

Zeitschrift: Bulletin de l'Association Pro Aventico

Band: 57 (2016)

Artikel: Un bracelet-étui de la nécropole d'Avenches/À la montagne : l'apport des analyses

Autor: Duvauchelle, Anika / Krieg, Myriam

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-737987>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 07.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Un bracelet-étui de la nécropole d'Avenches/À la Montagne. L'apport des analyses

Anika Duvauchelle
Myriam Krieg

Le fragment de bracelet-étui en alliage cuivreux contenant du zinc, possiblement du laiton, qui fait l'objet de cet article a été mis au jour en 2001, lors de la fouille de la sépulture à incinération St 61 de la nécropole d'À la Montagne (fig. 1). Matérialisée par une fosse circulaire d'environ 50 cm de diamètre, cette sépulture contenait une urne dans laquelle les ossements calcinés d'un jeune individu de sexe indéterminé avaient été déposés. Outre ces ossements, l'urne a livré différents objets, pour la plupart fragmentaires et brûlés, en l'occurrence des récipients en céramique et en verre, des clous en fer, une tige spiralée en alliage cuivreux (bracelet?) et le fragment de bracelet-étui. Ce dernier ne présente pas de trace évidente d'un passage dans le feu du bûcher¹. La sépulture est datée du 3^e quart du 1^{er} s. ap. J.-C.².

Ce type de bracelet comprend un corps renflé qui cache une cavité ouvrable qui pouvait renfermer quelque chose. Au vu des nombreuses hypothèses émises sur ce contenu et l'impossibilité de l'ouvrir physiquement, des analyses par imagerie aux neutrons et aux rayons X ont été réalisées à l'Institut Paul Scherrer PSI à Villigen AG³.

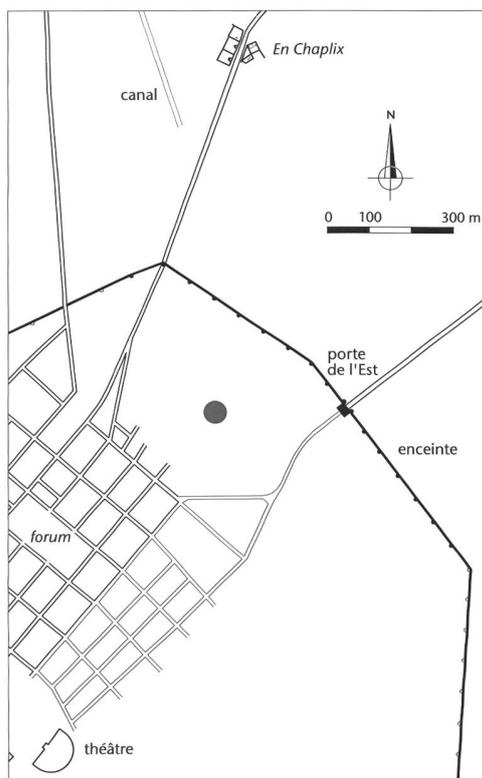


Fig. 1

Situation de la nécropole d'À la Montagne (disque rouge).

L'approche archéologique traditionnelle : observation macroscopique et comparaisons

Une sorte de calotte, prolongée par une tige de section circulaire, constitue le seul fragment conservé de ce bracelet (fig. 2). Véritable petite boîte à charnière, elle est composée de deux parties : la supérieure, façonnée à partir du jonc, adopte la forme d'une coupelle ; l'inférieure est une tôle légèrement concave, dotée d'un petit rebord. Ces deux parties s'articulent autour d'un rivet aux têtes globulaires tandis que du côté opposé, elles sont maintenues fermées par un système de clipsage. Cette construction offre

