calculée sans plomb
 Les valeurs sont exprimées en pourcentage massique

Teneur pauvre

Teneur moyenne

Teneur riche

TMA : Teneur moyenne en élément d'alliage

TCI : Teneur moyenne cumulée en impuretés dosées, éléments Pb, As, Sb, Ag, Ni, Bi, Fe, Zn, Mn

TCIM : Teneur moyenne cumulée As/Sb/Ni

Figure 7 - Synthèse détaillée des compositions par groupe et par phase.

des teneurs très variables atteignant parfois presque 24 % comme les haches à douille de Saint-Yrieix (Charente, analyse 663) ou Plomeur (Finistère, analyse 748).

Dans l'ensemble, l'arsenic domine assez largement les schémas de composition, sauf au Bronze moyen II où le nickel peut dominer aux côtés de l'arsenic et au Bronze final IIb-IIIa où l'antimoine peut devenir l'élément majeur de la triade. Cette tendance à la présence importante de l'antimoine perdure au Bronze final IIIb. Parallèlement, l'alliage montre une courbe dessinant une parabole avec son sommet au Bronze moyen II. La teneur en étain ne cesse en effet de croître jusqu'à cette phase avec 14 % en moyenne, mais certains objets comme une hache du dépôt de La Chapelle-du-Bois-des-Faulx (Eure, analyse 384) peuvent atteindre près de 25 % d'étain. Dans ce cas, nous l'avons évoqué plus haut, la question d'une analyse aberrante est possible. Comme on le sait, la part d'étain diminue ensuite au profit non pas du cuivre mais du plomb qui, à partir du Bronze final IIb-IIIa, accède au statut d'élément d'alliage jusqu'à caractériser presque à lui seul les bronzes atlantiques. Lorsque l'on regarde les teneurs moyennes en impuretés cumulées (sans le plomb au Bronze final IIb-IIIa et IIIb qui devient un élément d'alliage), on observe leur baisse importante qui s'amorce au

Bronze final IIb-IIIa et s'amplifie au Bronze final IIIb. Cette baisse s'explique forcément en partie par le retrait de 100 % du plomb dans la somme, d'où l'importance de mettre en perspective les lingots. Le taux de plomb dans les lingots de production du Bronze final IIIb notamment pourrait permettre de se faire une idée de la partie à rajouter aux impuretés hors ajout volontaire. Au niveau des teneurs cumulées en arsenic, nickel et antimoine, on observe une certaine constance à l'exception du Bronze final IIIb qui divise par 2,5 le pourcentage massique de ces trois impuretés.

5. Discussion

Au final, cette proposition de typologie basée sur des données maintenant anciennes obtenues entre les années 1960 et 1990 a pour mérite d'alimenter la discussion autour des traditions métallurgiques régionales et indirectement de l'approvisionnement en matières premières. Au-delà, cette étude permet de caractériser ce qui peut être considéré comme les productions de chaque région de l'Ouest de la France durant l'âge du Bronze et complète les données nécessaires aux comparaisons avec la zone continentale.

Aux tendances déjà connues des alliages atlantiques à présenter une forte proportion d'étain (Cordier et Gruet, 1975 ; Véber *et al.*, 2003) contrairement aux alliages lorrains, nord-alpins ou suisses, et une augmentation progressive de la part de plomb dans des proportions plus importantes dans le domaine atlantique que dans le domaine continental, s'ajoutent des nuances au sein du domaine atlantique amenant à dessiner une première discrimination davantage chronologique que régionale du point de vue de la teneur en élément d'alliage. Si des variations régionales semblent s'esquisser durant la période, malgré un déséquilibre des données dans certains cas, la tendance est donc à la hausse générale de la proportion d'étain jusqu'au Bronze moyen II avant son repli durant le Bronze final. On peut y voir malgré de fortes variabilités une forme d'homogénéisation des pratiques métallurgiques avec une spécificité atlantique au niveau de l'utilisation de l'étain et du plomb. Les teneurs en étain au Bronze final des objets continentaux, suisses, lorrains ou alpins n'excèdent pas 10 % et se situent généralement autour de 6 ou 7 %. Même si le phénomène général est à la baisse de la teneur en étain dans ces deux grands domaines culturels, deux traditions semblent s'opposer. Le domaine atlantique ne manque par ailleurs pas d'étain. Les écarts-types au niveau de l'étain peuvent traduire aussi bien une variabilité normale que des recettes différentes concernant le mélange (Verney et Bocquet, 1998). L'augmentation des écarts-types au niveau du plomb à partir du Bronze final IIB-IIIa est quant à elle peut-être à mettre en perspective avec la diversification des catégories fonctionnelles d'objets dans les dépôts à l'approche

