Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 37 (1987)

Artikel: Auvernier 1968-1975 : le mobilier métallique du Bronze final : formes et techniques
Autor: Rychner, Valentin
Kapitel: 3: Les analyses spectrographiques
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835419

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: 02.10.2025

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

3. Les analyses spectrographiques

3.1. Introduction

3.1.1. Démarche suivie

Alors que les alliages du Bronze final font depuis longtemps l'objet d'analyses spectrographiques aussi bien dans la frange atlantique de l'Europe (Bretagne, Grande-Bretagne) qu'en Autriche – pour ne citer que trois des principales écoles (Härke 1978, avec bibliographie exhaustive) – la zone centre-occidentale de la culture des Champs d'Urnes, correspondant à peu près à l'extension du groupe Rhin-Suisse, demeure curieusement à l'écart de ce courant de recherche malgré la richesse légendaire de ses matériaux palafittiques et la grande abondance de ses dépôts. Sous l'influence du groupe de Stuttgart, cette période tardive de la métallurgie préhistorique du bronze s'est, en effet, trouvée délaissée au profit du Chalcolithique et du Bronze ancien qui offraient, pensait-on, de meilleures perspectives de mise en évidence de groupes métallurgiques bien individualisés et non encore abâtardis par la refonte successive du métal.

Puisqu'ils constituaient, pour une fois, un véritable ensemble homogène, les bronzes d'Auvernier/Nord offraient une excellente occasion de tester l'intérêt éventuel des analyses spectrographiques appliquées à ce genre de matériel, et de compléter ainsi l'étude exclusivement typologique qu'on en avait proposé jusqu'alors. Le but principal de ces analyses est en effet la description des objets par l'intérieur ainsi que la confrontation de ces données techniques et de celles fournies par la typologie traditionnelle.

Notre première démarche fut de confier successivement la même série de cinq objets à cinq laboratoires pratiquant des méthodes plus ou moins différentes les unes des autres: le Laboratoire de Recherche des Musées de France (ci-dessous L.R.M.F.), du Louvre à Paris (spectrométrie d'émission atomique, source à plasma DCP, Spectraspan IIIB); la fonderie Boillat S.A. à Reconvilier (émission atomique, plasma ICP, ARL 34000); le Chemisch-Physikalisches Labor du Württembergisches Landesmuseum de Stuttgart (émission atomique, source à arc, appareil Fuess); le Musée national suisse de Zurich (fluorescence X); la firme Höchst de Francfort (analyse chimique traditionnelle). Tous les laboratoires ont travaillé sur des prélèvements qu'ils ont eux-mêmes effectués. Le L.R.M.F., Stuttgart, Boillat S.A. et Höchst ont travaillé sur des solutions acides, Zurich sur des copeaux agglomérés.

Les résultats, regroupés dans l'annexe 1 (p. 97), montrent, comme on pouvait s'y attendre, des divergences parfois assez sérieuses. En ce qui concerne les principales impuretés que sont l'arsenic, l'antimoine, le nickel et le cobalt, il existe cependant un bon accord entre le L.R.M.F., Boillat S.A. et Stuttgart, qui pratiquent tous l'émission atomique, et surtout entre le L.R.M.F. et Boillat S.A., qui utilisent tous deux une source à plasma d'argon. Pour l'étain et le plomb, la concordance est très bonne entre le L.R.M.F. et Boillat S.A., mais les autres mesures divergent sensiblement, de façon systématique (Stuttgart) ou non. Le principal enseignement de ces essais préliminaires est que les objets sont chacun de *composition homogène*, et que les 10 ou 20 mg analysés sont donc représentatifs de l'objet entier. Cette constatation fondamentale, condition première du sens des analyses présentées ici, ressort des deux mesures différentes pratiquées chaque fois par le L.R.M.F., ainsi que celles du Musée national sur la faucille 24/4, pratiquées l'une à l'extrémité proximale l'autre à l'extrémité distale. Les analyses répétées des mêmes objets (annexe 2, p. 98) confirment cette importante constatation, que d'autres auteurs avaient d'ailleurs déjà formulée (Pittioni 1957, 6-7).

Nous tenions à soumettre à l'analyse une série d'objets importante et vraiment représentative de l'ensemble du matériel, mais aucun des laboratoires disposés à nous aider n'était en mesure de la prendre en charge entièrement. C'est pourquoi nous avons finalement réparti les analyses entre le L.R.M.F. et la fonderie Boillat S.A. Le L.R.M.F. a effectué trente-neuf analyses en avril 1980, Boillat S.A. quarante en avril 1980, cinquante en novembre 1981 et quatre en août 1982. Six objets ont été analysés deux fois. Avec les cinq échantillons préliminaires, ce sont donc finalement cent trente-deux objets qui ont été analysés. Ils représentent exactement un tiers des bronzes d'Auvernier/Nord et sont ainsi répartis quant à leur typologie: cinq épingles, vingt-trois bracelets, neuf phalères, deux lances, une épée, seize couteaux, quarante faucilles, une serpe, vingt-quatre haches, trois ciseaux, trois marteaux, un poinçon, deux lingots, deux déchets. L'impossibilité d'opérer

un prélèvement suffisant sans les défigurer explique pourquoi les épingles sont très largement sous-représentées.

3.1.2. Les échantillons

Nous avons procédé nous-même au prélèvement des échantillons. Pour les objets massifs, il s'agit de copeaux ou de poudre récoltés par forage au moyen d'une mèche de 1 mm de diamètre et d'environ 5 mm de long, d'un acier ne contenant aucun des éléments recherchés (sauf le fer). Nous nous sommes efforcé, dans la mesure du possible, d'opérer la ponction toujours au même endroit: sur le côté des haches, au milieu de l'objet; sur le dos des couteaux, à proximité de la soie; à l'emplacement du jet de fonte, au milieu du dos, pour les faucilles. De menus fragments ont été détachés des objets trop minces pour être forés, comme les tiges d'épingles, les bracelets en tôle et les phalères. Le caractère plus défigurant du procédé explique la présence presque exclusive de pièces cassées parmi les objets analysés de ce genre.

Le matériau prélevé (environ 30 mg par forage) a été ensuite attaqué à l'acide. Le L.R.M.F. en a dissout 10 mg dans 1 ml de solution composée de deux parties d'acide nitrique concentré (HNO_3), une partie d'acide chlorhydrique concentré (HCl) et une partie d'eau distillée. Boillat S.A. a utilisé 25 mg de bronze, dissous dans 1.5 ml de HNO_3 1:1 et 1 ml de HCl 1:1, la solution obtenue étant ensuite diluée au volume de 10 ml.