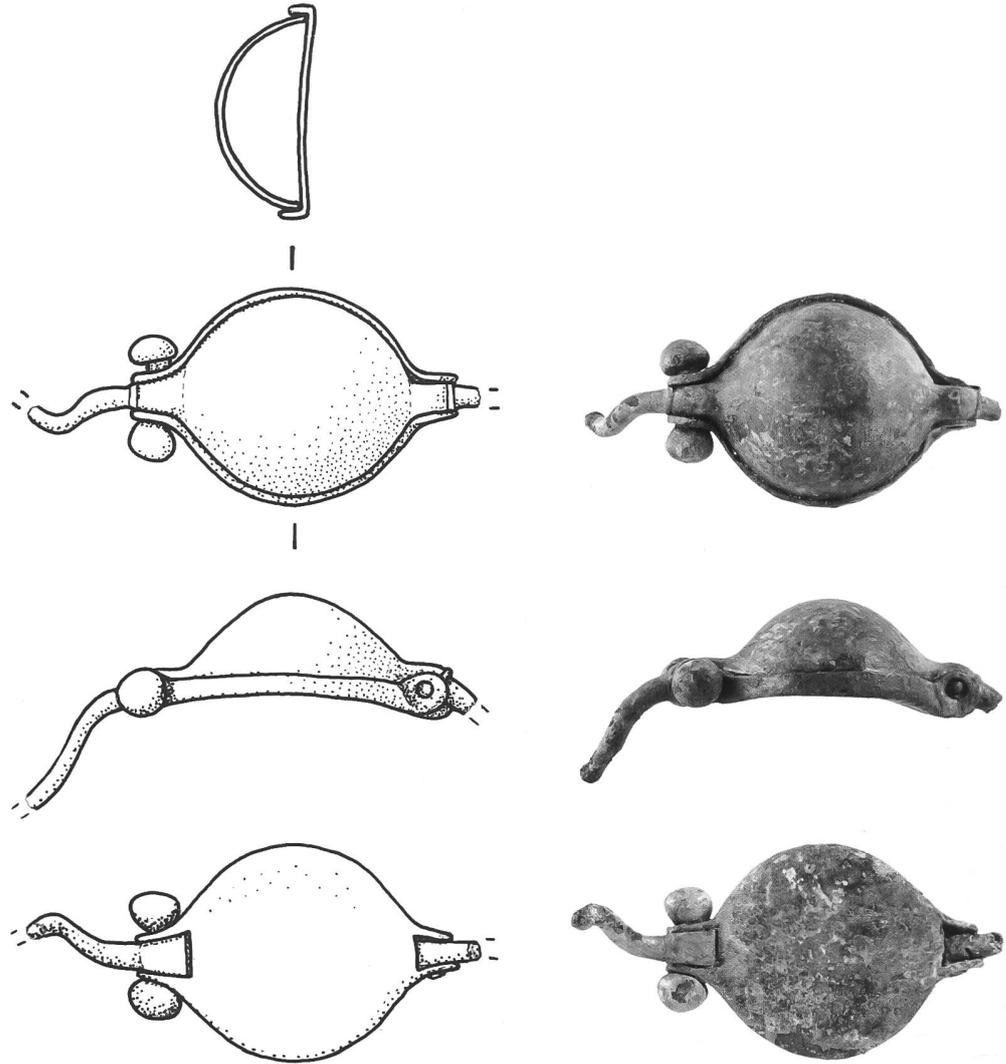
1 L'absence de traces n'est cependant qu'indicative. En effet, leur présence dépend en partie de la température subie, et donc de l'emplacement sur le bûcher.

2 Cf. Sauteur (dir.) et al. 2017, p. 121-122 et 211-212.

3 Cet article est le fruit d'un travail collectif auquel de nombreuses personnes et institutions ont contribué (voir l'introduction du dossier, *supra*, p. 135). Nous les remercions tous chaleureusement.

Fig. 2

Bracelet-étui en alliage
cuivreux. Inv. 01/11387-01.
Échelle 1:1.



ainsi une double sécurité contre une ouverture intempestive: d'une part la tôle inférieure, qui pivote vers le bas, ne peut pas s'ouvrir lorsque le bracelet est au bras, d'autre part le système de clipsage devait à lui seul empêcher tout accident de ce type. Le fragment mesure 58 mm de longueur, pèse 21,7 g et porte le numéro d'inventaire 01/11387-01.

Ce bracelet trouve quelques rares parallèles en Italie du Nord, dans la région de Milan. Les nécropoles de Rovello Porro, de Capiago Intimiano, d'Inveruno, de Salò et de Legnano, ainsi que les sites de Turbigo et de Lovere⁴, ont ainsi livré des bracelets similaires⁵. Dans son étude parue en 2010, Stefano Martinelli a proposé un état de la recherche sur ces bijoux⁶. Nous en reprenons ici les grandes lignes. S. Martinelli définit trois types⁷. Le premier comprend des bracelets à deux cavités contiguës, de forme légèrement elliptique⁸. Les bracelets du deuxième type possèdent également deux cavités, mais elles sont positionnées sur des côtés opposés⁹. Finalement, le troisième type se caractérise par la présence d'une seule cavité¹⁰. Sur la plupart de ces exemplaires, une tôle, pivotant sur

un rivet et maintenue par simple pression du bras, assure la fermeture de l'étui. Ces bracelets, dont le jonc filiforme de section circulaire ne présente aucun système d'ouverture, devaient être glissés sur la main puis vraisemblablement être positionnés non pas au poignet mais un peu plus haut sur le bras. Seul l'exemplaire de Salò

4 Nous ne connaissons pas le contexte de découverte des bracelets de Turbigo et de Lovere.

5 Rovello Porro: Giorgi/Martinelli/Butti Ronchetti 2010, p. 80, t. 3, 3, p. 99, t. 10, 2. Capiago Intimiano, nécropoli di Villa Soave: Nobile 1984, pl. VII, 64. Inveruno, nécropoli di Via Varese, t. 65: Giorgi/Martinelli/Butti Ronchetti 2010, p. 254. Salò, nécropoli del Lugone: Massa/Brambilla 1997, t. 111. Legnano, nécropoli di Via Novara et Turbigo: Sutermeister 1928, p. 72. Lovere: Evelein 1936, pl. 24, 5.