de la fin du Bronze final. L'idée de compositions différentes selon la catégorie fonctionnelle d'objets n'est pas nouvelle et a été montrée pour le corpus alpin (Verney, 1994) où, par exemple, la baisse d'étain pour les haches et les bracelets entre le début et le milieu du Bronze final est accompagnée d'une augmentation d'étain s'agissant des épingles. Le rapport de la teneur en étain et en plomb à la catégorie fonctionnelle demeure donc un point qu'il s'agira d'approfondir par la multiplication des analyses ou par la pondération des données afin de pallier le manque de représentation de certaines catégories.

Les teneurs cumulées du cortège d'impuretés font apparaître des différences régionales dès le Bronze ancien avec toutefois une prudence quant à cette lecture au vu du faible nombre d'analyses. Mais on s'aperçoit en regardant les impuretés majeures (As, Ni, Sb) que leurs teneurs cumulées sont pourtant radicalement différentes entre Armorique et Manche (1,6 % et 0,1 %) de même que le schéma de composition à nickel ou antimoine dominant. Au Bronze moyen I, la zone tampon affiche des teneurs cumulées moins riches que les autres zones malgré un schéma de composition dominant identique. Au Bronze moyen II, une norme se dessine à l'échelle de la zone étudiée. Au Bronze final I-IIa, c'est le corpus de la Manche qui, malgré un schéma de composition dominé par l'arsenic à l'instar de ses voisins, affiche de fortes teneurs cumulées. Un traitement technique identique mis en œuvre sur une matière première d'origine différente est envisageable. De même, l'Armorique au Bronze final IIB-IIIa suit la même règle avec un schéma de composition similaire

	As \geq Ni>Sb	As>Sb>Ni	As \geq Sb>Ni	As>Sb \geq Ni	Ni>Sb>As	Ni \geq Sb \geq As	Ni \geq As>Sb	Ni \geq As \geq Sb	Sb>As>Ni	Sb \geq As>Ni	Sb \geq Ni>As	Sb>Ni>As
Bronze ancien				Armorique Centre-Ouest Zone tampon	Manche						Zone tampon	Centre-Ouest Manche
Bronze moyen I	Armorique Centre-Ouest Manche Zone tampon						Centre-Ouest Manche Suisse					
Bronze moyen II	Armorique Centre-Ouest Manche						Armorique Centre-Ouest Manche					
Bronze final I/IIa	Armorique Manche Alpes			Centre-Ouest Alpes			Suisse Alpes		Alpes			
Bronze final IIB/IIIa		Centre-Ouest					Suisse Alpes		Centre-Ouest Alpes	Armorique	Manche	Suisse Alpes
Bronze final IIIB	Manche		Armorique Centre-Ouest			Alpes		Manche	Suisse	Armorique Centre-Ouest		Alpes

« Suisse » : données pour la Suisse d'après Rychner, Kläntschi 1995
 « Alpes » : données pour les Alpes françaises d'après Verney, Bocquet 1998

Infographie : V. Dartois

Figure 8 - Tableau comparatif des schémas types de teneur relative en arsenic, nickel et antimoine intégrant les données disponibles pour le groupe des Alpes et de la Suisse au Bronze final.