3.1.3. Corrélation des analyses du L.R.M.F. et de Boillat S.A.

La première publication (Rychner 1981), qui portait sur les analyses du L.R.M.F. et sur la fournée 1980 de Boillat S.A., signalait déjà les divergences systématiques existant entre les deux séries de mesures à propos de l'argent, du bismuth et du zinc. Afin de les intégrer dans les mêmes calculs, nous avions arbitrairement «calibré» les résultats de Boillat S.A. en fonction de ceux du L.R.M.F., en les multipliant par le quotient des moyennes du L.R.M.F. sur celles de Boillat S.A. (facteurs 7.05 pour l'argent, 0.10 pour le zinc, 0.72 pour le bismuth). Nous avons jugé opportun d'égaliser aussi les mesures d'arsenic, les deux pics du L.R.M.F. et de Boillat S.A. étant légèrement décalés. Les valeurs mesurées par Boillat S.A. en 1980 ont donc été multipliées par le facteur 1.34.

La série 1981 de Boillat S.A. confirme les difficultés présentées par l'argent, le bismuth et le zinc, dont les valeurs s'écartent des résultats de 1980, comme l'indique le tableau ci-dessous:

	Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Co	Zn
Boillat S.A. 1980	7.22	1.54	0.38	0.55	0.02	0.33	0.08	0.15	0.02
Boillat S.A. 1981	6.90	1.30	0.36	0.51	0.04	0.28	0.04	0.13	0.05

Nous avons donc à nouveau opéré une calibration en fonction des résultats du L.R.M.F., avec les facteurs suivants: As 1.42, Ag 4.25, Bi 1.78, Zn 0.066. De sérieux problèmes semblent donc exister à propos de l'argent, du zinc et du bismuth, sans que nous puissions savoir lequel des deux laboratoires est le plus près de la vérité. Dans l'analyse préliminaire des cinq objets, les résultats de Stuttgart, Zurich et Höchst concernant l'argent sont plutôt en faveur de ceux du L.R.M.F. tout en donnant des valeurs un peu inférieures. Des analyses complémentaires de deux des cinq objets témoins (24/4, 28/8) ont été réalisées en 1983 (voir annexe 1, p. 97). L'usine Métaux Précieux S.A. de Neuchâtel a mesuré l'argent par spectrométrie d'émission atomique et a obtenu des valeurs plus basses que celles de tous les autres laboratoires. Le laboratoire de chimie inorganique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (professeur B. Magyar) a mesuré l'argent et le zinc par spectrométrie d'absorption atomique. Les valeurs d'argent se rapprochent de celles du Musée national et pourraient donner raison à Boillat S.A. contre le L.R.M.F. Celles de zinc, en revanche, se situent plutôt dans les ordres de grandeur donnés par le L.R.M.F. La question de l'argent et du zinc, cependant, reste ouverte. Les divergences concernant le bismuth sont déjà moins graves. Là encore, il est difficile de décider qui a raison. On peut seulement observer que lors des essais préliminaires, le L.R.M.F., Boillat S.A. et Stuttgart étaient en accord pour trois objets (8/12, 20/8, 24/14), que Boillat S.A. s'écartait des deux autres laboratoires pour 24/4 et 28/8, tandis que Höchst donnait des valeurs systématiquement beaucoup plus fortes que tous les autres. On remarquera aussi que les valeurs mesurées du bismuth se répartissent de façon très gaussienne, ce qui paraît exclure l'éventualité d'une ségrégation accentuée de ce métal dans le cuivre, ségrégation contre laquelle Slater et Charles (1970) mettent en garde les archéologues.

3.2. Résultats globaux

L'annexe 3 (p. 99-101) donne les résultats complets des analyses, dans l'ordre des objets sur les planches. C'est sur cette liste que se fondent tous les calculs effectués. On indique chaque fois le numéro d'inventaire de l'objet, le numéro de l'analyse pour celles de L.R.M.F. ou son millésime pour celles de Boillat S.A. Quant un objet a été analysé par les deux laboratoires, c'est l'analyse du L.R.M.F. qui est donnée et c'est la première des deux mesures du L.R.M.F. qui est donnée pour les cinq analyses préliminaires. Pour 19/8, seule l'analyse de la lame

est prise en compte dans les calculs. Les valeurs <0.001 données quatre fois pour le zinc sont comptées dans les calculs comme 0.0005. Les mesures de Boillat S.A. sont corrigées pour l'arsenic, l'argent, le bismuth et le zinc (voir ci-dessus). Les mesures brutes de Boillat S.A. sont données dans l'annexe 4 (p. 102).

Les analyses sont regroupées en deux tableaux. Le premier (fig. 4) est le classique graphique du modèle proposé par Waterbolk et Butler (1965), qui permet de rassembler tous les éléments dans la même échelle logarithmique. Il est avant tout conçu pour la comparaison entre eux de plusieurs ensembles considérés en bloc. Le second (fig. 5-6) propose lui aussi des histogrammes de fréquence, mais cette fois personnalisés et conçus selon des échelles linéaires et différentes selon les éléments. Il permet de situer chaque objet par rapport aux autres. L'un et l'autre graphiques mettent bien en valeur la caractéristique première et essentielle des résultats de l'étain, du plomb, de l'arsenic, de l'argent, du nickel, du bismuth et du cobalt, qui est leur *très grande homogénéité*, traduite par la forme gaussienne régulière des courbes de