6 Giorgi/Martinelli/Butti Ronchetti 2010, p. 253-255.

7 L'exemplaire de Turbigo n'est pas intégré à cette typologie (type indéterminé).

8 Trois exemplaires: Rovello Porro (t. 3, 3), Capiago Intimiano et Legnano.

9 Un exemplaire: Rovello Porro (t. 10, 2).

10 Trois exemplaires: Inveruno, Salò et Lovere. Les deux derniers exemplaires diffèrent légèrement des autres et proviennent probablement d'un atelier différent.

disposait, dans une certaine mesure, d'une taille réglable, grâce à son jonc aux extrémités noués. Les contextes de découverte de ces quelques bracelets montrent une grande homogénéité, tant au niveau géographique que chronologique. Leur aire de diffusion recouvre une partie de la Lombardie, principalement la zone très restreinte qui s'étend entre Milan et Côme. Lorsque nous disposons d'informations, leur datation se situe aux alentours du milieu du 1^{er} s. ap. J.-C. Au final, la cohérence de ce petit groupe de bracelets, tant d'un point de vue technique que géographique et chronologique permet d'émettre l'hypothèse d'une fabrication dans un atelier local.

De nombreuses hypothèses ont été proposées sur la fonction des étuis de ces bracelets. Peut-être étaient-ils destinés à transporter quelques pièces de monnaies. Il existe différents types de « bracelet monétaire ». Le plus fréquent adopte la forme d'une nacelle et semble avoir été utilisé principalement dans la région du Rhône et du Danube, bien que certains exemplaires aient été découverts bien plus au sud, à Banasa au Maroc par exemple¹¹. La ville de *Volubilis* a livré un bracelet d'un autre type, adoptant la forme d'un anneau massif¹². Il s'agit, à notre connaissance, du seul bracelet qui contenait des monnaies lors de sa découverte. Comparés aux autres, les bracelets italiens possèdent des cavités très petites (long. 30-40 mm, larg. 20-25 mm, prof. 10-12 mm)¹³, ne laissant de fait que peu de place pour des pièces de monnaie. Dès lors, même si on ne peut totalement écarter cette possibilité, l'hypothèse d'un bracelet monétaire pour les exemplaires de type italien paraît peu probable. D'autres contenus ont été évoqués : une amulette, des herbes ou une autre substance végétale odorantes, du parfum ou plus vraisemblablement un tissu imprégné dudit parfum,

voire un onguent. Finalement, la possibilité d'y insérer des éléments métalliques qui rendraient le bracelet sonore, à l'image d'un grelot, a également été envisagée¹⁴.

Le bracelet d'Avenches est morphologiquement proche des exemplaires de Rovello Porro. La coupelle de l'étui est plus arrondie, les têtes globulaires ne laissent pas apparaître la tige de l'axe de la charnière, cependant la principale différence réside dans la fermeture de la tôle sous la boîte. Un système de clipsage assure cette fermeture, alors que sur les exemplaires de Rovello Porro, seule la pression du bras la maintient en position fermée. L'état de fragmentation du bracelet avenchois ne permet pas de le classer typologiquement. Tout au plus peut-on exclure le type 1. En effet, le fragment de jonc du côté charnière est trop long pour qu'une seconde bulle puisse être contiguë à cet endroit. De même, nous ne pouvons pas préciser si le jonc était fermé ou si ses extrémités étaient enroulées.

La détermination de l'alliage cuivreux : la microanalyse SEM-EDS

La nature de l'alliage cuivreux a été déterminée par Christoph Neururer du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Fribourg. La méthode employée, appelée SEM-EDS, est pratiquée à l'aide d'un microscope électronique à balayage (SEM, abréviation de l'anglais *Scanning Electron Microscopy*) couplé à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (ou EDS, abréviation de l'anglais *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*). Elle consiste à placer un objet sous un faisceau d'électrons. L'impact de ce dernier sur la surface rencontrée génère des rayons X qui sont caractéristiques des éléments présents. Ainsi, lorsque la surface d'un objet métallique est plate, polie et homogène, les résultats de l'analyse donnent les pourcentages précis de chaque élément chimique constitutifs de l'alliage. Mais, lorsque la surface est rugueuse et non homogène, ces résultats ne peuvent être que qualitatifs et non quantitatifs, c'est-à-dire qu'ils permettent de prouver la présence d'un élément chimique sans toutefois en préciser le pourcentage exact dans l'alliage. Or la surface de la plupart des objets archéologiques est constituée de divers produits de corrosion et présente d'importantes variations dans la concentration des éléments chimiques. C'est pourquoi nous ne présentons pas dans cet article un tableau de l'ensemble des valeurs mesurées. En ce qui concerne le bracelet-étui d'Avenches, la surface de la coupelle et de la tôle inférieure de la boîte, ainsi que celle des extrémités bouletées de l'axe de la charnière¹⁵ ont été

