Zeitschrift: Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history

Herausgeber: Schweizerisches Nationalmuseum

Band: 47 (1990)

Heft: 3

Artikel: L'analyse chimique du bronze préhistorique : pourqoui?

Autor: Rychner, Valentin / Kläntschi, Niklaus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-169083

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

L'analyse chimique du bronze préhistorique: pourquoi?

par VALENTIN RYCHNER
avec la collaboration de NIKLAUS KLÄNTSCHI

1. Introduction

Les premières analyses de bronze préhistorique sont pour ainsi dire aussi vieilles que la préhistoire elle-même, et le premier grand corpus d'analyses européen date déjà du début des années 1950. Le but de cette contribution n'est donc pas de présenter une nouvelle technique, mais de montrer sommairement à quoi peuvent servir les analyses, à quelles questions elles peuvent aider à répondre. Les exemples seront empruntés à l'âge du Bronze suisse, moyen (environ 1600–1250) et final (environ 1250–750), et tout spécialement à l'abondant mobilier récupéré depuis le siècle dernier dans les palafittes, qui constitue la plus grande partie des collections de l'âge du Bronze conservées dans les musées suisses.

C'est à dessein qu'on se limitera ici à l'aspect *archéologique* de la question, en laissant de côté l'important problème de la *technique* des analyses. Sur ce point, disons simplement qu'on est maintenant arrivé à un point où les principales méthodes d'analyse, pourvu qu'elles soient pratiquées avec un bon appareillage, sont entre elles parfaitement compatibles et donnent donc les mêmes résultats.

Les analyses dont il est ici question ont été effectuées par spectrométrie d'émission atomique (source ICP) à l'EMPA de Dübendorf sous la direction de N. Kläntschi, dans le cadre d'une enquête de grande envergure sur la métallurgie du Bronze moyen et final en Suisse, soutenue financièrement par le Fonds national suisse de la recherche scientifique.

Parce qu'il est plus simple à comprendre et qu'il n'engendre aucune confusion entre l'âge du Bronze et l'âge du Fer, nous emploierons ici, de préférence à l'allemand, le vocabulaire chronologique français. La correspondance entre les deux est la suivante: BF (Bronze final) I = Bronze D; BF IIa = Hallstatt A1; BF IIb = Hallstatt A2; BF IIIa = Hallstatt B1; BF IIIb = Hallstatt B2.

2. Description interne de l'objet

Le premier but de l'analyse d'un objet en bronze, c'est sa *description interne,* nécessaire complément de la description de son aspect externe. Le bronze étant un alliage de cuivre et d'étain, il s'agira d'une part de déterminer les proportions de cet alliage, d'autre part, à partir de ses teneurs en impuretés, de définir le type de cuivre utilisé.

En fait, pour avoir une idée plus complète de l'intérieur de l'objet, on devrait toujours coupler l'analyse chimique à l'analyse *métallographique* au microscope optique qui, elle, a pour but la description non pas de la composition mais de la *structure* du métal.

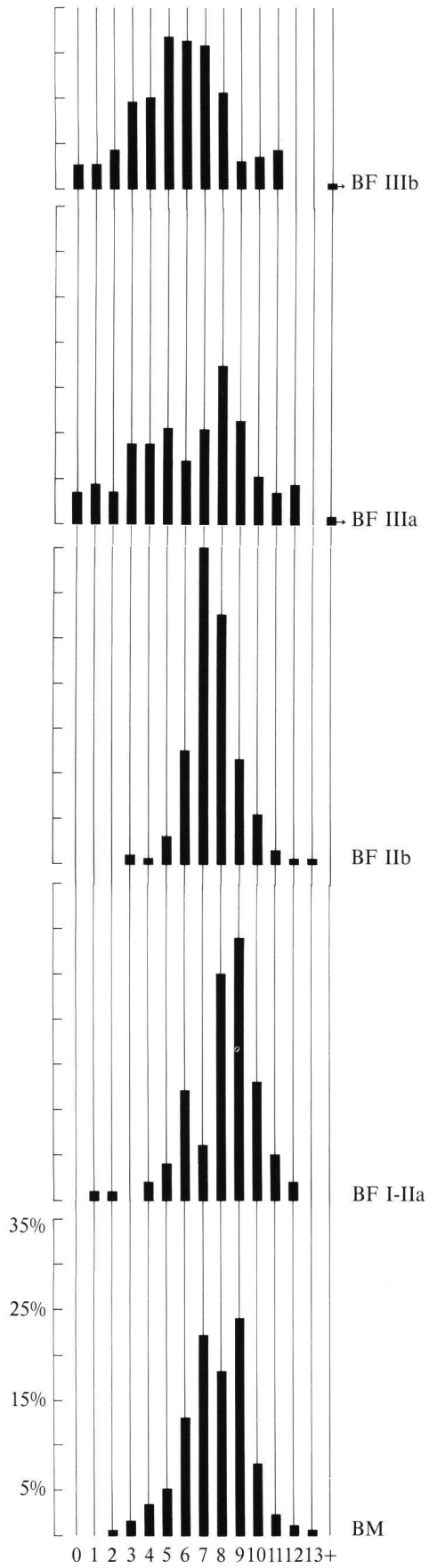
2.1. L'alliage, ou la recette du fondeur

En principe, un bronze «normal» contient environ 10% d'étain et 90% de cuivre. Par rapport au cuivre pur, il a l'avantage de se couler plus facilement et d'être surtout plus résistant. Pendant tout l'âge du Bronze, en Suisse, on constate en fait que la teneur moyenne en étain se situe toujours au-dessous de cette limite théorique de 10%, d'autre part qu'elle varie peu d'un bout à l'autre de la période et qu'elle est même d'une constance remarquable dans chaque phase de la chronologie (fig. 1).

Au Bronze moyen, c'est-à-dire à l'époque ou la métallurgie du bronze devient vraiment commune, la teneur moyenne d'étain est de 8.13%. Elle atteint son maximum, 8.69%, au début du Bronze final, aux périodes dites BF I et IIa, avant de décliner régulièrement jusqu'à la fin du Bronze final: 8.08% au BF IIb, 6.94% au BF IIIa, 6.29% au BF IIIb. Les causes exactes de cette baisse ne sont pas encore élucidées. Il est probable, cependant, qu'elle traduise la raréfaction progressive de l'étain, elle-même engendrée par le bouleversement des circuits commerciaux liés à l'apparition du fer et, plus généralement, à la «crise» marquant le passage de l'âge du Bronze à l'âge du Fer.

