

Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 63 (1995)

Artikel: Arsenic, nickel et antimoine : une approche de la métallurgie de Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrométrique : tome I
Autor: Rychner, Valentin / Kläntschi, Niklaus
Rubrik: Résumé = Zusammenfassung = Summary = Riassunto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-835407>

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: 19.04.2026

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

RÉSUMÉ

Chapitre 1 (tabl. 1-8; fig. 1-2; annexes 1-2)

A partir de la typologie d'un corpus de neuf cent quarante et une analyses spectrométriques, le présent travail a pour but la caractérisation chimique des bronzes utilisés en Suisse à l'âge du Bronze moyen et final, de la phase BzB à la phase HaB2 y compris. Il cherche avant tout à mettre en évidence les changements diachroniques repérables dans la principale matière première, le cuivre, et à le mettre en parallèle avec l'évolution typo-chronologique du mobilier.

Les analyses ont été réalisées par spectrométrie d'émission atomique (source ICP) à l'EMPA de Dübendorf, sous la direction de N. Kläntchi, entre 1984 et 1987. Elles ont porté sur le cuivre, l'étain, le plomb, l'arsenic, l'antimoine, l'argent, le nickel, le bismuth, le cobalt, le zinc et le fer. La méthode et la qualité des analyses sont présentées et discutées. De l'analyse répétée de plusieurs objets, de la comparaison des résultats obtenus par d'autres laboratoires et de l'analyse d'échantillons de référence certifiés, il ressort que la précision et l'exactitude des résultats peuvent être qualifiées de très bonnes, même si certaines difficultés ont été rencontrées dans le dosage de l'argent et du cobalt. L'analyse de plusieurs échantillons différents d'une série d'objets, d'autre part, montre que le métal est tout à fait homogène et que la quantité de métal prélevée (environ 30 mg) est donc bel et bien représentative de l'objet tout entier.

Le corpus étudié est surtout composé de haches (58%), de couteaux (15%) et de faucilles (9%), c'est-à-dire d'objets qui, d'une part, sont de bons indicateurs chronologiques et qui, d'autre part, se prêtent sans dommages à la prise d'échantillons par forage.

Chapitre 2 (tabl. 9; fig. 3)

Typologiquement, les objets ont été répartis en cinq groupes chronologiques: Bronze moyen (182, 19.3% du corpus), BzD-HaA1 (121, 12.9%), HaA2 (199, 21.1%), HaB1 (114, 12.1%) et HaB2 (196, 20.8%). Certains objets, cependant, ne peuvent être attribués précisément à l'un ou l'autre de ces groupes chronologiques. Ils sont rangés dans les cases HaA2-B1 (6.3%), HaB1-B2 (3.4%) et "indéterminés" (3%). Neuf objets du Bronze ancien (1%) et un seul objet du HaC (0.1%) complètent le corpus.

Chapitre 3 (cartes 1-10; tabl. 9; fig. 3)

En vue de mettre en évidence les variations synchroniques de la composition du bronze, le territoire suisse a été subdivisé en trois régions principales, baptisées Est (29.2% des objets), Centre-Ouest (45.2%) et Ouest (25.2%). Une quatrième région, le Sud (0.2%), ne joue aucun rôle dans notre étude. Les cartes de répartition montrent qu'à toutes les époques, et surtout du HaA2 au HaB2, à l'époque des palafittes, la très grande majorité des objets analysés provient du Plateau, entre Genève et Zurich. L'âge du Bronze alpin, spécialement celui des Grisons, est donc sous-représenté dans notre corpus, ce qui est regrettable puisque les seules traces d'exploitation préhistorique des minerais de cuivre, en Suisse, proviennent justement des Grisons.

Chapitre 4 (tabl. 10-13; fig. 4-15)

Une première approche des résultats est tentée à partir de simples histogrammes de fréquence, regroupant les objets par phases chronologiques et par éléments. C'est une première manière de mettre en évidence les changements de composition chimique intervenant au cours du temps, exprimés, dans ce cas, par les variations du niveau absolu des teneurs. Le changement le plus spectaculaire a lieu au HaA2, au moment où s'impose un métal complètement nouveau, caractérisé par des teneurs beaucoup plus élevées, surtout en plomb, en antimoine, en argent, en nickel et en cobalt. Les histogrammes mettent également en évidence la variabilité plus ou moins accentuée des teneurs, spécialement en ce qui concerne l'alliage en étain. A ce point de vue, le HaB1 et le HaB2 apparaissent nettement moins homogènes que les phases précédentes.

La typologie que nous proposons tient compte, certes, du niveau absolu des teneurs, mais elle n'en fait qu'un critère de deuxième rang. Le critère de base, en effet, est l'importance relative des trois principales impuretés que sont l'arsenic, l'antimoine et le nickel. Sept types de *schémas de composition* sont ainsi définis:

- 1) As>Sb>Ni, As>Sb=Ni, As=Sb>Ni (73 objets, 7.8% du corpus)
- 2) As>Ni>Sb, As=Ni>Sb (109, 11.6%)
- 3) Ni>As>Sb (157, 16.7%)
- 4) Ni>Sb>As, Ni=Sb>As, Ni>Sb=As (193, 20.5%)
- 5) Sb>Ni>As (150, 15.9%)
- 6) Sb>As>Ni, Sb>As=Ni (251, 26.7%)
- 7) As=Sb=Ni (8, 0.8%)

Dans la mesure où les types 2 et 3, d'une part, sont surtout caractéristiques du Bronze moyen et du BzD-HaA1; les types 4, 5 et 6, d'autre part, surtout caractéristiques du HaA2, du HaB1 et du HaB2, la signification chronologique de ces schémas est évidente. Elle est encore beaucoup mieux définie pour les schémas 2, 4 et 6, puisque le premier est à 76% du Bronze moyen, le deuxième à 75% du HaA2, le troisième à 66% du HaB2. Le type 5, à prédominance HaB1, apparaît plutôt comme un phénomène de transition entre le HaA2 et le HaB2. Quant au type 1, il contient, en fait, deux types de composition très différents, l'un du Bronze moyen et du BzD-HaA1, l'autre du HaB2, que la typologie fine permet de clairement distinguer, comme elle distingue aussi les compositions HaA2 de type 3, complètement différentes des compositions Bronze moyen et indissociables des compositions HaA2 de type 4.

Le corpus de base a donc été divisé en sept groupes, chacun caractérisé par un type de schéma de composition. Chaque groupe a ensuite été subdivisé en trois, en fonction du niveau absolu des teneurs. A partir de la teneur cumulée As/Sb/Ni, en effet, nous avons distingué trois sortes de compositions: pauvres (jusqu'à 0.42%), normales (de 0.43 à 3.99%) et riches (dès 4%). La signification chronologique des compositions pauvres et riches saute aux yeux: les premières sont à 84% du Bronze moyen et du BzD-HaA1, les secondes à 83% du HaB1. Le BzD-HaA1 est la seule phase à montrer la prépondérance des compositions pauvres.

Des deux étapes de ce tri (schémas de composition; teneur cumulée As/Sb/Ni) sont issus vingt groupes ou types de composition, désignés par le numéro du schéma et par les lettres N, P ou R, selon qu'il s'agit de compositions normales, pauvres ou riches.

Chapitre 5 (fig. 16-48)

Il a pour but l'examen détaillé des groupes de composition. C'est à ce niveau qu'intervient un procédé de classification automatique (hiérarchie ascendante), dont les résultats sont exprimés par les dendrogrammes des fig. 16 à 48. Chaque groupe est décrit selon un schéma fixe comprenant les rubriques suivantes: chronologie, géographie, caractéristiques du groupe, objets particuliers, compositions jumelles (cette dernière notion ayant été définie au chapitre 4). Il s'agit des objets dont les compositions sont à ce point ressemblantes qu'ils doivent être considérés comme issus soit de la même coulée de bronze, soit du même lingot de cuivre (dans le cas où seules les impuretés sont identiques, à l'exclusion de l'étain et du plomb).

La deuxième partie du catalogue des analyses constitue l'annexe du chapitre 5. Elle range les analyses par groupes de composition, dans l'ordre donné par les classifications automatiques, et indique les caractéristiques chiffrées des groupes et des sous-groupes.

Chapitre 6 (tabl. 14-17; fig. 49-53)

Il commence par la synthèse des données du chapitre 5, dans l'ordre chronologique (tabl. 14).

Le Bronze moyen connaît deux sortes principales de composition. La première, de loin la plus répandue, correspond à la réunion des objets Bronze moyen des groupes 3N, 3P, 3R, 2N et 2P (82.4% des objets Bronze moyen). Il s'agit d'un cuivre caractérisé principalement par la faiblesse relative de l'antimoine par rapport à l'arsenic et au nickel, ainsi que par de basses teneurs en plomb, en argent et en cobalt. Les compositions pauvres sont minoritaires par rapport aux compositions normales, et la fréquence du schéma de type 2 (As dominant) est à peu près équivalente à celle du schéma de type 3 (Ni dominant). Les compositions pauvres sont majoritairement de schéma 2. L'autre sorte de composition, très minoritaire (15.3%), correspond à l'assemblage des objets Bronze moyen des groupes 1N, 4N, 5N, 6N et 7N. Par opposition au précédent, c'est un cuivre caractérisé par des teneurs en antimoine plus ou moins équivalentes à celles en arsenic et en nickel. Il comprend deux variantes, l'une à argent fort, l'autre à argent faible. Les teneurs en plomb et en cobalt ne sont pas plus élevées que dans le type précédent.

Le BzD-HaA1 est la période pour laquelle notre système de classification d'après les schémas de composition est le moins opérant. La principale caractéristique de cette phase, en effet, paraît être plutôt le bas niveau des teneurs qu'un type de schéma particulier. En tout cas, les compositions pauvres prédominent, beaucoup plus fortement dans l'Ouest (79%) que dans l'Est (54%) et dans le Centre-Ouest (58%); d'autre part, elles sont réparties dans pas moins de quatre groupes principaux (3P, 1P, 2P, 6P). Les compositions normales du groupe 3N, de type Bronze moyen, continuent de jouer un rôle assez important, mais surtout à l'Est. Le gradient de fréquence des compositions pauvres, indétectable au Bronze moyen, montre que celles-ci ne sont pas issues de la refonte des objets Bronze moyen (voir aussi les teneurs plus élevées en bismuth), mais qu'elles correspondent à l'arrivée d'une nouvelle matière première, d'origine apparemment occidentale.