11 Evelein 1936, p. 109-110; Boucher/Perdu/Feugère 1980, p. 121, 682; Thouvenot 1954.

12 Ruhlmann 1933.

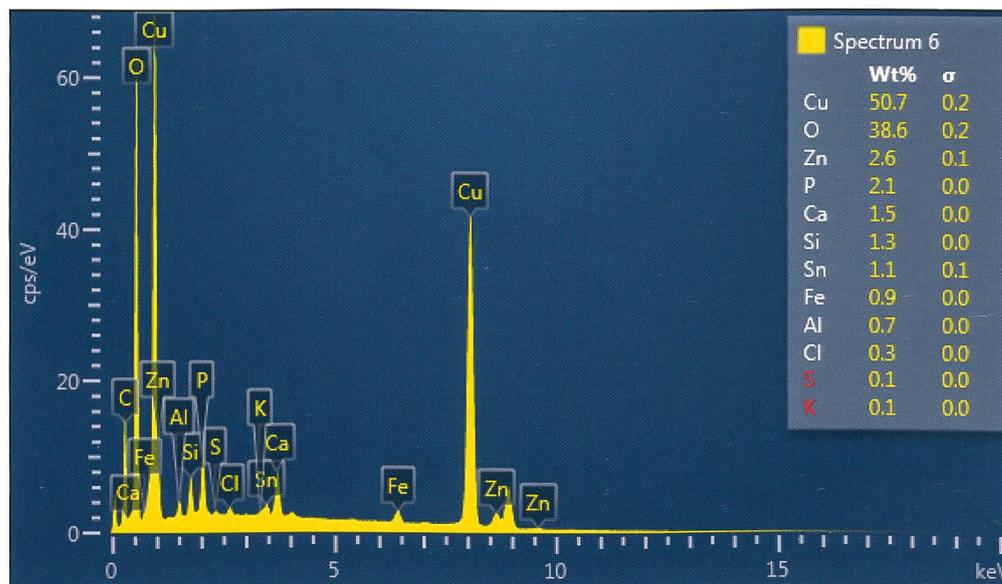
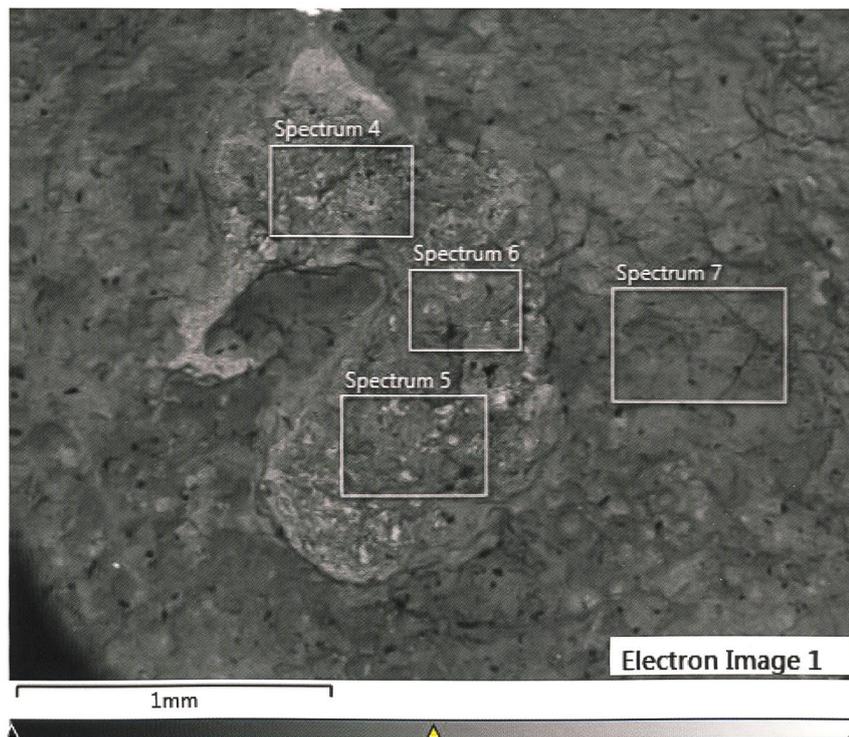
13 À titre de comparaison, la longueur de la cavité des bracelets naviformes oscille habituellement entre 90 et 100 mm.

14 On soulignera que les grelots et les clochettes découverts en contexte funéraire sont souvent interprétés comme des amulettes destinées à couvrir le bruit et à éloigner les mauvais augures. Cette dernière hypothèse d'un objet bruyant conviendrait donc parfaitement aux bracelets-étuis, majoritairement découverts en contexte funéraire. Cf. Nowakowski 1988, p. 82; Amrein *et al.* 1999, p. 330.

15 Le jonc du bracelet n'a pas été analysé. Cependant, l'analyse technique de cet artefact, réalisé grâce à la tomographie aux neutrons (cf. *infra*) montre qu'il ne constitue qu'une seule et même pièce avec la coupelle de l'étui. En outre, la tomographie permet de voir que les différents éléments en alliage cuivreux qui composent le bracelet ont tous le même niveau de gris, ce qui suggère qu'elles sont vraisemblablement constituées du même alliage. Concernant l'identification des alliages binaires par cette méthode, cf. Peetermans *et al.* 2012.

Fig. 3

Localisation des mesures 4 à 7 et spectre n° 6 de la micro-analyse SEM-EDS réalisée sur la coupelle. Le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et l'étain (Sn) sont trois composants des alliages cuivreux. Par contre, on ne voit aucune trace de plomb (Pb) dans les 22 spectres. La grande proportion d'oxygène (O) est due à l'état corrodé de la surface, tandis que le phosphate (P), visible dans chaque spectre, est à mettre en relation avec les os de la sépulture. Ch. Neururer, Département des sciences de la Terre de l'Université de Fribourg.



analysées en 22 points¹⁶. La présence récurrente de cuivre, d'un peu de zinc et parfois d'étain a permis d'identifier un alliage cuivreux contenant du zinc, possiblement du laiton (fig. 3)¹⁷.