Mais l'étain n'est pas toujours le seul élément ajouté au cuivre. A la fin de l'âge du Bronze, en effet, le *plomb* joue parfois le rôle de troisième élément de l'alliage. Plus répandu que l'étain, il pouvait en être le substitut. Son point de fusion extrêmement bas, d'autre part, en réduisant la température du bronze liquide, facilitait les coulées compliquées. Son usage en Europe centrale et en Suisse en particulier, cependant, est nettement moins répandu que dans les régions atlantiques. Sa teneur augmentant très régulièrement au cours du Bronze final, il est très difficile, sinon impossible, d'autre part, de déterminer à partir de quelle teneur le plomb doit être considéré comme élément intentionnel de l'alliage et non comme impureté naturelle du cuivre ou comme pollution accidentelle de l'étain.

Le fondeur a-t-il varié la composition de son alliage en fonction des objets qu'il fabriquait? L'analyse du mobilier



Bronze final d'Auvernier NE/Nord, à la fois varié et typologiquement très homogène, a montré que, dans la plupart des cas, le même alliage et le même cuivre servaient aussi bien à la fabrication des outils (haches, couteaux, faucilles) qu'à celle des objets de parure (principalement les bracelets) (annexe 2). C'est seulement dans le cas des phalères, disques ornementaux en mince tôle de bronze, qu'on peut penser que l'artisan a voulu éviter un excès de plomb, qui aurait gêné le martelage intensif du métal.

En général, la teneur en étain est parfois si constante qu'on peut d'ailleurs se demander si l'alliage était réalisé pour chaque coulée dans le petit creuset du fondeur, ou s'il n'était pas plutôt fabriqué de façon plus centralisée, à un échelon supérieur de la distribution du métal, avant qu'il ne parvienne aux ateliers producteurs d'objets finis. La preuve existe, cependant, que le fondeur avait aussi du cuivre pur à sa disposition.

On est surpris de constater, en effet, qu'en plein âge du Bronze on a continué, à l'occasion, de fabriquer des objets en *cuivre pur,* sans plomb ni étain (fig. 2). A propos des objets de parure, on peut imaginer que le bronzier a recherché un effet de couleur. Mais quand il s'agit d'outils fonctionnels, qui ont apparemment servi, on reste perplexe devant ce métal anachronique, techniquement inférieur au bronze habituellement utilisé. Fantaisie? Oubli? Pénurie?

2.2. Le cuivre, principale matière première

On a l'habitude, en paléométallurgie, de décrire un cuivre à partir du taux de celles de ses impuretés qui sont à la fois les plus abondantes et les plus caractéristiques: l'arsenic (As), l'antimoine (Sb), l'argent (Ag), le nickel (Ni), le bismuth (Bi), le cobalt (Co), le zinc (Zn) et le fer (Fe). Dans le cas particulier du Bronze moyen et final en Suisse, arsenic, antimoine, argent, nickel et cobalt sont les éléments de loin les plus significatifs.

3. Les variations de composition du cuivre

L'enseignement d'une analyse isolée n'est certes pas négligeable, mais le message reçu devient infiniment plus intéressant quand on soumet à l'analyse des *séries* d'objets et qu'on essaye de faire la *typologie* des compositions chimiques, comme on fait la typologie des formes d'objets. On s'aperçoit alors que les variations de composition ne sont pas aléatoires mais que de véritables *types de composition* se laissent aisément définir, que ces types se succèdent dans le temps et que chaque phase chronologique est ainsi caracté-

Fig. 1 Histogrammes de fréquence montrant l'évolution des teneurs en étain du Bronze moyen à la fin du Bronze final (voir aussi l'annexe 1). On remarquera la stabilité particulièrement forte de l'alliage au Bronze final IIb. Un carré = 1% des objets analysés d'une période.

risée par un ou plusieurs types de composition, de la même façon qu'elle est caractérisée par des types d'objets.

La composition chimique du cuivre varie suivant deux axes différents:

- le *niveau absolu* des teneurs en impuretés (il y a plus ou moins de tel ou tel élément);
- l'*importance relative* des impuretés les unes par rapport aux autres, critère permettant de définir différents *schémas de composition* (par exemple Sb>As>Ni, Ni>As>Sb etc.).

Ces deux axes sont en grande partie corrélés dans la mesure où un schéma de composition est en général caractérisé par des teneurs bien précises.

Nous donnons ci-dessous le tableau sommaire et simplifié de l'évolution des cuivres utilisés en Suisse au Bronze moyen et final (annexe 1 et fig. 3).

A l'âge du Bronze moyen, connu en Suisse surtout par des sépultures sous tumulus et quelques dépôts, la principale matière première utilisée est un cuivre caractérisé par le niveau modéré de ses teneurs en impuretés et surtout par la faiblesse de l'antimoine par rapport à l'arsenic et au nickel. La très basse teneur en plomb, presque toujours inférieure à 0.1%, est également un très bon signe distinctif des compositions Bronze moyen. Si l'on se limite aux trois impuretés cardinales, les deux schémas importants sont As>Ni>Sb et surtout Ni>As>Sb.

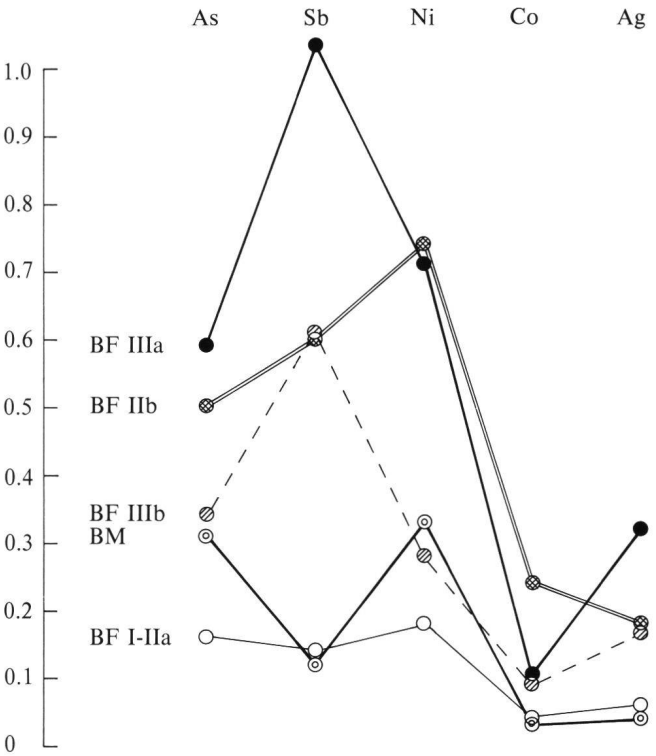


Fig. 3 Schémas moyens de composition, du Bronze moyen au Bronze final IIIb. Les teneurs sont données en % de poids.