La rupture intervenant dès le HaA2 est spectaculaire. Au cuivre de type As/Ni du Bronze moyen et aux compositions pauvres du BzD-HaA1 succèdent en effet — et pour toute la durée du Bronze final palafittique — des cuivres dits de "type fahlerz", caractérisés par des compositions de niveau le plus souvent normal et des teneurs plus ou moins équivalentes (selon les types) en arsenic, en antimoine, en argent, en nickel et en cobalt. Celui qui prédomine largement au HaA2 (plus de 70%) est caractérisé par un schéma à nickel dominant et les teneurs moyennes en cobalt les plus élevées de notre corpus. Il constitue le groupe 4N et une petite partie du groupe 3N. Avec le cuivre de type 6N du HaB2, c'est la matière première la

plus homogène, c'est-à-dire celle dont la variabilité des teneurs est la plus faible. Les rôles non négligeables des types 5N et 6N annoncent la suite de l'évolution, caractérisée par la très forte prépondérance de ces deux schémas à antimoine dominant.

Par rapport au HaA2 aussi bien qu'au HaB2, le *HaB1* frappe par la moindre homogénéité des types de composition, qui est comparable à celle du BzD-HaA1. Les trois types les plus fréquents (5N, 5R, 4N), en effet, ne rassemblent que 58.7% des objets de la période. Deux autres caractéristiques, qui correspondent à des particularités régionales, sont également remarquables: la fréquence importante des compositions riches, surtout à l'Est, et celle des compositions pauvres, surtout à l'Ouest, ce qui rappelle la situation au BzD-HaA1.

L'hétérogénéité du HaB1 fait place à l'exceptionnelle homogénéité métallurgique du *HaB2*, période durant laquelle trois objets sur quatre sont du métal de type 6N, dont la variabilité des teneurs est spécialement faible. Les trois types les plus fréquents (6N, 1N, 5N) ne rassemblent pas moins de 96% des objets. Des arguments géographiques et métallurgiques suggèrent que le cuivre de type 1N est resté moins longtemps en usage dans le HaB2 que le cuivre de type 6N.

Du Bronze moyen au HaA2, la teneur moyenne en étain ne varie guère. Elle se situe entre 8 et 9%, atteignant son maximum au BzD-HaA1 (8.69%). C'est au HaA2 qu'elle varie le moins, au moment où la variabilité du principal cuivre utilisé atteint elle aussi un minimum. La baisse sensible de la teneur moyenne au HaB1 s'explique par l'usage des cuivres riches, surtout à l'Est, auxquels n'est alliée qu'une faible quantité d'étain, ou pas d'étain du tout. Dans l'Ouest et le Centre-Ouest, les teneurs restent au niveau des phases précédentes. En revanche, c'est sans doute à une réelle pénurie d'étain qu'on doit attribuer la baisse des teneurs au HaB2 (6.19%). La variabilité des teneurs, d'autre part, est alors nettement plus accusée dans l'Est que dans les deux autres parties du pays.

Le statut du *plomb* n'est pas toujours facile à déterminer. Suivant les cas, en effet, il peut (ou doit) être considéré comme une impureté du cuivre, comme une "pollution" de l'étain ou/et comme un élément intentionnel de l'alliage. Au Bronze moyen (0.08%), c'est à coup sûr une impureté du cuivre. La nette augmentation des teneurs au BzD-HaA1 (0.33%) est un des traits principaux distinguant les compositions de cette période de celles du Bronze moyen. A ce niveau modeste, cependant, le plomb est très probablement à considérer encore comme une impureté naturelle du cuivre. Les teneurs augmentent sensiblement au HaA2 (0.97%), en même temps qu'est mis en circulation un nouveau métal, de type *fahlerz*. Mais alors que celui-ci est utilisé sans variations notables dans l'ensemble du pays, on constate que les teneurs en plomb varient sensiblement d'une région à l'autre, l'Ouest étant

la plus plombifère, devant le Centre-Ouest et l'Est. D'autre part, la variabilité des teneurs en plomb est nettement plus accusée que celle des teneurs en arsenic, antimoine, argent, nickel et cobalt. Nous sommes donc poussés à considérer au moins une partie du plomb comme un élément de l'alliage, intentionnel et/ou non-intentionnel, c'est-à-dire présent en plus ou moins grande quantité dans l'étain utilisé par les fondeurs. La teneur moyenne en plomb reste stationnaire au HaB1 (0.99%). En revanche, elle augmente très sensiblement au HaB2 (1.44%), alors que la majorité (neuf sur quinze) des lingots et des objets finis en cuivre pur de cette période montrent des teneurs en plomb inférieures à 0.1%, qui ne se retrouvent dans aucun objet en bronze. Le caractère intrusif du plomb, pressenti dès le HaA2, paraît donc confirmé. D'autre part, comme au HaA2 et au HaB1, l'usage du plomb diminue fortement d'Ouest en Est.

L'examen des objets "jumeaux de composition", fréquents seulement au HaA2 et au HaB2, confirme ce qu'on pouvait déjà déduire de la morphologie de certains types d'objets, à savoir que les trois régions envisagées — Est, Centre-Ouest, Ouest — correspondent à des régions de production différentes, entre lesquelles les objets finis ne circulent qu'exceptionnellement.

A cause, principalement, de leurs teneurs exagérées en zinc, cinq haches à rebords de différents types du Bronze moyen ont été considérées comme des falsifications et donc écartées de nos statistiques (577, 640, 642, 692, 742). Le statut du vase 908 paraît, en revanche, plus difficile à établir.

Chapitre 7 (annexe 3)

On a essayé ici de déterminer dans quelle mesure les cuivres utilisés en Suisse avaient aussi circulé dans les régions voisines, ce qui est naturellement de grande importance pour la discussion de l'origine des matières premières. Les analyses de comparaison, cependant, sont encore trop peu nombreuses, surtout dans les régions limitrophes de la Suisse, pour que même un embryon de carte de répartition des types de cuivre du Bronze moyen et du Bronze final puisse être proposé. Toutefois, deux constatations importantes sont d'ores et déjà possibles.

Le cuivre dominant du Bronze moyen en Suisse (As/Ni, faibles Sb et Ag), en effet, paraît assimilable à ce qu'on appelle (à cause de sa probable origine autrichienne) le "*ostalpin Kupfer*", qui a une répartition extrêmement vaste en Europe centrale et septentrionale, dès la deuxième partie du Bronze ancien. Il ne semble pas toujours facile à distinguer, cependant, du cuivre caractérisant le Bronze moyen atlantique (groupe de Tréboul, en particulier), qui est du même type.

Les cuivres de type fahlerz du HaA2, B1 et B2, d'autre part, appartiennent à la grande famille des cuivres de type "S" (selon P. Northover), qui passe pour originaire des Alpes et dont l'expansion sur de vastes territoires d'Europe centrale et septentrionale, jusqu'en Scandinavie, en Bretagne et dans les Îles britanniques, est elle aussi bien attestée. Dans le détail, cependant, il apparaît que cette grande famille n'est pas vraiment homogène. Le métal de type "S" caractérisant le HaA2-B1 du sud de l'Angleterre et du nord de la France, par exemple, n'est que peu présent en Suisse. Dans l'autre sens, le cuivre à nickel dominant et fort cobalt, si caractéristique du HaA2 suisse, ne semble pas, pour l'instant, avoir laissé des traces importantes au-delà de la Suisse — sauf, peut-être, à l'est et au sud-est du territoire, dans la culture de Laugen-Melaun, ainsi que dans le nord de l'Italie protovillanovienne (d'après la composition de certaines haches "étrangères" de notre corpus). En revanche, le cuivre classique du HaB2, de type 6N, semble être attesté loin à la ronde autour des Alpes.

Chapitre 8

Ce dernier chapitre s'attache principalement à la discussion, sommaire, du problème de l'origine des cuivres, à la solution (encore très lointaine !) duquel devrait contribuer l'analyse chimique des objets.

Les principales difficultés de méthode sont énumérées, avant que ne soit discuté le cas particulier de la Suisse. Il est encore très obscur à cause, en particulier, du manque d'analyses de comparaison dans les régions limitrophes, et du degré de prospection très inégal des différentes zones cuprifères alpines (étant admis, peut-être à tort, que la plus grande partie des cuivres utilisés dans nos régions à l'âge du Bronze proviennent de minerais alpins).

ZUSAMMENFASSUNG

Kapitel 1 (Tab. 1-8; Abb. 1-2; Anhänge 1-2)

Ausgehend von 941 Spektralanalysen hat die vorgelegte Arbeit zum Ziel, die in der Schweiz gebräuchlichen Bronzen der mittleren und späten Bronzezeit, von der Phase BzB bis und mit der Phase HaB2, zu charakterisieren. Damit sollte vor allem versucht werden, die Veränderungen im hauptsächlichsten Rohstoff, dem Kupfer, über diese Zeitspanne darzulegen und diese mit der Entwicklung der Typo-Chronologie des Fundmaterials zu parallelisieren.

Die Analysen wurden zwischen 1984 und 1987 mittels ICP-Atomemissionsspektralanalyse an der EMPA in Dübendorf, unter der Leitung von N. Kläntchi, durchgeführt. Die gemessenen Elemente sind: Kupfer, Zinn, Blei, Arsen, Antimon, Silber, Nickel, Wismut, Kobalt, Zink und Eisen. Methode und Qualität der Analysen

Du fait de sa forte ressemblance avec le "ostalpin Kupfer", mis lui-même en relation avec les gisements autrichiens du Mitterberg (Salzbourg) et de la région de Kitzbühel (Tyrol), il est fort probable que le type de cuivre dominant du Bronze moyen suisse (As/Ni, faible Sb) soit effectivement d'origine est-alpine.