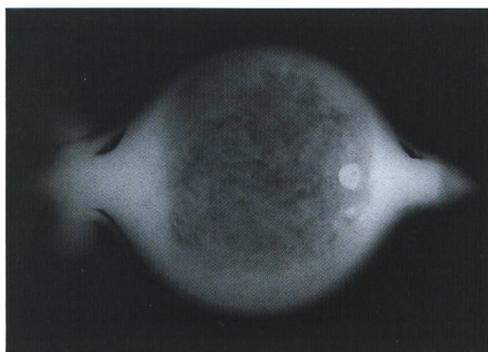
De la conception du bracelet à son contenu : la tomographie aux neutrons et aux rayons X

Une première série d'images aux rayons X a été réalisée par Markus Detmer au Service archéologique du canton de Berne (fig. 4). Cette

technique de radiographie que l'on pourrait qualifier de «classique» fournit des images 2D de l'ensemble du volume traversé par les rayons. Cela induit une projection et un «aplatissement» de ce volume sur un plan. Les images produites nous ont révélé deux éléments. D'une part, la coupelle a été façonnée par martelage comme

¹⁶ Bien que l'objet ait été dégagé par des moyens mécaniques, il reste cependant encore de nombreux produits de corrosion sur la surface.

¹⁷ Les pourcentages indicatifs de ces différents métaux sont cependant fort variables et celui du zinc très rarement élevé. Dès lors et selon les résultats de cette analyse, il est impossible d'assurer qu'il s'agisse bien de laiton.



l'atteste sa structure en « nuage » caractéristique¹⁸. D'autre part, la cavité ne contient aucune pièce de monnaie. Seuls deux points circulaires près de la fermeture par clipsage trahissent l'existence d'un élément constitué d'une matière atténuant fortement les rayons X. Par contre, cette technique ne permet pas de révéler la présence éventuelle de matières organiques.

Les tomographies aux rayons X et aux neutrons effectuées par Eberhard Lehmann et David Mannes à l'Institut Paul Scherrer ont apporté de nombreuses précisions. Avec cette technique d'imagerie, les objets sont traversés par des rayons X et des neutrons. Par la suite, les données ainsi obtenues subissent un traitement informatique qui permet de visualiser des clichés par plans successifs ou de restituer l'objet en 3D. Ceci permet de mieux visualiser l'intérieur d'artefacts en volume, en particulier s'ils sont constitués de plusieurs éléments. De plus, ces clichés autorisent au final la reconstitution d'une image en 3D¹⁹. Il est souvent intéressant d'utiliser les deux types de rayons, X et neutrons, car les résultats apportés sont complémentaires²⁰. En effet, certains matériaux se comportent différemment suivant qu'ils sont traversés par des rayons X ou des neutrons. Ainsi par exemple, le plomb peut être complètement opaque ou au contraire très lisible, selon qu'on utilise des rayons X (qui ne peuvent traverser ce métal) ou des neutrons; au contraire, les fibres végétales ne peuvent être vues avec la première technique, mais apparaissent clairement avec la seconde.

La conception du bracelet est particulièrement bien compréhensible à l'aide des tomographies. Le fragment conservé est l'assemblage de cinq éléments: le jonc qui comprend également la coupelle de la boîte, la tôle qui la referme, le

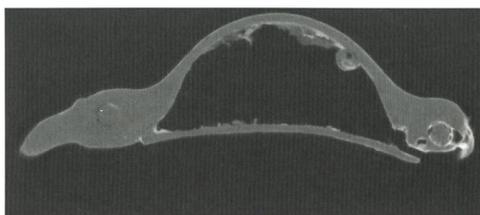


Fig. 4 (à g.)
Radiographie 2D du bracelet-étui. M. Detmer, Service archéologique du canton de Berne.

rivet et une perle qui constituent l'axe de la charnière et finalement une goupille pour le mécanisme de clipsage. Le jonc filiforme et la coupelle ne forment qu'une seule et même pièce (fig. 5), la coupelle ayant été façonnée par martelage directement dans la matière du jonc. À chaque extrémité de cette excroissance semi-sphérique, la tige est percée d'un trou circulaire, créant ainsi un renflement souligné par une nervure. Ces deux perforations accueillent respectivement l'axe de la charnière et la goupille du système de clipsage. La tôle qui referme la boîte est circulaire et entourée par un petit rebord. Celui-ci est prolongé par quatre petits œillets qui se positionnent de part et d'autre des perforations du jonc. L'axe de la charnière comprend un rivet à tête hémisphérique pleine complété à l'autre extrémité par une perle rivetée adoptant la même forme (fig. 6)²¹. Le mécanisme de clipsage est particulièrement simple: il est constitué d'une goupille, une courte tige de section circulaire, aux bouts arrondis. Fixée dans le second trou percé dans le jonc²², elle débordé très légèrement de chaque côté du renflement, permettant ainsi aux œillets de la tôle de fermeture de s'y accrocher (fig. 7).