Fig. 2 Exemples d'objets du Bronze final IIIb fabriqués en cuivre pur, sans étain. Faucille de Zurich ZH/Alpenquai (381) et hache de Concise VD (145). Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

Le début du Bronze final (BF I-IIa) correspond à des changements archéologiques, et probablement historiques, importants (nouvelle gamme d'objets en bronze, généralisation du rite de l'incinération). Le métal du Bronze moyen continue en partie à être utilisé, mais interviennent toutefois quelques changements, encore difficiles à interpréter. Les teneurs en impuretés sont encore plus basses qu'au Bronze moyen et atteignent alors leur minimum. En revanche, la teneur en plomb augmente très nettement, pour se situer désormais à quelques dixièmes de pour-cent. La teneur en bismuth augmente elle aussi, mais à un niveau absolu beaucoup plus bas. En moyenne, les compositions tendent vers le schéma As=Ni=Sb.

Plus avant dans le Bronze final, à la période dite BF IIb, le changement métallurgique est aussi radical que spectaculaire. Les cuivres du Bronze moyen et du début du Bronze final disparaissent en effet complètement au profit d'une nouvelle matière première beaucoup plus riche en impuretés, le plus souvent à nickel dominant et caractérisée également par le haut niveau du cobalt, qui ne jouait pas, jusqu'alors, un rôle important. Ce qu'il y a d'intéressant, c'est que l'arrivée de ce nouveau métal, qui va de pair avec un accroissement certain de la production d'objets finis, ne

correspond pas seulement à des changements typologiques dans l'inventaire mobilier mais aussi à un évènement historique très sensible archéologiquement. C'est en effet le moment, vers 1050 av. J.-C., où les rives des lacs sont recolonisées, après une longue interruption au Bronze moyen et au début du Bronze final. L'implantation des nouveaux palafittes semble correspondre, par ailleurs, à une poussée démographique certaine et à la diffusion, dans une grande partie de l'Europe centre-occidentale, de nouvelles formes et de nouveaux décors de poterie (style dit «Rhin-Suisse-France orientale»). Les recherches futures permettront sans doute de préciser l'éventuelle relation existant, vers le milieu du 11e siècle entre les phénomènes métallurgiques et sociaux, au sens large du terme.

Dans l'habitat lacustre du nord des Alpes, aucun hiatus ne marque la limite entre le BF IIb et le BF IIIa. L'habitat et la morphologie des objets, en effet, évoluent de façon très continue jusque vers 900 av. J.-C. environ, limite inférieure approximative du BF IIIa. Il n'y a pas non plus de rupture dans l'évolution du métal, mais on remarque cependant quelques changements progressifs. Le cuivre à nickel dominant cède peu à peu la place à un cuivre à antimoine dominant et cobalt plus faible qu'au BF IIb. Vers le milieu de la période, un important groupe d'objets, surtout dispersés entre les lacs de Neuchâtel et de Zurich et apparemment fabriqués dans un assez court laps de temps, révèle un cuivre très particulier, aux teneurs d'arsenic, d'antimoine et de nickel spécialement élevées et à antimoine dominant (Sb>Ni>As). Ce curieux métal, peut-être recherché pour sa couleur particulière, n'était pas réservé aux seuls objets de parure. Il était en effet souvent destiné à des haches, des faucilles ou des couteaux (fig. 4). L'alliage en étain de ce bronze particulier, est situé en moyenne vers 3%, c'est-à-dire très au-dessous de la moyenne.

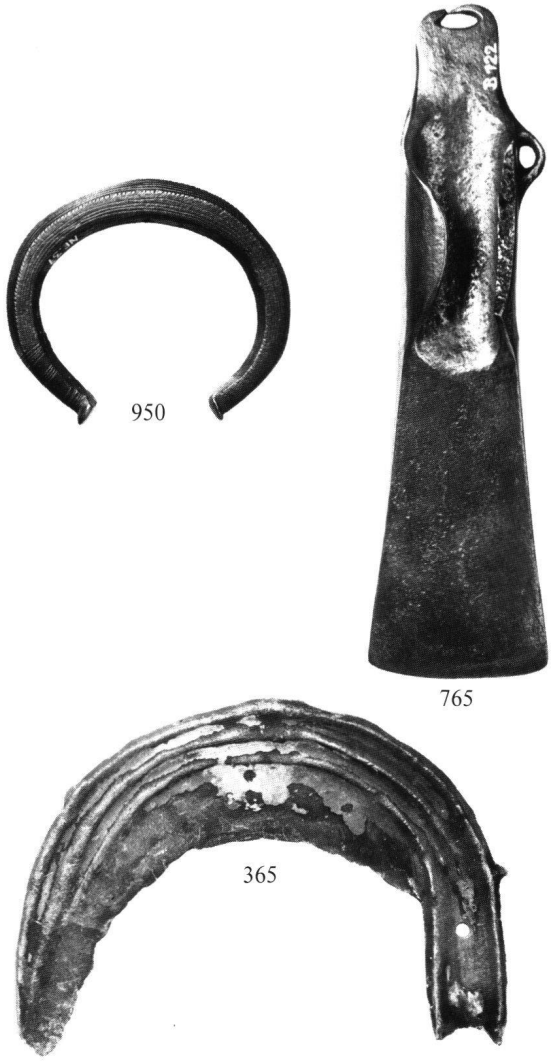


Fig. 4 Exemples d'objets de cuivre très riche en impuretés et faiblement allié d'étain, caractéristique du Bronze final IIIa. Bracelet de Neuchâtel NE/Le Crêt (950), hache de Hitzkirch LU/Moos (765) et faucille de Zurich ZH/Haumesser (365). Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

Au bord des lacs, la phase dite BF IIIb, la dernière du Bronze final, commence vers 880, après une possible interruption de l'habitat palafittique, d'une petite vingtaine d'années. Elle se place cependant dans la suite très logique de ce qui précède, et se termine par l'abandon définitif des sites littoraux, vers 850 déjà (date actuellement attestée par la dendrochronologie; une date un peu plus récente semble cependant vraisemblable). Au point de vue métallurgique, le BF IIIb est clairement caractérisé par l'usage d'un cuivre aux teneurs modérées et de schéma Sb>As>Ni ou Sb>As=Ni, dont l'apparition remonte à la période précédente.