Quant aux autres cuivres, en particulier ceux de type fahlerz du Bronze final, les hypothèses sont encore beaucoup plus floues. La zone est-alpine ainsi que le Trentin-Haut-Adige, régions où l'exploitation préhistorique des minerais de cuivre est attestée, représentent des origines possibles. L'exploitation préhistorique du cuivre est également attestée dans l'Oberhalbstein (Grisons) mais, comme on ignore encore largement le type de matière première qui en est issu, il est difficile de mesurer son impact éventuel sur l'industrie du bronze du Plateau suisse. Le Valais (Val d'Anniviers, Val de Tourtemagne), riche en minerais de type fahlerz associant arsenic, antimoine, nickel et cobalt, constitue lui aussi une source potentielle importante. Enfin, la répartition surtout occidentale, en Suisse, des cuivres de composition pauvre du BzD-HaA1 et du HaB1 constitue un indice en faveur de l'origine (alpine ?) occidentale de ce type de métal.

Un point, au moins, peut passer pour acquis: dans chacune des phases chronologiques envisagées, et jusqu'à la fin du Bronze final, les ateliers producteurs d'objets en bronze ont travaillé beaucoup plus avec des cuivres neufs qu'à partir du recyclage de vieux métal. C'est ce que montre la constante évolution des types de cuivre, presque toujours clairement caractérisables et qu'on ne peut donc pas confondre les uns avec les autres.

werden aufgezeigt und diskutiert. Aufgrund von Mehrfachanalysen am gleichen Objekt, Vergleichsanalysen durch andere Laboratorien und durch die Analyse von Standardproben darf die Genauigkeit und die Richtigkeit der Resultate als sehr gut bezeichnet werden, auch wenn gewisse Schwierigkeiten bei der Messung von Silber und Kobalt auftraten. Die Analyse von mehreren, verschiedenen Proben der gleichen Objektserie zeigt auch, dass das Metall sehr homogen ist und dass die Menge des entnommenen Metalls (ungefähr 30 mg) vollständig genügt und für das ganze Objekt repräsentativ ist.

Die untersuchten Objekte bestehen vorwiegend aus Beilen (58%), Messern (15%) und Sicheln (9%), welche einerseits gute chronologische Indikatoren sind und andererseits ohne Schaden eine Probeentnahme durch Bohren überstehen.

Kapitel 2 (Tab. 9; Abb. 3)

Typologisch lassen sich die Objekte auf fünf chronologische Gruppen verteilen: mittlere Bronzezeit (182, 19.3% der Gesamtzahl), BzD-HaA1 (121, 12.9%), HaA2 (199, 21.1%), HaB1 (114, 12.1%), und HaB2 (196, 20.8%) Einige Objekte konnten allerdings keiner der genannten Gruppen zugewiesen werden. Sie bewegen sich innerhalb HaA2-B1 (6.3%), HaB1-B2 (3.4%) und "unbestimmt" (3%). Neun Objekte aus der Frühbronzezeit und ein einziges HaC-zeitliches Objekt vervollständigen den Korpus.

Kapitel 3 (Karten 1-10; Tab. 9; Abb. 3)

Um die Veränderungen der Zusammensetzung der Bronze innerhalb der selben Zeitstufe aufzuzeigen, wurde das Gebiet der Schweiz in drei Hauptregionen aufgeteilt, welche "Ost" (29.2% der Objekte), Zentrum-West (45.2%) und West (25.2%) getauft wurden. Eine vierte Region, der Süden, spielt keine Rolle in unserer Studie. Die Verbreitungskarten zeigen, dass in allen Epochen, und vor allem von HaA2 bis B2, der Epoche der Seeufersiedlungen, die überwiegende Mehrheit der analysierten Objekte aus dem Mittelland, zwischen Genf und Zürich stammt. Die alpine Bronzezeit, speziell jene des Kantons Graubünden, ist demnach unterrepräsentiert. Dies ist umso bedauerlicher, als die einzigen prähistorischen Abbauspuren von Kupfererzen in der Schweiz gerade aus dem Bündnerland stammen.

Kapitel 4 (Tab. 10-13; Abb. 4-15)

Ein erster Zugang zu den Resultaten wird durch einfache Verteilungshistogramme versucht, welche die Objekte pro chronologische Phase und pro Element gruppieren. Es ist dies eine Methode, die Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung im Laufe der Zeit anhand der Streuung der absoluten Werte aufzuzeigen. Der spektakulärste Wechsel tritt in HaA2 auf, im Moment, wo sich ein gänzlich neues Metall durchsetzt, welches durch wesentlich höhere Gehalte, vor allem von Blei, Antimon, Silber, Nickel und Kobalt charakterisiert ist. Die Histogramme verdeutlichen auch die mehr oder weniger ausgeprägte Streuung der Werte, speziell was die Legierung mit Zinn anbetrifft. Unter diesem Gesichtspunkt erscheinen HaB1 und HaB2 eindeutig weniger homogen als die vorhergehenden Phasen.

Die Typologie, welche wir vorschlagen, berücksichtigt zwar die Höhe der absoluten Werte, aber sie macht daraus nur ein Kriterium zweiten Ranges. Das tatsächliche Basis-kriterium ist der relative Anteil der drei Hauptverunreinigungen Arsen, Antimon und Nickel. Sieben Schematypen der Zusammensetzung werden somit definiert:

- 1) As>Sb>Ni, As>Sb=Ni, As=Sb>Ni
(73 Objekte, 7.8% des Korpus)
- 2) As>Ni>Sb, As=Ni>Sb (109, 11.6%)
- 3) Ni>As>Sb (157, 16.7%)
- 4) Ni>Sb>As, Ni=Sb>As, Ni>Sb=As (193, 20.5%)
- 5) Sb>Ni>As (150, 15.9%)
- 6) Sb>As>Ni, Sb>As=Ni (251, 26.7%)
- 7) As=Sb=Ni (8, 0.8%)

In dem Masse wie einerseits die Typen 2 und 3 vor allem für die mittlere Bronzezeit und für Bronze D bis HaA1 und andererseits die Typen 4, 5 und 6 vor allem für HaA2, HaB1 und HaB2 charakteristisch sind, wird die chronologische Signifikanz dieser Typen der Zusammensetzung offensichtlich. Sie wird noch besser definiert durch die Typen 2, 4 und 6, weil ersterer zu 76% durch die Mittlere Bronzezeit, der zweite zu 75% durch HaA2 und der dritte zu 66% durch HaB2 belegt wird. Der Typ 5, vorwiegend durch Objekte aus HaB1 belegt, erscheint eher als ein Übergangsphänomen zwischen HaA2 und HaB1. Was den Typ 1 betrifft, enthält er eigentlich zwei sehr unterschiedliche Typen von Zusammensetzungen, eine aus der Mittleren Bronzezeit und BzD-HaA1 und die andere aus HaB2, welche die Feintypologie klar auseinanderzuhalten erlaubt. Innerhalb des Typs 3 können schliesslich die HaA2-zeitlichen, vom Typ 4 nicht trennbaren Zusammensetzungen mit den übrigen mittelbronzezeitlichen nicht verwechselt werden.

Der Basiskorpus wurde also in sieben Gruppen aufgeteilt, jede ist durch einen Typ des Schemas der Zusammensetzung charakterisiert. In der Folge wurde jede Gruppe entsprechend der Höhe des absoluten Gehaltes in Untergruppen aufgeteilt. Ausgehend vom kumulierten Gehalt an As/Sb/Ni, haben wir drei Arten von Zusammensetzungen unterschieden: arm (bis zu 0.42%), normal (von 0.43 bis 3.99%) und reich (über 4%). Die chronologische Bedeutung der armen und der reichen Zusammensetzung springt ins Auge: Erstere gehört zu 84% in die mittlere Bronzezeit und in BzD-HaA1, die zweite zu 83% in HaB1. BzD-HaA1 ist die einzige Phase mit vorherrschenden armen Zusammensetzungen.

Aus den zwei Etappen dieser Auswahl (Schema der Zusammensetzung und kumulierter Gehalt an As/Sb/Ni) wurden zwanzig *Gruppen* oder *Zusammensetzungstypen* herausgearbeitet und nach den Nummern des Schemas und den Buchstaben N, P oder R bezeichnet, entsprechend der normalen, armen und reichen Zusammensetzung.

Kapitel 5 (Abb. 16-48)

Ziel dieses Kapitels ist die detaillierte Untersuchung der Gruppen verschiedener Zusammensetzung. Hier setzt der Vorgang der automatischen Klassifizierung ein (aufsteigende Hierarchie), deren Resultate durch die Dendrogramme der Abb. 16 bis 48 dargestellt sind. Jede Gruppe

ist gemäss einem fixen Schema, welches folgende Rubriken enthält, beschrieben: Chronologie, Geographie, Charakteristika der Gruppe, spezielle Objekte, Zwillingszusammensetzungen. Letzterer Begriff wurde in Kapitel 4 definiert. Es handelt sich dabei um Objekte, deren Zusammensetzung sich derart gleicht, dass angenommen werden muss, dass sie aus dem selben Bronzeguss oder aus dem selben Kupferbarren stammen (im Falle wo nur die Verunreinigungen und nicht noch Zinn und Bleiwerte identisch sind).

Der zweite Teil des Analysenkataloges bildet den Anhang zu Kapitel 5. Er listet die Analysen nach Zusammensetzungsgruppen, entsprechend der durch die automatische Klassifizierung gegebenen Ordnung auf und zeigt die errechneten Eigenheiten der Gruppen und Untergruppen.

Kapitel 6 (Tab. 14-17; Abb. 49-53)

Kapitel 6 beginnt mit der Synthese der Daten aus Kapitel 5, in chronologischer Abfolge (Taf. 14).