Fig. 5 (à dr.)
Coupe verticale au centre de l'étui du bracelet. On peut voir sur la gauche que le jonc et la coupelle sont deux parties de la même pièce. Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

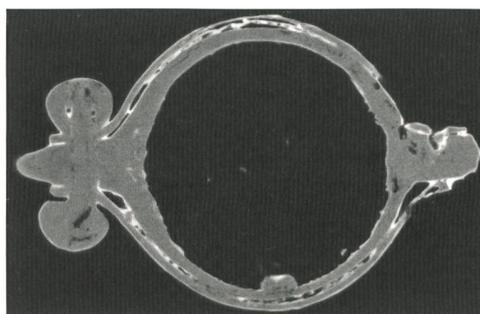


Fig. 6
Coupe horizontale au niveau de la charnière. On peut voir sur la gauche l'axe de la charnière formé de deux pièces: un rivet avec sa tête hémisphérique en bas (présence de criques) et une perle entourant son extrémité en haut. Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

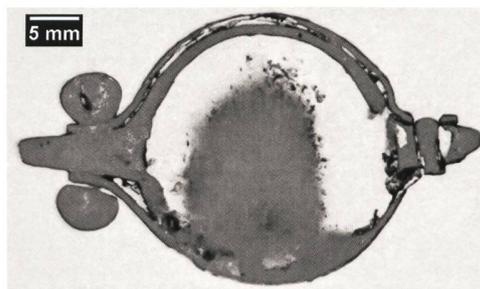


Fig. 7
Coupe horizontale au niveau de la tige du clips (à droite). Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

18 Armbruster 2012, p. 385 et fig. 14, 32, 40, 43 et 47.

19 Cf. *infra*, p. 171-180.

20 Deschler-Erb et al. 2004; Lehmann/Deschler-Erb/Ford 2010.

21 Cette solution technique est la même que celle adoptée pour le nécessaire de toilette découvert dans la nécropole d'À la Montagne (cf. *supra*, p. 147).

22 Les extrémités de la goupille semblent avoir été légèrement refoulées, provoquant un élargissement de sa section aux extrémités et l'empêchant ainsi de sortir du trou.

Fig. 8

Coupe verticale au centre de l'étui du bracelet. On peut voir sur la gauche, dans l'épaisseur de la paroi de la coupelle une crique. Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

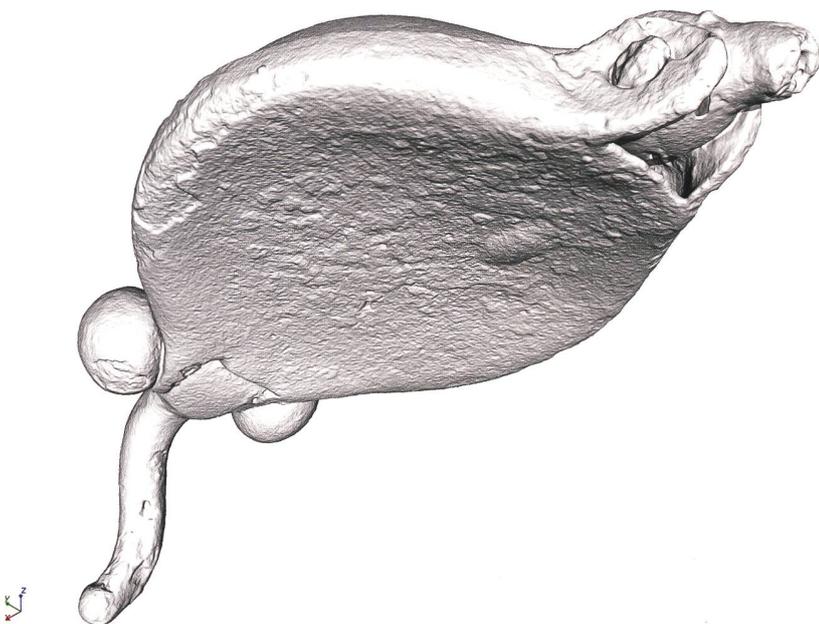
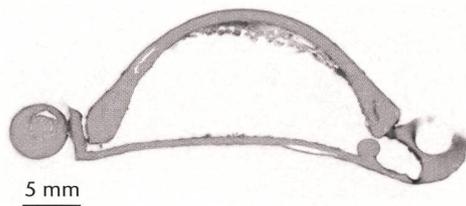


Fig. 9

Vue 3D (imagerie neutrons) de la partie inférieure du bracelet-étui. Une petite cloque est visible sur la tôle de fermeture. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

Des défauts techniques sont également perceptibles sur les images de la tomographie aux neutrons. Il s'agit de microfissures visibles dans la coupelle et dans la tête du rivet (fig. 7-8). Ces criques ne résultent pas de l'action des processus de corrosion, mais sont présentes dès la fabrication de l'objet.

Finalement, une petite cloque a pu être mise en évidence sur la tôle qui referme l'étui du bracelet (fig. 9). Ce « défaut », qui nous avait échappé lors de l'étude macroscopique de l'objet, est

Fig. 10

Reconstitution semi-transparente et colorisée selon la tomographie aux neutrons. En vert, quatre sphères métalliques et, en brun jaune, une matière non définie, vraisemblablement des produits de corrosion. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.



vraisemblablement dû à une chaleur intense – supérieure à 500 °C selon M. Binggeli – et constituerait la preuve que le bracelet a bel et bien été déposé sur le bûcher.