On a souvent entendu dire - et c'est pourquoi le Bronze moyen et le Bronze final ont été longtemps négligés - que les périodes postérieures au Bronze ancien n'étaient pas très intéressantes au point de vue des analyses de métal parce que les phénomènes successifs de refonte de vieux objets auraient brouillé les pistes en masquant complètement le caractère des cuivres neufs utilisés. Au moins trois évidences militent contre cette opinion: premièrement les changements très nets de composition d'une période à l'autre; deuxièmement - et c'est sans doute l'argument le plus fort - la variabilité extrêmement faible des types de composition de chaque période; troisièmement l'existence, pour presque toutes les périodes chronologiques envisagées, de lingots ou d'objets de cuivre pur, de même composition que les objets finis. Il semble donc que dans chaque période de l'âge du Bronze le recyclage d'objets usagés, qui a toujours dû jouer un rôle important dans l'approvisionnement en métal, n'a que très rarement concerné des objets vraiment vieux, d'une autre époque (voir ci-dessous). Ainsi, l'identité du métal neuf ne se trouvait pas oblitérée.

Si les variations dans le *temps* de la composition du bronze sont donc indiscutables, qu'en est-il des variations dans l'*espace?* A l'intérieur du territoire suisse, dans l'état actuel des recherches, ces variations semblent sinon nulles du moins très faibles, et les principaux types de cuivre sont représentés aussi bien à l'est qu'au centre et à l'ouest du Plateau, ainsi qu'au Valais (l'enquête n'a fait qu'effleurer la

Fig. 5 Cinq paires d'objets (haches et couteaux) de composition identique. Hauterive NE/Champréveyres (703, 18, 19, 851), Zurich ZH/Haumesser (313, 309, 322), Hitzkirch LU/Moos (766), Chens-sur-Léman (Haute-Savoie, France) (497), Montilier FR (675). Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

région alpine et le sud des Alpes). Nous n'avons pu mettre en évidence, en effet, qu'une seule particularité régionale. Il s'agit d'un type de cuivre de schéma Sb>Ni>As, à très basses teneurs en impuretés, utilisé au BF IIIa principalement dans la région genevoise. Quant à la «recette du fondeur», elle ne varie pas non plus d'un endroit à l'autre. Les bronziers lacustres de Zurich, par exemple, utilisaient la même proportion d'étain que ceux du lac de Sempach et de la région des Trois-Lacs, mais peut-être étaient-ce toujours les mêmes qui se promenaient à travers toute la Suisse!

A cause de la carence en analyses dans les régions voisines, il est encore impossible, au point de vue métallurgique, de situer exactement la Suisse dans son environnement européen.

4. Les compositions jumelles

Nous avons insisté sur la faible variabilité des compositions propres à chaque phase chronologique. La liste de l'annexe 3, qui pourrait être rallongée à volonté, montre jusqu'où peut aller la ressemblance des compositions. L'exemple est emprunté au cuivre de schéma Ni>Sb>As à fort cobalt (177 objets), si typique des débuts de la métallurgie palafittique du Bronze final, au BF IIb. Les provenances très diverses de ces objets, réparties du Léman au lac de Zurich en passant par les lacs de Neuchâtel et de Sempach, démontrent que le même métal circulait alors sur l'ensemble du Plateau. On peut se demander à partir de quelle limite la ressemblance des compositions devient identité. Sans entrer ici dans les détails arithmétiques permettant d'approcher cette notion, nous donnons cinq exemples d'objets considérés comme jumeaux de composition (fig. 5). Tous sont encore empruntés au type de cuivre à nickel dominant, au BF IIb et IIIa. Dans les cinq cas, l'identité concerne non seulement les impuretés du cuivre mais aussi l'étain. Les objets peuvent donc passer pour issus d'une seule et même coulée ou, éventuellement, du même lingot de bronze refondu en plusieurs fois, mais sans modifications. Les divergences éventuelles du plomb posent un problème que peut résoudre en partie la répartition irrégulière de cet élément dans le creuset et dans les objets.

L'identité du métal implique-t-elle l'identité du fabriquant, et nous renseigne-t-elle ainsi sur les déplacements des fondeurs et/ou des objets?

Dans le premier exemple (703, 18), on peut légitimement postuler que les deux objets, trouvés les deux à Hauterive et chronologiquement compatibles, ont été fabriqués à la suite l'un de l'autre, par le même fondeur.

La même hypothèse est également plausible dans le deuxième exemple, qui réunit deux haches de même style zurichois (313, 766), l'une de Zurich et l'autre de Hitzkirch. On doit alors admettre le déplacement d'un des deux objets depuis le lieu de fabrication vers l'emplacement de la trouvaille, ce qui est parfaitement vraisemblable.

Le troisième exemple réunit une hache de Zurich et un couteau d'Hauterive (322, 19). La hache étant morphologiquement typique de la région zurichoise, et le couteau n'étant pas plus caractéristique d'une région suisse que d'une autre, on peut admettre que les deux objets ont été farbriqués dans l'est de la Suisse et que le couteau est parvenu ensuite à Hauterive.

Le quatrième exemple est déjà plus problématique (309, 851). Il réunit en effet une hache de pur style BF IIb zurichois, de Zurich, et un couteau de style déjà franchement BF IIIa, d'Hauterive. Même si le frisson d'angoisse du chrono-typologiste ne doit pas être pris trop au sérieux, il est malgré tout difficile d'admettre que le même artisan ait pu couler en même temps deux objets de styles chronologiques si différents, l'un normal, l'autre progressiste (ou rétrograde).

Le dernier exemple nous paraît être le moins compatible des cinq avec l'hypothèse de l'identité des fabriquants. Il réunit en effet une hache de type très lémanique (497) et une hache qu'on pourrait appeler de «type Estavayer» (675), tout à fait à sa place dans la région des Trois-Lacs, ce qui signifierait que le même bronzier pouvait fabriquer deux haches du même type mais de styles très différents, en s'adaptant au goût de la clientèle locale. C'est, à notre avis, très peu vraisemblable (le phénomène est au contraire très vraisemblable dans le cas de certains bracelets). Aux phases BF IIb et IIIa, la couleur régionale marquée du type d'outil si répandu qu'est la hache à ailerons nous paraît plutôt parler en faveur du modèle selon lequel la production métallurgique du Bronze final lacustre était organisée par régions (au moins trois: Zurich et Suisse centrale, région des Trois-Lacs, région lémanique), voire par sites, et que les objets finis ne circulaient que rarement à l'extérieur de leur région d'origine. Remarquons, cependant, que ce modèle n'est pas forcément valable pour les couteaux ou les faucilles, dont les éventuels styles régionaux, s'ils existent, ne nous apparaissent pas encore clairement.

