

Année universitaire 2018-2019



Étude technologique du mobilier en base cuivre de la nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)

Présenté par Pierre Lamotte

Sous la direction de Caroline Robion-Brunner, Chargée de Recherche au CNRS,
Luc Laporte, Directeur de Recherche au CNRS,
Hamady Bocoum, Professeur à L'IFAN

Mémoire présenté le 13/06/2019 devant le jury du Master ASE2P
Rapporteurs : Sylvain Beauvais, et Marie-Pierre Coustures

Mémoire de Master 2 mention Histoire, Arts et Archéologie

Spécialité Arts et Cultures de la Préhistoire et de la Protohistoire : Europe, Afrique

Remerciements

Cette année plus encore que la précédente, nous devons remercier H. Bocoum de nous avoir permis de prolonger notre travail sur le mobilier métallique de la nécropole de Wanar, dans une démarche cette fois analytique dont nous mesurons toutes les responsabilités qu'elle implique. Nous remercions également L. Laporte de son conseil et de son accueil à Rennes cet hiver pour réaliser la modélisation 3D des objets. Enfin, nous remercions C. Robion-Brunner pour sa supervision, ses conseils et la patience dont elle a fait preuve, cette année et les précédentes, et M.-P. Coustures pour son aide lors des prélèvements et ses relectures.

Toute notre gratitude va envers L. Robbiola, sans qui le présent travail n'aurait pas été possible, pour ses conseils et sa passion de transmettre, pour la patience dont il a fait preuve tout en gardant sa bonne humeur et pour le temps qu'il nous a accordé.

Nous tenons également à remercier M. Drieux-Daguerre et J. Touzeau, du laboratoire de restauration Materia Viva, de leur aide pour assurer une conservation optimale du mobilier de Wanar dans la durée.

Nous remercions tous nos proches, qui, encore une fois, ne nous auront pas beaucoup vu cette année. Qu'ils sachent qu'ils restent toujours dans nos pensées.

Enfin, merci à Christelle pour nos discussions passionnantes, son encouragement et son inspirante ténacité face à la difficulté (sauf concernant l'informatique).

Introduction

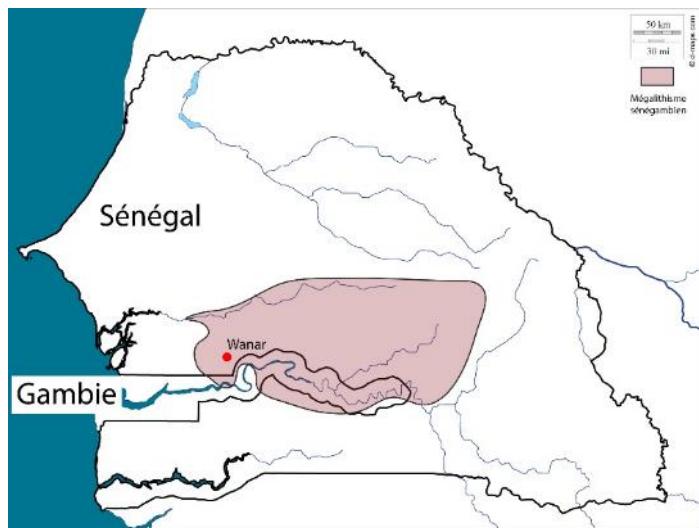


Figure 1 : La nécropole de Wanar au sein du phénomène mégalithique sénégambien.

Les objets en base cuivre comptent parmi les productions les mieux connues et les plus emblématiques de l'artisanat ouest-africain ancien (Herbert 1984 ; Garenne-Marot 1993 ; 1995 ; 2009 ; Garenne-Marot et al. 2003). Les études technologiques, et en particulier les analyses élémentaires, ont connu une période d'activité intense dans les années 1980 (Craddock 1985 ; Craddock, Picton 1986 ; Killick 2016), permettant de dégager les grands espaces de travail du cuivre et les modalités de sa circulation. L'importance de ce métal dans les relations économiques à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, comme dans les représentations symboliques ont fait l'objet de plusieurs travaux importants (Herbert 1984 ; Garenne-Marot 1993 ; 1995 ; 2009). Ce cadre, déjà bien délimité, fait du mobilier en base cuivre un moyen privilégié pour étudier l'insertion de la nécropole de Wanar, située dans la partie occidentale du phénomène mégalithique sénégambien (Figure 1), dans sa région proche, et dans les réseaux d'échange à plus longue distance.

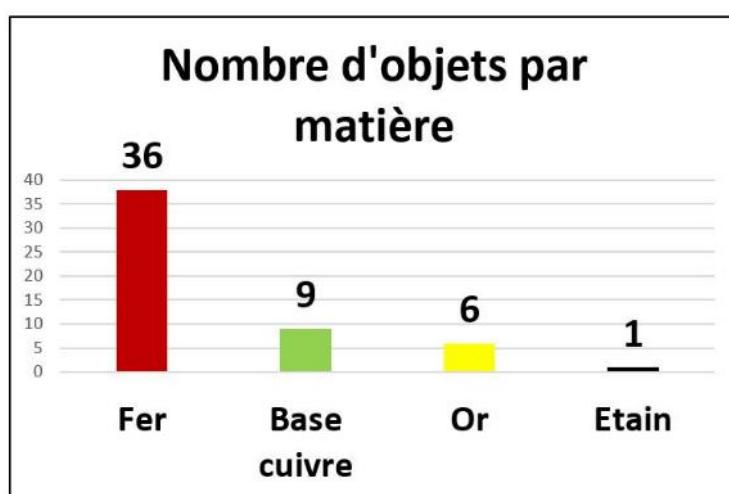


Figure 2 : Le nombre d'objets de la nécropole de Wanar, par matière. n=52

Le cuivre est, en effet, assez bien représenté au sein du mobilier métallique de la nécropole. Si le fer domine largement ce corpus de 52 objets (n=36), 9 objets en cuivre ont été trouvés, provenant de 5 des 6 monuments fouillés. L'or, également bien représenté (n=6), a été étudié par B. Armbruster. Un bracelet en étain, très abîmé, et unique dans la

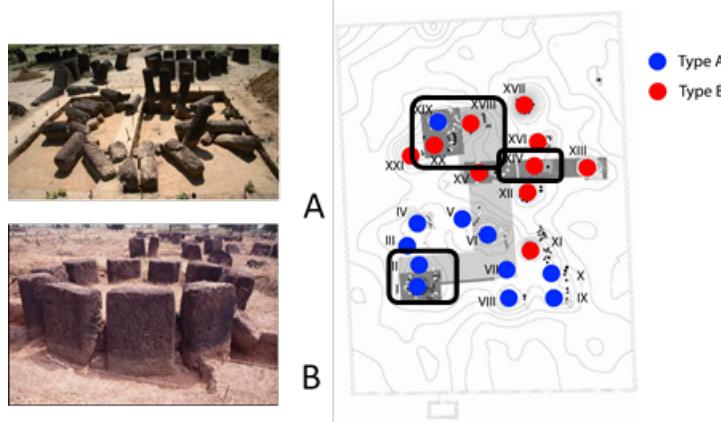


Figure 3 : A gauche, les deux types de cercles mégalithiques de la nécropole (C. L. Laporte). A droite, le plan de la nécropole (nord en haut). En rouge, les monuments de type B, en bleu les types A. Encadrés noirs : monuments fouillés (DAO L. Laporte, modif. P. Lamotte).

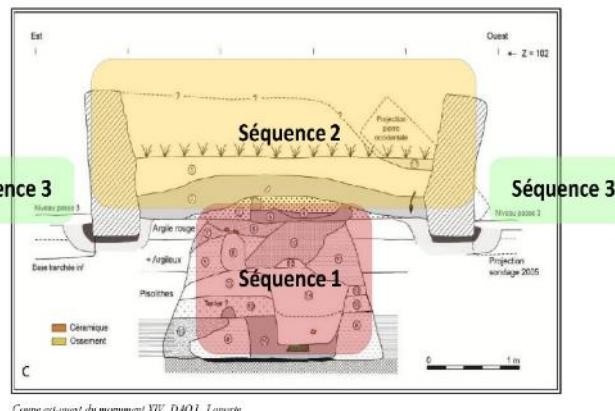


Figure 4 : Les trois grandes séquences de la vie des monuments. En arrière-plan: coupe du monument XIV, montrant les multiples comblements et recreusements dans la fosse principale.

La fouille a identifié trois grandes séquences de la vie de ces monuments (Figure 4). La première correspond à l'activité des fosses proprement dites. Elle peut se dérouler sur un temps assez long, et présente parfois des dépôts en réduction, des déplacements et prélèvements d'éléments squelettiques, des comblements partiels ou complets avec des recreusements (Cros et al. 2013). La majorité du mobilier métallique de la nécropole provient de cette séquence. A l'issue de cette activité, les fosses sont scellées, et débute la séquence 2, de monumentalisation du monument. La structure mégalithique est construite en élévation, et l'intérieur du cercle est comblé avec des gravillons de latérite. Des dépôts métalliques peuvent être associés à cette séquence. La troisième séquence correspond à une activité plutôt commémorative : des dépôts

région a également été trouvé dans la nécropole (Figure 2). Les monuments ont livré de l'armement en fer, de la parure annulaire en fer, en base cuivre et en étain, et des perles en or et en base cuivre. Le mobilier en base cuivre provient des deux types de cercles mégalithiques identifiés sur la nécropole, A et B. Les monuments de type A sont caractérisés par des monolithes longs et élancés, tandis que ceux des monuments de types B sont courts et trapus (Figure 3). La fouille a montré, en chronologie relative, l'antériorité des structures de type B sur les structures de type A, ce qui a été récemment confirmé par une série de datations radiocarbone (Laporte, Bocoum 2017). Ces datations ont également confirmé que les fosses funéraires situées sous les structures mégalithiques leur étaient bien antérieures (*Ibid.*).

céramiques successifs sont effectués en façade des monuments et de leur(s) pierre(s) frontale(s), elles-mêmes parfois érigées successivement lorsqu'il y en a plusieurs.

Le présent travail fait suite à une première étude du corpus de Wanar, sous l'angle typologique et fonctionnel. Nous nous étions notamment attaché à dégager des profils différents entre les monuments des deux types. Toutefois, concernant les objets en base cuivre, les indices les distinguant restent ténus. Le premier objectif de cette étude technologique, à l'échelle de la nécropole, est donc d'essayer de dégager un faciès technique de la nécropole, et, pourquoi pas, des faciès propres à chaque grand type de monument. Notre deuxième objectif est de nous intéresser aux gestes funéraires associés au mobilier en base cuivre. Ce mobilier fait-il l'objet d'un traitement particulier ? Le cas échéant, des éléments de symbolique peuvent-ils se dégager de ce traitement ? Que peut-il nous apprendre des pratiques funéraires à Wanar ?

Notre étude s'inscrit également dans un cadre régional. Nous avions montré, en master 1, que la nécropole s'inscrit parfaitement dans le faciès typologique du mobilier métallique de la partie méridionale de la zone sénégambienne (**Lamotte 2018**), déjà connu, pour les objets en base cuivre, à travers les travaux de L. Garenne-Marot (**Garenne-Marot 1993**). Cet espace, en revanche, se distingue nettement de la zone septentrionale des sites du fleuve Sénégal (**Lamotte 2018**). Il est caractérisé par la présence de trois phénomènes funéraires différents. Le mégalithisme sénégambien, dont fait partie la nécropole de Wanar ; les amas coquilliers du delta du fleuve Saloum, situés sur la côte et dont la nécropole la plus emblématique est Dioron Boumak ; et le phénomène des tumulus de sable, ou *mbanaar*, qui s'étend sur une bande nord-sud entre la vallée du fleuve Sénégal et la zone mégalithique. Ces trois phénomènes funéraires ont des particularités bien distinctes, mais partagent stylistiquement et technologiquement le même faciès mobilier en base cuivre, notamment sur le plan des alliages utilisés, qui sont des cuivres purs et des laitons faiblement et moyennement alliés (**Garenne-Marot 1993**). Notre troisième objectif est ainsi de situer la nécropole de Wanar au sein de ce faciès technologique, et dans celui, plus général, de la région sénégambienne.

Nous pouvons résumer ces interrogations comme suit : Quels sont les apports de l'étude technologique du mobilier en base cuivre de la nécropole de Wanar à la connaissance des populations de la zone sénégambienne de la protohistoire récente, et des rapports qu'elles entretiennent entre elles ?

Pour aborder ce corpus, et répondre à nos questions, nous menons une étude technologique s'attachant autant que possible à reconstituer toutes les étapes de la vie de l'objet, du produit

d'origine (« produit intermédiaire » ou « demi-produit ») aux stigmates¹ taphonomiques survenus depuis son dernier dépôt. Nous détaillons donc d'abord, en méthodologie, les grands principes de notre approche : analyse de la taphonomie des objets, marques du façonnage des objets et analyses élémentaires EDS au MEB. Nous présentons ensuite les résultats de ce travail, avant de discuter de leur signification pour la compréhension des pratiques funéraires au sein de la nécropole de Wanar, et de ses liens avec les problématiques régionales de l'histoire du cuivre.

¹ Le terme de « stigmate » est souvent réservé aux traces du façonnage des objets (Lagarde 2008 ; Gluchy 2017 ; Nordez 2017). Nous lui préférons, pour cet usage, le terme de marques ou de traces du façonnage, réservant le terme de stigmate aux résultats de l'altération taphonomique des objets.

I. Méthodologie

I.1. L'analyse des surfaces

L'analyse des surfaces des objets de notre corpus répond à quatre objectifs principaux. Nous cherchons d'abord à évaluer leur état de conservation pour guider la conduite des analyses ultérieures et nous renseigner sur leur milieu de conservation. Ces observations permettent ensuite de restituer la diachronie des altérations taphonomiques qu'ont subit les objets, dans le cadre des gestes funéraires, et de leurs interactions physico-chimiques avec leur(s) milieu(x) d'abandon. L'observation des surfaces également permet de nous renseigner sur leur méthode de fabrication, dans le but d'identifier des faciès techniques.

Nous réalisons cette étude par l'observation des surfaces à l'œil nu et à la loupe binoculaire.

I.1.1. Les altérations taphonomiques

Deux grandes catégories de stigmates taphonomiques ont été observés sur les objets : les phénomènes de corrosion (patines, encroûtements, coloration, fissures et bris) et l'action humaine (bris, mutilation, déformation, déplacements). Les phénomènes de corrosion se développent à la surface des objets en fonction de l'environnement dans lequel ces derniers ont été placés. Leur développement peut être plus ou moins rapide, s'interrompre ou reprendre (**Robbiola, Fiaud 1992**). Cette corrosion peut correspondre à un grand nombre de composés du cuivre (CuO, CuCl₃, etc.), mélangés à ceux du milieu environnant. Elle peut cependant être classée en grandes structures, dont l'identification permet de mettre en valeur des changements dans son développement, signifiant que le milieu dans lequel sont placés les objets a également changé (***Ibid.***).

Les stigmates laissés par l'être humain peuvent s'intercaler entre des phénomènes de corrosion différents, ou marquer un changement dans leur développement (interruption, reprise). Les coupures et le bris des objets sont ainsi des actions que l'on peut situer en chronologie relative par rapport au développement des phénomènes de corrosion. Cela nous permet, pour certains objets, de reconstituer le déroulement des gestes funéraires.

Afin d'étudier ces phénomènes, nous avons produit une description générale du faciès de corrosion de chaque objet, en nous inspirant du vocabulaire technique développé par R.

Bertholon (**Bertholon 2000 ; 2002**). Lorsque cela nous a paru significatif, nous avons décrit des zones particulières sur les objets, en lien notamment avec des altérations d'origine humaine. Cette description aboutit à la caractérisation des structures de corrosion telles que définies par L. Robbiola et C. Fiaud (**1992**), permettant de proposer des hypothèses sur les milieux dans lesquels les objets se sont corrodés, et de les relier aux différents gestes funéraires. Ces structures de corrosion ont été identifiées sur des bronzes (cuivre – étain), et nous verrons que nos objets sont soit des laitons, soit des cuivres purs. Toutefois, dans ce système, l'étain est considéré comme pratiquement inactif chimiquement : les différentes structures de corrosion sont essentiellement le résultat de l'altération du cuivre (phénomène de décuprification) (**Robbiola, Portier 2006**). C'est pourquoi ces structures se retrouvent aussi bien sur les bronzes que les laitons ou les cuivres purs (*Ibid.*). Les cuivres suffisamment alliés (laitons comme bronzes), ont toutefois tendance à s'altérer moins fortement en surface, car les phases plus riches en élément allié sont préservées, par un effet de pile avec les phases plus riches en cuivre. Cela produit une corrosion sélective, qui a tendance à passiver la surface des objets (en équilibre avec son milieu, et protégeant le métal situé à l'intérieur de l'objet), et à en conserver le moindre relief. Il s'agit d'une structure dite de type I (**Robbiola, Fiaud 1992**).

I.1.2. Les marques du façonnage des objets

L'identification des marques laissées sur les objets lors de leur confection ou de leur utilisation peut nous renseigner sur les étapes de la chaîne opératoire de leur fabrication, et sur l'usage qui en a été fait (**Armbruster 2000 ; Lagarde 2008 ; Nørgaard 2015 ; Gluchy 2017 ; Nordez 2017**).

Nous avons réalisé ces observations à l'œil nu, ainsi qu'à la loupe binoculaire. Les marques de façonnage ont été documentée par photographie.

I.2. Les radiographies

L'examen des radiographies des objets complète l'étude préliminaire aux analyses. Il nous renseigne sur l'état de conservation interne des objets, et parfois sur certains procédés de fabrication. Les radiographies du mobilier métallique de Wanar ont été réalisées en 2015 par le laboratoire Arc'Antique, de Nantes.