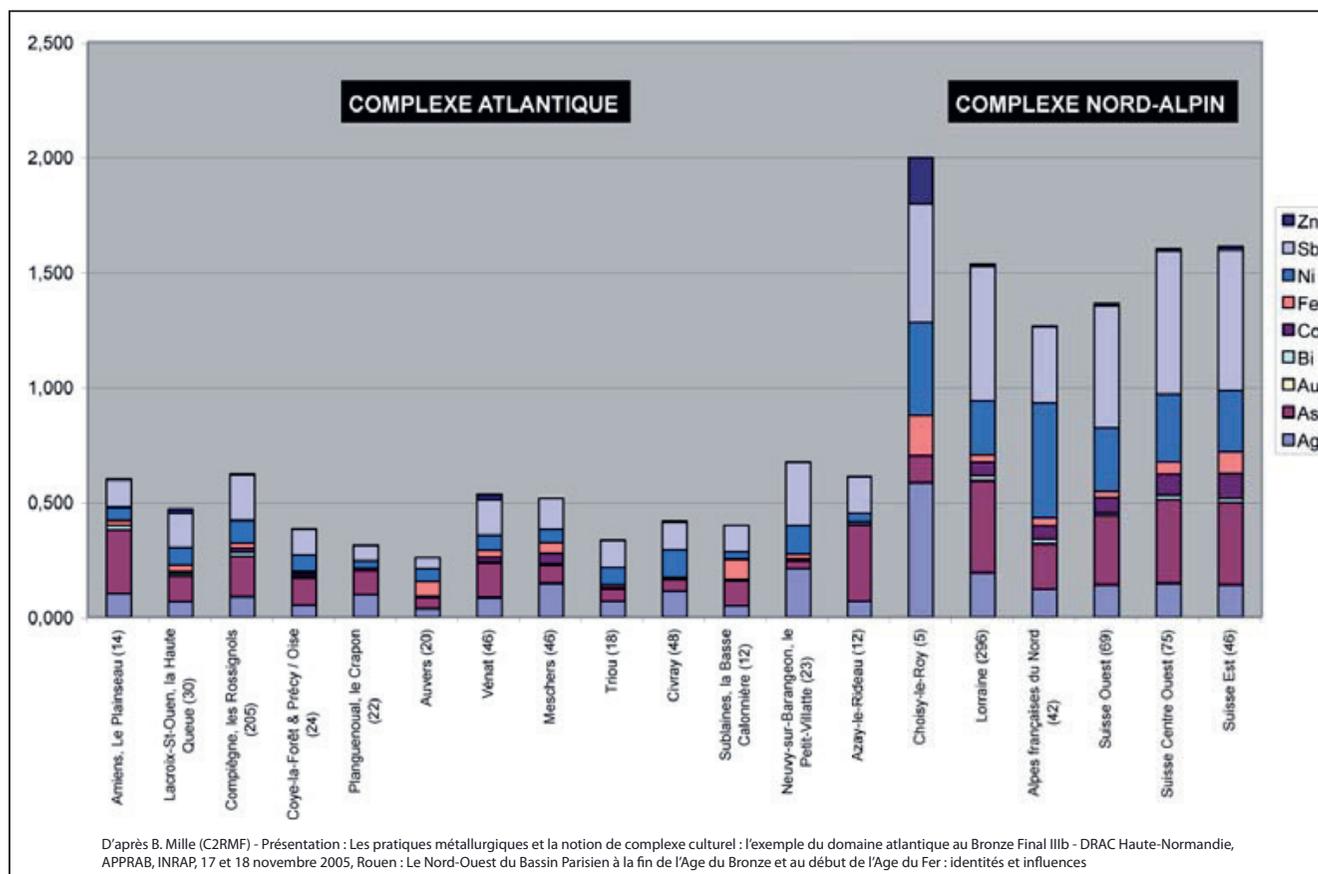


Figure 9 - Graphique comparatif des teneurs cumulées en impuretés des bronzes atlantiques et nord-alpins.

aux autres, mais des teneurs cumulées dites riches. L'intérêt d'observer divers critères de façon synchrone s'avère donc utile pour tenter de mettre en évidence des phénomènes qui, sur la base d'un seul, n'apparaîtraient pas.