Cependant, la principale question à laquelle nous espérons que la tomographie aux neutrons réponde était celle du contenu de la boîte lors de son dépôt. Grâce à ces images, il est possible d'assurer que le bracelet-étui de la nécropole d'Avenches/À la Montagne ne recelait ni pièce de monnaie ni amulette. L'hypothèse d'un réceptacle pour des herbes odorantes, un tissu imprégné de parfum voire un onguent ne peut être confirmée. Ces matières organiques auraient en effet disparu lors de leur passage dans le feu²³.

Au final, les images ont révélé la présence de quatre petites billes, dont deux sont partiellement prises dans une matière indéterminée adhérant au fond de la coupelle (fig. 10)²⁴. D'un diamètre oscillant entre 1 et 2 mm, ces billes pourraient être d'un alliage cuivreux proche de celui du bracelet, à en juger par leur niveau de gris²⁵. Deux d'entre elles sont localisées près de la fermeture par clipsage et deux près du fond de la coupelle. Il est à souligner que les deux plus grosses présentent une liaison quasi fusionnelle avec leur support (fig. 11). Ceci pourrait résulter du passage sur le bûcher²⁶. La matière indéterminée adhérant à la coupelle n'est pas une pellicule qui aurait recouvert l'intérieur de la coupelle. Au contraire, sur les vues de la tomographie aux neutrons, elle a plutôt une apparence s'approchant de la mousse (fig. 12). Là également, son niveau de gris semble indiquer qu'il pourrait s'agir d'un composant cuivreux proche de celui du bracelet. Au final, ces deux éléments – apparence et niveau de gris – nous incitent à interpréter cette matière comme un amas de produits de corrosion²⁷.

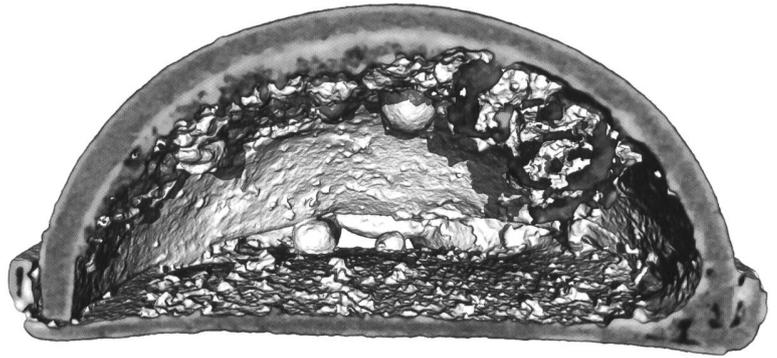
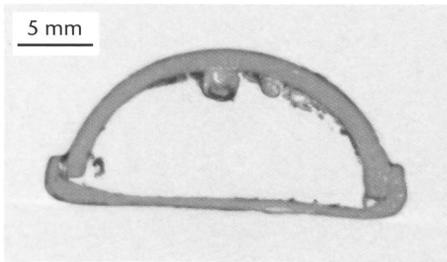
23 Comme nous l'avons dit, le bracelet a vraisemblablement été déposé sur le bûcher. Cependant, si tel n'était pas le cas, l'hypothèse d'herbes odorantes, d'un tissu imprégné de parfum ou d'un onguent serait écartée. En effet, les matières organiques, mêmes minéralisées, apparaissent très contrastées sur les tomographies aux neutrons. En outre, les structures des herbes et des tissus seraient visibles sur les images générées par cette technique.

24 Il n'est pas exclu que d'autres petites billes puissent être incluses dans cette matière indéterminée.

25 Les différents niveaux de gris visibles sur les tomographies aux neutrons sont caractéristiques des éléments chimiques traversés. Ils résultent en effet du coefficient d'atténuation (spécifique pour chaque élément), combiné à la densité de la matière (métal pur ou allié, produit de corrosion, composé organique, etc.). Il est donc envisageable que deux matières (complètement) différentes puissent produire deux nuances de gris semblables.

26 Il est impossible de l'affirmer car de nombreux paramètres nous manquent (p. ex. la composition exacte de l'alliage du bracelet et des billes et donc leurs points de fusion ou encore la température du bûcher).

27 Pour une description des différents types de corrosion, cf. Bertholon 2000, p. 262.



Conclusion

L'étude pluridisciplinaire du bracelet-étui en alliage cuivreux d'Avenches/À la Montagne, alliant une approche archéologique traditionnelle, une détermination des éléments chimiques et des techniques d'imagerie très performantes a permis d'en révéler la conception technique. Mais elle a surtout permis d'explorer sa cavité et de découvrir son contenu lors du dépôt dans l'urne. Les billes qu'elle renfermait, quoique particulièrement petites, devaient certainement être à même de faire tinter ce bijou qui aurait ainsi acquis une valeur protectrice, à l'image des grelots ou des clochettes fréquemment découverts en contexte funéraire. L'hypothèse du bracelet sonore émise par S. Martinelli semble donc corroborée par la découverte avenchoise²⁸. Finalement, cette étude a mis en évidence des liens entre la capitale des Helvètes et la Gaule Cisalpine.