Les identités de composition, qui concernent encore plus souvent le cuivre seul, à l'exclusion de l'alliage en étain et en plomb, nous paraissent devoir s'expliquer dans bien des cas seulement par la stabilité de composition des minerais, par la constance de leurs procédés de fonte, par la standardisation de la technique de l'alliage et sans doute aussi par la brièveté de la période de fabrication. Elles n'impliquent donc pas forcément que les objets concernés aient été fabriqués en même temps, par le même artisan.

5. Les compositions anormales

Comme on vient de le voir, il est relativement facile de définir pour chaque phase de l'âge du Bronze une ou plusieurs *normes* de composition chimique du bronze, et donc de mettre en évidence les objets dont la composition, s'écartant de cette norme, doit être considérée comme «anormale». Il y en a trois sortes principales: les objets «étrangers», les objets de composition anachronique et les objets falsifiés.

5.1. Les objets «étrangers»

Dans l'inventaire métallique des palafittes du Bronze final, un petit nombre d'objets se signalent par leur forme étrangère. Il s'agit d'«importations» ou, formulé de façon plus neutre, d'objets fabriqués dans d'autres régions de l'Europe et se trouvant au bord des lacs suisses en dehors de leur aire de répartition habituelle. L'analyse du métal peut alors souvent confirmer l'analyse morphologique. Deux bons exemples sont fournis par les deux haches à douille de Ollon VD/Charpigny et de Kerzers (Chiètres) FR (fig. 6), à la fin du Bronze final (BF IIIb). Elles appartiennent les deux au même type atlantique, dit du Plainseau (du nom d'un

Fig. 6 Exemples d'objets de forme et de composition «étrangères». Haches à douille de Ollon VD/Charpigny (164) et de Kerzers FR (253). Bronze final IIIb. Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

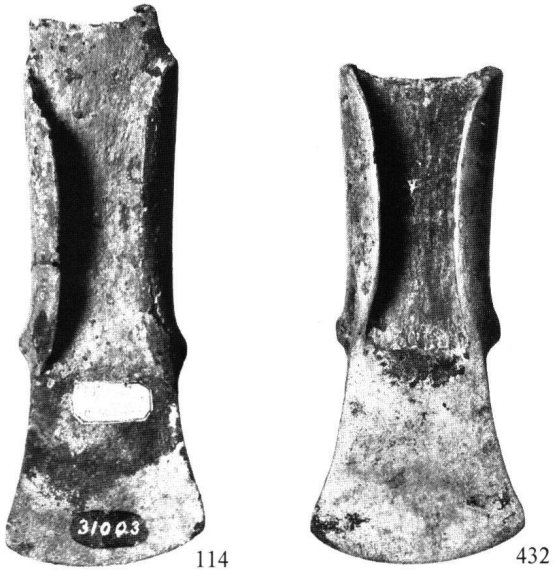


Fig. 7 Exemples d'objets de forme «étrangère» mais de composition normale. Haches de Morges VD (114) et d'Estavayer-le-Lac FR (432). Bronze final IIb–IIIa. Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

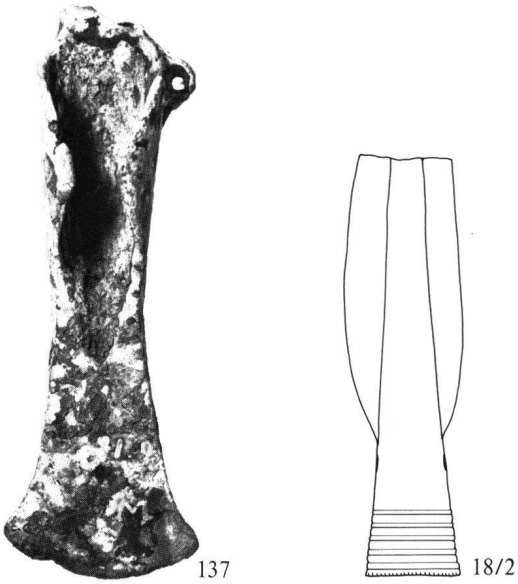


Fig. 8 Exemples d'objets de forme normale mais de composition «anormale». Hache de Morges VD (137) et pointe de lance d'Auvernier NE/Nord (18/2). Bronze final IIIb. Les compositions sont données en annexe 4.

site proche d'Amiens), et proviennent du nord de la France. Elles ont chacune été trouvées dans un dépôt ne contenant, par ailleurs, que des objets de forme indigène et de composition normale. Leur composition frappe aussi bien par l'alliage très riche en étain et en plomb que par le taux très bas des impuretés.

Les objets d'apparence étrangère n'ont cependant pas toujours des compositions anormales. C'est le cas des haches à ailerons de la fig. 7, d'allure très italique mais dont la composition correspond aux normes régionales de l'époque (BF IIb–IIIa). Il peut s'agir d'objets fabriqués sur place sur le modèle d'objets vraiment étrangers. Si, au contraire, elles sont vraiment à considérer comme des «importations», elles pourraient alors donner une indication sur l'origine du cuivre utilisé à cette époque en Suisse, à moins que la même matière première, d'origine peut-être alpine, ait été utilisée aussi bien en Suisse que dans le nord et le centre de l'Italie.

Une troisième sorte possible d'«étrangers» est représentée par des objets de morphologie normale mais de composition anormale. Une hache de Morges et une pointe de lance d'Auvernier (fig. 8), de la fin du Bronze final (BF IIIb), appartiennent à cette catégorie. Leur forme n'est pas spécialement typique de la Suisse mais de l'Europe centre-occidentale en général. Les deux compositions, qui se ressemblent, frappent surtout par la forte dominance de l'arsenic et par la proportion relativement énorme de cobalt.

5.2. Les compositions anachroniques

L'exemple que nous donnons de ce phénomène plutôt rare concerne deux haches de morphologie absolument typique

Fig. 9 Exemples de compositions anachroniques. Les haches d'Ollon VD/Charpigny (156) et de Winterthour ZH/Veltheim (290) ont été fabriquées au Bronze final IIIb à partir d'un bronze caractéristique du Bronze moyen et du Bronze final I–IIa. Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

de la fin du Bronze final (BF IIIb) et appartenant à deux dépôts de cette période, à Ollon VD/Charpigny et à Winterthour ZH/Veltheim (fig. 9). La composition de celle d'Ollon, complètement aberrante dans ce milieu chronologique, est absolument conforme au standard du Bronze moyen, alors vieux de cinq bons siècles. La teneur en plomb inférieure à 0.1% montre que cet objet est issu de la refonte sans modifications d'un ou de plusieurs objets du Bronze moyen. La composition de la hache de Winterthour est également typique du Bronze moyen, ou du début du Bronze final, comme pourrait l'indiquer la teneur en plomb déjà plus élevée.