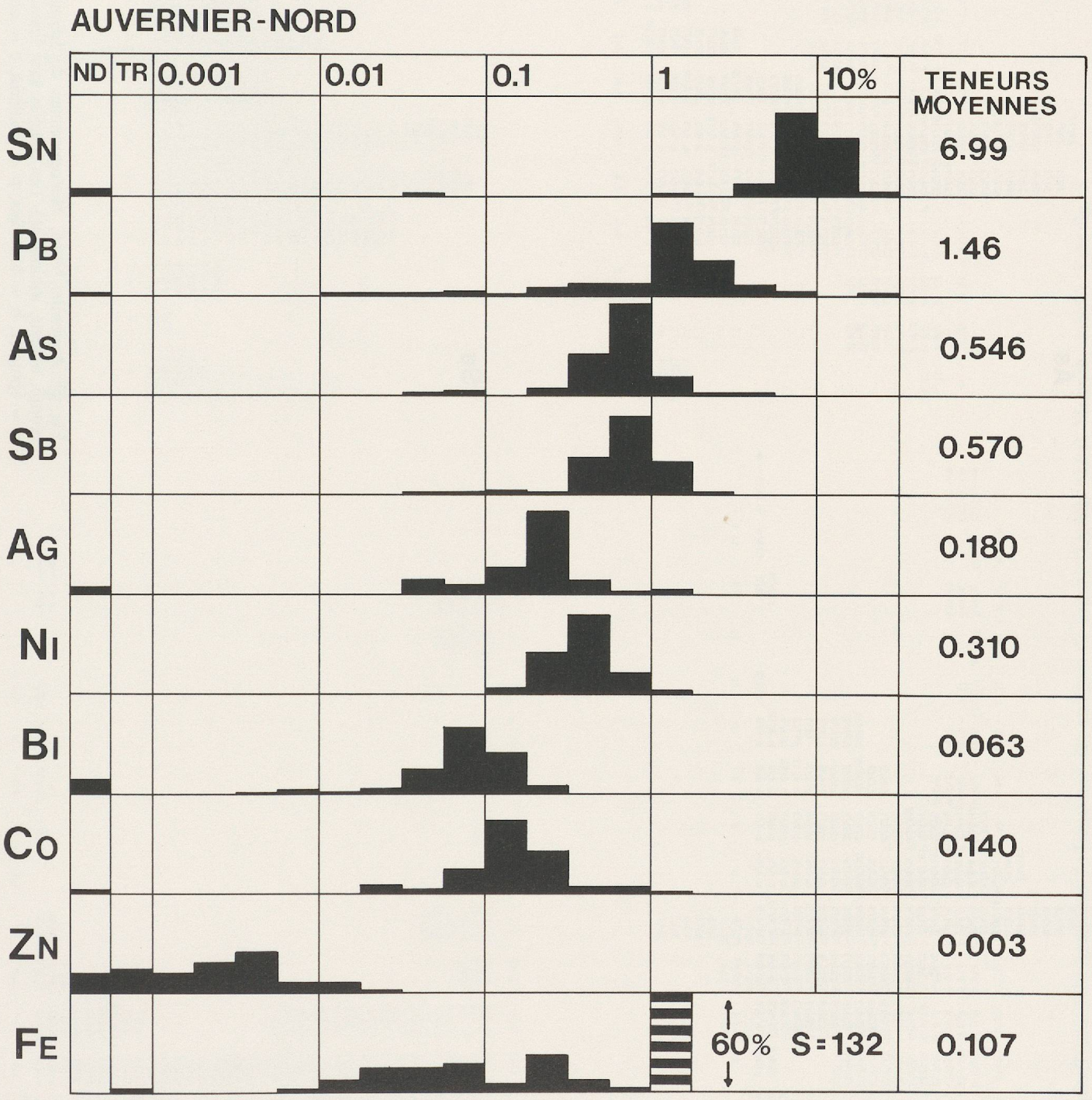
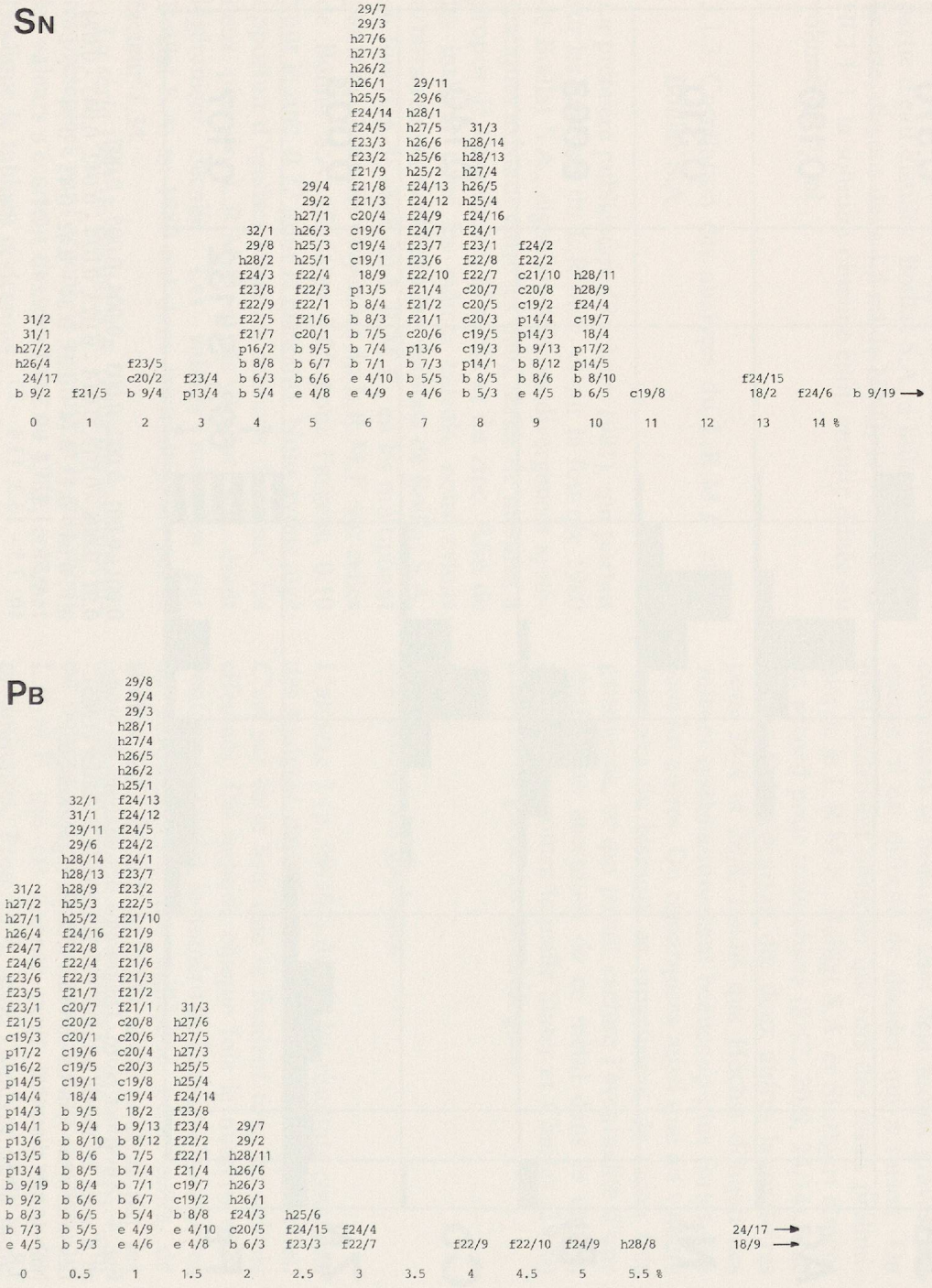
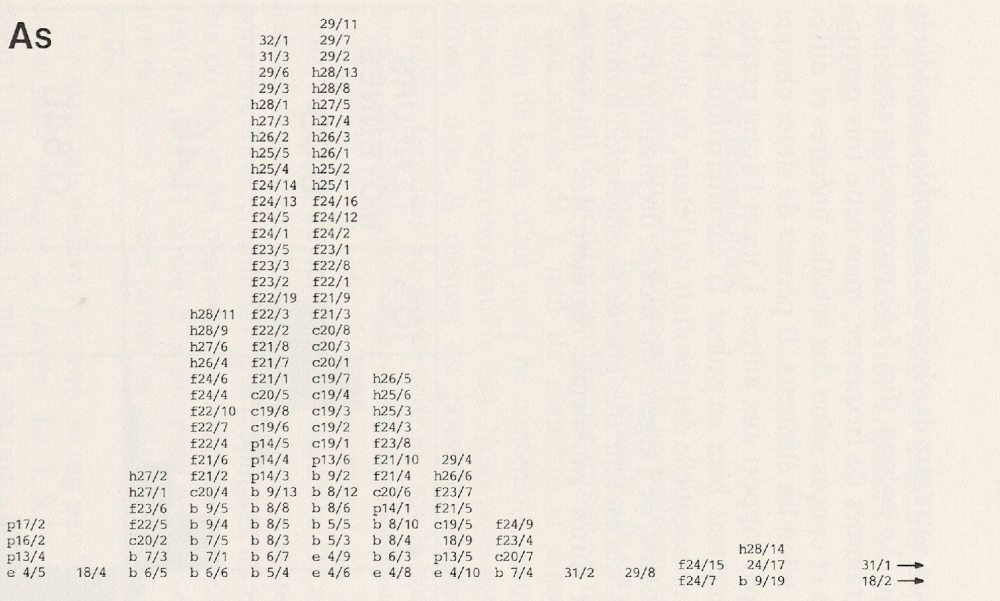