Les radiographies révèlent des différences de densités de la matière constituant les objets. Elles peuvent dévoiler des zones de soudures, des fragilités dans le métal (craquelures), ou une pénétration de la corrosion (**Gargam 2005**). Ce sont ces indices que nous avons recherchés, à la fois pour notre étude technologique, et pour établir une stratégie d'échantillonnage susceptible de livrer des résultats, en évitant les zones les plus corrodées.

Pour faire ressortir ces différences de densité, nous avons réalisé un traitement graphique des clichés radiographiques. Deux méthodes ont été utilisées, au moyen d'un logiciel de traitement d'image :

- L'inversion des noirs et des blancs, produisant un cliché radiographique en « densités inversées » qui permet de mieux percevoir certains contrastes (*Ibid.*).
- La modulation de l'intensité des niveaux de blancs et de noirs, qui permet de faire ressortir des détails provenant de zones plus ou moins denses ou épaisses de l'objet. Cela nous a permis d'estimer l'état de conservation du métal au cœur de l'objet et les hétérogénéités au sein de ces zones (*Ibid.*).

I.3. Les analyses élémentaires

Nos analyses élémentaires ont pour objectif d'identifier la teneur en éléments majeurs et mineurs des différents objets en base cuivre de la nécropole. Cette quantification nous renseigne sur les types d'alliages utilisés, à mettre en regard des données rassemblées par L. Garenne-Marot sur l'origine et la disponibilité de la matière première, et sur la symbolique du cuivre (**Garenne-Marot 1993**). Ces analyses, qui sont réalisées au moyen d'abrasions superficielles du métal, ont également dégagé des caractéristiques techniques importantes pour notre compréhension des méthodes de fabrication des objets, notamment grâce à l'étude des inclusions dans le métal. Les manipulations au MEB ont été effectuées par L. Robbiola, que nous remercions chaleureusement pour sa disponibilité et sa formation.

I.3.1. Protocole d'échantillonnage



Figure 5 : la zone d'abrasion sur l'anneau n°1.

Sur les 9 objets en base cuivre provenant de la nécropole de Wanar, 8 ont pu être emmenés en France pour étude. Ils ont tous fait l'objet d'analyses EDS au MEB. Pour des raisons de conservation, nous n'avons pas pu faire de prélèvements de matière au cœur des objets. Profitant de la grande taille de la chambre du MEB du laboratoire TRACES, nous avons donc décidé de réaliser des observations directement à leur surface. Des abrasions, de diamètre millimétrique, ont été pratiquées pour débarrasser celle-ci des produits de

corrosion (**Figure 5**). Toutes ces zones feront l'objet d'une dissimulation par le laboratoire de restauration Materia Viva.

Les abrasions ont été réalisées au moyen d'un outil multi-usage motorisé, équipé de meules abrasives en carbure de silicium, fixé sur un support et placé perpendiculairement au plan d'observation choisi. De la planéité et du polissage de nos zones d'abrasions dépendent la justesse des analyses EDS. Nous avons donc tenté d'obtenir un poli le plus fin possible. Le pré-polissage a été effectué aux grains 120 – 240 – 400 – 1200 – 4000, et le polissage a été obtenu au drap de polissage et à la pâte diamantée de taille 3µm puis 1µm.

I.3.2. Protocole d'observation

Les observations en imagerie électronique ont été réalisées avec le MEB de la plateforme archéosciences de Toulouse, de modèle EVO 25 LaB6 VP de Zeiss, à une tension de 20 KV d'accélération des électrons, adaptée à la densité de l'alliage cuivreux. L'atmosphère de la chambre était en mode de pression variable (air, P=30 Pa).

Les observations ont été principalement faites en électrons rétrodiffusés, permettant de mettre en valeur les hétérogénéités de la matière, notamment les inclusions dans le métal. L'imagerie en électrons secondaires révèle mieux les reliefs. Elle a servi à contrôler certaines zones d'analyses : planéité de la surface, présence de poussières liées au polissage diamant, présence de porosités.

Les analyses EDS ont été réalisées à 20 kcps (kilo coups par seconde) avec 200 secondes² de temps corrigé, sous vide partiel en atmosphère gazeuse, avec un système Bruker Quantax 200 – détecteur SDD XFlash 6/30. Le spectre d'émission du zinc a été calibré par déconvolution mathématique, par comparaison avec des laitons de référence fournis par la société TREFIMETAUX, de composition connue (analyses effectuées par spectrométrie optique à étincelles). L'erreur relative sur la teneur en zinc est estimée inférieure à 5%.

Une cartographie élémentaire a été réalisée lorsque les objets présentaient des hétérogénéités sur l'image en électrons rétrodiffusés. Cela a permis d'identifier la répartition des éléments sur la surface échantillonnée, et ainsi de mieux comprendre le spectre élémentaire obtenu par les analyses EDS. Grâce à ces cartographies, nous avons pu mettre en valeur des inclusions dans la matrice cuivreuse des objets, et en étudier la morphologie.

Celles-ci forment, en effet, des masses globulaires lors de la coulée, situées aux joints de grains du métal. Si les objets sont ensuite travaillés plastiquement, elles s'allongent dans le sens de l'étirement de la matière. Certaines, comme les inclusions de plomb, reprennent leur forme globulaire lors des opérations de recuit du cuivre liées au façonnage des objets, mais d'autres, comme les sulfures, gardent leur forme allongée, et continuent de s'allonger à mesure que l'objet est déformé. Nous avons appliqué une méthodologie d'étude de ces coefficients de déformation (**Pernot, Hurtel 1987**), pour reconstituer la forme approximative du produit intermédiaire tel qu'il a été coulé. Pour garantir une bonne représentativité de nos résultats, nous avons, pour chaque objet concerné, calculé le coefficient de déformation à partir de la moyenne d'au moins trois mesures. Toutefois, cette méthode suppose que les inclusions à la coulée aient une forme de pavé plus ou moins régulier, ce qui n'est pas toujours le cas : elles peuvent être sphériques, par exemple (**Figure 9**). Ainsi, le coefficient calculé doit être considéré comme seulement indicatif. Son emploi doit, à notre sens, s'accompagner d'une observation visuelle de la forme des inclusions. Lorsque le coefficient de déformation est proche de 1, mais qu'elles apparaissent allongées, elles peuvent avoir été déformées quand même, quoique très peu, ce qui a des incidences sur nos interprétations.

² Cet important temps d'acquisition garantit une bonne représentativité statistique des mesures effectuées.

I.3.3. Limites de notre approche

La marge d'erreur des résultats des analyses EDS, est d'environ 10%, à l'exception du cuivre, et du zinc où la marge d'erreur est d'environ 5%. Il faut donc interpréter les données avec cette limitation en tête. En outre, la précision des analyses décroît pour les teneurs en-dessous de 0,2 %m. Ainsi, les teneurs enregistrées en-deçà de cette limite sont à comprendre comme indicatives de la présence de l'élément considéré, mais pas de sa proportion réelle. La précision de ces analyses ne permet pas non plus de quantifier la teneur en éléments traces de nos échantillons. Ainsi, par exemple, pour deux objets composés respectivement de 0,05 %m et 0,08 %m de l'élément Mg, l'analyse EDS pourrait, dans le premier cas ne pas le détecter, dans le second cas, le détecter mais avec une quantification erronée (ex. : 0,15 %m). Nous risquerions alors de conclure que le premier objet ne contenait pas de Mg, ou en quantité extrêmement négligeable par rapport au second objet, alors même que les teneurs en Mg réelles sont très proches entre elles.

Nous devons également prendre en compte les contaminations lors des analyses. Nous avons systématiquement détecté les raies du silicium et de l'aluminium. Le silicium provient de la méthode de réalisation des abrasions : des disques abrasifs en carbure de silicium (SiC). Parfois, des taux de carbone importants ont été mis en valeur, et peuvent être attribués à l'utilisation de ces disques SiC, et à la pâte diamantée utilisée pour finir le polissage. Ensuite, les analyses ont été réalisées en pression variable ($P=30$ Pa), ce qui explique la détection systématique de l'aluminium : l'air a tendance à dévier le rayonnement électronique secondaire. L'aluminium étant présent en grande quantité dans la chambre du MEB, il est apparu sur les spectres de diffraction. La présence d'air dans la chambre explique également les teneurs en oxygène élevées relevées sur des zones non corrodées, et sans inclusions d'oxydes. Enfin, la corrosion a parfois pénétré plus profondément dans les objets, sous forme de piqûres, et nous n'avons pas toujours pu positionner nos observations sur des zones complètement dépourvues d'oxydes. Les résultats de nos analyses sont donc exprimés en pourcentage massique (%m) sur la base d'une normalisation à 100%. Le choix des éléments à retenir pour ce calcul a été établi en tenant compte des éléments exogènes au métal précédemment cités, à partir de l'examen visuel et informatique des spectres de dispersion.

Les biais de l'échantillonnage sont également à prendre en considération. De nombreux facteurs peuvent modifier la composition des alliages, intervenant dès la réduction du minéral comme les hétérogénéités dans un même minéral, les méthodes de réduction (température de

réduction, grillage et concassages préalables), les paramètres de coulée (température et atmosphère lors de la fusion, phénomènes de ségrégation de phase notamment lors du refroidissement du métal, mélange de métaux de provenance différente) ou la taphonomie du cuivre (**Mille, Bourgarit 2000**). Ainsi, les études de provenance des métaux sur la base de la caractérisation élémentaire doivent prendre en compte les éléments présents à l'état de trace dans le métal, et les documenter de manière exhaustive, après étude métallographique (*Ibid.*). Notre étude ne concerne que quelques centaines de μm carrés de la surface des objets, ce qui ne permet pas de s'intéresser à ces questions. Même en appliquant une méthodologie complète d'analyses élémentaires sur les objets, il faudrait alors prendre en compte les différentes étapes de la chaîne opératoire de leur fabrication, du mineraï à l'objet, et connaître précisément la géologie de la région entière (*Ibid.*). Ces données ne sont pas disponibles pour la région sénégambienne.

Toutefois, nous pouvons identifier des groupes d'alliages en fonction de leur teneur en éléments majeurs et mineurs, lorsque ces teneurs diffèrent significativement. Ces remarques resteraient toutefois à préciser au moyen d'une étude métallographique et d'une quantification élémentaire plus précise.

II. Résultats

II.1. Faciès de corrosion

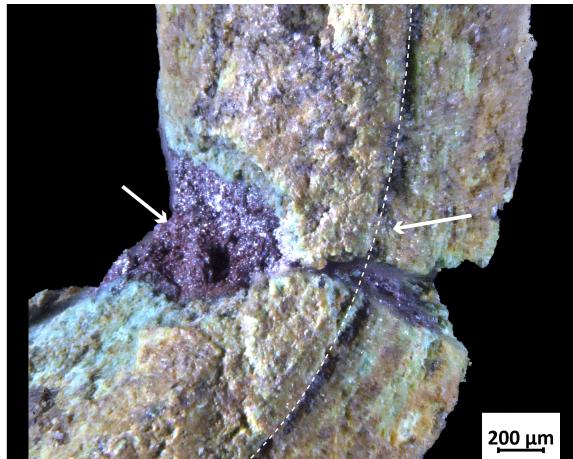


Figure 6 : La cassure sur l'anneau n°273. On distingue les produits de corrosion rouge bordeaux (flèche de gauche), situés sous les produits de corrosion vert clair pulvérulents. La cassure a recoupé une fissure plus ancienne, comblée par des produits de corrosion d'un noir mat (flèche de droite, pointillés).

Les surfaces des objets analysés présentaient deux faciès de corrosion différents. Sur 7 des 8 objets, la surface est recouverte de 80 à 99 % par des produits de corrosion vert clair mats, pulvérulents, qui se desquament en plusieurs endroits, et forment parfois des encroûtements. Lorsque cette couche s'est desquamée ou cassée, on observe, en-dessous, une corrosion de couleur rouge bordeaux mat (**Figure 6**). Ce type de structure de corrosion est dit de type II (**Robbiola, Portier 2006**). Sa distribution à la surface des

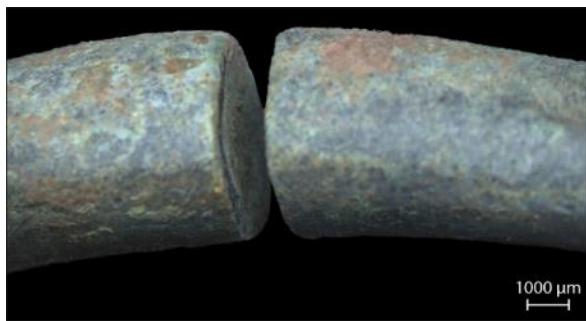


Figure 7 : Les extrémités du bracelet n°48, et les deux types de produits de corrosion à sa surface (vert clair, type II ; vert foncé, type I). La partie interne des tampons est lisse et légèrement concave.

structure déjà identifiée sur les autres objets (structure de type II), mais elle est distribuée plus aléatoirement sur sa surface, et n'en représente que 30% environ. Le reste de la surface présente une corrosion d'un vert foncé mat, tenace, qui a conservé la surface d'origine de l'objet (**Figure 7**). Il s'agit d'une structure de type I, qui se développe généralement dans des milieux moins corrodants, mais cela dépend également de la nature du métal (**Robbiola, Fiaud 1992 ; Robbiola, Portier 2006**). Or, l'objet est le laiton le plus allié de la nécropole, ce qui le rend plus résistant à la corrosion.

II.2. Analyses élémentaires et inclusions dans le métal

II.2.1. Les analyses élémentaires

Au total, 13 analyses élémentaires ont été réalisées sur les 8 objets échantillonnés (**Tableau 1**). Les résultats sont exprimés en pourcentage massique normalisé à 100 %. Lorsque nous souhaitions confirmer nos résultats, une deuxième analyse a été menée sur une zone différente (n°412, 1000, 1036), une zone plus réduite (n°1129), ou un point précis (n°368). La caractérisation des inclusions de sulfure a ainsi été obtenue par une mesure spot (368/x10k), et les cartographies élémentaires ultérieures.

Ces analyses révèlent trois grands groupes d'alliages : les cuivres purs (n°368, 1129, 412, 1, 1000), les laitons faiblement alliés (n°1036), et les laitons moyennement alliés (n°48).

Les cuivres sont d'une grande pureté, tandis que les laitons sont riches en éléments mineurs et caractérisés par des quantités importantes d'arsenic ainsi que par la présence de plomb, sous forme d'inclusions de sulfures de plomb. Les différences de composition en éléments mineurs

objets est homogène, et indique que ces derniers se sont corrodés dans un milieu également homogène (**Robbiola, Fiaud 1992 ; Robbiola, Portier 2006**). Cette structure de corrosion se développe généralement sur plusieurs dizaines d'années (**Ibid.**).

Le bracelet n°48, provenant du monument XIV, présente un faciès de corrosion différent. Nous retrouvons la

entre les deux laitons ne sont pas significatives, car elles concernent toutes des éléments en quantité si faible qu'ils frôlent la limite de détection. Leur détection sur un objet et non sur l'autre pourrait tout simplement résulter d'un biais de la méthode employée. Sur la base des informations dont disposons, rien dans leur composition en éléments mineurs ne permet de distinguer les deux objets.

N° d'objet / grossissement	Cu	S	Fe	Zn	Ni	As	Sb	Pb	Mg
368 / x250	98,2	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-
368 / x10k	81,5	18,2	0,2	-	-	-	-	-	-
1129 / x300	99,5	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-
1129 / x750	99,6	0,3	-	-	-	-	-	-	-
412 / x250	98,2	0,9	0,1	0,7	-	-	-	-	-
412 / x300	98,4	0,8	0,2	0,4	-	-	-	-	-
1 / x250	97,3	1,3	0,8	0,5	-	-	-	-	-
273 / x400	97,9	1	0,8	-	0,1	-	-	-	-
1000 / x400	98,7	0,1	-	0,8	0,1	-	-	-	-
1000 / x200	98,7	0,1	0,1	0,7	0,1	-	-	-	-
1036 / x200	91,4	0,1	0,2	6,1	0,1	1,4	0,1	0,2	0,1
1036 / x300	91,9	0,1	0,2	6,2	0,1	0,8	0,1	0,3	-
48 / x140	84,8	-	0,1	13,1	0,2	0,8	-	0,6	-

Tableau 1: Les analyses élémentaires réalisées sur les objets. Les teneurs sont exprimées en pourcentages massiques (%m) normalisés à 100%.

L'identification de groupes différents au sein des cuivres purs est très délicate, en raison des limites déjà mentionnées. La perle n°1129 se distingue des autres objets. C'est l'objet en cuivre le plus pur du corpus, avec uniquement du soufre et du fer en éléments mineurs, à la limite du seuil de détection. Les autres objets, en revanche, peuvent être classés différemment selon le critère retenu. Si l'on prend en compte les taux de soufre et de fer, les objets n°368, n°273 et n°1 (mon. XX) se rapprochent entre eux, tandis que le n°412 (mon. XX) est caractérisé par un taux de fer très bas, à la limite de détection, mais un taux de soufre très proche des autres. L'anneau n°1000, quant à lui, se distingue des objets précédents par un taux de fer comme de soufre à la limite de la détection. En revanche, si l'on retient en premier lieu le taux de zinc, se dégage un groupe d'objets contenant du zinc en quantité significative (0,5 – 0,8 %m) : les n°1, 412 (mon. XX) et 1000 (mon. II).