Les schémas de composition établis (fig. 8) donnent également des clés de lecture des traditions techniques régionales pour chaque phase. Si dans l'ensemble et au moins jusqu'au Bronze final IIb-IIIa, la tendance à la baisse de la teneur cumulée en impuretés semble parallèle au passage progressif d'un arsenic dominant vers un antimoine dominant, des épisodes se produisent et semblent illustrer des temps forts et des affinités entre certaines entités géographiques. Ainsi, le Bronze moyen I voit davantage se rapprocher Manche et Centre-Ouest avec la prédominance du nickel sur une partie du corpus, tandis que le reste du corpus est homogène. Cette prédominance du nickel renvoie à la Suisse qui, à cette période, livre un corpus au même schéma de composition. La question d'un approvisionnement différent en matières premières par rapport à l'Armorique pour une partie des objets est envisageable. Une étude récente montre l'origine probable de la mine de Great Orme (pays de Galles) du cuivre des objets de Tréboul (Williams et Le Carlier de Veslud, 2019). La faible variabilité des analyses des objets du Bronze moyen II contraste donc avec celle des analyses de la phase précédente, notamment au niveau de l'alliage et des teneurs cumulées en impuretés. Ces observations trouvent un écho dans les travaux sur la transition entre Bronze moyen I et Bronze moyen II (Le Carlier

de Veslud *et al.*, 2017). Le Bronze final I-IIa semble ensuite amorcer un changement avec deux événements dans la typologie. D'abord, il y a la montée de la teneur relative en antimoine en Centre-Ouest, puis il y a le pic de la teneur cumulée en impuretés au niveau du corpus de la Manche. Le premier point peut traduire un procédé d'affinage provoquant un phénomène comme la volatilisation, favorisant l'élimination de l'arsenic mais pas celle de l'antimoine (Dupouy, 1998). Il peut également traduire un changement dans l'approvisionnement. Le second revient aussi sur la question d'approvisionnement à partir des faibles teneurs cumulées en impuretés qui caractérisent notamment le Bronze final atlantique par rapport aux fortes teneurs cumulées en impuretés des objets alpins (fig. 9). Le Bronze final IIb-IIIa concrétise le passage à l'antimoine dominant, mais conserve des particularités régionales avec un arsenic encore bien présent en Centre-Ouest, mais relégué en mineur du côté de la Manche. Cela peut illustrer des variations techniques régionales mais surtout traduire une différence dans l'origine du cuivre entre la Bretagne (sud notamment) et les Pays de la Loire – Centre-Ouest d'une part, et la Normandie, zone tampon d'autre part. En revanche, la composition riche en arsenic, nickel et antimoine du corpus armoricain renvoie au cas de la Manche à la phase précédente. Si la Suisse et les Alpes conservent une dominante nickel sur une partie de leur corpus, ce dernier engage également une migration vers l'antimoine. Au Bronze final IIIb, si les compositions sont dans l'ensemble pauvres en

éléments du cortège d'impuretés liées à la matrice principale pour reprendre les termes de A. Verney, contrairement à celles du domaine continental, les schémas de compositions traduisent en partie l'héritage de la phase précédente avec la prédominance de l'antimoine sur une partie du corpus excepté pour celui de la Manche qui retrouve des caractéristiques des corpus du Bronze moyen I.

6. Conclusion

Si cette typologie des compositions a vocation à être affinée et complétée par l'accroissement du corpus et surtout par la précision des analyses actuelles, elle constitue un prisme de lecture de la métallurgie de l'âge du Bronze et montre bien quelques grandes tendances. Des travaux récents sur la composition et la typologie ont abordé la relation entre composition et chronologie à une échelle plus réduite de la Bretagne et de la Manche sur la base de quelques dépôts et montré aussi la corrélation composition-typologie (Le Carlier de Veslud *et al.*, 2015). L'observation des compositions permet effectivement de caractériser les productions de chaque région, d'ob-

server des traditions métallurgiques différentes selon l'espace et le temps et aussi d'entrevoir des affinités techniques entre les groupes culturels et d'envisager des différences d'approvisionnement. Ce type de résultats peut également servir à des approches engagées pour des études de comparaisons entre des objets dits atlantiques issus de dépôts continentaux (Gabillo, 2009). Ces résultats ont vocation à être mis en perspective avec la question de la composition des lingots et enrichis voire renouvelés au gré d'analyses inédites et de l'analyse nouvelle des corpus existants.