Fig. 4 Auvernier/Nord. Diagramme des analyses de bronze, d'après le modèle proposé par Waterbolk et Butler (1965). Les intervalles sont les suivants (échelle logarithmique):
ND = non détecté
TR = traces

0.001: 0.001, 0.002, 0.003 - 0.004, 0.005 - 0.007
0.01: 0.008 - 0.013, 0.014 - 0.023, 0.024 - 0.042, 0.043 - 0.074
0.1: 0.08 - 0.13, 0.14 - 0.23, 0.24 - 0.42, 0.43 - 0.74
1: 0.75 - 1.3, 1.4 - 2.3, 2.4 - 4.2, 4.3 - 7.4
10: 7.5 - 13.3, 13.4 - 23.7





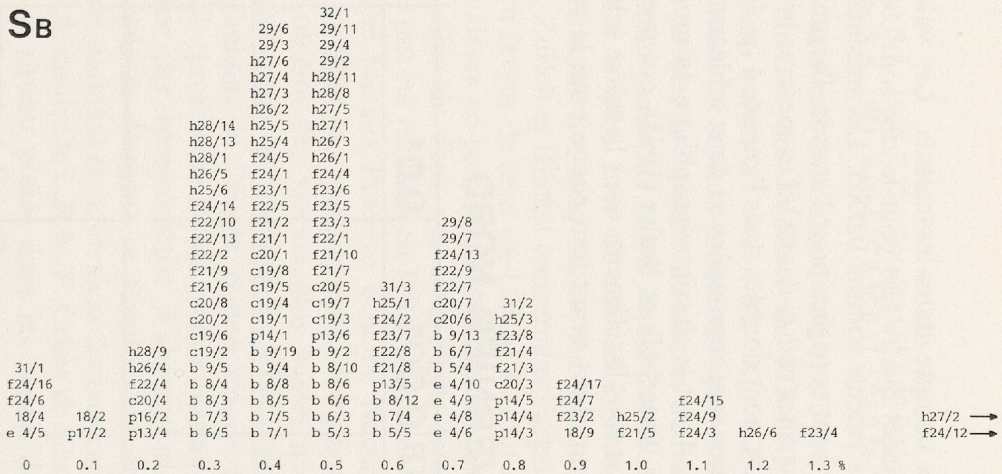


Fig. 5 Auvernier/Nord. Histogrammes de fréquences des analyses de bronze (étain, plomb, arsenic, antimoine). Les échelles sont linéaires et différentes suivant les éléments. e = épingles, b = bracelets, p = phalères, c = couteaux, f = faucilles, h = haches.