Il serait imprudent, avec si peu d'objets, un échantillonnage si limité, et une méthode de quantification n'incluant pas les éléments-traces, de vouloir identifier, à la lumière de ces seules analyses, la provenance des objets. Nous devons nous borner, à ce stade, à faire le constat de la diversité des profils en éléments mineurs des objets en cuivre pur de la nécropole. Toutefois, une fois pris en compte ces différents biais, il reste des différences significatives de

composition, qui peuvent être mises en rapport avec la typologie des objets, les différentes techniques de façonnage, et les contextes dont ils proviennent.

II.2.2. Le coefficient de déformation des inclusions

N° d'objet	Mesures des inclusions		Coefficient de déformation		Dimensions de l'objet			Dimensions du produit intermédiaire				
	L inclusion (µm)	I inclusion (µm)	Co. def. (Pernot 1984)	Moyenne	L obj (mm)	I obj (mm)	e obj (mm)	L (mm)	I (mm)	e (mm)		
1036	87.8	3.7	1.6	1.4	430	2.5	3.5	Torsades				
	31.2	3.2	1.1									
	44	4.6	1.1									
	98.9	3.6	1.7									
	43.5	3.3	1.3									
48	16.8	2.4	1.0	0.9	245	7.9	5.25	Non déformé				
	12.2	2.0	0.9									
	18.6	3.0	0.9									
	12.9	3.2	0.7									
1129	7.5	1.6	0.8	1.0	215	9.6	1	Non déformé				
	13.3	1.6	1.1									
	9.6	1.2	1.0									
	9.7	1.5	0.9									
273	40.9	0.6	2.1	1.7	70	2.1	2.3	42.0	3.5	3.8		
	28.5	0.7	1.9									
	20	2.6	1.0									
1	36.8	1.3	1.7	1.2	67.2	2	1.9	Non déformé				
	48	1.8	1.6									
	7.1	1.1	1.0									
	6.8	1.8	0.7									

Tableau 2 : Les coefficients de déformation des inclusions de sulfures. Nous calculons un coefficient moyen à partir de plusieurs mesures, et nous l'appliquons aux dimensions des objets.

Une cartographie élémentaire a été réalisée sur 6 échantillons, pour identifier la composition et la distribution des inclusions. La plupart d'entre elles sont des inclusions de sulfures de cuivre, éléments classiquement présents dans les minéraux de cuivre et dans les objets archéologiques (**Pernot, Hurtel 1987 ; Mille, Bourgarit 2000**). Seuls deux objets ont été significativement déformés (**Tableau 2**). Le bracelet n°1036 est torsadé, ce qui explique l'allongement des sulfures. L'anneau n°273 a été fortement étiré, et le calcul de cette déformation nous permet d'approcher les dimensions du produit d'origine. Les deux bracelets cannelés présentent des inclusions sphériques à globulaires, non déformées, c'est pourquoi ils ne figurent pas dans le tableau. Quant aux trois derniers objets (n°1, n°1129, n°48), la cartographie montre des inclusions légèrement étirées, ce qui ne se reflète pas nécessairement dans le coefficient obtenu. Cet étirement est très faible, et doit correspondre au cintrage des objets après la coulée. Comme nous le précisions précédemment, la prise en compte de la forme des inclusions est nécessaire à l'interprétation du coefficient de déformation.

II.3. Le mobilier du monument XX

Deux bracelets cannelés, de type Ib (n°368, n°412) (**Figure 8**) et deux anneaux ouverts de section sub-losangique (n°1, n° 273) (**Figure 14**) ont été retrouvés au sein de la fosse 2 du monument XX.



Figure 8: Les deux bracelets cannelés du monument XX, déformés sur leur pourtour. En rouge, la position des abrasions, sur la cannelure du bord du n°368, et sur la partie interne du n°412.

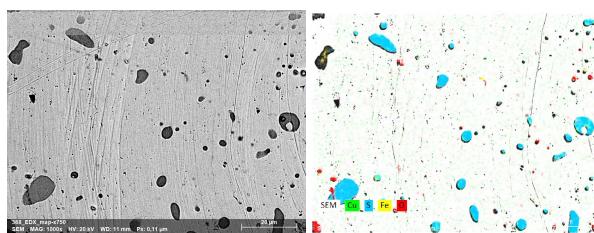


Figure 9 : Cartographie élémentaire de la zone analysée sur le bracelet n°368. Les inclusions globulaires identifiées au MEB (en noir, à gauche), s'avèrent être des inclusions de sulfures (en bleu, à droite). Le MEB a révélé une structure identique pour le bracelet n°412.

II.3.1. Les bracelets cannelés (n°368, n°412)

Pour les deux bracelets, l'étude des inclusions présentes dans le métal démontre qu'ils ont été coulés en forme et non retravaillés (**Figure 9**). On peut d'ailleurs voir, à la surface des cassures du n°412, la microstructure dendritique du métal, révélée par l'attaque corrosive (**Figure 10**). Toutefois, l'observation des cannelures révèle des différences entre les deux objets. L'angle de celles-ci forme, sur le bracelet n°412, une contre-dépouille : l'objet est impossible à démouler sans détruire le moule (**Nordez 2017**) (**Figure 10**). Cela indique qu'il a très probablement été obtenu par le procédé de la fonte à la cire perdue (*Ibid.*). Les arêtes de ces cannelures sont également très anguleuses et très fines, à l'instar de certains bracelets cannelés de la région. Cette caractéristique, par sa difficulté de réalisation, implique, selon L. Garenne-Marot, l'emploi de la technique de la cire perdue (**Garenne-Marot 1993**).



Figure 10 : A gauche la microstructure dendritique du bracelet n°412 visible sur une cassure (encadré). A droite, les boursoufflures rectilignes sur les cannelures du même objet. Les deux images montrent les angles aigus formés par les cannelures, formant des contre-dépouilles.

Un autre indice pourrait aller dans ce sens. Sur les cannelures, nous avons relevé des boursoufflures extrêmement rectilignes, orientées dans l'axe de la longueur de l'objet. Elles suivent parfaitement la courbure du bracelet (**Figure 10**). Leur épaisseur et leur linéarité indiquent qu'il ne s'agit pas des marques d'une abrasion de la surface de l'objet. Leur discréption exclut qu'il s'agisse d'un décor (elles ne sont visibles qu'à la lumière rasante, au microscope). Il paraît plus probable que ces marques aient été déjà présentes sur le moule, et transférées à l'objet lors de la coulée. Leur régularité laisse penser qu'elles ont été produites sur une matière plastique, en un seul geste : il pourrait s'agir d'un indice de l'emploi de la technique de la fonte à la cire perdue.



Figure 11 : Les cannelures du bracelet n°368. Elles ne présentent pas de contre-dépouille.

Les cannelures du bracelet n°368, contrairement à celles de l'objet précédent, ne présentent pas d'effet de contre-dépouille. Il a donc théoriquement pu être obtenu dans tous les types de moule. Elles sont, par ailleurs, très arrondies et peu marquées, à l'inverse de celles du bracelet n°412 (**Figure 8, Figure 11**). L. Garenne-Marot considérait cette particularité comme caractéristique d'un formage des cannelures par matriçage (**Garenne-Marot 1993**). Toutefois, nous l'avons déjà vu, l'étude de la morphologie des inclusions montre que l'objet n'a pas subi de

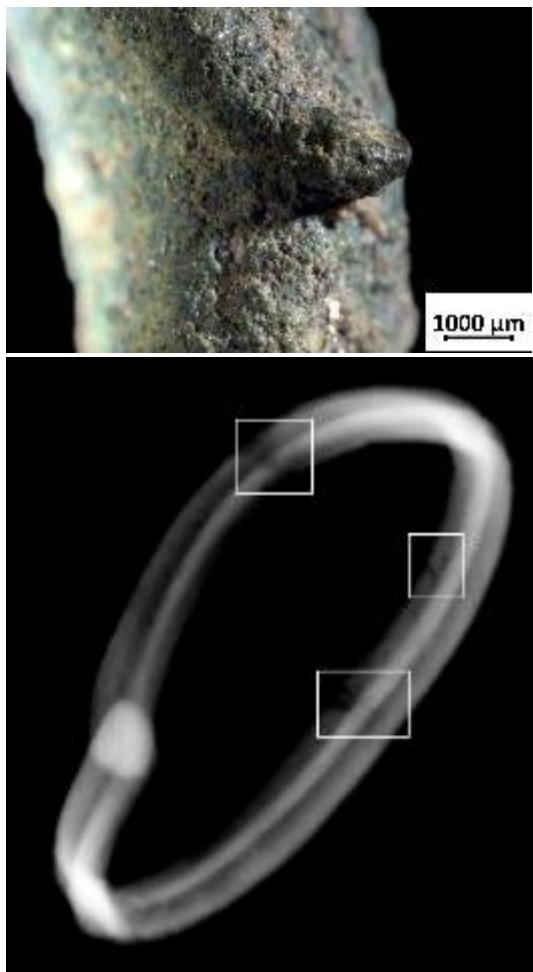


Figure 12 : En haut : Une éraflure importante sur le bracelet n°368, recouverte par les produits de corrosion vert clair. En bas : La radiographie du même objet, qui montre des cassures internes au niveau des zones de torsion. Cl. Arc'Antique.

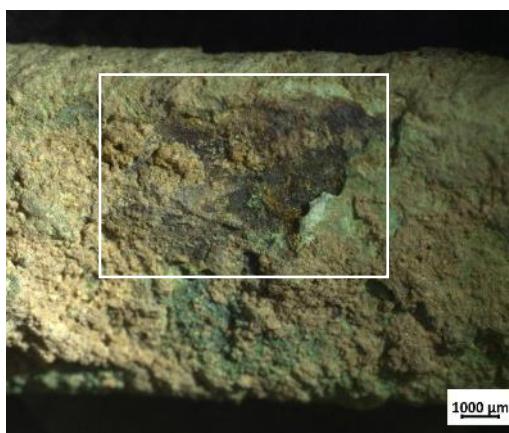


Figure 13 : Un dépôt de produits de corrosion du fer recouvert par la corrosion du cuivre sur la face interne du bracelet n°368.

déformation liée à son façonnage. Il a donc été coulé en forme, et non matricé. Nous n'expliquons pas encore la différence observée dans la finition des cannelures entre les deux bracelets.

Les deux bracelets, enfin, ont été trouvés déformés. Le bracelet n°368 a été tordu sur son pourtour (Figure 8), ce qui a occasionné des cassures visibles à la radiographie (Figure 12). Elles sont probablement antérieures au développement des produits de corrosion, car elles n'ont pas entraîné de desquamation de ces derniers. Sur un côté de l'objet, on distingue également un enlèvement partiel de matière, probablement sous l'effet d'un choc (Figure 12). Il est antérieur au développement des produits de corrosion, ce qui indique qu'il a été réalisé lors de son premier dépôt, très probablement en même temps que la torsion de l'objet. De plus, une zone de dépôt de produits de corrosion du fer en partie recouverte par la corrosion du cuivre est visible sur sa face interne³ (Figure 13). Cela signifie qu'un objet en fer s'est corrodé au contact du cuivre, puis qu'il a été retiré, laissant la corrosion du cuivre poursuivre son développement. Ces éléments coïncident avec l'hypothèse, formulée dans notre mémoire de M1, qu'il s'agit des traces du cintrage violent de l'objet autour d'un lot de fers de javelots, trouvé dans la même fosse, conformément à une pratique de dépôt déjà connue dans la région (Thilmans et al. 1980 ; Lamotte 2018). Le redéveloppement des produits

³ Nous remercions J. Touzeau, du laboratoire Materia Viva, pour l'identification de ces produits de corrosion.

de corrosion du cuivre indique que le milieu de dépôt de l'objet, après retrait de l'élément en fer, était toujours corrodant. Quant au bracelet n°412, il a également été déformé, ce qui est probablement à mettre en rapport avec la cassure de l'objet (**Figure 8**). Cette dernière est recouverte par les produits de corrosion (**Figure 9**). Elle s'est donc produite avant le dépôt de l'objet dans un milieu corrodant. Ces gestes peuvent être interprétés comme des mutilations liées aux pratiques funéraires.

Les analyses élémentaires conduites sur les deux bracelets révèlent, sur les zones échantillonnées, des compositions différentes.

Sur le bracelet n°368, une analyse EDS a été menée sur une zone représentative de l'échantillon. Elle a révélé un cuivre assez pur (98,2 %m), avec comme éléments mineurs du soufre (0,8 %m), et du fer (0,9 %m).

Deux analyses EDS ont été réalisées sur le bracelet n°412, sur deux zones d'échantillonnage différentes. Elles ont révélé un cuivre très pur (98,2 et 98,4 %m). Les sulfures sont présents en même quantité que pour l'objet précédent, (0,9 et 0,8 %m), mais le fer frôle la limite de détection (0,1 et 0,2 %m). Surtout, le zinc fait son apparition (0,7 et 0,4 %m), en quantité trop faible pour modifier les propriétés thermo-mécaniques ou la couleur de l'alliage. La couleur du cuivre reste inchangée sur les deux objets.

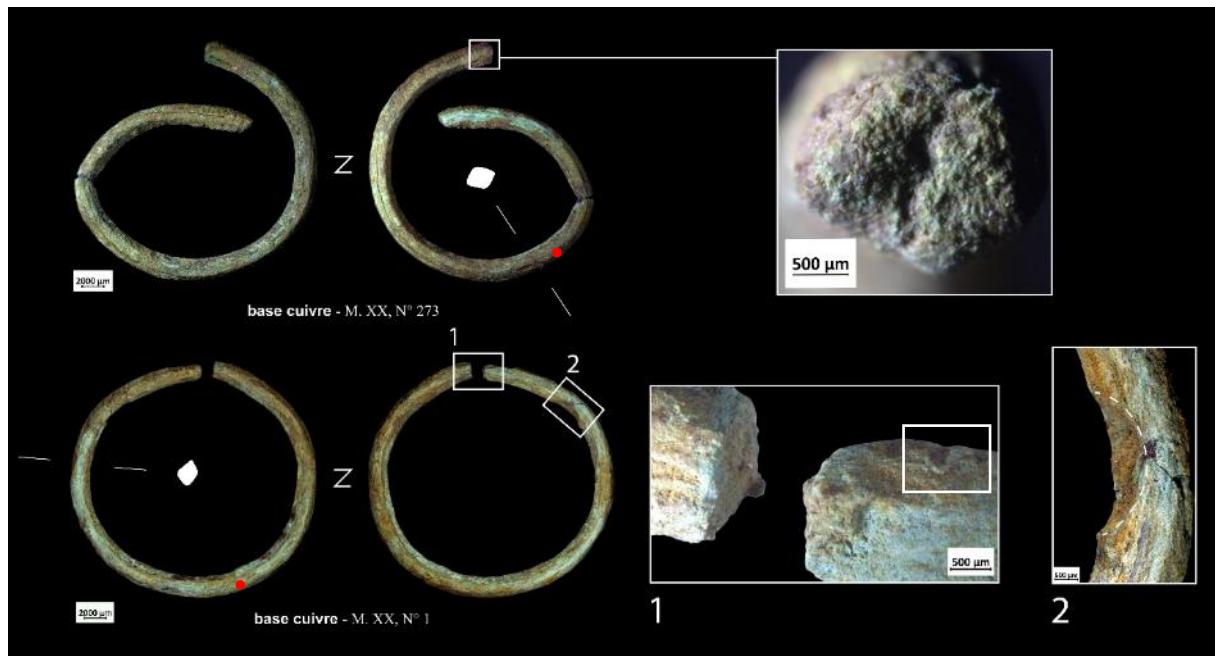


Figure 14 : Les deux anneaux du monument XX. Les extrémités du n°273 (haut) présentent les marques du forgeage, alors que celles du n°1 (bas, 1) sont très rectilignes. Sur le même cliché, on distingue un bourrelet de matière laissé par le façonnage du décor (bas, 1, encadré). Le négatif de bulles survenues à la coulée est visible sur la face interne de l'anneau n°1 (bas, 2). En rouge, les zones d'abrasions, toutes deux situées sur la face extérieure des anneaux.

II.3.2. Les anneaux ouverts de section sub-losangique (n°1, n°273)

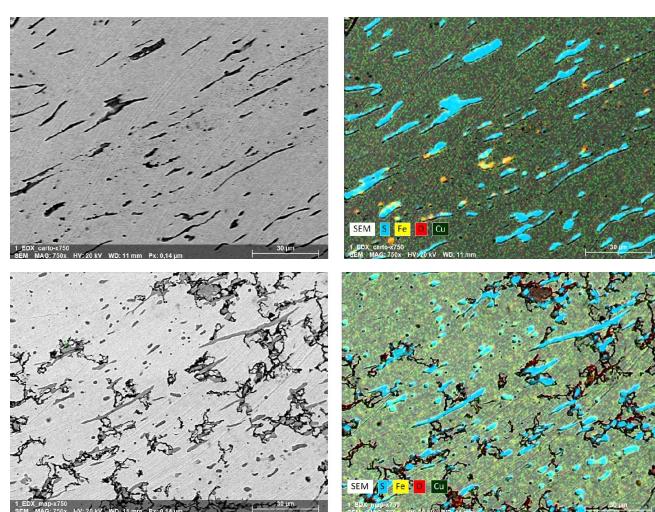


Figure 15 : Les cartographies élémentaires réalisées sur les anneaux n°273 (haut) et n°1 (bas).

Les deux anneaux ouverts de section sub-losangique ont été trouvés sur une marche à l'entrée de la fosse 2 du monument XX. Ils présentent des faciès techniques différents.