Remerciements

Sylvie Boulud-Gazo, José Gomez de Soto, Henri Gandois, Cécile Le Carlier de Veslud et Benoît Mille.



Vincent Dartois

UMR 8215 Trajectoires
Mission archéologique départementale de l'Eure 8 rue
des Thermes 27930 Le-Vieil-Évreux
vincent.dartois@eure.fr

Bibliographie

- BOURHIS J.-R., GIOT P.-R. et BRIARD J., 1965, *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Première série*, Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie préhistorique de l'université de Rennes.
- BOURHIS J.-R., GIOT P.-R. et BRIARD J., 1969, *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Deuxième série*, Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie préhistorique de l'université de Rennes.
- BOURHIS J.-R., GIOT P.-R. et BRIARD J., 1975, *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Troisième série*, Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie préhistorique de l'université de Rennes.
- BOURHIS J.-R. et BRIARD J., 1979, *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Quatrième série*, Rennes, Travaux du Laboratoire d'Anthropologie préhistorique de l'université de Rennes.
- BRIARD J., 1988, « La métallurgie du groupe de Saint-Brieuc-des-Iffs », dans BRUN P. et MORDANT C. (dir.), *Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'Urnes. Actes du colloque international de Nemours, 1986*, Nemours, Mémoires du Musée de préhistoire d'Île-de-France, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Île-de-France.
- BRIARD J. et MARÉCHAL J.-R., 1958, « Étude technique d'objets métalliques du Chalcolithique à l'âge du Bronze de Bretagne », *Bulletin de la Société préhistorique de France*, 55, 7-8, p. 422-430.
- CORDIER G. et GRUET M., 1975, « Âge du Bronze et premier âge du Fer en Anjou », *Gallia Préhistoire*, 18-1, p. 157-287.
- DARTOIS V., 2007, *Composition élémentaire d'objets en alliage à base cuivreuse. Une approche de la métallurgie de la fin du Bronze moyen et du Bronze final dans l'Ouest de la France*, mémoire de master 1 sous la direction de Sylvie Boulud-Gazo et Benoît Mille, Rennes, université de Rennes.
- DARTOIS V., 2008, *Composition élémentaire des objets en bronze de l'Ouest de la France à l'âge du Bronze. Approche diachronique et spatiale de la métallurgie atlantique de l'âge du Bronze*, mémoire de master 2, sous la direction de Sylvie Boulud-Gazo, José Gomez de Soto et Benoît Mille, Rennes, université de Rennes.
- DUPOUY J.-M., 1998, « Réflexions sur l'intérêt des proportions relatives des teneurs en impuretés métalliques et de l'analyse des impuretés non métalliques pour la connaissance de la fabrication des bronzes », dans MORDANT C., PERNOT M. et RYCHNER V. (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère, actes du colloque international « Bronze'96 » (Neuchâtel-Dijon, 1996)*, t. 1, Paris, Éditions du CTHS, p. 41-52.
- GABILLO M., FOREL B., MONNA F., NAUDIN A., LOSNO R., PININGRE J.-F., MORDANT C., DOMINIK J. et BRUGUIER O., 2009, « Influences atlantiques dans les productions métalliques en Bourgogne et Franche-Comté au Bronze moyen », dans RICHARD A., BARRAL P., DAUBIGNEY A., KAENEL G., MORDANT C. et PININGRE J.-F. (dir.), *L'isthme européen Rhin-Saône-Rhône dans la Protobistoire. Approches nouvelles en hommage à Jacques-Pierre Millotte (Besançon, 16-18 octobre 2006)*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté, p. 133-143.