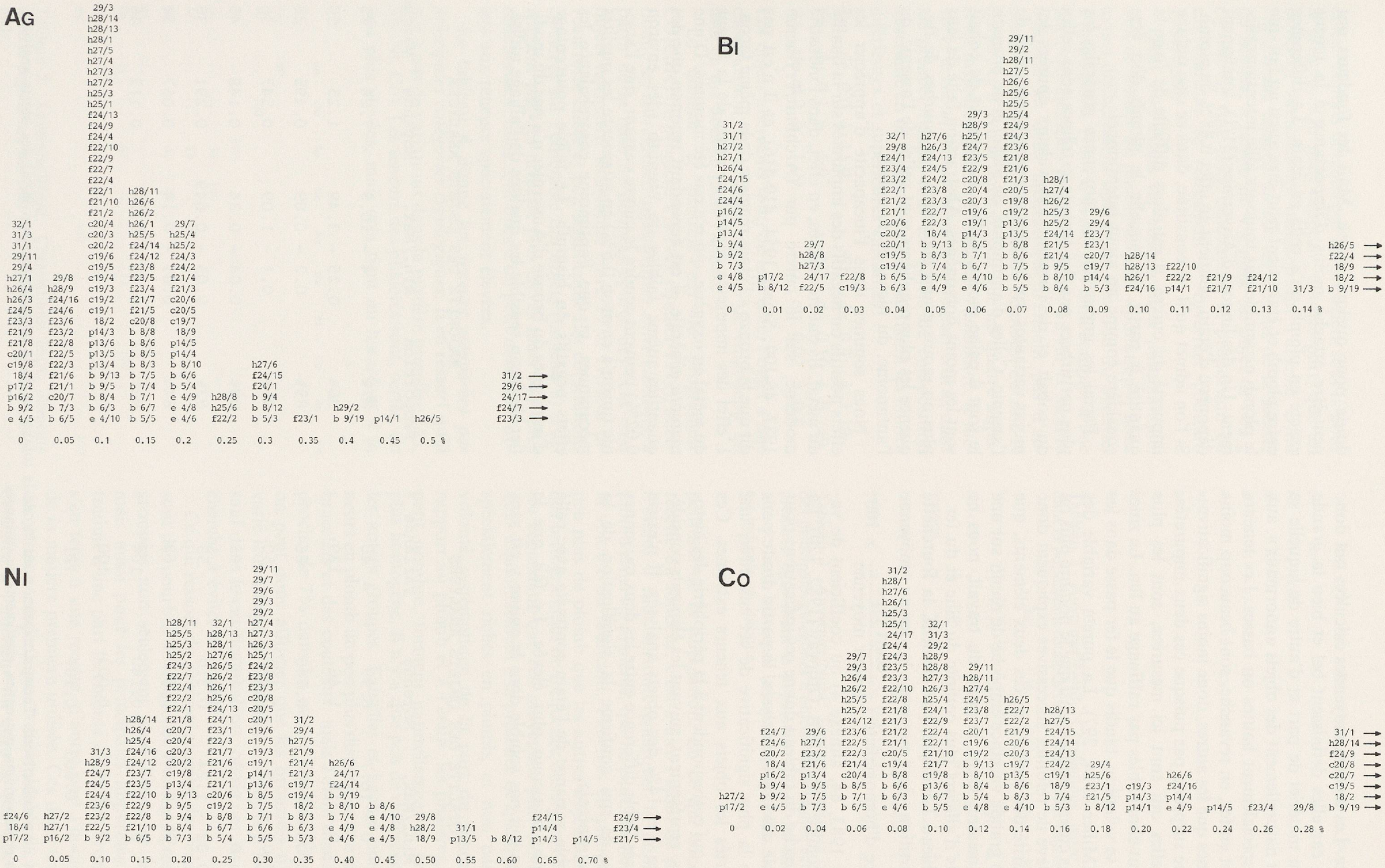


Fig. 6 Auvernier/Nord. Histogrammes de fréquence des analyses de bronze (argent, nickel, bismuth, cobalt). Voir fig. 5.

fréquence. Les teneurs moyennes calculées ont donc un sens, car elles définissent bel et bien la grande masse du matériel de part et d'autre de laquelle se signalent naturellement des objets «anormaux», aux teneurs spécialement hautes ou basses. Les teneurs en zinc et en fer, en revanche, sont beaucoup moins homogènes que les autres, donc moins significatives. Ce qui ne surprend pas puisque ces deux impuretés, parmi celles qui sont ici mesurées, sont les plus facilement éliminables par raffinage au feu. Le zinc, en effet, se volatilise, tandis que le fer passe dans les scories (Miller 1954, 297). La pureté variable des différents cuivres utilisés ainsi que le nombre plus ou moins élevé de refontes successives expliquent donc l'irrégularité des teneurs en ces deux éléments, que leur trop grande variance empêche de réunir sur une échelle linéaire. Dans la suite du travail, nous ne tiendrons d'ailleurs plus compte du zinc et du fer.

Le tableau 1 indique, par élément, la fourchette de répartition des mesures, la teneur moyenne et l'indice d'homogénéité ($\frac{\text{écart type}}{\text{teneur moyenne}} \times 100$; Rychner 1983, 84, annexe 4) ou coefficient de variance, comme l'appelle B. Ottaway (1982, 120). La partie gauche du tableau donne ces indications pour l'ensemble des objets analysés, la partie droite pour la partie la plus significative de cet ensemble, une fois écartés les objets aux teneurs extrêmes. Ces derniers, qui correspondent à la périphérie des histogrammes, représentent, suivant les éléments considérés, entre 7 et 14% des objets analysés. Il n'existe qu'une très faible différence entre les deux moyennes calculées, ce qui confirme la signification de la moyenne générale.

La faible variance de l'étain contraste avec celle du plomb, beaucoup plus élevée. Le fait que le plomb ne soit pas soluble dans le cuivre y est sans doute pour quelque chose. Mais les fondeurs ont peut-être attaché moins d'importance à la teneur exacte en plomb qu'à celle en étain. La différence entre plomb et étain tient peut-être aussi au fait que le plomb ne semble pas toujours allié intentionnellement. Un des lingots d'Auvernier (31/1), totalement dépourvu d'étain, contient en effet 0.88% de plomb. Si l'on admet qu'il ne constitue, dans ce cas, qu'une impureté du cuivre, il est alors difficile de fixer la quantité à partir de laquelle le plomb doit être considéré comme un ajout intentionnel.

Parmi les impuretés, les moyennes générales les plus perturbées par des teneurs extrêmes sont celles du cobalt et de l'argent. Les valeurs épurées les moins variantes (ou les plus groupées) sont celles de l'arsenic. Celles d'antimoine, de nickel et de bismuth le sont à peine moins. Celles d'argent et de cobalt sont les moins homogènes. Abstraction faite de leur plus ou moins grand étalement, les courbes de fréquence les plus régulières sont celles de l'arsenic, de l'antimoine, du nickel et du cobalt.