Le calcul du coefficient de déformation des inclusions de l'anneau n°273 montre qu'il a été fortement allongé (coefficient de déformation de 1,7). Ces inclusions n'étant pas du tout fragmentées, la déformation a dû avoir lieu à chaud. Additionnellement, l'observation de ses extrémités montre qu'elles portent une

marque caractéristique du martelage : sur chaque plan de frappe, un bourrelet de matière est visible sur le bord de l'objet, laissant une dépression au centre (**Figure 14**). Cela s'explique par

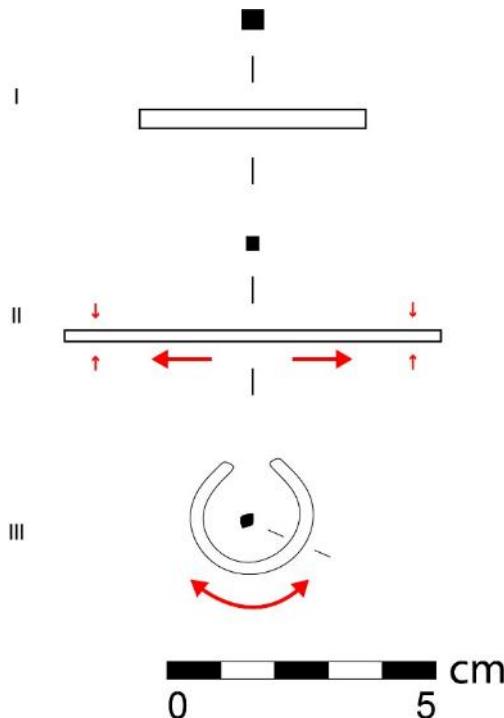


Figure 16 : Les étapes de la réalisation de l'anneau n°273. Les dimensions du produit initial sont indicatives.

un déplacement plus important de la matière au bord de l'objet qu'en son centre, car cet endroit absorbe une plus grande partie de l'énergie du martelage. L'objet a dû être obtenu à partir d'une baguette de cuivre d'environ 42*2.3*2.8 mm (**Figure 16**).

L'anneau n°1 présente des caractéristiques différentes. Sur sa partie interne sont visibles plusieurs dépressions hémisphériques, irrégulières, de taille importante (**Figure 14, bas, 2**). Il s'agit de bulles apparues lors de la coulée de l'anneau. Ces éléments indiquent que l'objet a été coulé en forme. La position des bulles indique qu'il a été coulé en baguette, face interne vers le bas. Les inclusions de la zone échantillonnée sont peu voire pas déformées du tout sur les bords de la zone (coefficient proche de 1), tandis qu'au centre certaines sont très

allongées (coefficient jusqu'à 1,7). Ces dernières sont situées sur la partie la plus externe de l'objet. Nous expliquons leur allongement plus important par l'opération de mise en forme de la baguette coulée : les parties situées le plus à l'extérieur de l'anneau sont celles qui s'étirent le plus lors de sa formation, étant situées sur son périmètre externe. Cela s'observe également sur l'anneau n°273, ce qui indique qu'il a été forgé à plat avant de recevoir sa forme circulaire (**Figure 16**). Enfin, la rectitude des extrémités de l'anneau n°1, en l'absence de trace de reprise des surfaces, est un indice allant également dans le sens d'une coulée en forme (**Figure 14**). Les deux objets présentent des décors en lignes perpendiculaires à l'axe de la tige sur leurs parties terminales. Elles tendent à être parallèles entre elles et régulièrement espacées, quoique de taille inégale. Leur morphologie en coupe est difficile à mettre en valeur en raison des

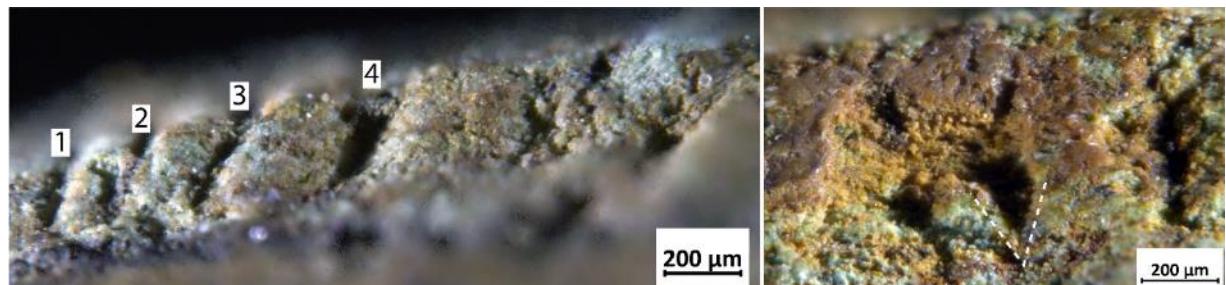


Figure 17 : Les stries présentes sur les extrémités des deux anneaux. A gauche, celles de l'anneau n°273, et l'ordre de leur de réalisation. A droite, la forme, en "V" très net, d'une des stries de l'anneau n°1.

produits de corrosion. Sur l'anneau n°1 quelques lignes ont conservé leur profil en « V » très régulier (**Figure 17**), indiquant qu'elles ont été réalisées par ciselure (**Coffyn 1973 cité par Nordez 2017; Armbruster 2000 ; Nordez 2017**). L'une d'entre elles (**Figure 14**) est cerclée d'un bourrelet de matière indiquant une déformation plastique : ces détails ont donc probablement été réalisés sur un modèle en cire avant coulée (**Nørgaard 2015**). Les décors de l'anneau n°273 semblent également avoir été réalisés par ciselure. Sur la **Figure 17**, la dernière ligne de la série est en « V » oblique, tandis que les précédentes sont plus resserrées et plus fines. Cela indique leur sens de réalisation, chaque nouvelle ciselure repoussant légèrement les bords de la précédente, jusqu'à la dernière, non déformée. L'objet étant forgé, elles ont été réalisées directement sur le cuivre.

La surface d'origine des deux anneaux a disparu, ou est masquée par les produits de corrosion. Les objets présentent des fissures longitudinales qui semblent profondes, en partie comblées par des produits de corrosion friables, d'un noir mat. Ils présentent également des cassures perpendiculaires à leur longueur, qui révèlent des produits de corrosion sous-jacents de couleur rouge bordeaux (**Figure 6**). Ces cassures recoupent les fissures longitudinales dues à la corrosion, et les produits de corrosion vert clair ne se sont pas redéveloppés sur ces parties (**Figure 6, Figure 14**). Leur perpendicularité à toutes les autres fissures, et la pliure importante d'une partie de la tige de l'anneau n°273 à l'endroit de la cassure (**Figure 14**), qui n'a pas pu se produire alors que l'objet se trouvait pris dans les sédiments, indiquent que leur origine est anthropique. Ces cassures étaient déjà présentes lorsque les objets ont été trouvés à la fouille. Elles auraient donc eu lieu lors d'un déplacement précédent le dernier dépôt des objets. L'absence de reprise des processus de corrosion pourrait s'expliquer par un changement de milieu (dépôt dans un milieu peu corrodant).

Les analyses élémentaires indiquent que les anneau n°1 et n°273 sont des cuivres très purs (respectivement 97,3 et 97,9 %m) possédant en éléments mineurs du soufre et du fer aux alentours de 1 %m. Toutefois, l'anneau n°1 a révélé une teneur en zinc de 0,5 %m, et pas de nickel, tandis que l'anneau n°273 possédait du nickel et pas de zinc. Les deux anneaux étaient de couleur rose pâle.

II.4. L'anneau de cheville à ligatures (mon. XIX, n° 1036)

L'objet n°1036, provenant du monument XIX, présente une surface recouverte par des produits de corrosion vert clair mats et pulvérulents, qui se sont desquamés sur la zone où la

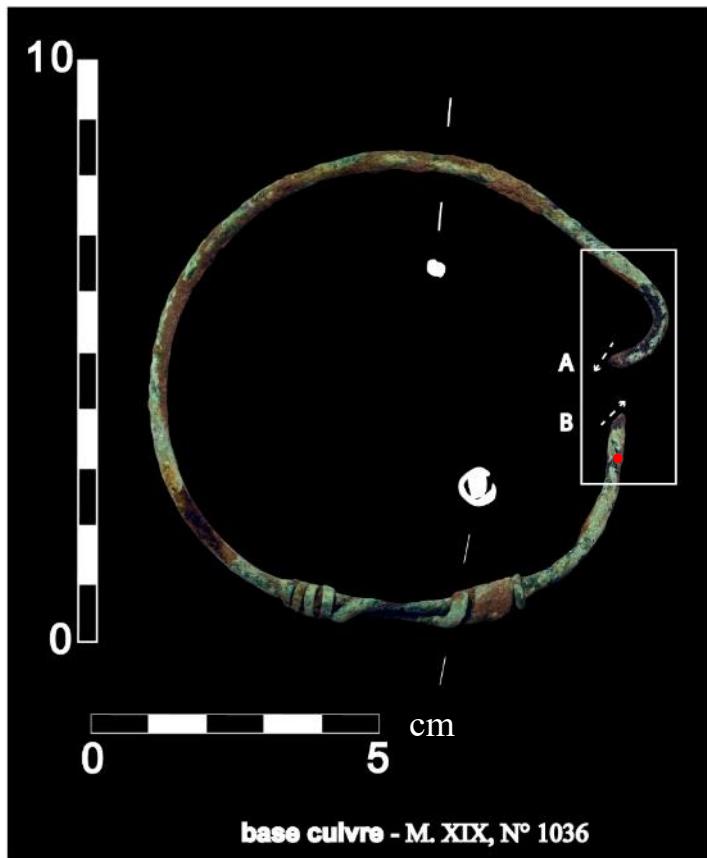


Figure 18 : L'anneau de cheville n°1036, dont la tige a été coupée. La partie principale de la tige est notée A, tandis que le plus petit fragment est noté B (l'objet est remonté pour la photographie). En flèches pointillées figure le sens de la coupe. En rouge, la zone d'abrasion, située sur la partie extérieure de la tige.

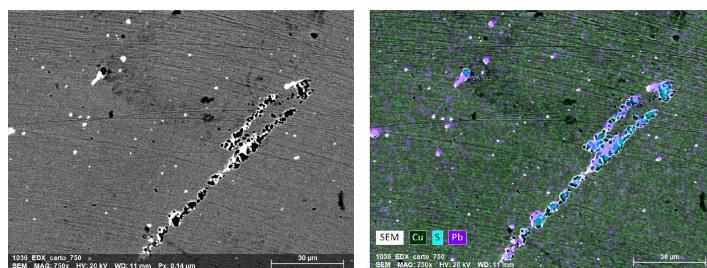


Figure 19 : La cartographie élémentaire réalisée sur l'anneau de cheville n°1036.

n'a pas pu être obtenue par étirage à la filière, car ce procédé produit des fils de même épaisseur sur toute leur longueur. Elle a donc été obtenue par martelage.

La longueur de la portion torsadée entre les deux zones où s'insèrent les spires est d'environ 210 mm. Son diamètre est assez irrégulier (de 2.9*3.1 mm à 3,5*3.8 mm).

L'étude des inclusions présentes sur la zone échantillonnée montre une forte déformation de ces dernières dans le sens de la torsade (**Figure 19**). Elles sont très fragmentées, ce qui indique

tige est tordue et coupée en deux. Cette desquamation laisse apparaître une surface rouge bordeaux mat et sombre (**Figure 18**). Le bracelet est constitué d'une baguette de laiton faiblement allié de section carrée à plate. La tige de l'objet est torsadée tandis que les extrémités sont effilées et s'enroulent en spires jointives autour de la partie opposée de la tige. A partir des spires jointives, la tige est torsadée moins fortement d'abord, puis plus fortement, indiquant une réalisation en deux temps. Cette section réduit progressivement en épaisseur, indiquant qu'elle a été étirée avant sa torsion. Elle est suivie d'une section carrée non torsadée ($l=1,3$ mm et $e=1,6$ mm) puis plate ($l=2,1$ mm et $e=2,5$ mm), d'un côté de la tige. Du côté opposé, la section plate est obtenue directement depuis la portion torsadée ($l=2,1$ mm, et $e=2,4$ mm). Cette section s'affine jusqu'aux extrémités des spires ($l=1,1$ mm, $e=0,8$ mm). Cette forme

une déformation à froid. Le coefficient de déformation moyen, dans le sens de torsion, est de 1,4, soit 140% (**Tableau 2**). Cela ne signifie pas que la tige ait été étirée d'autant, car les torsades suffisent à provoquer l'allongement des inclusions. Cela indique en revanche que la transformation de l'objet a dû nécessiter plusieurs recuits, car le degré d'allongement possible avant rupture de cet alliage à l'état recuit, et lorsqu'il est pur, est inférieur à 35-40 %⁴. Toutefois, il est difficile de savoir ce qui, dans cette déformation, est attribuable à la torsion, et ce qui pourrait être imputable à une première mise en forme du cuivre en baguette de section carrée. Nous ne sommes donc pas en mesure de proposer une restitution des dimensions du produit intermédiaire tel qu'il a été coulé.

Nous pouvons, en revanche, restituer les dimensions de la baguette juste avant la torsade. Pour retrouver ces dimensions, nous considérons que la largeur moyenne de la baguette est de 3,5 mm. Pour obtenir sa longueur, il faut ajouter, à la longueur de la tige torsadée (210 mm environ), la longueur située sous les spires (10 mm environ, de chaque côté), et celle utilisée pour produire les spires jointives. Pour estimer cette dernière, nous avons mesuré la longueur déroulée de chaque extrémité, depuis le début de la réduction en largeur jusqu'aux extrémités des spires. Nous avons considéré que cette réduction était régulière, construisant un quadrilatère dont l'aire correspond à celle de la portion de baguette utilisée. Nous divisons cette aire par la largeur de baguette retenue sous les spires, considérée comme la largeur la plus proche des dimensions d'origine de la baguette de cuivre. Nous obtenons un rectangle de même aire que le quadrilatère, dont la longueur correspondant à la portion de baguette utilisée pour façonner les spires. Nous l'ajoutons donc à notre estimation. Nous estimons ainsi la taille de la baguette d'origine à environ 355 mm, plus ou moins 20 mm.

⁴ Un cuivre pur à l'état recuit peut supporter un allongement pour cent (A%) maximal de 45 avant rupture, et un laiton à 15% de zinc à l'état recuit à un A% de 35. Cette valeur mesure l'éirement maximal en traction de l'alliage, ce qui est un peu différent de l'allongement subi par nos objets, mais donne un ordre de grandeur permettant de déterminer si un objet a dû être recuit pour sa fabrication.

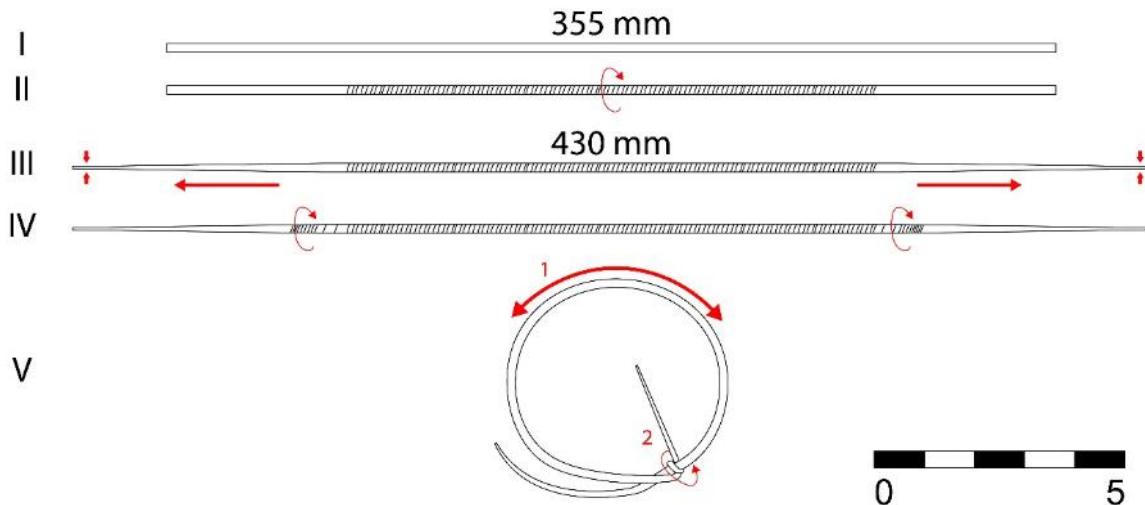


Figure 20 : Les étapes de réalisation du bracelet n°1036 que notre étude a pu reconstituer.

II.4.1. Méthode de fabrication

A partir de nos observations, nous sommes en mesure de proposer une hypothèse de restitution de la chaîne opératoire de fabrication de l'objet (**Figure 20**) :

- I. Une tige, de section carrée (L. environ 355 mm, l. moyenne environ 3,5 mm, e. moyenne environ 3 mm), est préparée (coulée, martelée à froid, étirée à la filière, forgée ?).
- II. Elle est fortement torsadée sur environ 210 mm. Cette opération a sans doute nécessité plusieurs recuits.
- III. De chaque côté de la zone torsadée, une portion de la tige est laissée intacte sur environ 10 mm. La tige restante est allongée par martelage et réduite jusqu'à obtenir une section plate très fine, mesurant, à ses extrémités, environ 0.8 mm de large et 0.3 mm d'épaisseur. La baguette de laiton mesure environ 430 mm à l'issue de cette opération, qui a nécessité de nombreux recuits.
- IV. Des torsades sont ajoutées à la zone déjà torsadée, sur 20 à 30 mm, plus légèrement sur la zone située sous les spires, et plus fortement à partir de la réduction de section de la tige.
- V. Le bracelet est ensuite formé. Sa forme circulaire lui est donnée (1). L'extrémité de chacune de ses branches est enroulée en cinq spires jointives autour de la portion laissée non torsadée de la branche opposée, en commençant par la spire la plus proximale et en allant vers la plus distale (2).