5.3. Les falsifications

La vogue des «bronzes lacustres», au siècle passé, a naturellement donné lieu à la fabrication de faux objets, qui sont le plus souvent repérables au premier coup d'œil, tant leur forme est bizarre ou leur facture grossière. D'autres ont été plus subtilement réalisés, très probablement par moulage d'objets authentiques. Les cas que nous avons rencontrés concernent presque tous des haches du Bronze moyen. Un examen attentif de la patine et d'éventuelles traces de lime éveille généralement les soupçons, que l'analyse du métal permet le plus souvent de confirmer. Le *zinc,* en effet, dans nos régions à l'âge du Bronze, n'existe dans le cuivre que sous forme de traces de quelques millièmes de pour-cent, très exceptionnellement de quelques dixièmes. Une teneur en zinc égale ou supérieure à environ 1% trahit donc un bronze plus récent que l'âge du Bronze. C'est le cas des deux haches de la fig. 10, dont la forte teneur en plomb, elle aussi, s'éloigne considérablement de la norme du Bronze moyen. Le terme de «falsification», pour de tels objets, est peut-être quelquefois un peu fort dans la mesure où certains d'entre eux, au départ, ont peut-être simplement été fabriqués comme copies, sans intention de les faire passer pour authentiques. Ajoutons que ces objets à forte teneur en zinc sont rares: nous n'en avons trouvé que six sur un total de neuf cent cinquante objets analysés.

La méfiance éveillée par l'aspect douteux de certains objets ne trouve pas toujours de confirmation dans l'analyse chimique. Une hache Bronze moyen de Genève, par exemple, d'exécution tellement inélégante par rapport aux autres représentants de son type (fig. 11), ne nous paraissait pas pouvoir être un objet authentique. C'est donc avec étonnement que nous avons constaté la parfaite normalité de son matériau.

6. La provenance du métal

Beaucoup d'analyses ont été faites dans l'espoir que la composition chimique de l'objet fini, qui devait être, en

Fig. 10 Exemples d'objets falsifiés, identifiables à certains détails extérieurs et à leur forte teneur en zinc. Haches de types Bronze moyen de Sutz-Lattrigen BE (577) et Adliswil ZH (640). Echelle 1:2. Les compositions sont données en annexe 4.

principe, à peu près la même que celle du minerai d'origine, indiquerait infailliblement le lieu ou la région d'extraction de ce dernier. Le problème est en réalité beaucoup plus complexe, et c'est seulement dans les régions où l'on connaissait à la fois des mines exploitées à l'âge du Bronze et un important mobilier métallique (par exemple dans le Tyrol autrichien) que l'on a pu dépasser le stade des hypothèses et remonter la piste menant de l'objet fini au minerai d'origine. En Suisse, où les ateliers producteurs d'objets finis, surtout au bord des lacs, ne se trouvent pas à proximité directe des gisements de cuivre, la recherche de l'origine du métal s'avère beaucoup plus difficile. Maintenant que les différents types de cuivre utilisés à l'âge du Bronze ont été bien définis à partir des objets finis, il reste à établir l'inventaire - qui ne devra pas se limiter aux strictes frontières nationales - de tous les gisements de cuivre ayant pu être exploités à l'époque, d'étudier ensuite leur composition chimique et de vérifier les éventuelles compatibilités entre minerais et objets finis, en espérant que les filons de l'âge du Bronze n'aient pas été totalement épuisés, ou détruits par les exploitations postérieures. Dans certains cas, le type de minerai utilisé peut-être déduit de la composition chimique des objets. Ainsi, de l'avis des spécialistes, les cuivres riches en arsenic, antimoine, argent et nickel, du milieu du Bronze final, ne pourraient provenir que de minerais de type fahlerz. C'est déjà une indication précieuse. Malheureusement, des minerais de même type mais très éloignés les uns des autres peuvent avoir, semble-t-il, des compositions très voisines. On espère beaucoup qu'une certaine lumière jaillira de l'analyse des isotopes du plomb, que l'on essaye actuellement d'appliquer à l'âge du Bronze suisse.

7. Conclusions

En révélant les proportions de l'alliage et ses variations dans le temps, les analyses chimiques du bronze permettent d'éclairer certains des *choix techniques* des fondeurs préhistoriques. Leur apport, cependant, dépasse vite l'aspect purement technique de la métallurgie ancienne. En identifiant dans le cours du temps, des changements de composition du cuivre, interprétés comme des changements dans les voies d'approvisionnement, elles conduisent en effet tout droit dans le domaine de l'*histoire économique.* Posant souvent plus de problèmes qu'elles n'en résolvent, elles ne sont pas, cependant, la panacée que l'on croit souvent. Les indications qu'elles livrent, en effet, en particulier dans les domaines de la distribution du métal, de la circulation des fondeurs et des produits finis, ne dépassent que rarement le stade de l'indice, capable de nourrir, hélas, des hypothèses bien différentes les unes des autres.

Annexe 1:
Composition chimique des objets de l'âge du Bronze en Suisse, classés par phases chronologiques, du Bronze moyen (BM) au Bronze final (BF) IIIb. Teneur moyenne (en % de poids), teneurs minimum et maximum, indice de variation , nombre d'objets analysés.

Fig. 11 Comparée à celle d'autres haches Bronze moyen du même type, la forme très maladroite de 540 pouvait faire douter de son authenticité. Sa composition (annexe 4), cependant, est parfaitement typique du Bronze moyen. Genève GE/Pierre-du-Niton (540), Birsfelden BL (913), région d'Estavayer-le-Lac FR (669), Genève GE/dragages de l'Arve (539), Zurich ZH/Hard (461). Echelle 1:2.