Die mittlere Bronzezeit kennt zwei Hauptsorten von Zusammensetzungen. Die erste, bei weitem die verbreitetste, fällt mit der Vereinigung der mittelbronzezeitlichen Objekte in den Gruppen 3N, 3P, 3R, 2N und 2P (82.4% der mittelbronzezeitlichen Objekte) zusammen. Es handelt sich dabei um ein Kupfer, welches in erster Linie durch einen im Vergleich zu Arsen und Nickel niedrigen relativen Antimon Gehalt sowie durch tiefe Werte von Blei, Silber und Kobalt gekennzeichnet ist. Die armen Zusammensetzungen sind gegenüber den normalen schwächer vertreten und die Häufigkeit des Schemas vom Typ 2 (As vorherrschend) ist etwa gleich wie jene des Schemas vom Typ 3 (Ni vorherrschend). Die armen Zusammensetzungen entstammen mehrheitlich dem Schema 2. Die andere Art der Zusammensetzung, mit 15.3% stark untervertreten, entspricht der Zusammenstellung der mittelbronzezeitlichen Objekte der Gruppen 1N, 4N, 5N, 6N und 7N. Dieses Kupfer ist gekennzeichnet durch etwa gleichhohe Gehalte an Antimon wie an Arsen und Nickel. Es enthält zwei Varianten, eine mit starkem und eine mit schwachem Silberanteil. Blei und Kobaltgehalt sind nicht höher als beim vorhergehenden Typ.

Für die Periode BzD-HaA1 passt unser System der Klassifizierung nach Zusammensetzung am wenigsten. Das Hauptmerkmal dieser Phase scheint eher das tiefe Niveau der Gehalte an Verunreinigungen als ein bestimmter Schematyp zu sein. Auf jeden Fall herrschen arme Zusammensetzungen vor, viel stärker im Westen (79%) als im Osten (54%) und im Zentrum-West (58%); andererseits sind sie in nicht weniger als 4 Hauptgruppen verteilt (3P, 1P, 2P, 6P). Die normalen Zusammensetzungen der Gruppe 3N des Typs mittlere Bronzezeit spielen weiterhin eine ziemlich wichtige Rolle, jedoch vor allem im Osten. Die regionalen Unterschiede in der

Häufigkeit der armen Zusammensetzungen zeigt, dass diese Legierungen nicht eingeschmolzenen Objekten der mittleren Bronzezeit entstammen (siehe auch die erhöhten Werte von Wismut), sondern dass sie der Ankunft eines neuen Rohstoffes entsprechen, offensichtlich von westlicher Herkunft.

Der Bruch mit Eintritt von HaA2 ist spektakulär. Dem Kupfer vom Typ As/Ni der mittleren Bronzezeit und den armen Zusammensetzungen von BzD-HaA1 folgen nun — und dies für die gesamte Dauer der Seeufer-Spätbronzezeit — Kupfersorten vom “Typ Fahlerz”, welche meist durch normale Zusammensetzungen und durch ungefähr gleich hohe Gehalte (entsprechend der Typen) an Arsen, Antimon, Silber, Nickel und Kobalt gekennzeichnet sind. Das in HaA2 vorherrschende Schema (über 70%) ist gekennzeichnet durch höhere Nickelwerte und den höchsten Mittelwert an Kobalt in unserem Korpus. Es verkörpert die Gruppe 4N und einen kleinen Teil von Gruppe 3N. Mit dem Kupfer des Typs 6N von HaB2 ist dieser Rohstoff der homogenste, das heisst jener, in welchem die Streuung der Werte am niedrigsten ist. Die nicht zu vernachlässigende Rolle der Typen 5N und 6N kündigen die darauf folgende Evolution an, gekennzeichnet durch das sehr starke Übergewicht der zwei Typen von vorherrschendem Antimon.

Im Vergleich zu HaA2 ebenso wie zu HaB2 fällt HaB1 durch die niedrigste Homogenität der Zusammensetzungs-typen auf, vergleichbar mit jenen von BzD-HaA1. Die drei häufigsten Typen (5N, 5R, 4N) vereinigen in der Tat nur 58.7% der Objekte dieser Periode. Zwei andere Merkmale, welche mit regionalen Eigenheiten zusammenfallen, sind ebenfalls erwähnenswert: die gewichtige Häufigkeit an reichen Zusammensetzungen, vor allem im Osten, und jene an armen Zusammensetzungen, vor allem im Westen, was an die Situation in BzD-HaA1 erinnert.

Die Heterogenität in HaB1 macht einer ausserordentlichen Homogenität der Metallurgie in HaB2 Platz, einer Periode, in welcher drei von vier Objekten aus dem Metalltyp 6N bestehen, deren Streuung der Werte besonders gering ist. Die drei häufigsten Typen (6N, 1N, 5N) vereinigen nicht weniger als 96% der Objekte. Geographische und metallurgische Argumente lassen vermuten, dass das Kupfer vom Typ 1N in HaB2 weniger lange im Gebrauch war als der Typ 6N.

Von der mittleren Bronzezeit bis zu HaA2 verändert sich der Mittelwert von Zinn kaum. Er liegt zwischen 8 und 9% und erreicht sein Maximum in BzD-HaA1 (8.69%). In HaA2 variiert der Mittelwert am wenigsten, in jener Zeit, wo auch die Streuung des Hauptkupfers ein Minimum erreicht. Der spürbar tiefere Mittelwert in HaB1 erklärt sich durch den Gebrauch von reichen Kupfersorten, insbesondere im Osten, welchen nur wenig oder überhaupt kein Zinn zulegiert wurde. Im Westen und im Zentrum-West bleiben die Werte auf dem Niveau der

vorangehenden Phasen. Umgekehrt ist es ohne Zweifel ein eigentlicher Zinnmangel, welchem man die tiefen Werte in HaB2 (6.19%) zuschreiben muss. Die Streuung der Werte ist im Osten klar stärker ausgeprägt als in den beiden anderen Landesteilen.

Die Rolle des Bleis ist nicht immer einfach zu bestimmen. Je nach Fall kann (oder muss) es als Verunreinigung des Kupfers angesehen werden, als "Verschmutzung" des Zinns und/oder als beabsichtigtes Legierungselement. In der mittleren Bronzezeit (0.08%) ist es mit Sicherheit eine Verunreinigung des Kupfers. Die klare Erhöhung des Bleigehaltes in BzD-HaA1 (0.33%) ist eines der Hauptmerkmale, welches die Metalle dieser Periode von jenen der mittleren Bronzezeit unterscheidet. Auf diesem bescheidenen Niveau ist das Blei jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit ebenfalls als natürliche Verunreinigung im Kupfer anzusehen. Die Gehalte steigen in HaA2 (0.97%) spürbar an, im gleichen Zug mit dem neuen Metall, dem Fahlerztyp. Aber während dieser im ganzen Land ohne erwähnenswerte Unterschiede gebraucht wurde, variiert der Gehalt an Blei spürbar von einer Region zur andern, mit den höchsten Bleiwerten im Westen, vor dem Zentrum-West und dem Osten. Andererseits ist die Streuung der Bleiwerte klar grösser als jene der Arsen-, Antimon-, Silber-, Nickel- und Kobaltwerte. Wir betrachten deshalb mindestens einen Teil des Bleis als Legierungselement, beabsichtigt oder nicht, das heisst, dass Blei in mehr oder weniger grosser Menge im Zinn des Giessers vorhanden war. Der mittlere Gehalt an Blei bleibt gleich in HaB1 (0.99%). Im Gegensatz dazu steigt er in HaB2 (1.44%) spürbar an, während die Mehrheit der Barren (neun von fünfzehn) und der Fertigobjekte aus Reinkupfer aus dieser Periode Bleiwerte unter 0.1% zeigen, welche sich bei keinem der Bronzeobjekte wiederfinden. Das Eindringen des Bleis, bereits in HaA2 spürbar, scheint deshalb bestätigt. Andererseits nimmt der Gebrauch von Blei, wie in HaA2 und in HaB1, von West nach Ost stark ab.

Die Überprüfung der Objekte mit "Zwillingszusammensetzung", welche nur in HaA2 und in HaB2 häufig sind, bestätigt, was bereits aus der Morphologie gewisser Objekttypen abgeleitet werden konnte. Es bleibt festzuhalten, dass die drei Regionen — Ost, Zentrum-West, West — mit Regionen verschiedener Produktion übereinstimmen, zwischen denen die Fertigobjekte nur ausnahmsweise zirkulierten.

Vorwiegend aufgrund ihres erhöhten Zinkgehaltes wurden fünf Randleistenbeile verschiedenen Typs aus der Mittleren Bronzezeit als Fälschungen angesehen und deshalb aus der Statistik entfernt (577, 640, 642, 692, 742). Der Status des Gefässes 908 scheint hingegen schwieriger zu bestimmen zu sein.

Kapitel 7 (Anhang 3)

Es wird hier zu bestimmen versucht, in welchem Masse die verwendeten Kupfersorten in der Schweiz auch in benachbarten Regionen zirkuliert haben. Dies ist natürlich von grosser Bedeutung für die Diskussion der Herkunft der Rohstoffe. Vergleichsanalysen sind jedoch noch viel zu wenig zahlreich, vor allem in den Gebieten ohne Seeufersiedlungen, um auch nur ansatzweise eine Verbreitungskarte der Kupfertypen von der mittleren bis zur späten Bronzezeit vorschlagen zu können. Nichtsdestoweniger können jetzt schon zwei gewichtige Aussagen gemacht werden.

Das in der schweizerischen Mittelbronzezeit vorherrschende Kupfer (As/Ni, schwaches Sb und Ag) scheint in der Tat mit dem, was gemeinhin wegen seiner wahrscheinlich österreichischen Herkunft als "ostalpinen Kupfer" bezeichnet wird, verwandt zu sein, welches seit der zweiten Hälfte der Frühbronzezeit eine extrem grosse Verbreitung in Zentral- und Nordeuropa hat. Es scheint hingegen nicht immer einfach zu sein, das für die atlantische Mittelbronzezeit typische Kupfer (speziell für die Gruppe Tréboul), welches vom selben Typ ist, davon zu unterscheiden.