Nous sommes dans l'incapacité d'apprécier les effets positifs ou négatifs des impuretés sur la qualité du métal. Ils ont été étudiés, en effet, dans l'industrie moderne, sur le cuivre pur (Archbutt/Prytherch 1937, 46-109; Smart 1954, 410-416), et il n'est pas dit que le bronze à l'étain réagisse de la même façon. L'effet des impuretés dépend en outre de la teneur du métal en oxygène, qui n'a pas été mesurée. D'une manière générale, il est cependant reconnu que des quantités même faibles de bismuth (dès environ 0.02%) peuvent rendre le cuivre cassant, que l'arsenic (jusqu'à environ 0.5%) en augmente les qualités mécaniques, et que l'antimoine contrebalance les effets négatifs du bismuth. Le faible pourcentage d'impuretés du bronze d'Auvernier n'a pas dû modifier de façon sensible les qualités de l'alliage utilisé,

	TOTALITE DES OBJETS ANALYSES			MAJORITE DES OBJETS ANALYSES			
	Min./Max.	Moyenne	Variance	Proportion	Min./Max.	Moyenne	Variance
Sn	0 - 16.7	6.99	40	87%	4 - 10.9	7.26	23
Pb	0 - 18	1.46	139	86%	0.25 - 3.49	1.25	50
As	0.03 - 3.5	0.546	66	89%	0.2 - 0.89	0.495	28
Sb	0.03 - 1.9	0.570	50	91%	0.1 - 1.09	0.547	36
Ag	0 - 1.06	0.180	93	88%	0.04 - 0.34	0.148	45
Ni	0.02 - 1.24	0.310	55	93%	0.05 - 0.649	0.291	38
Bi	0 - 0.180	0.063	62	84%	0.01 - 0.14	0.067	39
Co	0 - 1.29	0.140	104	92%	0.02 - 0.26	0.112	46
Zn	0 - 0.015	0.003	100				
Fe	0 - 0.663	0.107	121				

Tableau 1 Auvernier/Nord. Teneurs, exprimées en %, de la totalité et de la majorité (environ 90%) des objets analysés: minimums et maximums, moyennes, coefficients de variances.

et les résultats obtenus par les bronziers sont là pour le prouver. On peut rappeler, d'autre part, que les tablettes sumériennes mentionnent l'arsenic et/ou l'antimoine comme un des ingrédients de la recette du bronze, à raison de 4 g pour un objet de 600 g (=0.66%) soit assez exactement la proportion où ces éléments se retrouvent à Auvernier (Bottéro 1964, 654).

Dans nos essais de classification automatique, afin de limiter au maximum leur «pollution», nous avons délibérément opéré une sélection du matériel à disposition. Nous n'avons pas tenu compte, d'une part, des éléments peu homogènes ou sur la mesure desquels les deux laboratoires n'étaient pas d'accord, c'est-à-dire de l'argent, du bismuth, du zinc et du fer, et n'avons donc retenu que les quatre impuretés majeures que sont l'*arsenic*, l'*antimoine*, le *nickel* et le *cobalt*. Nous avons d'autre part écarté, dans un premier temps, tous les objets de composition aberrante en un élément ou plus, en fixant les limites inférieures et supérieures suivantes:

Sn	de	2.0	à	11.9	Sb	de 0.2 à 1.19	
Pb	de	0.1	à	5.9	Ni	de 0.10 à 0.749	
As	de	0.2	à	1.09	Co	de 0.02 à 0.3	

Les objets aberrants font, de leur côté, l'objet d'une classification. Ils sont au nombre de vingt-sept. La liste en est donnée dans l'annexe 8.

Le tableau 2, produit par le programme COR.SIG du progiciel P.STAT (Buhler 1979), sélectionne les *corrélations significatives entre éléments*, à partir de la base de données épurée des cent cinq objets normaux. Echelonné entre 59 et 19, leur niveau reste faible et peu significatif. Les corrélations calculées sur l'ensemble des objets (tableau 3) n'atteignent pas des niveaux plus élevés mais sont plus nombreuses. Elles sont dues à un petit nombre d'objets aux teneurs spécialement élevées.

Le tableau 4 donne les *teneurs comparées par principales catégories typologiques*. Il en ressort qu'il n'y a pas de variations dans la matière première (As, Sb, Ni, Co). Les teneurs des phalères sont, certes, un peu plus élevées, mais cela tient au hasard et à la petitesse de la population. En ce qui concerne la recette du fondeur, c'est-à-dire l'ajout de plomb et d'étain, il faut surtout remarquer la faiblesse du plomb dans les phalères, qui ne peut résulter que de la volonté du fabricant. Faucilles et haches ont un peu plus de plomb que les autres objets. L'examen des histogrammes de fréquence des figures 5-6 montre cependant que ces moyennes plus élevées sont dues essentiellement à la présence de quelques pièces spécialement riches en plomb, et non pas à une volonté systématique de la part du fondeur. Par rapport au plomb et à l'étain, les phalères, vu leur petit nombre, forment naturellement le groupe le plus homogène. Il n'y a que peu de différences entre les autres groupes. Faucilles et haches ont des teneurs en plomb un peu plus dispersées que celles des bracelets et des couteaux, mais l'étain demeure très proche de 7% dans les quatre familles. En résumé, on peut donc affirmer que les bronziers n'ont pas varié leur alliage en fonction des objets à fabriquer, sauf dans le cas des phalères, où ils ont visiblement cherché à éviter le plomb.

Ce qui ressort du premier examen des résultats, ce sont des courbes de fréquence très régulières et bien groupées non seulement pour l'étain et le plomb mais aussi pour les principales impuretés, ce qui traduit d'une part la volonté claire des bronziers de s'en tenir à une recette, d'autre part l'homogénéité de la matière première utilisée. Ces deux traits fondamentaux rendent peu vraisemblable la mise en évidence à l'intérieur du corpus, par des moyens

	Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Co	Zn	Fe
Sn	100									
Pb	...	100								
As	...	...	100							
Sb	...	...	35	100						
Ag	...	...	19	...	100					
Ni	...	...	41	26	...	100				
Bi	...	...	...	...	20	...	100			
Co	31	...	59	...	...	53	...	100		
Zn	...	...	...	...	...	...	...	...	100	
Fe	...	...	...	...	-26	...	...	...	...	100

Tableau 2 Auvernier/Nord. Corrélations entre éléments dans la population des cent cinq objets de composition normale.

	Sn	Pb	As	Sb	Ag	Ni	Bi	Co	Zn	Fe
Sn	100									
Pb	...	100								
As	...	...	100							
Sb	-21	23	...	100						
Ag	...	24	21	25	100					
Ni	...	18	36	35	...	100				
Bi	32	...	...	...	...	...	100			
Co	34	...	63	...	...	32	37	100		
Zn	...	...	18	...	...	...	30	36	100	
Fe	...	...	...	...	-23	...	...	19	25	100

Tableau 3 Auvernier/Nord. Corrélations entre éléments dans la population totale des cent trente-deux objets analysés.