		Moy.	min	max.	var.	nb.
Sn	BM	8.13	2.50	13.19	23	176
	BF I-IIa	8.69	1.92	12.89	21	100
	BF IIb	8.08	3.11	16.36	19	199
	BF IIIa	6.94	0.090	19.22	47	114
	BF IIIb	6.29	0.063	20.10	43	190
Pb	BM	0.080	0.001	1.36	211	176
	BF I-IIa	0.33	0.008	2.58	88	100
	BF IIb	0.97	0.044	6.05	85	199
	BF IIIa	0.99	0.107	4.06	68	114
	BF IIIb	1.50	0.022	9.26	79	190
As	BM	0.29	0.025	1.16	66	176
	BF I-IIa	0.147	0.012	0.62	58	100
	BF IIb	0.50	0.005	1.39	47	199
	BF IIIa	0.59	0.010	7.38	132	114
	BF IIIb	0.34	0.029	0.98	39	190
Sb	BM	0.119	0.	0.66	99	176
	BF I-IIa	0.133	0.006	1.19	114	100
	BF IIb	0.60	0.009	1.84	41	199
	BF IIIa	1.34	0.013	8.95	110	114
	BF IIIb	0.59	0.039	2.98	61	190
Ag	BM	0.040	0.	0.60	195	143
	BF I-IIa	0.069	0.005	0.36	71	72
	BF IIb	0.177	0.004	0.43	38	140
	BF IIIa	0.32	0.045	0.66	63	84
	BF IIIb	0.167	0.060	0.53	49	97
Ni	BM	0.32	0.009	1.76	75	176
	BF I-IIa	0.160	0.016	0.46	64	100
	BF IIb	0.74	0.003	2.43	52	199
	BF IIIa	0.71	0.	4.16	87	114
	BF IIIb	0.28	0.050	1.26	49	190
Bi	BM	0.001	0.	0.046	500	176
	BF I-IIa	0.013	0.	0.068	85	100
	BF IIb	0.008	0.	0.034	88	199
	BF IIIa	0.012	0.	0.111	142	114
	BF IIIb	0.015	0.	0.172	113	190
Co	BM	0.028	0.	0.21	100	176
	BF I-IIa	0.038	0.	0.22	92	100
	BF IIb	0.24	0.004	0.87	65	199
	BF IIIa	0.106	0.	0.53	89	114
	BF IIIb	0.087	0.004	0.68	80	190
Zn	BM	0.015	0.	0.146	133	176
	BF I-IIa	0.044	0.	0.78	182	100
	BF IIb	0.019	0.	0.31	132	199
	BF IIIa	0.015	0.	0.28	187	114
	BF IIIb	0.011	0.	0.092	109	190
Fe	BM	0.109	0.002	1.69	117	176
	BF I-IIa	0.127	0.004	0.60	96	100
	BF IIb	0.26	0.005	2.99	138	199
	BF IIIa	0.062	0.002	0.55	139	114
	BF IIIb	0.053	0.	0.71	172	190

Annexe 2:
Teneurs (en % de poids) en étain et en plomb des principales catégories d'objets trouvées à Auvernier NE/Nord. Bronze final IIIb.

	Sn	Pb
faucilles	7.06	1.51
haches	7.62	1.65
couteaux	7.69	1.13
bracelets	7.16	1.00
phalères	8.10	0.26

Annexe 3:
Exemple montrant quelle stabilité de composition peut atteindre un cuivre de l'âge du Bronze. Cuivre de schéma Ni>Sb>As, à fort cobalt, particulièrement typique des débuts de la métallurgie palafittique, au Bronze final IIb.

		Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Co	Zn	Fe
7	Auvernier	7.33	0.73	0.45	0.62	0.158	0.79	0.	0.182	0.	0.107
120	Morges	7.90	1.42	0.42	0.58	0.164	0.73	0.006	0.181	0.009	0.100
332	Zurich	10.81	1.79	0.45	0.59	0.164	0.74	0.010	0.21	0.	0.114
848	Hauterive	8.92	1.59	0.45	0.56	0.190	0.74	0.013	0.194	0.012	0.072
325	Zurich	8.13	1.02	0.45	0.65	0.25	0.72	0.018	0.24	0.020	0.145
732	Hauterive	7.74	1.31	0.43	0.62	0.183	0.72	0.010	0.22	0.012	1.09
771	Hitzkirch	7.55	0.46	0.48	0.62	0.175	0.74	0.007	0.23	0.025	0.22
312	Zurich	8.30	0.88	0.47	0.65	0.172	0.71	0.007	0.24	0.024	0.128
92	Morges	6.76	0.90	0.48	0.57	0.158	0.685	0.012	0.29	0.030	0.575
481	Hauterive	8.19	0.40	0.44	0.57	0.145	0.74	0.	0.27	0.039	0.26
768	Hitzkirch	8.63	0.89	0.46	0.55	0.162	0.73	0.008	0.24	0.009	0.172
308	Zurich	9.67	0.58	0.46	0.53	0.22	0.70	0.014	0.23	0.039	0.077
623	Concise	8.04	2.72	0.53	0.57	0.181	0.71	0.	0.23	0.032	0.124

Annexe 4:
Composition (en % de poids) des objets montrés aux figures 2 et 4 à 11.

Figure 2		Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Co	Zn	Fe
381	Zurich	0.063	0.022	0.16	0.22	0.066	0.128	0.016	0.084	0.021	0.182
145	Concise	0.64	0.42	0.55	1.10	0.141	0.45	0.043	0.24	0.	0.100
Figure 4		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
950	Neuchâtel	0.158	1.49	7.38	8.95	0.43	4.16	0.	0.53	0.019	0.020
765	Hitzkirch	1.74	0.63	1.49	5.39	0.59	1.56	0.002	0.119	0.013	0.038
365	Zurich	0.89	0.64	2.79	6.29	0.66	3.14	0.	0.46	0.020	0.017
Figure 5		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
703	Hauterive	7.28	1.25	0.49	0.57	0.165	0.82	0.011	0.189	0.016	0.029
18	Hauterive	7.42	1.42	0.56	0.59	0.152	0.85	0.010	0.198	0.012	1.05
313	Zurich	8.29	0.85	0.56	0.66	0.167	0.88	0.010	0.29	0.022	0.31
766	Hitzkirch	8.14	0.76	0.54	0.64	0.188	0.86	0.010	0.25	0.014	0.088
322	Zurich	7.07	0.71	0.61	0.74	0.163	0.93	0.005	0.34	0.009	0.35
19	Hauterive	7.08	0.93	0.60	0.78	0.153	0.90	0.	0.32	0.015	0.98
309	Zurich	8.00	0.82	0.43	0.64	0.21	0.67	0.014	0.188	0.023	0.036
851	Hauterive	7.67	0.56	0.44	0.61	0.185	0.70	0.008	0.155	0.010	0.055
497	Chens/Léman	7.79	2.26	0.59	0.70	0.23	0.71	0.011	0.20	0.028	0.077
675	Montilier	8.00	1.28	0.62	0.72	0.23	0.69	0.010	0.195	0.027	0.175
Figure 6		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
164	Ollon	11.32	4.95	0.055	0.125	0.123	0.109	0.	0.004	0.005	0.006
253	Kerzers	20.10	9.26	0.073	0.108	0.040	0.050	0.	0.007	0.027	0.008
Figure 7		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
114	Morges	10.82	1.16	0.157	0.186	0.083	0.84	0.001	0.32	0.022	0.90
432	Estavayer	9.17	0.71	0.29	0.34	0.109	1.05	0.	0.36	0.015	0.111
Figure 8		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
137	Morges	9.46	0.48	0.98	0.26	0.139	0.25	0.028	0.68	0.007	0.073
18/2	Auvernier	13.60	1.10	1.44	0.10	0.14	0.36	0.18	1.29	0.012	
Figure 9		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
156	Ollon	6.75	0.045	0.116	0.039	0.099	0.170	0.	0.019	0.014	0.070
290	Winterthour	9.38	0.73	0.147	0.061	0.019	0.23	0.016	0.071	0.015	0.037
Figure 10		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
577	Sutz	2.25	2.34	0.28	0.22	0.063	0.169	0.018	0.020	3.93	0.157
640	Adliswil	5.24	2.08	0.176	0.23	0.048	0.129	0.019	0.	2.36	0.26
Figure 11		**Sn**	**Pb**	**As**	**Sb**	**Ag**	**Ni**	**Bi**	**Co**	**Zn**	**Fe**
540	Genève	8.11	0.072	0.31	0.081	0.017	0.109	0.	0.019	0.017	0.034