Fig. 11 (à g.)

Coupe et vue en perspective de l'intérieur de l'étui du bracelet. On peut voir deux billes près de la coupelle et deux autres au fond. Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

Fig. 12 (à dr.)

Coupe et vue en perspective de l'étui du bracelet. On peut voir deux billes près de la coupelle et deux autres au fond. Tomographie aux neutrons. E. Lehmann, D. Mannes, PSI.

²⁸ Giorgi/Martinelli/Butti Ronchetti 2010, p. 255.

Bibliographie

Revues, séries et sigles

CAR
Cahiers d'archéologie romande, Lausanne.

SMRA
Site et Musée romains d'Avenches.

Monographies et articles

Amrein *et al.* 1999
H. Amrein *et al.*, *La nécropole gallo-romaine d'Avenches «En Chaplix»*. *Fouilles 1987-1992. Vol. 2: Étude du mobilier (Aventicum X; CAR 78)*, Lausanne, 1999.

Armbruster 2012
B. Armbruster, *Goldgefäße der Nordischen Bronzezeit – eine Studie zur Metalltechnik*, *Prähistorische Zeitschrift* 87, 2012, p. 370-432.

Bertholon 2000
R. Bertholon, *La limite de la surface d'origine des objets métalliques archéologiques: caractérisation, localisation et approche des mécanismes de conservation*, thèse, Université Paris I, Panthéon-Sorbonne, U.F.R. d'art et d'archéologie, 2000.

Boucher/Perdu/Feugère 1980
S. Boucher, G. Perdu, M. Feugère. *Bronzes antiques du Musée de la Civilisation Gallo-Romaine à Lyon, II. Instrumentum, Aegyptiaca*, Lyon 1980.

Deschler-Erb *et al.* 2004
E. Deschler-Erb, E. H. Lehmann, L. Pernet, P. Vontobel, S. Hartmann, *The Complementary Use of Neutrons and X-rays for the Non-destructive Investigation of Archaeological Objects from Swiss Collections*, *Archaeometry* 46.4, 2004, p. 647–661.

Evelein 1936
M. A. Evelein, *Bronzene Börsenarmringe nördlich der Alpen*, *Germania* 20, 1936, p. 104-111.

Giorgi/Martinelli/Butti Ronchetti 2010
M. Giorgi, S. Martinelli, F. Butti Ronchetti, *La necropoli romana di Rovello Porro (CO)*, *Rivista Archeologica dell'antica Provincia e Diocesi di Como* 191-192, 2009-2010, p. 53-288.

Lehmann/Deschler-Erb/Ford 2010
E. H. Lehmann, E. Deschler-Erb, A. Ford, *Neutron Tomography as a Valuable Tool for the Non-destructive Analysis of Historical Bronze Sculptures*, *Archaeometry* 52.2, 2010, p. 272–285.

Lehmann *et al.* 2005
E. H. Lehmann, P. Vontobel, E. Deschler-Erb, M. Soares, *Non Invasive Studies of Objects from Cultural Heritage*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 542, 2005, p. 68-75.

Massa/Brambilla 1997
S. Massa, F. L. Brambilla. *Aeterna domus. Il complesso funerario di età romana del Lugone*, Salò, Salò, 1997.

Nobile 1984
I. Nobile, *I corredi della necropoli di Villa Soave: analisi e considerazioni*, in: E. Bianchi *et al.*, *Storia di Capiago Intimiano, vol. 4: La necropoli romana di Villa Soave*, Malinverno, 1984, p. 43-130.

Peetermans *et al.* 2012
S. Peetermans, R. van Langh, E. H. Lehmann, A. Pappot, *Quantification of the Material Composition of Historical Copper Alloys by Means of Neutron Transmission Measurements*, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 27, 2012, p. 1674–1679.

Ruhlmann 1933
A. Ruhlmann, *Le bracelet-bourse romain de Volubilis (Maroc)*, *Revue de numismatique*, 1933, p. 51-59.

Sauteur (dir.) *et al.* 2017
E. Sauteur (dir.), S. Bosse Buchanan, A. Crausaz, G. Depierre, A. Duvauchelle, I. Liggi Asperoni, Ch. Martin Pruvot, N. Reynaud Savioz, A. Schenk, A. Supryk, P. Vandorpe, *À la Montagne. Une nécropole du I^{er} siècle après J.-C. à Avenches (Aventicum XXI; CAR 167)*, Lausanne, 2017.

Sutermeister 1928
G. Sutermeister, *Legnano romana*, Legnano, 1928.

Thouvenot 1954
R. Thouvenot, *Bracelet-bourse*, in: R. Thouvenot, *Le site de Julia Valentia Banasa (Publications du Service des Antiquités du Maroc 11)*, Rabat, 1954, p. 98-102, pl. XVIII.

Crédit des illustrations

Fig. 1
Plan SMRA.

Fig. 2
Photo A. Schneider, SMRA; dessin C. Matthey, SMRA.

Fig. 3
Ch. Neururer, Département des sciences de la Terre de l'Université de Fribourg.

Fig. 4
Radiographie M. Detmer, Service archéologique du canton de Berne.

Fig. 5-12
Images E. Lehmann, D. Mannes, Institut Paul Scherrer, Villigen.