Die Kupfersorten des Typs Fahlerz in HaA2, B1 und B2 gehören andererseits zur grossen Familie der Kupfersorten "S" (nach P. Northover), welche als von alpiner Herkunft angesehen werden und von welchen eine ausgedehnte Verbreitung in Mittel- und Nordeuropa, bis nach Skandinavien, in die Bretagne und auf die Britischen Inseln nachgewiesen ist. Im Einzelnen erscheint diese grosse Familie jedoch nicht wirklich homogen. Das Metall des Typs "S", charakteristisch für HaA2-B1 in Südengland und Nordfrankreich, zum Beispiel, ist in der Schweiz nur sehr wenig vertreten. Umgekehrt scheint das Kupfer mit vorherrschendem Nickel und starkem Kobaltgehalt, so charakteristisch für HaA2 in der Schweiz, im Moment zumindest keine Spuren ausserhalb der Schweiz hinterlassen zu haben, ausser vielleicht im Osten und Südosten des Gebietes, in der Laugen-Melaun Kultur, sowie im protovillanovazeitlichen Norden Italiens (gemäss der Zusammensetzung gewisser "fremder" Beile in unserem Korpus). Hingegen scheint der klassische Kupfertyp in HaB2, der Typ 6N, im weiten Kreis um die Alpen belegt zu sein.

Kapitel 8

Dieses letzte Kapitel beschäftigt sich vorwiegend mit der summarischen Diskussion des Problems der Herkunft des Kupfers, zu deren (noch sehr weit entfernten!) Lösung chemische Analysen von Objekten ja beitragen sollten.

Die methodischen Hauptschwierigkeiten werden aufgezählt, anschliessend wird der spezielle Fall der Schweiz diskutiert. Das Bild ist noch unvollständig, vor allem in Folge fehlender Vergleichsanalysen aus benachbarten Gebieten und des unterschiedlichen Standes der Untersuchungen in den verschiedenen kupferführenden Zonen (auch wenn, vielleicht zu Unrecht, angenommen wird, dass der grösste Teil des in unseren Regionen in der Bronzezeit verwendeten Kupfers von alpinen Erzen stammt).

Aus der Tatsache der starken Verwandtschaft mit dem "ostalpinen Kupfer", das seinerseits mit den österreichischen Lagerstätten am Mitterberg (Salzburg) und der Region Kitzbühel (Tirol) in Verbindung gebracht wird, scheint es sehr wahrscheinlich, dass der in der schweizerischen Mittelbronzezeit vorherrschende Kupfertyp (As/Ni, schwaches Antimon) tatsächlich ostalpinen Herkunft ist.

Was die anderen Kupfertypen betrifft, speziell jene des Fahlerztyps der Spätbronzezeit, sind die Hypothesen noch verschwommener. Die ostalpine Zone wie jene des Trentino/Alto-Adige, Regionen, in welchen der prähisto-

rische Kupferbergbau nachgewiesen ist, bieten sich als mögliche Herkunftsgebiete an. Prähistorischer Kupferbergbau ist auch im Oberhalbstein (Kt. Graubünden) nachgewiesen, aber da der dort vorkommende Typ des Rohstoffes noch weitgehend unbekannt ist, ist es schwierig, seinen eventuellen Einfluss auf das Bronzehandwerk des schweizerischen Mittellandes abzuschätzen. Das Wallis (Val d'Anniviers, Turtmanntal) mit seinen reichen Kupfererzen vom Typ Fahlerz mit Arsen, Antimon, Nickel und Kobalt, stellt ebenfalls eine wichtige potentielle Rohstoffquelle dar. Schlussendlich geben auch die Kupfersorten mit armer Zusammensetzung in BzD-HaA1 und HaB1 mit vorwiegend westlicher Verbreitung in der Schweiz einen Hinweis zugunsten der (alpinen ?) westlichen Herkunft dieses Metalltyps.

Ein Punkt zumindest kann als gesichert betrachtet werden: in jeder untersuchten chronologischen Phase, und bis ans Ende der Spätbronzezeit, verarbeiteten die Produktionswerkstätten von Bronzeobjekten viel mehr neues Kupfer als wiederverwendetes Altmetall. Dies zeigt die stetige Abfolge der fast immer klar charakterisierbaren und nicht miteinander zu verwechselnden Kupfertypen.

(Übersetzung: Walter Fasnacht)

SUMMARY

Chapter 1 (Tables 1-8; Figures 1-2; Appendices 1-2)

Starting from a typological classification of a corpus of 941 spectrometric analyses, this work has as its objective the compositional classification of the bronzes used in Switzerland during the Middle and Late Bronze Ages, from Bronze B to Hallstatt B 2 inclusive. Above all, it is seeking to reveal the time-dependent (diachronic) changes in the composition of the principal raw material, copper, and to correlate them with the chronological evolution of object typology.

The analyses were carried out between 1984 and 1987 by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP) at EMPA, Dübendorf, under the direction of N. Kläntzchi. The elements analysed were copper, tin, lead, arsenic, antimony, silver, nickel, bismuth, cobalt, zinc and iron. The analytical method and the quality of the analyses are presented and discussed. On the basis of multiple analyses of some objects, data obtained from other laboratories, and the analysis of certified reference standards it is possible to say that the precision and accuracy of the results can be described as very good. However, some difficulties were experienced in the estimation of silver and

cobalt. Analysis of multiple samples from a whole series of objects has also shown that the metal is essentially homogeneous and that the quantity of metal taken, about 30mg, is thoroughly representative of an object as a whole.

The corpus studied here primarily consists of axes (58%), knives (15%) and sickles (9%), that is objects which, on the one hand, are good chronological indicators and, on the other, lend themselves to sampling by drilling without noticeable damage.

Chapter 2 (Table 9, Figure 3)

The objects have been divided typologically into five chronological groups: Bronze moyen (1982, 19.3% of the corpus), BzD-HaA1 (121, 12.9%), HaA2 (199, 21.1%), HaB1 (12.1%) and HaB2 (196, 20.8%). Certain objects, however, could not be assigned precisely to an individual chronological group. They can be divided into examples from HaA2-HaB1 (6.3%), HaB1-HaB2 (3.4%) and "indeterminate" (3%). Nine objects from the Early Bronze Age (1%) and a single piece from HaC (0.1%) complete the corpus.

Chapter 3 (Maps 1-10, Table 9, Figure 3)

With the object of demonstrating synchronic variations in the composition of the bronze, the area of Switzerland was divided into three main regions, labelled East (29.2% of the objects), Centre-West (45.2%) and West (25.2%). A fourth region, the South (0.2%) does not play any role in our discussion. The distribution maps show that in all periods, and especially from HaA2 to HaB2, the time of the lake dwellings, the great majority of objects comes from the Swiss Plateau, between Geneva and Zürich. The Alpine Bronze Age, in particular that of the Grisons (Graubünden), is thus under-represented in our corpus. This is to be regretted since the only traces of the prehistoric exploitation of copper minerals in Switzerland are precisely from the Grisons.

Chapter 4 (Tables 10-13; Figures 4-15)

One approach to the data is, starting from simple frequency histograms, to group the objects chronologically and by element. It is a first step in showing the changes in chemical composition that occur with time, expressed in this case by variations in the absolute concentrations of individual elements. The most spectacular change takes place in HaA2, at the moment when a completely new metal is introduced, characterised by greatly increased concentrations of, in particular, lead, antimony, silver, nickel and cobalt. At the same time the histograms show the extent of variation in the concentrations, especially in connection with alloying levels of tin. From this point of view HaB1 and HaB2 are (metallurgically) less homogeneous than the preceding periods.

The compositional typology that we propose of course takes account of the absolute concentrations but this is only a secondary criterion. The primary basis of the typology is the relative importance of the three principal impurities, arsenic, antimony and nickel. Seven compositional types or profiles (*schémas de composition*) have been defined in this way:

- 1) As>Sb>Ni, As>Sb=Ni, As=Sb>Ni
(73 objects, 7.8% of the corpus)
- 2) As>Ni>Sb, As=Ni>Sb (109, 11.6%)
- 3) Ni>As>Sb (157, 16.7%)
- 4) Ni>Sb>As, Ni=Sb>As, Ni>Sb=As (193, 20.5%)
- 5) Sb>Ni>As (150, 15.9%)
- 6) Sb>As>Ni, Sb>As=Ni (251, 26.7%)
- 7) As=Sb=Ni (8, 0.8%)

To the extent that Types 2 and 3 are, on the one hand, largely characteristic of Bronze Moyen and BzD-HaA1, and Types 4, 5 and 6 of HaA2, HaB1 and HaB2, the chronological significance of these profiles is evident. The

significance is specifically even plainer for the profiles of Types 2, 4 and 6, since the 76% of the first is comprised just of Bronze Moyen material, 75% of the second belongs to HaA2 and 66% of the third to HaB2. Type 5, predominantly attributable to HaB1, appears rather to represent a transition between HaA2 and HaB2. Type 1, in fact, contains two very different types of composition, one of Bronze Moyen and BzD-HaA1 date, the other of HaB2, which can be clearly distinguished by means of a very precise typology. Similarly, the HaA2 compositions in Type 3 can be distinguished as totally different from those of Bronze Moyen and very closely linked to the HaA2 compositions of Type 4.

Thus the basic corpus is divided into seven groups, each with a characteristic compositional profile. Each group is then divided into three as a function of the absolute concentrations of the elements. From the combined concentrations of arsenic, antimony and nickel, we can define three types of composition, *pauvre* or 'low' (up to 0.42%), *normale* or 'standard' (0.43% to 3.99%) and *riche* or 'high' (from 4%). The chronological importance of the low and high composition groups is immediately apparent: 84% of the 'low' group belong to Bronze Moyen and BzD-HaA1, while 83% of the 'high' group belong to HaB1. BzD-HaA1 is the only phase to see a total preponderance of 'low' compositions.

The two steps in this sorting process (composition profiles and combined concentrations of As/Sb/Ni) lead to the formation of twenty *groups* or *composition types*, labelled with the number of the profile and the letters N, P, R for 'standard' (*normale*), 'low' (*pauvre*) and 'high' (*riche*).

Chapter 5 (Figures 16-48)

The purpose of the chapter is a detailed examination of the composition groups. It is at this level that an automated, hierarchical classification becomes necessary, the results of which are expressed as dendrograms in Figures 16-48. Each group is described according to a fixed rubric involving chronology, geographical location, group characteristics, specific objects and twin or matching compositions (a concept defined in Chapter 4). It implies objects with compositions so similar that they can be considered to come from either the same melt or, where only the impurity concentrations without lead and tin are identical, from the same copper ingot.