		Sn		Pb		As	Sb	Ni	Co
Bracelets	21	6.97	*30*	1.02	*40*	0.463	0.514	0.325	0.107
	23	7.09		0.95		0.501	0.516	0.321	0.130
Phalères	6	8.37	*16*	0.29	*26*	0.520	0.685	0.548	0.187
	9	7.66		0.26		0.364	0.513	0.400	0.131
Couteaux	14	7.65	*30*	1.10	*49*	0.485	0.477	0.289	0.131
	16	7.81		1.12		0.516	0.483	0.289	0.168
Faucilles	32	6.82	*26*	1.54	*66*	0.457	0.580	0.240	0.107
	40	7.02		1.55		0.519	0.656	0.297	0.121
Haches	19	7.26	*23*	1.72	*64*	0.494	0.509	0.275	0.112
	24	6.72		1.49		0.507	0.566	0.256	0.127

Tableau 4 Auvernier/Nord. Teneurs moyennes comparées des principales catégories d'objets. Pour chaque catégorie, la première ligne décrit la population épurée des éléments les plus déviants, la seconde la population complète. La variance est indiquée en italique.

plus sophistiqués, de groupes d'objets nettement différenciés du point de vue de leur composition. Nous avons malgré tout tenté l'expérience en nous aidant de l'ordinateur du Centre de calcul de l'Université de Neuchâtel (Digital VAX 780/VMS) et du programme de classification hiérarchique ascendante CLAS réalisé par le Groupe de recherche en méthodes quantitatives de la même université (Faculté de droit et des sciences économiques). Les critères de distance et d'agrégation que nous avons choisis sont le carré de la distance euclidienne et le chaînage complet. Afin de ne pas donner plus d'importance à l'étain et au plomb qu'aux impuretés, toutes les valeurs ont été réduites par le programme SCAN du progiciel P.STAT.

3.3. Classification automatique des résultats

3.3.1. Hiérarchie selon étain et plomb

Le dendrogramme du dépliant 1 classe les cent cinq objets retenus en fonction de l'étain et du plomb. La liste de l'annexe 5 (p. 103) donne les analyses dans l'ordre de la hiérarchie.

On peut distinguer trois groupes de volumes décroissants. Le premier (64% des objets) comprend les objets se situant dans la moyenne de l'étain ou au-dessous. Le deuxième, deux fois moins nombreux (33%) comprend ceux qui dépassent la moyenne d'étain. Le troisième (3%) comprend les trois objets isolés qui présentent la particularité de contenir étain et plomb en quantités équivalentes. A l'intérieur des deux grandes familles, des groupes se distinguent les uns des autres en fonction de la proportion relative d'étain et de plomb (tableau 5).

Il est difficile de savoir si la volonté de l'artisan a toujours influencé la teneur en étain et en plomb, ou si celle-ci dépendait essentiellement de celle des déchets de bronze refondus. Dans un cas comme dans l'autre, les groupes découpés par la hiérarchie pourraient correspondre à différents lots d'objets, fabriqués par le même fondeur au cours du temps ou simultanément par différents artisans. Les principales catégories typologiques se répartissent en tout cas également tout au long de cette hiérarchie. Remarquons aussi que les trois objets les plus spéciaux au point de vue de leur alliage (faucilles 22/9-10, hache 28/8) ne présentent aucune caractéristique typologique particulière.

Il est surtout important de constater que cette hiérarchie ne parvient pas à isoler dans le matériel d'Auvernier des groupes d'objets nettement distincts quant à la recette du fondeur, et qu'elle ne fait que transposer les histogrammes de fréquence des figures 4-6, en exprimant elle aussi la grande homogénéité interne du matériel étudié. Si l'on considère l'étain, on peut dire que le groupe 1 de l'arbre

	Sn		Pb	
1.1.	7.10 - 7.80	(7.40)	0.840 - 1.280	(1.07)
1.2.	6.40 - 6.90	(6.69)	1.000 - 1.177	(1.06)
1.3.	7.10 - 7.60	(7.34)	1.470 - 1.609	(1.56)
1.4.	5.90 - 6.90	(6.40)	1.300 - 1.640	(1.49)
1.5.	5.42 - 5.95	(5.71)	0.850 - 1.370	(1.08)
1.6.	5.90 - 7.20	(6.54)	0.160 - 0.760	(0.48)
1.7.	4.70 - 4.93	(4.81)	1.936 - 2.400	(2.12)
1.8.	5.50 - 6.11	(5.65)	1.830 - 2.160	(2.03)
1.9.	6.20 - 6.70	(6.45)	2.370 - 2.600	(2.48)
1.10.	4.40 - 5.09	(4.76)	0.780 - 1.120	(0.96)
1.11.	4.03 - 4.40	(4.18)	1.380 - 1.500	(1.45)
1.12	2.40 - 2.93	(2.64)	0.489 - 0.940	(0.70)
2.1.	8.25 - 9.50	(8.77)	0.710 - 1.350	(1.05)
2.2.	7.90 - 9.00	(8.62)	0.210 - 0.440	(0.30)
2.3.	10.16 - 10.73	(10.35)	0.220 - 0.810	(0.60)
2.4.	11.80		1.020	
2.5.	8.60 - 9.40	(9.02)	1.510 - 1.800	(1.73)
2.6.	10.61 - 10.80	(10.70)	1.790 - 2.094	(1.94)
2.7.	7.50 - 8.20	(7.85)	2.300 - 2.500	(2.40)
2.8.	8.44		3.125	
2.9	10.14		3.210	
3.1.	4.64		4.170	
3.2.	7.00		4.500	
3.3.	4.23		5.790	

Tableau 5 Auvernier/Nord. Teneurs minimums, maximums et moyennes des groupes définis par la hiérarchie selon l'étain et le plomb (voir dépliant 1 et annexe 5, p. 103).

comprend le centre et la partie gauche de l'histogramme, le groupe 2 la partie droite de celui-ci. Quant au plomb, sa quantité ne dépend pas de celle de l'étain. On le retrouve donc dans des teneurs équivalentes dans les groupes 1 et 2 de la hiérarchie. Plomb et étain n'étaient donc pas mélangés entre eux avant d'être ajoutés au cuivre, comme cela a pu être le cas à Grandson/Corcelettes (Rychner 1983, 81).