Les analyses élémentaires ont révélé un laiton faiblement allié (env. 91% m Cu, et 5.8 % m Zn) avec de nombreux éléments mineurs additionnels : le soufre et le fer (env. 0,2 % m), mais également le plomb (env. 1,7 % m) et enfin, le magnésium (env. 0,9 % m). L'objet, débarrassé des produits de corrosion est de couleur jaune dorée légèrement pâle.

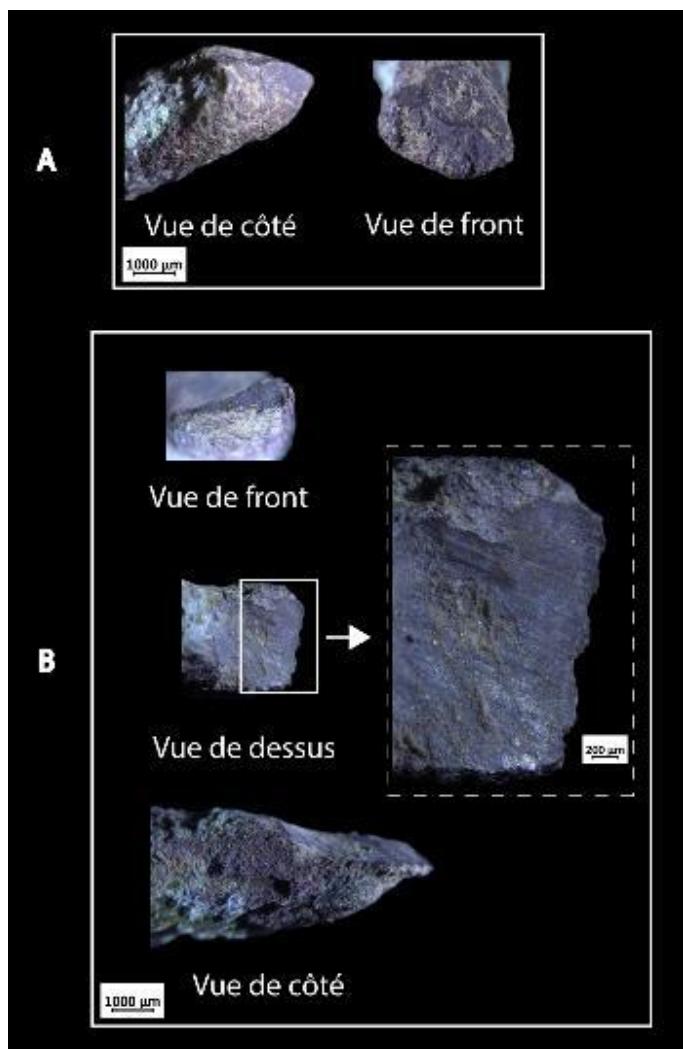


Figure 21 : La morphologie de la coupure sur la tige de l'anneau de cheville n°1036. En haut, la partie A de la tige. En bas, la partie B.

(Figure 21 B, vue de dessus, détail).

- Une marque dentelée est visible à l'extrémité de la coupure située sur la partie B de la tige. Elle semble avoir été provoquée par la cassure du cuivre en fin de coupe, mais pourrait avoir un lien avec la forme de l'outil utilisé pour couper l'objet (Figure 21 B).
- La partie B de la tige est traversée obliquement, de part en part, par la coupure, et sa partie inférieure est légèrement déformée dans le sens de cette coupure (Figure 21 B, vue de côté et vue de front).

II.4.2. La coupure de la tige

L'anneau de cheville n°1036 a été trouvée posé verticalement, avec une partie de sa tige tordue et cassée en deux (Figure 18).

L'observation de la morphologie de l'altération indique qu'il s'agit d'une coupure, réalisée avec un outil possédant un seul tranchant (Figure 21), depuis la face interne de la tige, comme le montre l'orientation de la coupure lorsque l'objet est remonté (Figure 18).

L'examen de la coupure elle-même révèle plusieurs caractéristiques importantes :

- L'outil a laissé des stries continues parallèles entre elles, et positionnées parallèlement aux bords de la tige, courant jusqu'au bord de la coupure

- La partie A de la tige n'est coupée que jusqu'en son milieu, l'autre moitié ayant été cassée (**Figure 21 A**). C'est cette partie qui est située du côté de la torsion de la tige (**Figure 18**).
- Les produits de corrosion vert clair sont également coupés, et ils ne recouvrent pas la coupure (**Figure 21 B, vue de côté et vue de dessus**). De manière générale, la zone tordue et coupée est recouverte de produits de corrosion rouge bordeaux, les mêmes qui se trouvent sous la corrosion vert clair sur le reste de l'objet.

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ces observations : La coupure est anthropique, et réalisée en un seul geste, comme en attestent sa netteté et les stries parallèles et régulières sur sa surface, qui impliquent l'utilisation d'une lame en métal aiguisée. Elle est volontaire car elle a été réalisée depuis l'intérieur de l'objet et s'accompagne d'une torsion de la tige.

La coupure a aussi sectionné les produits de corrosion vert clair. De plus, la zone de torsion est la seule où l'on trouve majoritairement des produits de corrosion rouge bordeaux. Nous voyons mal comment la corrosion vert clair pulvérulente se serait développée de manière homogène sur le reste de l'objet, mais n'existerait qu'à un état morcelé sur cette partie précise de l'objet, sans lien avec l'altération qu'il a subie. Nous concluons donc que ces produits de corrosion se sont écaillés pendant la réalisation de la coupure/torsion. Ce geste a ainsi été réalisé après un développement homogène des produits de corrosion, dans un premier contexte corrodant, et avant le dépôt dans le contexte retrouvé à la fouille, moins corrodant puisque les produits de corrosion vert clair ne se sont pas redéveloppés au cours des siècles. Ce geste est donc à relier aux pratiques funéraires.



Figure 22 : Le bracelet n°48. Sa tige semble avoir été formée dans une matière plastique, notamment au niveau des extrémités. En rouge, la zone d'abrasion, située sur la face externe du bracelet.

II.5. Le bracelet ouvert de section ovalaire à extrémités en bourrelets (mon. XIV, n°48)

Le bracelet n°48 (**Figure 22**), provenant des niveaux funéraires du monument XIV, présente un profil de corrosion particulier : sa surface d'origine est en grande majorité conservée.



Figure 23 : La microstructure dendritique toujours visible à la surface du bracelet n°48.

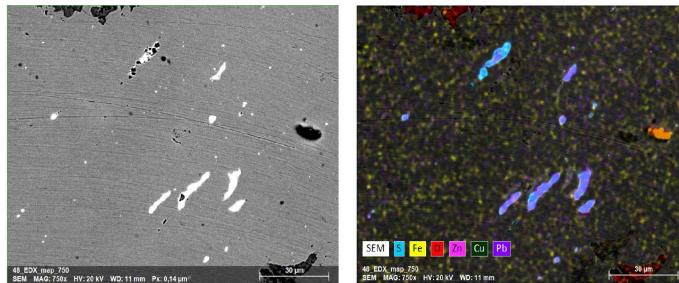


Figure 24 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur le bracelet n°48 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu et violet, les inclusions de sulfure au plomb (droite).

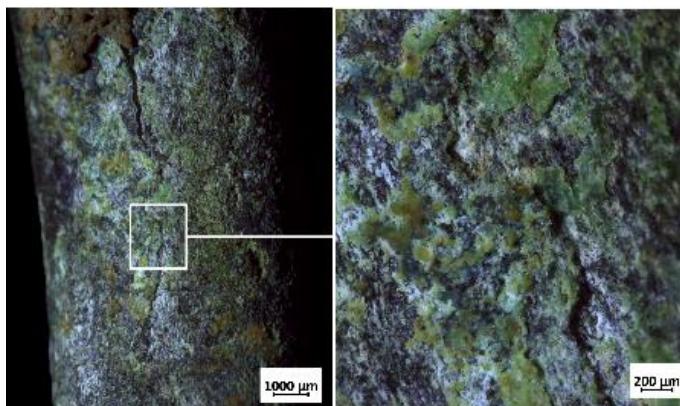


Figure 25 : Relief dans la coulée du bracelet n°48, hérité du modèle de cire.



Figure 26 : A gauche : La radiographie de l'objet révèle une zone de moindre densité dans l'objet. A droite : Des fissures sont présentes sur la partie interne de la tige. On distingue également, sur le rebord des extrémités, les traces d'un ébarbage grossier.

Ainsi, la microstructure dendritique du métal, révélée par l'attaque de la corrosion, est restée visible (Figure 23). La présence de cette structure indique que l'objet n'a pas été retravaillé à chaud. Le calcul du coefficient de déformation des inclusions identifiées aux analyses, qui indique que la zone analysée n'a pas subi de déformation plastique, confirme cette observation (Figure 24). Le léger allongement des inclusions visible sur la cartographie élémentaire pourrait être lié à un léger cintrage de l'objet après coulée, notre zone d'échantillonnage étant située sur le périmètre extérieur du bracelet.

Sur la partie interne de l'objet, nous observons un relief dans la coulée (Figure 25). Il s'agit de la marque du façonnage de l'objet dans une matière plastique. L'objet a donc été réalisé au moyen de la technique de la cire perdue. D'autres éléments viennent corroborer ces observations, comme la forme des extrémités de la tige, qui implique des déformations plastiques (Figure 22), ou la concavité des extrémités (Figure 7). Enfin, l'analyse du cliché radiographique de l'objet révèle une zone de moindre densité, de forme hémisphérique, au niveau d'un bord. Elle forme, sur l'image, une dépression cerclée d'un bourrelet

(Figure 26, gauche). Il pourrait s'agir des vestiges du façonnage du modèle de cire, mais il nous paraît plus probable qu'il s'agisse des restes de la zone d'implantation du cône d'alimentation : ce dernier, en cire également, est attaché par pression et par fusion locale de la cire au modèle du bracelet après son façonnage, ce qui expliquerait la déformation visible sur les radiographies. La zone concernée sur l'objet est plus abîmée que le reste de la surface. Sur la partie interne du bracelet, plusieurs fissures importantes se sont produites (Figure 26, droite). Certaines sont situées dans l'axe de la tige, d'autres sont obliques. Il pourrait s'agir d'un défaut apparu lors de la coulée, ou des stigmates d'un cintrage de l'objet, sans recuit, puisque l'objet est brut de coulée. Toutefois la faible fragmentation des inclusions tend à favoriser la première hypothèse, d'autant plus qu'aucune marque de martelage n'est visible sur l'objet, et que la structure dendritique ne paraît pas avoir été recoupée par les fissures. Une analyse EDS a été menée sur l'objet. Elle a révélé un laiton moyennement allié (84,8 %m Cu, 13,1 %m Zn). En éléments mineurs, l'échantillon analysé présente un faible taux de fer (0,1 %m) et de nickel (0,2 %m), mais des taux d'arsenic et de plomb assez importants (respectivement 0,8 et 0,6 %m). La cartographie a révélé des inclusions de sulfures de plomb, ainsi que des inclusions d'oxyde de fer.

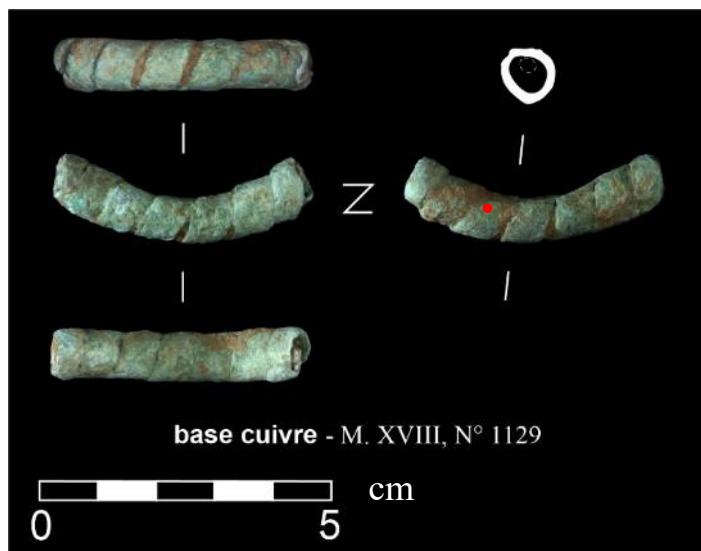


Figure 27 : La perle n° 1129. On distingue un méplat sur sa face interne. En rouge, la zone d'abrasion.

mm, enroulé en spires jointives, mais dont les extrémités s'effilent progressivement, de sorte que les parties terminales de l'objet, une fois formé, soient rectilignes (Figure 28). Sur sa face interne, trois spires forment ensemble une surface plane, reflétant peut-être la forme du support sur lequel la perle a été courbée pour finir sa mise en forme (Figure 27).

II.6. La perle rubanée à spires jointives (mon. XVIII, n°1129)

Cette perle (Figure 27) est le seul objet métallique provenant du monument XVIII. Sa surface d'origine a été détruite par les processus de corrosion.

Elle est constituée d'un ruban de cuivre, d'environ 215 mm de long et 5,5 mm de large et épais d'environ 1



Figure 28 : La forme de la bande de cuivre utilisée pour la fabrication de la perle n°1129.

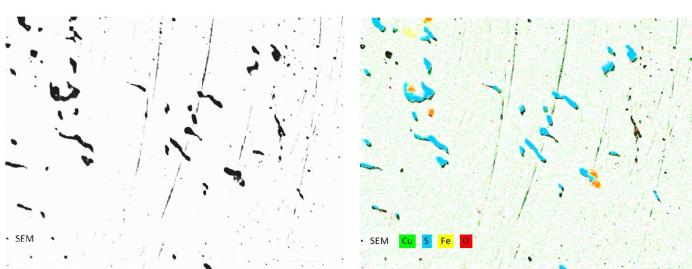


Figure 29 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur la perle n°1129 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu, les inclusions de sulfures (droite).

Le calcul du coefficient de déformation des inclusions indique que la zone analysée n'a pas été déformée (**Figure 29**). L'aspect visuel des inclusions montre toutefois un léger allongement, explicable par la mise en forme définitive de l'objet (torsion en spires). La plaque de cuivre a donc été coulée. Ses bords sont trop abîmés pour que nous puissions savoir si elle a été découpée ou

coulée directement en ruban aux extrémités effilées. La bande obtenue a été enroulée en spires jointives, et peut-être courbée dans un second temps.

Les deux analyses EDX réalisées montrent que l'échantillon est un cuivre extrêmement pur (99,5 et 99,6 %m), possédant quelques inclusions de sulfures (0,2 et 0,3 %m), et des traces de fer (0,1 %m non détecté lors de la deuxième analyse).

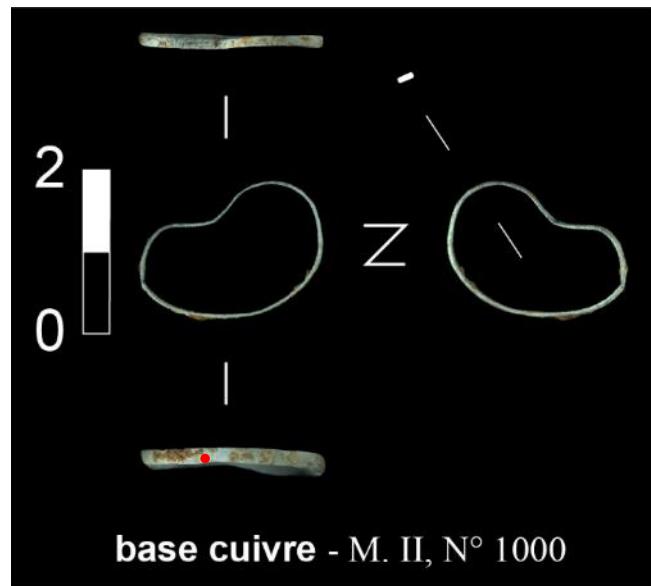


Figure 30 : L'anneau n°1000, déformé sur son pourtour. En rouge, la zone d'abrasion.

Le calcul du coefficient de déformation des inclusions indique que la zone analysée n'a pas été déformée (**Figure 31**). L'objet a donc été coulé en forme (originellement circulaire). Toutefois, nous observons, sur les bords de l'objet, une irrégularité de la largeur, ainsi que plusieurs petites facettes,

II.7. L'anneau fermé de section rubanée (mon. II, n°1000)

La surface d'origine de l'anneau n°1000 a disparu, ou est masquée par les produits de corrosion. L'objet, qui n'a pas été radiographié, est extrêmement fin : il s'agit d'un anneau de cuivre d'environ 2 mm de largeur pour 0,5 mm d'épaisseur et un diamètre d'origine d'environ 20 mm (**Figure 30**).

Le calcul du coefficient de

deformation des inclusions indique que la zone analysée n'a pas été déformée (**Figure 31**).

L'objet a donc été coulé en forme (originellement circulaire). Toutefois, nous observons, sur les bords de l'objet, une irrégularité de la largeur, ainsi que plusieurs petites facettes,

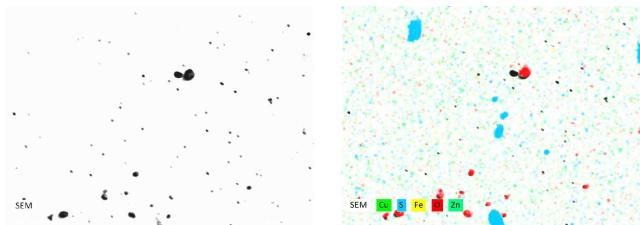


Figure 31 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur l'anneau n°1000 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu, les inclusions de sulfures (droite).