The second part of the catalogue of analyses forms an appendix to Chapter 5. The analyses are arranged into composition groups in the order given by the automated classification process and lists the group and sub-group labels.

Chapter 6 (Tables 14-17; Figures 49-53)

The chapter is introduced by a synthesis of the results given in Chapter 5 presented in chronological order (Table 14).

In *Bronze moyen* two main groupings of compositions can be recognised. The first, by far the most widely used, corresponds to the assemblage of objects in *Bronze moyen* from groups 3N, 3P, 3R, 2N and 2P (82.4% of objects from *Bronze moyen*). It is based on a copper with a low concentration of antimony relative to arsenic and nickel, as well as low levels of lead, silver and cobalt. 'Low' impurity patterns are less common than 'standard' and the frequency of profiles of Type 2 (As dominant) are a little less common than those of Type 3 (Ni dominant). The majority of 'low' compositions belong to Type 2. The second range of compositions, very much in the minority (15.3%) contains the *Bronze moyen* objects from groups 1N, 4N, 5N, 6N and 7N. In contrast to the first group it is characterised by levels of antimony more or less equal to those of arsenic and nickel. There are two variants, one with high silver, the other with low silver; the concentrations of lead and cobalt are not as high as in the first grouping.

BzD-HaA1 is the period where our system of classification based on composition profiles works least well. The principal characteristic of this period appears to us to be, in effect, a generally low level of all concentrations rather than the dominance of any particular one. In general 'low' compositions prevail, more strongly in the West (79%) than in the East (54%) or Centre-West (58%); on the other hand they are distributed across no less than four of the composition profiles (3P, 1P, 2P, 6P). 'Standard' compositions from *Bronze moyen* objects in group 3N continue to play an important part, in particular in the East. The increase in frequency of 'low' compositions of types not observed in *Bronze moyen* shows that they are not the result of recycling of *Bronze moyen* objects (note also increased concentrations of bismuth). Rather, they correspond to the arrival of a new primary metal, apparently originating in the west.

The sharp break in the pattern that starts with *HaA2* is dramatic. The As/Ni types of copper from *Bronze moyen*, and those with 'low' impurities from *BzD-HaA1* are effectively replaced — for the whole of the Late Bronze Age at the lake sites — by coppers described as of *fahlerz*-type. They are characterised by 'standard' compositions with roughly similar concentrations, according to type, of arsenic, antimony, silver, nickel and cobalt. That which predominates in *HaA2* (more than 70% of the objects analysed) is defined by a profile with nickel dominant, and a mean level of cobalt that is the highest in the entire corpus. It is formed from the group 4N and a small part of 3N. Together with the copper of Type 6N from *HaB2*, it represents the most homogeneous group of raw material, that is it has the lowest variability in the concentrations of the individual elements. A significant role for

Types 5N and 6N defines the continuing evolution of this copper, marked by a major preponderance of the two profiles with antimony dominant.

In comparison with *HaA2* and *HaB2*, *HaB1* is striking in its low degree of compositional homogeneity, which is comparable to that of *BzD-HaA1*. The three most common types (5N, 5R, 4N) only comprise 58.7% of the objects of the period. Two other features which have a strong regional correlation are equally remarkable: the very frequent occurrence of 'high' composition profiles, especially in the east, and of 'low' ones in the west, reminiscent of the situation in *BzD-HaA1*.

The heterogeneity of *HaB1* gives way to the exceptional metallurgical homogeneity of *HaB2*, a period when three objects out of every four belong to type 6N, and where the variation in element concentrations is very low. The three most common types (6N, 1N, 5N) include at least 96% of the objects. Distributional and metallurgical arguments suggest that copper of Type 1N lasted longer in use in *HaB2* than copper of Type 6N.

From *Bronze moyen* to *HaA2* mean tin contents do not vary very much. It lies between 8% and 9%, reaching its maximum in *BzD-HaA1* (8.69%). It is in *HaA2* that it varies the least, a time when the variability of the principal copper type is also at a minimum. The low mean tin content in *HaB1* is explained by the use of coppers with very 'high' composition profiles, especially in the East, which were alloyed with only low levels of tin or even with no tin at all. In the West and Centre-West tin contents stayed at the same level as in the preceding phases. On the other hand, it is a real lack of tin which contributes to the low contents of *HaB2* (mean 6.19%). Their variability is also much more acute in the east than in the other two areas of the country.

The status of lead is not always easy to determine. Depending on the situation it can (or should) be regarded as an impurity in the copper, as a contaminant of the tin and/or as an intentional alloying element. In *Bronze moyen* (mean 0.08%) it is certainly an impurity. The clear increase in lead values in *BzD-HaA1* (0.33%) is one of the traits that distinguishes the compositions of this period from those of *Bronze moyen*. At this modest level, however, the lead is very probably still to be considered a natural impurity in the copper. There is again an observable increase in *HaA2* (0.97%), at the same time as a new metal, of *fahlerz* type enters circulation. But while that was used with little variation across the entire country, it is noticeable that lead concentrations vary appreciably from one region to another, being higher in the West than in the Centre-West and in the East. Further, the variation in lead contents is much sharper than that for arsenic, antimony, silver, nickel and cobalt. We are then forced to consider at least part of the lead as an alloying element either deliberate, or adventitious, that is to say it could be present to some extent in the tin used by the founders. The mean lead content remains constant in

HaB1 (0.99%) but rises significantly in HaB2 (1.44%), when the majority of copper ingots (nine out of fifteen) have lead contents below 0.1%, not found in any bronze. The intrusive nature of the lead, present since HaA2, is confirmed. Meanwhile, as in HaA2 and HaB1, the use of lead decreases markedly from west to east.

The study of objects which are compositional twins, common only in HaA2 and HaB2, confirms what has already been deduced from the typology of certain artefact types, that the three regions that we have defined — West, Centre-West, East — correspond to different production zones between which finished objects only circulated very rarely.

Chiefly because of their large *zinc* contents, five flanged axes of Bronze moyen types are considered to be forgeries and are thus excluded from our statistics (577, 640, 642, 692, 742). The status of vase 908 is more difficult to establish.

Chapter 7 (Appendix 3)

Here an attempt is made to determine the extent to which the coppers used in Switzerland also circulated in neighbouring regions, as this is naturally of the first importance in discussing the origin of the raw materials. However, comparative analyses are still too small in number, especially in the regions immediately bordering Switzerland, for even the suggestion of an embryonic distribution map of the copper types of the Middle and Late Bronze Age to be made. All the same, it is already possible to reach two important conclusions.

The dominant copper type from the Bronze moyen of Switzerland (As/Ni, low Sb and Ag) is basically comparable to that labelled, from its probable Austrian origin, *ostalpinés Kupfer* and which, from the second half of the Early Bronze Age, has an extremely widespread distribution in central and northern Europe. However, it is never easy to distinguish this from the copper of the same type which is characteristic of the Atlantic Middle Bronze Age, in particular the Tréboul group).

The *fahlerz* type coppers of HaA2, HaB1 and HaB2, belong to the large family of coppers of type 'S' (following P. Northover) which is believed to originate in the Alps, and whose expansion over enormous areas of central and northern Europe as far as Scandinavia, Brittany and the British Isles is well attested. However, it is apparent that in detail that this large family is not actually homogeneous. For example, the 'S'-type metal that is typical of HaA2-HaB1 in southern England and northern France, has only a small presence in Switzerland. On the other hand, the copper with nickel dominant and high cobalt, although characteristic of HaA2 in Switzerland has, for the moment, left no significant traces outside the country

except, perhaps, to the south and south-east of the area, in the Lugen-Melaun culture, as well as in the proto-Villanovan of northern Italy (a conclusion derived from "foreign" axes in our corpus. In contrast, the classic copper type of HaB2, type 6N, is attested over a wide area all around the Alps.

Chapter 8

This last chapter is mainly devoted to a summary and discussion of the problem of the sources of the copper used in the Bronze Age, to the solution of which (still very distant!) the chemical analysis of the objects must contribute.

The principal methodological difficulties are enumerated before the specific case of Switzerland is discussed. This aspect is still very obscure because of a lack of comparative analyses from adjacent regions, and because the intensity of prospection in the various cupriferous districts of the Alps is very uneven (assuming, perhaps wrongly, that the majority of the coppers used in the Bronze Age in our region derive from the mineral deposits of the Alps).

On the strength of its strong resemblance to the "*ostalpinés Kupfer*", which in turn has been related to the Austrian ore deposits of Mitterberg (Salzburg) and Kitzbühel (Tyrol), there is a strong probability that the principal copper of Bronze moyen in Switzerland (As/Ni, low Sb) is essentially east Alpine in origin.

As for the other coppers, especially the *fahlerz* type of the late Bronze Age, hypotheses are still much more fluid. The east Alpine and the Trentino-Alto Adige areas, both regions where prehistoric exploitation of copper minerals is attested, are possible sources. Prehistoric exploitation of copper has similarly been recognised in the Oberhalbstein (Grisons) but, because of lack of knowledge of the types of raw copper produced there, it is difficult to measure its ultimate impact on the bronze industries of the Swiss Plateau. The Valais (Val d'Anniviers, Val de Tourtemagne), rich in *fahlerz*-type minerals with arsenic, antimony, nickel and cobalt, is also potentially another important source. Finally, the predominantly westerly distribution in Switzerland of coppers with 'low' composition profiles in BzD-HaA1 provides an indication in favour of a western (?Alpine) origin for this metal.

At least one point can be taken as established: in each of the phases of the proposed chronology until the end of the Bronze Age, each of the workshops producing bronze objects worked more with new copper than with recycling old metal. This is shown in the constant evolution of copper types that are almost always clearly definable, and which cannot be confused with each other.

(Translation: Peter Northover)

RIASSUNTO

Capitolo 1 (tab. 1-8; fig. 1-2; allegati 1-2)

Partendo da 941 analisi spettrografiche il presente lavoro si propone di definire la composizione del bronzo utilizzato nella media e tarda età del Bronzo vale a dire dalla fase BzB alla fase HaB2 compresa. In particolare si cercano di evidenziare i cambiamenti diacronici avvenuti nella composizione della principale materia prima, il rame, e di correlarla con un'evoluzione crono-tipologica degli oggetti.