- GANDOIS H., 2018, « L'adoption du bronze à l'étain en France », dans BOULUD-GAZO S. et MÉLIN M. (dir.), *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche-Mer du Nord*, vol. 2 : *Actes des séminaires archéologiques de l'ouest (2008, 2009 et 2010)*, Le Poiré-sur-Vie, Bulletin de l'APRAB, supplément 4, p. 117-126.
- LE CARLIER DE VESLUD C., LE BANNIER J.-C. et MARCIGNY C., 2018, « Analyses chimiques de dépôts métalliques terrestres de la Manche (Agneaux, Hallstatt D2-D3 et Surtainville, BFa 3) : des compositions chimiques distinctes marquant deux horizons métalliques bien différenciés », dans BOULUD-GAZO S. et MÉLIN M. (dir.), *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche-Mer du Nord*, vol. 2 : *Actes des séminaires archéologiques de l'ouest (2008, 2009 et 2010)*, Le Poiré-sur-Vie, Bulletin de l'APRAB, supplément 4, p. 223-238.
- LE CARLIER DE VESLUD C., SALAÛN J., LE BANNIER J.-C. et MARCIGNY C., 2017, « Analyses chimiques des objets métalliques des dépôts terrestres du Bronze moyen et du Bronze final du Nord-Ouest de la France. Mise en évidence d'une chronologie basée sur des signatures identifiables », dans LACHENAL T., MORDANT C., NICOLAS T. et VÉBER C. (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVII^e-XIII^e siècle avant notre ère), colloque APRAB « Bronze 2014 » (Strasbourg, 17-20 juin 2014)*, Strasbourg, Collection Rhin-Meuse-Moselle, 6, p. 757-764.
- LE CARLIER DE VESLUD C., LE BANNIER J.-C., MARCIGNY C. et FILY M., 2015, « L'analyse chimique des objets à base cuivre protohistoriques. Des données complémentaires aidant à l'attribution chronologique des dépôts », *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*, 13, p. 81-86.
- MORDANT C., PERNOT M. et RYCHNER V., 1998, *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère, actes du colloque international « Bronze'96 » (Neuchâtel-Dijon, 1996)*, t. 1, Paris, Éditions du CTHS.
- RYCHNER V. et STOS-GALE Z., 1998, « Compositions chimiques et isotopes du plomb : la production métallique de l'âge du Bronze moyen et du Bronze final en Suisse », dans MORDANT C., PERNOT M. et RYCHNER V. (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère, actes du colloque international « Bronze'96 » (Neuchâtel-Dijon, 1996)*, t. 1, Paris, Éditions du CTHS, p. 153-174.
- RYCHNER V. et KLÄNTSCHI N., 1995, « Arsenic, nickel et antimoine : une approche de la métallurgie du Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrométrique », *Cahiers d'archéologie romande*, 2 t. 63-64.
- VÉBER C., 2018, « Les pratiques métallurgiques et la notion de complexe culturel : l'exemple du domaine nord-alpin », dans BOULUD-GAZO S. et MÉLIN M. (dir.), *Contributions à l'archéologie de l'âge du Bronze dans les espaces atlantiques et Manche-mer du Nord*, vol. 1 : *Actes de la table ronde de Rouen (17-18 novembre 2005)*, Le Poiré-sur-Vie, Bulletin de l'APRAB, supplément 3, p. 337-346.
- VÉBER C., MILLE B. et BOURGARIT D., 2003, « Analyse élémentaire des dépôts lorrains : essai de caractérisation d'une production métallique de la fin de l'âge du Bronze », dans GIUMLIA-MAIR A. et LO SCHIAVO F. (dir.), *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie. Actes du XIV^e congrès UISPP, Liège (2001)*, Oxford, BAR international Series, p. 67-76.
- VERNEY A. et BOCQUET A., 1998, « La composition élémentaire d'objets du Bronze final des Alpes françaises du Nord : premiers résultats », dans MORDANT C., PERNOT M. et RYCHNER V. (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère, actes du colloque international « Bronze'96 » (Neuchâtel-Dijon, 1996)*, t. 1, Paris, Éditions du CTHS, p. 101-118.
- VERNEY A., 1994, *Étude de la composition élémentaire d'un corpus d'objets à base cuivre de l'âge du Bronze final des Alpes françaises*, mémoire de DEA, Paris.
- WILLIAMS R. A. et LE CARLIER DE VESLUD C., 2019, « Boom and bust in Bronze Age Britain: major copper production from the Great Orme mine and European trade, c. 1600-1400 BC », *Antiquity*, 93, 371, p. 1178-1196.