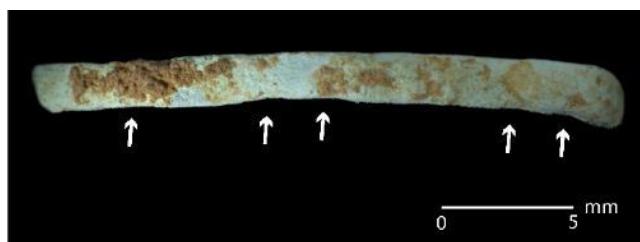


Figure 32 : Irrégularité de la largeur de l'anneau, correspondant à de petites dépressions sur son pourtour.

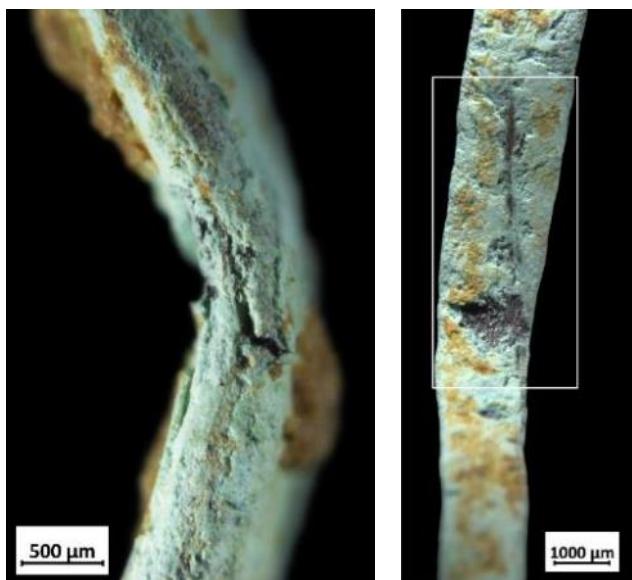


Figure 33 : Les zones de déformation sur l'anneau n°1. Les produits de corrosion vert clair se sont desquamés, révélant la corrosion rouge bordeaux, sans se redévelopper.

antérieures au développement des produits de corrosion. Il pourrait s'agir des traces d'une reprise des bords de l'objet par martelage, mais sur un objet si fin cela paraît improbable. Cela nous incite à penser qu'il s'agit des marques du façonnage d'un modèle plastique (**Figure 32**). L'objet serait donc issu de la filière de fonte à la cire perdue.

L'objet a été déformé sur une partie de sa surface, ce qui a occasionné des fissures et la desquamation ponctuelle des produits de corrosion vert clair, révélant la couche sous-jacente de produits de corrosion rouge bordeaux (**Figure 33**). Une fois encore, au regard de la chronologie relative entre développement des produits de corrosion et desquamation liée à la déformation de l'objet, nous considérons que celle-ci a eu lieu lors d'un déplacement de l'objet, après une première phase de corrosion dans un contexte agressif pour le métal, vers un contexte moins agressif.

Deux analyses élémentaires ont révélé un cuivre très pur (98.7 %m), avec du zinc en quantité non négligeable (0.8 %m). L'objet contenait également du soufre, du fer et du nickel dans de très faibles quantités (0,1 %m). Sa couleur était celle du cuivre, un rose pâle.

III. Discussion

III.1. Gestes funéraires et symbolique du cuivre

III.1.1. Taphonomie du cuivre et gestes funéraires

Au sein de la nécropole de Wanar, de nombreux ossements ont été trouvés en position secondaire ou remaniée (**Cros et al. 2013 ; Laporte, Bocoum 2017**). Certains dépôts, comme dans la fosse 2 du monument XX, sont des sélections d'ossements en réduction (**Laporte, Bocoum 2014**). Ils sont souvent accompagnés de dépôts de mobilier en métal. Compte tenu de ces pratiques particulières, il paraissait légitime de se demander si tous les objets étaient déposés avec les défunt dès leur mise en terre, ou s'ils pouvaient être ajoutés aux dépôts au cours des déplacements d'ossements détectés à la fouille. Dans le premier cas, l'étude du contexte de premier dépôt des objets pourrait nous permettre de savoir si les ossements trouvés en position secondaire étaient déjà enfouis dans leurs précédent contexte de dépôt.

L'étude des altérations taphonomiques du mobilier en base cuivre a permis, dans un premier temps, de déterminer que la plupart des objets de la nécropole se sont corrodés dans un milieu homogène. La structure de corrosion relevée sur les objets s'est développée sur quelques années à quelques dizaines d'années. Certains objets, pourtant, présentaient des zones de cassures très peu corrodées, indiquant que le milieu dans lequel ils ont été trouvés était bien moins agressif que celui qui a occasionné la corrosion vert clair. Ces cassures étant d'origine anthropique, elles ont permis de déterminer que les objets ont été déplacés volontairement depuis un milieu très corrosif vers un milieu moins corrosif. La différence entre les deux milieux, associée à l'homogénéité de la répartition des produits de corrosion à la surface des objets, est compatible avec la proximité de corps en décomposition, dans un contexte d'enfouissement.

Il est intéressant de noter que ce scénario s'applique également à l'unique objet en base cuivre provenant de séquence 2 de la vie des monuments : l'anneau n°1000 du monument II (**Laporte, Bocoum 2015**). Étant donnée sa position, il aurait pu être interprété comme un dépôt commémoratif. Or, notre étude montre qu'il pourrait en réalité provenir des niveaux sous-jacents : il aurait été prélevé au moment de la monumentalisation du monument, puis redéposé en surface. Cette situation se retrouve probablement pour le fer de javelot n°C3, du monument XIV, de même type que les fers des niveaux les plus profonds, mais retrouvé fiché

verticalement dans le comblement latéritique supérieur du monument, lors de la construction de la structure mégalithique (**Laporte, Bocoum 2012**). Il faut noter que, pour ces deux monuments, la fouille a montré que les fosses funéraires avaient été utilisées sur un temps relativement long, avec des comblements et recreusements successifs, avant qu'elles ne soient scellées (**Laporte, Bocoum 2015 ; 2016**).

Cela nous amène à nous questionner sur la position de certaines des six perles en or trouvées au sein de la nécropole. Trois d'entre elles proviennent de séquence 1 : deux du monument I (type A), une du monument XIV (type B) (**Laporte, Bocoum 2015**). Deux autres proviennent des comblements latéritiques du monument XX et du monument XVIII, et la dernière des abords du monument II (*Ibid.*). Nous nous demandons si ces trois derniers objets, associés à la séquence 2 de la vie des monuments, n'ont pas pu être collectés juste avant la fermeture des fosses et redéposés au sommet du monument. Si nos hypothèses s'avéraient justes, cela signifierait qu'il n'y aurait aucun apport nouveau de mobilier en métal après la phase de monumentalisation des tombes. Le métal ne serait pas pour autant cantonné à la première séquence de vie des monuments, puisque les objets prélevés ne sont pas redéposés dans les fosses d'où ils proviennent, mais en surface.

III.1.2. Mutilations sur les objets en base cuivre

Plusieurs objets ont été cassés ou abîmés par l'homme à l'occasion de ces déplacements verticaux. Nous avons montré que les cassures sont anciennes. Certaines sont survenues après une première corrosion des objets (n°1036, n°273, n°1, n°1000), tandis que d'autres sont antérieures au développement de la corrosion (n°368, n°412). Deux d'entre elles sont obliquement volontaires : la coupure sur l'anneau de cheville n°1036, effectuée depuis l'intérieur de la tige, probablement avec un couteau ; et le cintrage du bracelet n°368, qui semble avoir été mutilé en même temps que les fers de javelots qu'il devait enserrer, et qui ont été volontairement tordus sur leur pédoncule. En définitive, sur les 9 objets en base cuivre provenant des monuments fouillés, 6 ont été cassés, dont 4 après un premier dépôt en milieu corrosif. Cette situation ne connaît pas de comparaison dans d'autres assemblages de la région, mais il est vrai que Wanar est, pour le moment, la seule nécropole à avoir livré du mobilier en métal manifestement déplacé après de premiers dépôts.

III.1.3. Couleur des alliages et symbolique du cuivre

Les abrasions que nous avons réalisé en surface des objets nous ont permis d'apercevoir la couleur d'origine du métal. La question de la symbolique du cuivre avait déjà été posée au sujet du mobilier en base cuivre de la région par L. Garenne-Marot (1993). Celle-ci s'inspirait de la thèse de E. Herbert (1984), qui postulait une différence dans la valeur perçue des cuivres (rouges), des laitons (jaunes) et de l'or entre l'Afrique sahélienne et l'Afrique tropicale. Au nord, l'or serait valorisé, mais thésaurisé par une élite contrôlant les échanges marchands avec le Sahara (Garenne-Marot 1993). Le laiton en serait un substitut répandu dans la société, expliquant la forte demande de ces régions (*Ibid.*). Par ailleurs, les formations étatiques sahélienne, d'après les sources arabes, échangeaient du cuivre importé du monde musulman et produit localement avec les populations plus au sud contre de l'or, indiquant le peu de cas fait à l'or par les populations méridionales (Herbert 1984 ; Garenne-Marot 1993). Cette question se pose également pour la zone sénégambienne. L. Garenne-Marot a relevé, sur les sites de Sine Ngayène et Dioron Boumak, que les « cuivre rouges » (les plus purs) et les « cuivres jaunes » (les laitons suffisamment alliés) n'étaient jamais portés au même côté (Garenne-Marot 1993). Elle a également montré que certains types d'objet étaient systématiquement en cuivre pur, quand d'autres sont en laiton (*Ibid.*). Ainsi, à Sine Ngayène, les bracelets cannelés minces sont toujours des cuivres purs, tandis que les objets plus massifs sont plus souvent des laitons (*Ibid.*). A Wanar, les bracelets cannelés, de type Ib, sont effectivement des cuivres purs. Un élément pourrait alimenter cette question. Nous pensons avoir retrouvé l'origine de la perle n°1129 : le site de Gao Saney, au Mali. Ainsi, elle serait d'origine très lointaine, ce qui pourrait être interprété comme un signe de sa valeur symbolique ou marchande. Pourtant, il s'agit d'un objet de cuivre pur, de couleur rouge rosé. La présence en quantité importante de laitons comme de cuivres purs dans toute la zone délimitée par les fleuves Saloum et Gambie, et les éléments de symboliques identifiés dans les sépultures, indiquent que les deux nuances étaient valorisées au sud, tandis que les laitons plus fortement alliés et les alliages plus complexes semblent avoir la faveur des populations du fleuve Sénégal. La présence d'or dans la zone méridionale montre également l'importance que revêtait ce métal. De ce point de vue, la zone Saloum-Gambie pourrait-elle être considérée comme à l'interface entre un monde du cuivre rouge et un monde de l'or et du laiton ? Les données concernant les zones situées au sud du fleuve Gambie, et qui permettraient de tester cette hypothèse, sont, malheureusement, inexistantes.

III.2. Faciès technique de la nécropole et chronologie des dépôts d'objets en base cuivre

Notre étude a permis de mettre en évidence le faciès technique représenté sur la nécropole de Wanar. Ce dernier apparaît comme assez diversifié.

La mise en forme des objets est dominée par la coulée en forme ou en préforme (5 objets sur 8), suivie du cintrage probable des objets, plutôt opéré à chaud, comme l'indique la faible fragmentation des inclusions. Parmi les objets coulés, nous avons pu mettre en évidence, dans au moins trois cas, l'emploi de la technique de fonte à la cire perdue (n°48, n°412, n°1000, le doute persistant pour l'anneau n°1). Le martelage à chaud est représenté par l'objet n° 273, qui a été entièrement forgé. La déformation à froid n'est connue avec certitude que pour la torsade du bracelet n°1036. Il paraît probable que ses extrémités aient été obtenues par martelage à froid également.

Ce profil reste à mettre en rapport avec son contexte de dépôt. Notre mémoire de master 1 avait mis en évidence une grande diversité typologique des objets, compte tenu de leur faible nombre total, sans pouvoir, en ce qui concerne la parure, dégager des continuités ou de discontinuités particulièrement signifiantes entre les deux grands types de monuments. De manière générale, la diversité observée donne l'impression que chaque monument est unique du point de vue de la typologie du mobilier en base cuivre. Nous espérions dégager des tendances plus fortes au moyen de notre étude technologique, mais nous verrons qu'elles tendent plutôt à accroître ce sentiment de diversité.

III.2.1. Faciès technique et contexte de dépôt

Le monument XX ne contenait que des cuivres purs, provenant de la même fosse (fosse 2) (**Laporte, Bocoum 2014**). Les quatre objets se répartissent en deux types : les bracelets cannelés de type Ia, comme définit par L. Garenne-Marot (**1993**), et les anneaux ouverts de section sub-losangique. Notre analyse a montré que ces derniers sont issus de deux chaînes opératoires très différentes. Quant aux bracelets, l'extension de la corrosion sur le n°368 nous empêche de savoir comment il a été fabriqué. La forme de leurs cannelures reste suffisamment dissemblable pour supposer que ce dernier a été obtenu par un processus de coulée différent de la méthode de la cire perdue mise en évidence pour le n°412. Il a pu, par exemple, être coulé en moule ouvert (**Garenne-Marot 1993**). Par ailleurs, si les anneaux ont été trouvés tous deux

sur la marche d'entrée de la fosse 2 du monument (**Laporte, Bocoum 2014 ; 2015**), la fouille a clairement montré que le dépôt d'ossements auquel appartenait le bracelet n°412 était antérieur à celui contenant le bracelet n°368 (**Laporte, Bocoum 2015**). Enfin les analyses élémentaires révèlent deux groupes d'alliages assez distincts, séparant un peu plus les objets de même type, mais rapprochant entre eux l'anneau n°273 et le bracelet n°368. Les deux autres objets sont semblables par leur taux de zinc, mais le fer est sous-représenté dans le cuivre du bracelet n°412. Toutefois, ces quatre objets présentent comme caractéristique principale de contenir de forts taux de soufre, ce qui les distingue nettement des autres objets de la nécropole. Les trois autres objets se singularisent tous. La perle rubanée à spires jointives trouvée au sein d'une fosse annexe à la fosse principale du monument XVIII, se distingue par sa grande pureté. Il s'agit du seul objet en ruban de cuivre. L'anneau n°1000 (mon. II), coulé en forme, se détache des autres cuivres purs par sa grande finesse de réalisation, et par ses teneurs en éléments mineurs, proches, à l'exception du zinc, de celles de l'anneau de cheville n°1036. La composition en éléments mineurs des deux laitons est très proche, malgré des procédés de fabrication très différents : coulée en forme pour le n°48, martelage à froid pour le n°1036.

III.2.2. Mobilier en base cuivre et chronologie de la nécropole

Quatorze datations radiocarbone ont été réalisées en 2017 sur la nécropole de Wanar (**Laporte, Bocoum 2017**). Toutes menées sur charbon, elles viennent s'ajouter à la date obtenue sur une dent du monument I déjà obtenue auparavant (**Laporte, Bocoum 2012**). Elles ont permis de délimiter chronologiquement l'activité des fosses funéraires, et la construction des structures mégalithiques sus-jacentes. Elles ont montré que la monumentalisation des monuments était à situer, pour les monuments de type A, plutôt au XI^e s., de notre ère, et pour les monuments de type B, plutôt au XII^e s. (**Laporte, Bocoum 2017**). Elles ont également confirmé que les fosses funéraires sous-jacentes aux monuments de type A ont pu être actives sur une longue période, peut-être plusieurs siècles (*Ibid.*).

Nos remarques précédentes sur la chronologie relative des dépôts de mobilier métallique nous conduisent à considérer la monumentalisation des monuments de chaque type comme des *ante-quem* aux dépôts de mobilier métallique, même lorsque du mobilier se trouve associé à cette monumentalisation.

L'interprétation des datations radiocarbone en fonction des données de fouilles est un travail encore en cours (*Ibid.*). De nouvelles datations doivent être menées, ainsi que des analyses

bayésiennes (*Ibid.*). Il est, aujourd’hui, délicat de chercher à replacer en chronologie tout le mobilier de la nécropole. De plus, ces datations sont très étalementes, ce qui limite les comparaisons entre les contextes.

Toutefois, nous pouvons d’ores et déjà remarquer que le mobilier en base cuivre apparaît au moins au X^e siècle de notre ère⁵, avec l’objet n°1036, pris entre deux datations : l’une provenant d’un niveau sous-jacent à son contexte de dépôt (Ly-14819 : 1110 +/-30 BP soit 879-1013 AD), l’autre d’un foyer scellant le comblement de la fosse sépulcrale (Ly-14824 : 1065 +/-30 BP soit 896-1023AD) (*Ibid.*). La présence de cet objet tend à valider ces datations, l’apparition du laiton au nord du Sénégal, par le commerce transsaharien, datant du IX^e s. de notre ère (**Bocoum, McIntosh 2002**). Le cuivre, à Wanar, pourrait paraître encore un peu plus ancien, d’abord parce que l’anneau de cheville n°1036 a été déplacé, et ensuite parce que le bracelet n°2050⁶, qui provient des niveaux funéraires du monument II, pourrait être, théoriquement, plus ancien : une datation des niveaux supérieurs du monument II, constituant donc un *ante quem* à son dépôt, couvre la période 1022-1155 (Ly-14816 : 955 +/-30 BP) (*Ibid.*). De plus, les niveaux funéraires du monument 27 de la nécropole mégalithique de Ngayène II, fouillés par A. Holl, ont livré un bracelet cannelé massif associé à une datation autour des VIII^e-IX^e s. de notre ère (**Holl, Bocoum 2017**), ce qui pourrait en faire l’un des plus anciens objets en cuivre de la région. Il semble de même type que le bracelet n°2050 (*Ibid.*). Toutefois, il est surprenant de trouver du cuivre si tôt, aussi au loin au sud, alors qu’il fait sa réapparition dans la vallée du fleuve Sénégal à partir du XI^e siècle de notre ère, après plus d’un millénaire d’absence (**Vernet 2012**). De plus, les deux bracelets cannelés massifs considérés ont des chances d’être en laiton, comme 100% des bracelets de plus de 100g analysés par L. garenne-Marot (**1993**). Cette hypothèse, qui les situerait assurément après le IX^e s. de notre ère, nous paraîtrait particulièrement intéressante à tester.