Le analisi sono state realizzate tramite spettrometria ad emissione atomica (ICP) presso l'EMPA di Dübendorf, sotto la direzione di N. Kläntschi. Gli elementi considerati sono rame, stagno, piombo, arsenico, antimonio, argento, nickel, bismuto, cobalto, zinco e ferro. Vengono presentati e discussi il metodo e la qualità delle analisi. La presenza di più analisi sullo stesso oggetto, il confronto dei risultati ottenuti da altri laboratori e l'analisi di prove standardizzate consentono di valutare la precisione e l'esattezza dei risultati come molto buona, anche se si sono incontrate alcune difficoltà nella misurazione dell'argento e del cobalto. Numerosi campioni prelevati da una stessa categoria di oggetti dimostrano anche che il metallo è molto omogeneo e che la quantità prelevata (ca. 30 mg) è più che sufficientemente rappresentativa dell'intero oggetto.

Il *corpus* studiato è rappresentato innanzitutto da asce (58%), coltelli (15%) e falcetti (9%), che da una parte sono dei buoni indicatori cronologici e dall'altra si prestano senza subire danno ad una campionatura per carotatura.

Capitolo 2 (tab.9; fig.3)

Tipologicamente gli oggetti si possono suddividere in 5 gruppi cronologici: Bronzo medio (182, 19% del intero *corpus*), BzD-HaA1 (121, 12,9%), HaA2 (199, 21,1%), HaB1 (114, 12,1%) e HaB2 (196, 20,8%). Alcuni oggetti comunque non si sono potuti assegnare con precisione ad un gruppo cronologico particolare. Sono infatti collocabili nell'HaA2-B1 (6,3%), nell'HaB1-2 (3,4%) e negli "indeterminabili" (3%). Completano il *corpus* nove oggetti attribuibili al Bronzo antico (1%) ed un unico oggetto attribuibile all'HaC (0,1%).

Capitolo 3 (carte 1-10; tab.9; fig.3)

Per mettere in evidenza le variazioni sincroniche nella composizione del bronzo, il territorio svizzero è stato

suddiviso in tre regioni principali, denominate rispettivamente: Est (29,2% degli oggetti), Centro Ovest (45,2%) e Ovest (25,2%). Una quarta regione, quella Sud (0,2%), non gioca alcun ruolo in questo studio. Le carte di distribuzione mostrano che in tutte le età e soprattutto dall'HaA2 all'HaB2, l'epoca delle palafitte, la maggior parte degli oggetti analizzati proviene dal territorio compreso tra Ginevra e Zurigo. L'età del Bronzo alpina, specialmente quella dei Grigioni, è dunque sotto rappresentata nel nostro *corpus*. Fatto questo ancor più spiacevole se si considera che le uniche testimonianze di miniere del rame preistoriche in Svizzera sono documentate proprio nel territorio dei Grigioni.

Capitolo 4 (tab. 10-13; fig. 4-15)

Una prima analisi dei risultati è tentata attraverso semplici istogrammi di frequenza che raggruppano gli oggetti sulla base delle fasi cronologiche e sulla base degli elementi. E' questo un primo modo per mettere in evidenza i cambiamenti avvenuti, nel corso degli anni, nella composizione chimica, espressi, in questo caso, dalle variazioni del livello assoluto dei tenori dei singoli elementi. Il cambiamento più evidente avviene nell'HaA2, in un momento in cui si afferma un nuovo metallo caratterizzato da tenori molto elevati soprattutto di piombo, antimonio, argento, nickel e cobalto. Gli istogrammi mettono ugualmente in evidenza la variabilità più o meno accentuata dei tenori, specialmente di quelli alligati con lo stagno. Da questo punto di vista le fasi HaB1 e HaB2 sembrano molto meno omogenee di quelle precedenti.

La tipologia che noi proponiamo tiene sì conto del livello assoluto dei tenori ma essa non ne fa che un criterio di secondo rango. Il criterio base, in effetti è dato dall'importanza relativa delle tre impurità principali, che sono l'arsenico, l'antimonio ed il nickel. Vengono così definiti 7 schemi tipo di composizione:

- 1) As>Sb>Ni, As>Sb=Ni, As=Sb>Ni (73 oggetti, 7,8% del *corpus*)
- 2) As>Ni>Sb, As=Ni>Sb, (109, 11,6%)
- 3) Ni>As>Sb (157, 16,7%)
- 4) Ni>Sb>As, Ni=Sb>As, Ni>Sb=As (193, 20,5%)
- 5) Sb>Ni>As, (150, 15,9%)
- 6) Sb>As>Ni, Sb>As=Ni (251, 26,7%)
- 7) As=Sb=Ni (8, 0,8%)

Se da un lato i tipi 2 e 3 sono caratteristici soprattutto per il Bronzo medio e per il Bronzo D - HaA1, e dall'altro i tipi 4, 5 e 6 sono soprattutto caratteristici dell'HaA2, HaB1 e HaB2, il significato cronologico di questo schema diventa chiaro. Esso viene definito ancor meglio attraverso gli schemi tipo 2, 4 e 6, perchè il primo è attribuibile al 76% al Bronzo medio, il secondo al 75% all'HaA2 e il terzo al 66% all'HaB2. Il tipo 5, rappresentato soprattutto da oggetti dell'HaB1, appare piuttosto come un fenomeno di transizione tra l'HaA2 e l'HaB2. Il tipo 1 contiene invero due tipi molto differenti di composizione, l'uno attribuibile al Bronzo medio e al BzD-HaA1, l'altro all'HaB2, che possono essere distinti per mezzo di una tipologia sottile. Allo stesso modo le composizioni HaA2 del tipo 3 sono completamente differenti da quelle del Bronzo medio e molto simili alle composizioni HaA2 del tipo 4.

Il *corpus* di base è stato suddiviso in sette gruppi, ciascuno caratterizzato da uno schema tipo di composizione. In seguito ciascun gruppo è stato suddiviso in sottogruppi, in funzione del livello assoluto dei tenori. Partendo dal contenuto cumulativo di As/Sb/Ni, abbiamo suddiviso tre tipi di composizione: povera (fino a 0.42%), normale (dallo 0.43 al 3.99%) e ricca (dal 4%). Il significato cronologico della composizione povera e di quella ricca balza agli occhi: la prima appartiene per l'84% al Bronzo medio e al BzD-HaA1, la seconda per l'83% all'HaB1. Il BzD-HaA1 è l'unica fase a totale preponderanza di composizione povera.

Le due tappe di questa scelta (schema di composizione; contenuto cumulativo di As/Sb/Ni) hanno portato alla creazione di venti gruppi o tipi di composizioni, denominati in base al numero dello schema e dalle lettere N, P o R rispettivamente composizione normale, povera e ricca.

Capitolo 5 (fig. 16-48)

Scopo di questo capitolo è l'analisi dettagliata dei diversi gruppi di composizione. E' a questo livello che interviene un processo di classificazione automatica (gerarchia ascendente) dove i risultati sono espressi dai dendrogrammi delle figg. 16-48. Ciascun gruppo è descritto secondo uno schema fisso che comprende le seguenti voci: cronologia, geografia, caratteristiche del gruppo, oggetti particolari, composizioni gemelle; quest'ultimo concetto è stato definito nel capitolo 4. Si tratta di oggetti con una composizione così simile che si può dedurre che provengano dalla stessa colata di bronzo o dal medesimo lingotto di rame (nel caso in cui solo le impurità sono identiche fatta eccezione per lo stagno ed il piombo).

La seconda parte del catalogo delle analisi rappresenta un'appendice al capitolo 5. Inquadra le analisi secondo il gruppo di composizione seguendo l'ordine stabilito dalla classificazione automatica ed indica le caratteristiche cifrate dei gruppi e sottogruppi.

Capitolo 6 (tab. 14-17; fig. 49-53)

Inizia con una sintesi dei dati ripresi dal capitolo 5 presentati in ordine cronologico (tab.14).

Il *Bronzo medio* conosce due principali tipi di composizione. Il primo, di gran lunga il più diffuso, coincide con la riunificazione degli oggetti del Bronzo medio nei gruppi 3N, 3P, 3R, 2N e 2P (82.4% degli oggetti del Bronzo medio). Si tratta di un rame caratterizzato in primo luogo da un basso contenuto di antimonio rispetto all'arsenico e al nickel, così come da un basso contenuto di piombo, argento e cobalto. Le composizioni povere sono in rapporto alle normali meno rappresentate e la frequenza dello schema del tipo 2 (As dominante) è più o meno equivalente a quello dello schema 3 (Ni dominante). Le composizioni povere sono più numerose di quelle dello schema 2. L'altro tipo di composizione, di molto inferiore (15.3%), corrisponde al raggruppamento degli oggetti del Bronzo medio dei gruppi 1N, 4N, 5N, 6N e 7N. Questo rame è caratterizzato da un contenuto più o meno simile di antimonio, arsenico e nickel. Comprende due varianti, una con un'alta e una con una bassa percentuale di argento. La percentuale di piombo e cobalto non supera quella del tipo precedente.

Il *BzD-HaA1* è il periodo che meno si presta all'applicazione del nostro sistema di classificazione secondo i profili di composizione. La caratteristica principale di questa fase sembra essere più un basso livello di tenori che un particolare tipo di schema. In ogni caso dominano le composizioni povere, molto di più in occidente (79%) che in oriente (54%) e nel centro-ovest (58%); d'altra parte esse sono rappresentate da non meno di quattro gruppi principali (3P, 1P, 2P, 6P). Le composizioni normali del gruppo 3N del tipo del Bronzo medio continuano a ricoprire un ruolo abbastanza importante, soprattutto nell'Est. La differenza regionale nella frequenza delle composizioni povere mostra che queste leghe non derivano dalla fusione degli oggetti della media età del Bronzo (cfr. anche i valori più elevati del bismuto), ma l'arrivo di una nuova materia prima, probabilmente di origine orientale.