Annexe 5:
Références muséographiques des objets montrés aux figures 2 et 4 à 11.

Figure 2	381	SLM Zurich	27225
	145	MCAH Lausanne	sans numéro
Figure 4	950	MCA Neuchâtel	Ne 37
	765	NM Lucerne	B 122
	365	SLM Zurich	1298-3
Figure 5	703	MCA Neuchâtel	Hr 16765
	18	MCA Neuchâtel	Hr 373
	313	SLM Zurich	1241
	766	NM Lucerne	B 123
	322	SLM Zurich	1259
	19	MCA Neuchâtel	Hr 438
	309	SLM Zurich	1251
	851	MCA Neuchâtel	Hr 16881
	497	MAH Genève	B 157

	675	MAH Fribourg	1272
Figure 6	164	MCAH Lausanne	32485
	253	BHM Berne	9996
Figure 7	114	MCAH Lausanne	31003
	432	SLM Zurich	9027
Figure 8	137	MCAH Lausanne	24835
	18/2	MCA Neuchâtel	Auv 372
Figure 9	156	MCAH Lausanne	CT 2911
	290	BHM Berne	9843
Figure 10	577	MSCH Bienne	LN 4270
	640	SLM Zurich	2337-1
Figure 11	913	MV Bâle	I 21475
	669	MAH Fribourg	sans numéro
	540	MAH Genève	B 1396
	539	MAH Genève	2667
	461	SLM Zurich	14819

Abbréviations

BHM	Bernisches Historisches Museum
MAH	Musée d'art et d'histoire
MCA	Musée cantonal d'archéologie
MCAH	Musée cantonal d'archéologie et d'histoire
MSCH	Musée Schwab
MV	Museum für Völkerkunde
NM	Natur-Museum
SLM	Schweizerisches Landesmuseum

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

en général:

HEINRICH HÄRKE, *Probleme der optischen Emissionsspektralanalyse in der Urgeschichtsforschung. Technische Möglichkeiten und methodische Fragestellungen,* in: Prähistorische Zeitschrift 53, 1978, S. 165-276.

SIEGFRIED JUNGHANS / EDWARD SANGMEISTER / MANFRED SCHRÖDER, *Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa.* Studien zu den Anfängen der Metallurgie (=SAM) 1, Berlin 1960.

- *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Die Materialgruppen beim Stand von 12 000 Analysen.* SAM 2/1-3, Berlin 1968.
- *Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen 10041-22000 (mit Nachuntersuchungen der Analysen 1-10040).* SAM 2/4, Berlin 1974.

HELMUT OTTO/WILHELM WITTER, *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa,* Leipzig 1952.

Bronze moyen et final de Suisse:

VALENTIN RYCHNER, *Auvernier 1968-1975: le mobilier métallique du Bronze final. Formes et techniques,* dans: Cahiers d'archéologie romande 37, Bibliothèque historique vaudoise, Lausanne 1987 (avec bibliographie).

- *Les bracelets de Sursee et la métallurgie de Suisse centrale à l'âge du Bronze final,* dans: Archéologie suisse 11, 1988/2, S. 71-76 (avec bibliographie).
- *De l'âge du Bronze moyen au groupe Rhin-Suisse en suisse occidentale: le phénomène métallurgique,* dans: Le groupe Rhin-Suisse-France orientale et la notion de civilisation des Champs d'urnes. Actes du colloque international de Nemours 1986 (=Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France 1), A.P.R.A.I.F., Nemours 1988 (avec bibliographie).

CRÉDIT PHOTOGRAPHIQUE

Fig. 1-11: Auteur.

RÉSUMÉ

A partir de l'exemple du Plateau suisse, on montre ce que peut apporter à l'archéologie de l'âge du Bronze l'analyse chimique du métal. Les variations dans le temps de l'alliage étain-cuivre, et surtout celles de la teneur en impuretés du cuivre, qui permettent d'identifier des types de cuivre différents pour chaque période, sont brièvement décrites, avant que ne soient abordés les problèmes particuliers posés par les compositions jumelles et les compositions anormales. On constate que l'apport de l'analyse chimique ne concerne pas seulement le domaine de la technique mais aussi celui de l'histoire économique de l'âge du Bronze.

RIASSUNTO

L'esempio dell'altipiano svizzero evidenzia il contributo dato dall'analisi chimica del metallo all'archeologia dell'età del bronzo. Prima d'affrontare i particolari problemi posti dalle composizioni chimiche simili o inconsuete, vengono brevemente descritte le variazioni subite con l'andare dei tempi dalle leghe di stagno e rame e, soprattutto, le variazioni del grado d'impurità del rame, che permettono d'identificarne tipi diversi per ogni epoca. Si può constatare che l'apporto dell'analisi chimica non si limita agli aspetti tecnici ma riguarda anche la storia economica dell'età del bronzo.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand von Fundgegenständen aus der Schweiz zeigt der Artikel, welchen Beitrag die chemische Metallanalyse für die Archäologie der Bronzezeit leisten kann. Aufgrund verschiedener Legierungsverhältnisse von Kupfer und Zinn und unterschiedlichem Verunreinigungsgrad des Kupfers lassen sich die Objekte zeitlich einordnen. Der Autor weist nicht nur auf die Erkenntnisse im Bereich der Metalltechnologie hin, sondern deckt auch wirtschaftsgeschichtliche Zusammenhänge der Bronzezeit auf.

SUMMARY

On the basis of finds in Switzerland, the article shows how the chemical analysis of metals can contribute to archeological studies of the Bronze Age. Objects can be dated by examining variations in the alloys of copper and tin and the varying degrees of impurity in the copper. The author not only discusses findings in the field of metal technology but also reveals historico-economic aspects of the Bronze Age.