Les dépôts du monument XX ont été datés de la période 1018-1155 (Ly-14821 : 965 +/-30 BP), soit de la fin du XI^e au début du XII^e s. de notre ère (**Laporte, Bocoum 2017**). Les dépôts du monument XIV, quant à eux, sont antérieurs à la période 1165-1265 (Ly-14812 : 820 +/-30 BP) (*Ibid.*).

⁵ Le mobilier en or, quant à lui, fait son apparition au XI^e s. de notre ère, au sein du monument I, qui n’a pas livré de mobilier en base cuivre (**Laporte, Bocoum 2017**).

⁶ Ce bracelet cannelé, de type IV, ne fait pas partie de notre corpus, étant resté au Sénégal.

III.3. Le mobilier en base cuivre de Wanar dans son contexte régional

Nous avions, dans notre travail de mémoire de master 1, montré que le faciès typologique du mobilier en métal de Wanar s'inscrit dans le faciès de la région située entre le fleuve Saloum et le fleuve Gambie, tandis qu'il semble ne pas avoir subi l'influence de la vallée du fleuve, au nord du Sénégal (**Lamotte 2018**). Les assemblages de la région méridionale sont caractérisés par des dépôts de parure annulaire en base cuivre et en fer, associés à de l'armement en fer, essentiellement de l'armement de jet (*Ibid.*). Plusieurs types d'objets en base cuivre sont partagés entre les trois espaces funéraires de la région que sont la zone mégalithique, celle des amas coquilliers et celle des tumulus de terre. Ceux retrouvés à Wanar sont les bracelets cannelés, type de parure le plus répandu dans la région, et les petits anneaux de section sub-losangique à ovalaire, parfois portés en bagues de doigts, parfois aux orteils (*Ibid.*).

Dans la présente étude nous cherchons à confronter ces observations typologiques à des critères technologiques, déjà documentés par L. Garenne-Marot dans son travail de thèse (**1993**).

III.3.1. Les techniques de fabrication

L. Garenne-Marot a relevé, sur les objets en base cuivre de la région située entre les fleuves Saloum et Gambie, des marques de fabrication correspondant à plusieurs techniques de coulée, de formage et de décoration (**Garenne-Marot 1993**).

La coulée en moule ouvert est l'hypothèse privilégiée par L. Garenne-Marot pour l'obtention de trois des quatre objets de parure annulaire analysés en métallographie dans le cadre de sa thèse (*Ibid.*). Ces objets ont toutefois été repris par martelage, à froid ou à chaud (*Ibid.*). Des techniques différentes de façonnage sont employées pour des bracelets de même type : des deux bracelets cannelés analysés, l'un a été entièrement forgé, tandis que l'autre a été coulé puis repris par martelage, à chaud ou à froid (*Ibid.*). Certaines perles en base cuivre du tumulus coquillier de Dioron Boumak ont été façonnées à partir d'une plaque de cuivre roulée et martelée (*Ibid.*), au moyen de la même technique de fabrication que la perle en or n°1, du monument XVIII de Wanar (**Laporte, Bocoum 2015**), et la même technique, d'ailleurs, qu'une grande perle provenant également de Dioron Boumak. D'autres ont été coulées en forme (**Garenne-Marot 1993**), technique également employée à Wanar sur les perles, dont l'analyse a pu préciser qu'il s'agissait de fonte à la cire perdue (**Laporte, Bocoum 2015**). Cette technique

est très répandue en Afrique de l'Ouest, mais L. Garenne-Marot en parle peu concernant les objets provenant de la région située au sud du fleuve Saloum. Les fils de cuivre sont également travaillés, mais probablement pas tréfilés : ils sont plutôt martelés, peut-être dans des matrices (*Ibid.*). Leur emploi reste toutefois assez rare (*Ibid.*). Les techniques de décos employées sont la ciselure et la gravure, et la réalisation sur modèle de cire, souvent avec reprise des décors par ciselure (*Ibid.*). La région méridionale est caractérisée par une moindre diversité des techniques employées pour travailler le métal que dans la région septentrionale du Sénégal protohistorique (*Ibid.*). La maîtrise des techniques utilisées varie grandement, de même que le soin apporté à la finition des objets (*Ibid.*). Devant l'emploi massif de la forge à chaud pour la fabrication des objets, l'auteure formulait l'hypothèse que les fondeurs et les travailleurs du cuivre étaient, dans la zone sénégambienne, également les forgerons (*Ibid.*).

Ce profil régional correspond très bien aux données recueillies à Wanar : martelage à chaud, martelage à froid, fonte à la cire perdue, cintrage... Pratiquement tout l'éventail des techniques connues pour la région est mis en œuvre à Wanar. Cela contraste toutefois avec la sobriété des objets, qui sont très peu décorés. De plus, le traitement qui leur est réservé est inégal : l'anneau de cheville n°1036 (mon. XIX) semble avoir été formé avec le plus grand soin, tandis qu'un objet comme l'anneau n°1 (mon. XX), coulé en baguette, présente d'importants défauts de coulée. Même constat pour le bracelet n°48 (mon. XX), qui présente de grosses fissures et dont les surfaces ont été laissées brutes de coulée. Cela pose la question, d'ailleurs, de l'usage de ces deux objets : ont-ils été portés et abandonnés, ou ont-ils pu être coulés dans le cadre des gestes funéraires, et destinés à être abandonnés ? Toujours est-il que nous pouvons constater que le travail de martelage attesté à Wanar est généralement très fin (n°1036, n°273), tandis que les opérations de coulée ont l'air moins bien maîtrisées. Cela irait dans le sens de l'hypothèse des forgerons-fondeurs citée plus haut. La grande disparité de qualité des objets, toutefois, interroge également sur les catégories de population travaillant le cuivre dans la zone méridionale. Cette métallurgie semble avoir autant été pratiquée par des non-spécialistes que par de très bons artisans. Cela contraste avec l'hypothèse du « fèvre » de Sincu Bara (site du fleuve Sénégal), artisan spécialisé travaillant avec dextérité plusieurs métaux, proposée par L. Garenne-Marot pour expliquer la qualité de la production de ce site (**Garenne-Marot 1993**).

III.3.2. Alliages des cuivres et réseaux d'échange

L. Garenne-Marot a fait réaliser des analyses élémentaires sur 48 objets provenant de la zone des amas coquilliers et de la zone sénégambienne (**Garenne-Marot 1993**).

Ces analyses ont révélé trois principaux groupes d'alliages cuivreux dans la région : les cuivres purs ou presque purs, les laitons faiblement alliés (5-8% m), et les laitons moyennement alliés (10-13% m)⁷ (*Ibid.*). Quelques rares objets (n=4), sont en laiton plus fortement allié. Les catégories d'alliages trouvées à Wanar s'inscrivent parfaitement dans ce profil. Par ailleurs, il y a une correspondance entre les alliages de laiton trouvés dans la zone Saloum-Gambie et ceux trouvés sur les sites du Fleuve Sénégal. Nous savons que le laiton, à ces époques, est acheminé par le commerce caravanier transsaharien, et redistribué en Afrique de l'Ouest depuis des centres marchand sahéliens, où il est généralement dilué avec du métal d'importation et du métal local (*Ibid.*, **Garenne-Marot 2009**). Ainsi, les laitons de la zone sénégambienne ont probablement transité par la ville mauritanienne d'Awdaghast (Tegdaoust), du moins dans la première moitié du XI^e s., où ils sont transformés avant de parvenir sur la zone du fleuve Sénégal (*Ibid.*). C'est depuis cet espace que sont acheminés les laitons que l'on retrouve au sud, ce qui explique également leur proximité de composition, qui reste toutefois encore largement à explorer (*Ibid.*). Toutefois, la diversité des alliages connue au nord (avec parfois des alliages ternaires et quaternaires, et des laitons plus fortement alliés) n'est pas retrouvée au sud, ce qui indique qu'une transformation spécifique des métaux avait lieu sur les rives du fleuve Sénégal, à usage local (*Ibid.*), et qu'il y avait une certaine déconnexion entre ces deux espaces, reflétée par ailleurs dans les faciès typologiques du mobilier métallique (**Lamotte 2018**).

⁷ L'auteure utilise un vocabulaire relatif à l'ensemble étudié pour désigner la teneur en zinc des laitons. Ainsi, elle parle, pour la partie méridionale de sa zone d'étude (Saloum-Gambie), de laitons fortement alliés lorsque la teneur en zinc est d'environ 10%, alors que ces mêmes laitons sont désignés comme moyennement alliés dans la vallée du fleuve Sénégal, au nord. Nous avons choisi de parler de laitons faiblement alliés pour la tranche 5-8% m de zinc, de laitons moyennement alliés pour la tranche 10-13% m , et de laitons fortement alliés au-delà.



Figure 34 : Les objets en "demi-lune" du site de Gao-Saney. Extrait de Cissé et al. (2013).

Toujours est-il que la nécropole de Wanar se trouve reliée à des réseaux d'échange de métaux sur de très longues distances. A ces échanges nord-sud, nous pouvons ajouter un probable échange est-ouest, grâce à l'identification typologique de la perle n°1129, que nous avons pu réaliser cette année. Ce type d'objet a, en effet, été retrouvé en très grand nombre sur les ateliers du site d'habitat de Gao-Saney, situé à

plusieurs milliers de kilomètres à l'est, et daté du VIII^e au XIII^e s. de notre ère (Cissé et al. 2013). Il s'agit également de perles en enroulement d'une bande de cuivre en spires jointives, courbées en demi-lune, dont la production est située autour du X^e s. (Figure 34). Leur forme semble varier quelque peu (elles sont plus ou moins effilées). Elles étaient associées à d'autres objets en demi-lune, mais apparemment pleins et plus massifs. Malheureusement, aucune analyse élémentaire n'a encore été réalisée⁸, qui permettrait de comparer ces objets à la perle de Wanar.

Enfin, la question de l'origine des cuivres les plus purs est bien moins connue que celle des laitons. Les travaux de L. Garenne-Marot ont montré une grande diversité de la signature en éléments mineurs et traces des cuivres purs (*Ibid.*). Les analyses menées à Wanar vont également dans ce sens. Nous tenons cependant à préciser une limite à l'utilisation des analyses réalisées dans le cadre de la thèse de L. Garenne-Marot. A Wanar, l'élément soufre est présent dans tous les objets, et dans des taux particulièrement élevés pour les objets du monument XX. Toutefois, les tableaux d'analyses présentés par L. Garenne-Marot ne mentionnent pas du tout cet élément. Les analyses métallographiques, en revanche, montrent bien la présence d'inclusions de sulfures dans le métal, parfois en quantités notables. Cela introduit un biais

⁸ L'article mentionne des analyses des isotopes du plomb, pointant vers des minéraux marocains comme origine de ce cuivre. Il nous paraît étrange de réaliser de telles analyses sans avoir étudié les objets stylistiquement et technologiquement au préalable, notamment en s'intéressant aux alliages. De plus, le problème récurrent de la méconnaissance de la composition des minéraux de cuivre africains médiévaux, dont on sait pourtant qu'ils étaient exploités, rend caduque toute interprétation sur l'origine du cuivre constituant les objets.

important aux résultats proposés par L. Garenne-Marot, et limite grandement les interprétations que nous pouvons faire quant à la nature des alliages.

Nous avons vu, de plus, que de nombreux éléments peuvent influencer les teneurs en éléments mineurs dans les alliages, des hétérogénéités dans le mineraï aux mélanges entre des cuivres d'origine différente (**Mille, Bourgarit 2000**). Toutefois, il semblerait bien que le cuivre de la région Saloum-Gambie soit issu de multiples sources. Cette diversité dans les cuivres purs ne se retrouve pas, par exemple, dans la vallée du fleuve Sénégal (**Garenne-Marot 1993**). Sans nous permettre de trancher, cela autorise à supposer une autre origine à ce cuivre que le commerce transsaharien. Pour élucider la question, outre un retour aux analyses, et la manipulation des résultats obtenus par L. Garenne-Marot, il nous paraît nécessaire de réaliser des typo-chronologies des objets de la région, à partir des nouvelles données des fouilles sur plusieurs nécropoles, comme Ngayène II. Surtout, c'est toute la chaîne opératoire du cuivre qu'il faut retrouver : où et comment le cuivre était-il travaillé ? Quelles sont les gisements potentiels de minérais, dans la zone sénégambienne et en Afrique de l'Ouest, et quel est leur profil élémentaire et isotopique ?

Conclusion

Notre étude avait pour objectif de documenter la variabilité technologique du mobilier en base cuivre de la nécropole de Wanar, afin de mieux comprendre, d'une part, les modalités de distribution des objets en base cuivre au sein de la nécropole, et d'autre part, l'insertion de celle-ci dans les échanges régionaux et inter-régionaux. Ce travail fait suite à l'étude typologique et fonctionnelle du corpus de mobilier métallique de Wanar, et de ses liens avec les autres sites de la protohistoire récente de la région sénégambienne.

Afin d'aborder ces questions, nous avons réalisé notre étude au moyen d'une méthodologie axée sur trois approches complémentaires. L'intérêt porté à la taphonomie des objets à travers l'étude des surfaces corrodées a permis de reconstituer l'histoire des dépôts successifs des objets, et de les mettre en rapport avec des altérations d'origine anthropique, dont certaines, au moins, correspondent à des mutilations volontaires. Ces résultats pourront également être utilisés pour la compréhension des contextes de dépôts primaires de certains des ossements trouvés en position secondaire. L'observation macroscopique et microscopique des surfaces des objets nous a permis d'identifier les marques de leur façonnage, ainsi que l'ordre de leur réalisation. Les analyses au MEB, sur une zone d'abrasion révélant le cuivre sain et polie, ont

permis de s'intéresser aux inclusions prises dans la matrice métallique. L'examen de leur morphologie a permis d'identifier les états bruts de coulée, et d'estimer la déformation subie par le métal, informations qui se sont révélées cruciales pour notre compréhension des objets, dont la lecture des surfaces est rendue difficile par l'extension des produits de corrosion. Les analyses EDS au MEB enfin, ont servi à identifier les alliages et dégager les teneurs en éléments majeurs et mineurs des objets de Wanar.

Ce travail a permis de dégager le faciès technique de la nécropole, caractérisé en premier lieu par sa diversité. A l'exception des techniques de décor, les monuments fouillés de la nécropole de Wanar semblent réunir la plupart des techniques de façonnage des objets en cuivre connues à travers les dépôts funéraires de la zone située entre les fleuves Saloum et Gambie. Le faciès technique, comme le faciès typologique du mobilier métallique de la nécropole s'inscrivent ainsi résolument dans cet espace, plutôt que dans la zone mégalithique proprement dite. L'étude des alliages, avec la mise en valeur des trois groupes typiques de la région – cuivres purs, laiton faiblement allié, laiton moyennement allié – confirme cette appartenance. Toutefois, notre travail montre aussi l'intégration de la nécropole dans des réseaux d'échange de métaux à plus longue distance, les laitons provenant d'Afrique du Nord, et transitant par le nord de la Sénégambie. L'identification d'une perle provenant de Gao Saney ou de sa région montre également que des échanges est-ouest ont eu lieu, et nous paraît montrer que le cuivre rouge n'était pas forcément, dans cette région méridionale, moins bien considéré que le cuivre jaune.

Nous espérons que notre travail a montré tout l'intérêt d'une étude poussée du mobilier métallique de la zone sénégambienne, partant d'une approche morpho-typologique, cadre nécessaire aux études technologiques. Cette démarche, étendue à un corpus plus important, présente des possibilités très intéressantes pour une compréhension plus fine de la chronologie, de la symbolique et de l'économie du métal en base cuivre à l'échelle de la sous-région. Ainsi, l'étude des cuivres purs et de la diversité de leurs profils en éléments mineurs, que les analyses menées à Wanar contribuent à alimenter, semble particulièrement pertinente pour identifier ce qui ressemble de plus en plus à des productions locales de cuivre. Elle se heurte toutefois à une limite récurrente des études sur ce matériau : le manque de connaissances et de travaux de recherche sur l'exploitation protohistorique des gisements de cuivre locaux et leur signature élémentaire et isotopique.

L'étude stylistique et technologique des objets en fer nous paraît tout aussi prometteuse pour s'intéresser aux rapports entre les différentes populations de la région sénégambienne et de l'Afrique de l'Ouest médiévale. Ce métal est, de plus, au cœur de l'économie des sociétés

ouest-africaines. La production et l'utilisation du fer, en plein essor autour de l'an 1000, est un élément central de leur développement. En outre, la métallurgie du fer est bien mieux connue en Afrique de l'Ouest que la métallurgie du cuivre, mais les objets n'ont pratiquement jamais été étudiés. Notre présent travail devait constituer un premier pas vers l'étude de l'aboutissement de la chaîne opératoire de production du fer. Toutefois, en raison de délais et de problèmes techniques répétés, nous avons dû extraire cette étude de notre mémoire. Les objets de Wanar sélectionnés pour nos observations métallographiques ont, cependant, fait l'objet des prélèvements prévus, en relation avec le laboratoire de restauration Materia Viva, et les sections, polies, sont prêtes à être exploitées. Elles le seront très prochainement, dans le cadre d'un travail de thèse.

Bibliographie

Armbruster 2000

ARMBRUSTER B., *Goldschmiedekunst und Bronzetechnik : Studien zum Metallhandwerk der Atlantischen Bronzezeit auf der Iberischen Halbinsel*, s.l. : s.n.