La cesura con l'inizio dell'*HaA2* è molto evidente. Al rame di tipo As/Ni del Bronzo medio e alle composizioni povere del BzD-HaA1 segue in effetti, per tutta la durata degli insediamenti palaffitticoli del Bronzo finale, una qualità di rame del "tipo Fahlerz", caratterizzata da composizioni perlopiù normali e da valori più o meno equivalenti (secondo i tipi) di arsenico, antimonio, argento, nickel e cobalto. Lo schema dominante nell'HaA2 (> 70%) è caratterizzato da una dominanza di nickel e dal più alto valore medio di cobalto riscontrato nel nostro *corpus*. E' rappresentato dal gruppo 4N e da una piccola parte del gruppo 3N. Assieme al rame di tipo 6N dell'HaB2 si ha la materia prima più omogenea, vale a dire quella ove si registra la più bassa presenza della variabilità dei tenori. Il ruolo non particolarmente attendibile dei

tipi 5N e 6N annotano il proseguire dell'evoluzione caratterizzata da una forte preponderanza dei due schemi con antimonio dominante.

Rispetto all'HaA2 e all'HaB2, l'HaB1 si distingue per la più bassa omogeneità dei tipi di composizione paragonabile a quella del BzD-HaA1. I tre tipi più rappresentati (5N, 5R, 4N), in effetti, non riassumono che il 58.7% degli oggetti di questo periodo. Ugualmente significative sono due altre caratteristiche che corrispondono a delle particolarità regionali: l'importante frequenza delle composizioni ricche soprattutto all'Est e quella delle composizioni povere soprattutto all'Ovest: reminiscenza della situazione del BzD-HaA1.

L'eterogeneità dell'HaB1 fa posto alla straordinaria omogeneità della metallurgia dell'HaB2, periodo ove tre oggetti su quattro sono del tipo di metallo 6N, la cui dispersione dei valori è particolarmente contenuta.

I tre tipi più diffusi (6N, 1N, 5N) non assommano meno del 96% degli oggetti. Considerazioni geografiche e metallurgiche lasciano supporre che il rame del tipo 1N nell'HaB2 sia rimasto in uso molto meno del tipo 6N.

Dal Bronzo medio all'HaA2 il valore medio dello stagno rimane pressochè invariato. Si situa tra l'8% ed il 9% e raggiunge il suo massimo nel BzD-HaA1 (8.69%). Durante l'HaA2 il valore medio di stagno varia al minimo e si tratta del momento in cui anche la variabilità del rame principale utilizzato raggiunge un *minimum*. Il basso valore medio nell'HaB1 si spiega con l'utilizzo, soprattutto all'Est, di una qualità di rame particolarmente ricco a cui lo stagno legato era poco o del tutto inesistente. In Occidente e nel Centro Ovest i valori rimangono sui livelli delle fasi precedenti. Al contrario i bassi valori dell'HaB2 (6.19%) si devono ascrivere ad un'effettiva mancanza di stagno. La variabilità dei valori è nettamente più consistente nell'Est che nelle altre due parti del paese.

Lo *status* del piombo non è facile da determinare. A seconda dei casi può (o deve) essere considerato come un'impurità del rame, come una "contaminazione" dello stagno e/o come un elemento intenzionale di alligazione. Per il Bronzo medio (0.08%) con sicurezza si tratta di una impurità del Rame. Il netto aumento dei valori del contenuto di piombo nel BzD-HaA1 (0.33) è una delle principali caratteristiche che permettono di distinguere il metallo di questo periodo da quello del Bronzo medio. A questo livello modesto il piombo è molto probabilmente da considerare ancora come un'impurità naturale del rame. Il contenuto aumenta sensibilmente nell'HaA2 (0.97%), nello stesso momento in cui viene messo in circolazione il nuovo metallo di "tipo Fahlerz". Ma mentre questo venne utilizzato senza significative differenze in tutto il paese, il contenuto di piombo varia sensibilmente da una regione all'altra, l'Occidente è il più ricco di piombo, seguono il Centro - Ovest e l'Est. D'altra parte la varia-

bilità dei valori del piombo è nettamente superiore a quella di arsenico, antimonio, argento, nickel e cobalto. Noi consideriamo perciò almeno una parte del piombo come elemento di lega, intenzionale o no, vale a dire presente in una quantità più o meno grande nello stagno utilizzato dai fonditori. Il valore medio del piombo rimane stazionario nell'HaB1 (0.99%). Di contro aumenta molto sensibilmente nell'HaB2 (1.44%), quando la maggior parte dei lingotti e degli oggetti di rame finiti di questo periodo mostrano un contenuto di piombo inferiore allo 0.1%, che non si ritrova in nessuno degli oggetti di bronzo. Il carattere intrusivo del piombo, presente nell'HaA2, pare dunque confermato. D'altra parte, come nell'HaA2 e nell'HaB1, l'uso di piombo diminuisce fortemente dall'Ovest all'Est.

L'esame degli oggetti con "composizione gemella", frequente solamente nell'HaA2 e nell'HaB2, conferma quanto già si era potuto dedurre dalla morfologia di determinati tipi di oggetti e cioè che le tre regioni Est, Centro Ovest, Ovest - corrispondono a delle regioni di produzione differente, entro le quali gli oggetti finiti non circolano se non in casi eccezionali.

Soprattutto a causa di un alto contenuto di zinco, 5 asce a margini rialzati di diversi tipi del Bronzo medio sono state ritenute delle falsificazioni e quindi scartate dall'esame statistico (577, 640, 642, 692, 742). Più difficile da determinare è invece lo *status* del vaso 908.

Capitolo 7 (allegato 3)

Qui si cerca di determinare in che misura le varie qualità di rame utilizzate in Svizzera siano circolate anche nelle regioni vicine. Ciò naturalmente è di grande importanza per la discussione dell'origine delle materie prime. Le analisi confrontabili sono ancora poco numerose, soprattutto nei territori limitrofi della Svizzera, perchè possa essere proposta anche a livello embrionale una carta di distribuzione dei tipi di rame del Bronzo medio e tardo. Ciononostante sono possibili già fin d'ora due importanti considerazioni.

Il rame (As/Ni, raro Sb e Ag) dominante nel Bronzo medio della Svizzera sembra di fatto imparentato con quello definito (per la sua probabile origine austriaca) come "rame alpino-orientale", il quale a partire dalla seconda metà del Bronzo antico ha una diffusione particolarmente vasta nell'Europa centrale e nordorientale. Di contro non sembra sempre facile distinguere da questo il rame tipico per il Bronzo medio atlantico (in particolare il gruppo Tréboul) che è dello stesso tipo.

Il rame di tipo "Fahlerz" nell'HaA2, B1 e B2 appartiene d'altra parte alla grande famiglia dei tipi di Rame denominati "S" (secondo P. Northover), che possono avere un'origine alpina e di cui è attestata una distribuzione

nell'Europa centrale e settentrionale fino alla Scandinavia, in Bretagna e sulle isole Britanniche. Nei dettagli questa grande famiglia non compare del tutto omogenea. Il metallo tipo "S" caratteristico per l'HaA2-B1 nell'Inghilterra meridionale e nella Francia settentrionale, è ad esempio molto poco rappresentato nella Svizzera. Di contro, il rame con Nickel dominante e un forte contenuto di cobalto, così caratteristico dell'HaA2 della Svizzera, non pare attualmente aver lasciato delle tracce importanti all'esterno della Svizzera, ad eccezione dei territori orientali o sud orientali, nella cultura Luco Meluno, così come nel protovillanoviano dell'Italia settentrionale (secondo la composizione di alcune asce "straniere" nel nostro corpus). Invece il rame del tipo classico nell'HaB2, il tipo 6N, sembra avere una larga distribuzione attorno alle Alpi.

Capitolo 8

Questo ultimo capitolo è centrato soprattutto su una discussione riassuntiva del problema dell'origine del rame, alla cui soluzione (ancora molto lontana !) doveva contribuire l'analisi chimica degli oggetti.

Vengono enumerate le principali difficoltà metodologiche, infine viene discusso il caso particolare della Svizzera. Il quadro è ancora incompleto soprattutto per la mancanza di analisi da confrontare dai territori limitrofi e per il diverso grado di prospezioni nelle differenti zone alpine con affioramenti di rame (anche se, forse a torto, viene ammesso che la maggior parte del rame utilizzato nell'età del Bronzo nella nostra regione viene da minerali alpini).

Sulla base di una forte somiglianza con il "rame alpino orientale", che da una parte viene messo in relazione con gli affioramenti austriaci presso il Mitterberg (Salisburgo) e presso Kitzbühel (Tirolo), è molto probabile che il tipo di rame dominante nel Bronzo medio svizzero (As/Ni, raro Sb) sia effettivamente di origine alpino-orientale.

Per quanto riguarda gli altri tipi di rame, specialmente quelli del tipo Fahlerz del Bronzo finale le ipotesi sono ancora oscillanti. La zona alpino orientale come quella del Trentino Alto Adige, regione in cui sono documentate miniere preistoriche, rappresenta una possibile origine. Lo sfruttamento preistorico di rame è ugualmente attestato nell'Oberhalbstein (Grigioni), ma poichè si ignora ancora il tipo di materia prima ivi utilizzato è molto difficile misurare il suo eventuale impatto su l'industria di bronzo del Plateau svizzero. Il Vallese (Val d'Anniviers, Val Tourtemagne) ricco di minerali di "tipo Fahlerz" associato ad arsenico, antimonio, nickel e cobalto, rappresenta ugualmente una potenziale fonte di materia prima importante. Infine, la distribuzione soprattutto occidentale, in Svizzera, del rame con composizione povera del BzD-HaA1 e dell'HaB1 costituisce un indice in favore dell'origine (alpino ?) occidentale di questo tipo di metallo.

Un punto perlomeno può essere considerato sicuro: in ciascuna fase cronologica indagata, e fino alla fine del Bronzo finale, le officine di oggetti in bronzo lavoravano molto di più il rame nuovo che il vecchio metallo riciclato. Lo dimostra la costante evoluzione dei tipi di rame, quasi sempre ben caratterizzati e non confondibili gli uni con gli altri.

(Traduzione: Annaluisa Pedrotti)