Bertholon 2000

BERTHOLON R., *La limite de la surface d'origine des objets métalliques archéologiques. Caractérisation, localisation et approche des mécanismes de conservation*. [en ligne], (s.l., Université Panthéon-Sorbonne-Paris I), URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00331190/> [lien valide au 1 janvier 2017].

Bertholon 2002

BERTHOLON R., « Proposition d'une méthode de description de la corrosion adaptée aux objets métalliques archéologiques : schéma général de la méthode », in *Cahier technique de l'ARAAFU n°9 : XVIIe Journées des Restaurateurs en Archéologie*, XVIIe Journées des Restaurateurs en Archéologie, s.l. : s.n., pp. 56-75.

Bocoum, McIntosh 2002

BOCOUM H., MCINTOSH S. K., *Fouilles à Sincu Bara, moyenne vallée du Sénégal : Excavations at Sincu Bara, Middle Senegal Valley (Senegal)*, Nouakchott, Mauritanie, Sénégal : CRIA-Université de Nouakchott.

Cissé et al. 2013

CISSÉ M., MCINTOSH S. K., DUSSUBIEUX L., FENN T., GALLAGHER D., SMITH A. C., « Excavations at Gao Saney : New Evidence for Settlement Growth, Trade, and Interaction on the Niger Bend in the First Millennium CE », *J. Afr. Archaeol.*, 11, 1, pp. 9-37.

Coffyn 1973

COFFYN A., « Le dépôt du château de Longuetille à Saint-Léger (Lot-et-Garonne) », *Rev. Hist. Libournais*, pp. 99-110.

Craddock 1985

CRADDOCK P. T., « Medieval Copper Alloy Production and West African Bronze Anlyses », *Archaeometry*, 27, 1, pp. 17-41.

Craddock, Picton 1986

CRADDOCK P. T., PICTON J., « Medieval Copper Alloy Production and West African Bronze Anlyses - Part II », *Archaeometry*, 28, 1, pp. 3-32.

Cros et al. 2013

CROS J.-P., LAPORTE L., GALLAY A., « Pratiques funéraires dans le mégalithisme sénégalien : décryptages et révisions », *Afr. Archeol. Arts*, 9, pp. 67-84.

Garenne-Marot 1993

GARENNE-MAROT L., *Archéologie d'un métal: le cuivre en Sénégambie entre le Xe et le XIVe siècle*, Thèse de doctorat (Paris, France, Université Panthéon-Sorbonne).

Garenne-Marot 1995

GARENNE-MAROT L., « Le commerce médiéval du cuivre: la situation dans la Moyenne Vallée du Sénégal d'après les données archéologiques et historiques », *J. Afr.*, 65, 2, pp. 43–56.

Garenne-Marot et al. 2003

GARENNE-MAROT L., ROBION-BRUNNER C., MILLE B., « Cuivre, alliages de cuivre et histoire de l'empire du Mali : à propos de trois figurines animales d'un tumulus du delta intérieur du Niget (Mali) », *Techne*, 18, pp. 74-86.

Garenne-Marot 2009

GARENNE-MAROT L., « “Fils à double tête” and Copper-based Ingots : Copper Money-objects at the Time of the Sahelian Empires of Ancient Ghana and Mali », in *Money in Africa*, s.l. : s.n., pp. 1-8.

Gargam 2005

GARGAM C., *Contribution de la radiographie à l'étude du mobilier archéologique: méthodologie pour la mise en valeur de l'information (réalisation, interprétation, traitement graphique des clichés)*, Thèse de doctorat (Toulouse, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II).

Gluchy 2017

GLUCHY A., « Le savoir-faire des artisans bronziers au Bronze final: lecture des états de surface d'objets de parure issus du dépôt n°2 de Saint-Priest Les Feuilly (Rhône) », *Rev. Archéologique Est*, tome 66, pp. 113-152.

Herbert 1984

HERBERT E. W., *Red gold of Africa: copper in precolonial history and culture*, University of Wisconsin Press, Madison, Wis., Etats-Unis d'Amérique : s.n.

Holl, Bocoum 2017

HOLL A. F. C., BOCOUM H., *Megaliths, Cultural Landscape and the Production of Ancestors*, Saarbrücken, Germany : Editions Universitaires Européennes.

Killick 2016

KILICK D. J., « A global perspective on the pyrotechnologies of Sub-Saharan Africa », *Azania Archaeol. Res. Afr.*

Lagarde 2008

LAGARDE C., *Production métallique en Aquitaine à l'âge du bronze moyen : techniques, usages et circulation*, (Bordeaux, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3).

Lamotte 2018

LAMOTTE P., *Le mobilier métallique de la nécropole de Wanar (Sénégal) : première approche typologique et fonctionnelle et archéologique*, Mémoire de Master 1 (Toulouse, Toulouse 2 - Jean Jaurès).

Laporte, Bocoum 2012

LAPORTE L., BOCOUM H., *Rapport de mission archéologique : La nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)*, s.l.

Laporte, Bocoum 2014

LAPORTE L., BOCOUM H., *Rapport de mission archéologique : La nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)*, s.l.

Laporte, Bocoum 2015

LAPORTE L., BOCOUM H., *Rapport de mission archéologique : La nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)*, s.l.

Laporte, Bocoum 2016

LAPORTE L., BOCOUM H., *Rapport de mission archéologique : La nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)*, s.l.

Laporte, Bocoum 2017

LAPORTE L., BOCOUM H., *Rapport de mission archéologique : La nécropole mégalithique de Wanar (Sénégal)*, s.l.

Mille, Bourgarit 2000

MILLE B., BOURGARIT D., « L'analyse des alliages anciens à base cuivre : état des connaissances et développement d'un protocole d'analyse par ICP-AES », *Rev. Archéom.*, 24, pp. 13-26.

Nordez 2017

NORDEZ M., *L'âge du bronze moyen au prisme de la parure : Recherches sur les ornements corporels métalliques de France nord-occidentale et des régions voisines (XVI^e-XIII^e siècle avant notre ère)*, (s.l., Université Toulouse - Jean Jaurès - Toulouse II).

Nørgaard 2015

NØRGAARD H., « Metalcraft within the Nordic Bronze Age: Combined metallographic and superficial imaging reveals the technical repertoire in crafting bronze ornaments », *J. Archaeol. Sci.*, 64, pp. 110-128.

Pernot, Hurtel 1987

PERNOT M., HURTEL L., « Caractérisation métallographique de tôles d'alliages base cuivre des époques Celtes et Gallo-Romaine », *Bull. Société Préhistorique Fr.*, 84, 8, pp. 238-247.

Robbiola, Fiaud 1992

ROBBIOLA L., FIAUD C., « Apport de l'analyse statistique de la composition des produits de

corrosion à la compréhension des processus de dégradation des bronzes archéologiques », *Rev. Archéom.*, 16, pp. 109-119.

Robbiola, Portier 2006

ROBBIOLA L., PORTIER R., « A global approach to the authentication of ancient bronzes based on the characterization of the alloy–patina–environment system », *J. Cult. Herit.*, 7, pp. 1-12

Thilmans et al. 1980

THILMANS G., DESCAMPS C., KHAYAT B., *Protohistoire du Sénégal: recherches archéologiques. Tome 1, Les sites mégalithiques*, Dakar, Sénégal : IFAN.

Vernet 2012

VERNET R., « Le Chalcolithique de Mauritanie (3000-2500 calB.P.): Etat de la question », *Sahara*, 23, pp. 7-28.

Table des figures

Figure 1 : La nécropole de Wanar au sein du phénomène mégalithique sénégambien.	3
Figure 2 : Le nombre d'objets de la nécropole de Wanar, par matière. n=52	3
Figure 3 : A gauche , les deux types de cercles mégalithiques de la nécropole (C. L. Laporte). A droite , le plan de la nécropole (nord en haut). En rouge, les monuments de type B, en bleu les types A. Encadrés noirs : monuments fouillés (DAO L. Laporte, modif. P. Lamotte).	4
Figure 4 : Les trois grandes séquences de la vie des monuments. En arrière-plan : coupe du monument XIV, montrant les multiples comblements et recreusements dans la fosse principale.	4
Figure 5 : la zone d'abrasion sur l'anneau n°1.	10
Figure 6 : La cassure sur l'anneau n°273. On distingue les produits de corrosion rouge bordeaux (flèche de gauche), situés sous les produits de corrosion vert clair pulvérulents. La	

cassure a recoupé une fissure plus ancienne, comblée par des produits de corrosion d'un noir mat (flèche de droite, pointillés)	13
Figure 7 : Les extrémités du bracelet n°48, et les deux types de produits de corrosion à sa surface (vert clair, type II ; vert foncé, type I). La partie interne des tampons est lisse et légèrement concave.....	14
Figure 8 : Les deux bracelets cannelés du monument XX, déformés sur leur pourtour. En rouge, la position des abrasions, sur la cannelure du bord du n°368, et sur la partie interne du n°412.	17
Figure 9 : Cartographie élémentaire de la zone analysée sur le bracelet n°368. Les inclusions globulaires identifiées au MEB (en noir, à gauche), s'avèrent être des inclusions de sulfures (en bleu, à droite). Le MEB a révélé une structure identique pour le bracelet n°412.....	17
Figure 10 : A gauche la microstructure dendritique du bracelet n°412 visible sur une cassure (encadré). A droite , les boursoufflures rectilignes sur les cannelures du même objet. Les deux images montrent les angles aigus formés par les cannelures, formant des contre-dépouilles. .18	18
Figure 11 : Les cannelures du bracelet n°368. Elles ne présentent pas de contre-dépouille. .18	18
Figure 12 : En haut : Une éraflure importante sur le bracelet n°368, recouverte par les produits de corrosion vert clair. En bas : La radiographie du même objet, qui montre des cassures internes au niveau des zones de torsion. Cl. Arc'Antique.	19
Figure 13 : Un dépôt de produits de corrosion du fer recouvert par la corrosion du cuivre sur la face interne du bracelet n°368.....	19
Figure 14 : Les deux anneaux du monument XX. Les extrémités du n°273 (haut) présentent les marques du forgeage, alors que celles du n°1 (bas, 1) sont très rectilignes. Sur le même cliché, on distingue un bourrelet de matière laissé par le façonnage du décor (bas, 1, encadré). Le négatif de bulles survenues à la coulée est visible sur la face interne de l'anneau n°1 (bas, 2). En rouge, les zones d'abrasions, toutes deux situées sur la face extérieure des anneaux. .21	21
Figure 15 : Les cartographies élémentaires réalisées sur les anneaux n°273 (haut) et n°1 (bas).	21
Figure 16 : Les étapes de la réalisation de l'anneau n°273. Les dimensions du produit initial sont indicatives.....	22
Figure 17 : Les stries présentes sur les extrémités des deux anneaux. A gauche , celles de l'anneau n°273, et l'ordre de leur de réalisation. A droite , la forme, en "V" très net, d'une des stries de l'anneau n°1.....	22

Figure 18 : L'anneau de cheville n°1036, dont la tige a été coupée. La partie principale de la tige est notée A, tandis que le plus petit fragment est noté B (l'objet est remonté pour la photographie). En flèches pointillées figure le sens de la coupure. En rouge, la zone d'abrasion, située sur la partie extérieure de la tige.....	24
Figure 19 : La cartographie élémentaire réalisée sur l'anneau de cheville n°1036.	24
Figure 20 : Les étapes de réalisation du bracelet n°1036 que notre étude a pu reconstituer. .	26
Figure 21 : La morphologie de la coupure sur la tige de l'anneau de cheville n°1036. En haut , la partie A de la tige. En bas , la partie B.....	27
Figure 22 : Le bracelet n°48. Sa tige semble avoir été formée dans une matière plastique, notamment au niveau des extrémités. En rouge, la zone d'abrasion, située sur la face externe du bracelet.....	28
Figure 23 : La microstructure dendritique toujours visible à la surface du bracelet n°48.....	29
Figure 24 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur le bracelet n°48 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu et violet, les inclusions de sulfure au plomb (droite). ..	29
Figure 25 : Relief dans la coulée du bracelet n°48, hérité du modèle de cire.....	29
Figure 26 : A gauche : La radiographie de l'objet révèle une zone de moindre densité dans l'objet. A droite : Des fissures sont présentes sur la partie interne de la tige. On distingue également, sur le rebord des extrémités, les traces d'un ébarbage grossier.....	29
Figure 27 : La perle n° 1129. On distingue un méplat sur sa face interne. En rouge, la zone d'abrasion.....	30
Figure 28 : La forme de la bande de cuivre utilisée pour la fabrication de la perle n°1129... Figure 29 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur la perle n°1129 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu, les inclusions de sulfures (droite). ..	31
Figure 30 : L'anneau n°1000, déformé sur son pourtour. En rouge, la zone d'abrasion.	31
Figure 31 : Imagerie au MEB de la zone échantillonnée sur l'anneau n°1000 (gauche) et cartographie élémentaire révélant, en bleu, les inclusions de sulfures (droite). ..	32
Figure 32 : Irrégularité de la largeur de l'anneau, correspondant à de petites dépressions sur son pourtour. ..	32
Figure 33 : Les zones de déformation sur l'anneau n°1. Les produits de corrosion vert clair se sont desquamés, révélant la corrosion rouge bordeaux, sans se redévelopper.	32
Figure 34 : Les objets en "demi-lune" du site de Gao-Saney. Extrait de Cissé et al. (2013) . ..	42

Table des tableaux

Tableau 1: Les analyses élémentaires réalisées sur les objets. Les teneurs sont exprimées en pourcentages massiques (%m) normalisés à 100%.	15
Tableau 2 : Les coefficients de déformation des inclusions de sulfures. Nous calculons un coefficient moyen à partir de plusieurs mesures, et nous l'appliquons aux dimensions des objets.	
	16

Table des matières

REMERCIEMENTS	2
INTRODUCTION	3
I. METHODOLOGIE	7
I.1. L'analyse des surfaces	7
I.1.1. Les altérations taphonomiques	7
I.1.2. Les marques du façonnage des objets	8
I.2. Les radiographies	8
I.3. Les analyses élémentaires	9
I.3.1. Protocole d'échantillonnage	10
I.3.2. Protocole d'observation	10
I.3.3. Limites de notre approche	12
II. RESULTATS.....	13
II.1. Faciès de corrosion.....	13
II.2. Analyses élémentaires et inclusions dans le métal.....	14
II.2.1. Les analyses élémentaires	14
II.2.2. Le coefficient de déformation des inclusions	16
II.3. Le mobilier du monument XX	17
II.3.1. Les bracelets cannelés (n°368, n°412).....	17

II.3.2. Les anneaux ouverts de section sub-losangique (n°1, n°273).....	21
II.4. L'anneau de cheville à ligatures (mon. XIX, n° 1036)	23
II.4.1. Méthode de fabrication	26
II.4.2. La coupure de la tige	27
II.5. Le bracelet ouvert de section ovalaire à extrémités en bourrelets (mon. XIV, n°48).....	28
II.6. La perle rubanée à spires jointives (mon. XVIII, n°1129)	30
II.7. L'anneau fermé de section rubanée (mon. II, n°1000).....	31
III. DISCUSSION.....	33
III.1. Gestes funéraires et symbolique du cuivre	33
III.1.1. Taphonomie du cuivre et gestes funéraires	33
III.1.2. Mutilations sur les objets en base cuivre	34
III.1.3. Couleur des alliages et symbolique du cuivre	35
III.2. Faciès technique de la nécropole et chronologie des dépôts d'objets en base cuivre	36
III.2.1. Faciès technique et contexte de dépôt	36
III.2.2. Mobilier en base cuivre et chronologie de la nécropole	37
III.3. Le mobilier en base cuivre de Wanar dans son contexte régional	39
III.3.1. Les techniques de fabrication.....	39
III.3.2. Alliages des cuivres et réseaux d'échange.....	41
CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE.....	45
TABLE DES FIGURES.....	50
TABLE DES TABLEAUX.....	53
TABLE DES MATIERES	53
RESUME	56

ABSTRACT	56
----------------	----

Résumé

Les fouilles récentes de la nécropole mégalithique de Wanar au Sénégal ont livré du mobilier en base cuivre issu de contextes archéologiques bien délimités, mais complexes. La présente étude cherche à aborder ces dépôts de mobilier sous leurs angles taphonomique et technologique, avec pour objectif de mieux comprendre les pratiques funéraires mégalithiques liées au métal, et de replacer la nécropole de Wanar dans son contexte technologique régional. Les travaux sur le mobilier en base cuivre déjà réalisés pour la région sénégambienne par L. Garenne-Marot offrent un cadre général dans lequel s'inscrit cette étude, qui a montré la pleine inscription de la nécropole de Wanar dans le faciès technologique régional, mais aussi ses liens avec d'autres régions d'Afrique de l'Ouest.

Mots-clefs : *Afrique de l'Ouest, Sénégal, Gambie, mégalithisme, pratiques funéraires, technologie, EDS-MEB, métal, cuivre*

Abstract

Recent excavation campaigns at the Wanar necropolis, Senegal, have delivered copper-based artefacts from well-delimited but complex archaeological contexts. The present work seeks to address these funeral deposits through the lens of their taphonomic and technological characteristics, in order to better understand the metal-linked funerary practices, as well as the place of the Wanar necropolis' copper assemblages in the wider archeological framework of the Senegambian area. The work already realized on the copper-based artifacts of the area by L. Garenne-Marot offers a general frame for our study, allowing us to highlight the unequivocal ties of the Wanar necropolis with the technological profile of the southern Senegambian area, as well as its links with other west african areas.

Keywords : *West Africa, Senegal, Gambia, Megalithism, Funerary Practices, Technology, EDS-MEB, metal, copper*