3.3.2. Hiérarchie selon étain, plomb, arsenic, antimoine, nickel et cobalt

Ce dendrogramme (dépliant 2) représente la synthèse de la typologie interne des bronzes d'Auvernier/Nord. On y distingue quatre groupes ou sous-arbres principaux dont les sommets se situent entre les niveaux 31 et 38. Le troisième et le quatrième rassemblent la petite minorité de pièces éloignées de la grande masse du matériel contenue dans les groupes 1 et 2 (86% des objets). Le tableau 6 donne les teneurs moyennes des quatre groupes. Comme on pouvait s'y attendre, 1 et 2 sont entre eux très voisins et très proches des moyennes générales, 1 étant un peu au-dessus de celles-ci pour les impuretés, 2 un peu au-dessous. Le tout petit groupe 3 se

	Sn	Pb	As	Sb	Ni	Co	Var. moyenne
1.	6.74	1.30	0.546	0.609	0.323	0.122	
	21	*41*	*16*	*30*	*25*	*29*	*27*
2.	7.23	1.11	0.385	0.442	0.231	0.083	
	31	*38*	*22*	*24*	*25*	*35*	*29*
3.	6.89	4.16	0.378	0.607	0.240	0.109	
	36	*26*	*25*	*29*	*63*	*20*	*33*
4.	8.35	0.73	0.585	0.608	0.468	0.222	
	19	*102*	*31*	*33*	*40*	*18*	*40*
1.1.	6.10	1.56	0.529	0.666	0.303	0.105	
	19	*32*	*19*	*18*	*23*	*22*	*22*
1.1.1.	6.59	1.33	0.605	0.761	0.323	0.116	
	17	*16*	*16*	*9*	*28*	*24*	*18.3*
1.1.2.	5.70	1.75	0.468	0.590	0.287	0.097	
	18	*33*	*13*	*16*	*15*	*15*	*18.3*
1.2.	7.50	1.00	0.566	0.493	0.360	0.145	
	19	*39*	*16*	*24*	*21*	*21*	*23*
1.3.	6.23	1.50	0.541	1.071	0.198	0.073	
	21	*52*	*10*	*8*	*25*	*23*	*23*
2.1.	9.48	1.33	0.435	0.472	0.190	0.111	
	14	*35*	*20*	*32*	*21*	*22*	*24*
2.2.	6.70	1.02	0.369	0.418	0.265	0.072	
	14	*35*	*18*	*17*	*18*	*21*	*20*
2.2.1.	6.87	1.17	0.404	0.448	0.286	0.075	
	12	*22*	*8*	*9*	*10*	*16*	*12.8*
2.3.	3.01	0.89	0.308	0.468	0.193	0.054	

Tableau 6 Auvernier/Nord. Teneurs moyennes et variances (en italique) des principaux groupes et sous-groupes définis par la hiérarchie selon étain, plomb, arsenic, antimoine, nickel et cobalt (voir dépliant 2 et annexe 6, p. 104).

	Sn	Pb	As	Sb	Ni	Co	Moyenne par objet
8/12	99.1	87.8	94.2	99.8	89.1	83.3	92 (92)
20/8	91.3	87.9	93.3	92.9	96.8	84	91 (92)
21/4	77.8	95.1	93.9	87.5	94	79	88 (89)
22/8	86.3	96.4	92.5	94.8	99.4	82	92 (92)
24/4	94.7	90.7	92.1	95.1	92.2	67.4	89 (87)
24/14	99.7	92.7	95.4	97.6	92.1	79.5	93 (91)
24/16	99.8	88.6	83.4	80.9	98.2	97.1	91 (90)
25/4	97.7	100	97.6	95.5	94.7	84.6	95 (93)
26/4			73.8	90.9	99.3	54.8	(80)
27/4	100	95.7	93.1	97.6	90	86.7	94 (92)
28/8	91	95.9	96.4	99.3	88.9	72.7	91 (89)
Moyennes	93.7	93.1	91.4	92.6	94.1	79.2	91.6 (89.6)

Tableau 7 Auvernier/Nord. Corrélations entre deux mesures d'un même objet (voir annexes 1-2, p. 97-98). Entre parenthèses sont données les moyennes caculées sur les quatre impuretés seulement, compte non tenu de l'étain et du plomb. Le coefficient de corrélation est établi selon la formule: plus petite valeur sur plus grande valeur, fois cent.

signale par ses hautes teneurs en plomb, le groupe 4 par ses teneurs hautes en étain et basses en plomb. Les groupes 1 et 2, qui culminent exactement au même niveau, possèdent en outre la même structure interne. Ils contiennent chacun, en effet, deux sous-groupes principaux de volumes comparables (1.1 et 1.2, 2.1 et 2.2) et un troisième petit sous-groupe très éloigné du reste (1.3 et 2.3). Le tableau 6 donne les teneurs moyennes de ces sous-groupes, dont l'homogénéité est déjà plus accusée que celle des groupes supérieurs. L'annexe 6 (p. 104) donne les analyses dans l'ordre de la hiérarchie.

En descendant vers l'extrémité de l'arbre, d'autres sous-groupes, toujours plus homogènes (ou moins variants), se laissent facilement identifier. Les dernières branches regroupent les objets qui se ressemblent le plus. A partir de quel degré de ressemblance peuvent-ils être considérés comme de composition identique, c'est-à-dire issus de la même coulée? Pour mieux approcher cette notion de proximité, nous avons calculé la corrélation existant chaque fois entre les deux analyses des onze objets examinés à plusieurs reprises au L.R.M.F. et chez Boillat S.A. (annexes 1-2, p. 97-98). Le coefficient de corrélation est donné pour chaque élément par le quotient de la plus petite valeur mesurée par la plus grande, fois cent. La moyenne des six corrélations élémentaires donne pour chaque paire de mesures une corrélation moyenne. Le tableau 7 donne les corrélations minimum et maximum observées ainsi que la corrélation moyenne. L'étain, le plomb, l'arsenic, l'antimoine et le nickel ont des corrélations moyennes très voisines mais les plus groupées sont celles du nickel. Celles du cobalt sont nettement moins élevées que les autres. Les deux meilleures corrélations moyennes sont celles de 25/4 et 27/4, analysés deux fois chez Boillat S.A. Celles de 25/4 sont particulièrement bonnes. C'est le seul cas où tous les coefficients sont supérieurs à la moyenne. En définitive, il apparaît que deux mesures du même objet corrèlent en moyenne à 91.6 (de 88 à 95).

En calculant de la même manière les écarts existant entre les fusions les plus basses de la hiérarchie, nous avons dressé la liste des paires d'objets les plus voisins quant à leur composition (tableau 8). A quelques exceptions près, on peut admettre que ceux présentant une corrélation moyenne égale ou supérieure à 90 ont été coulés ensemble ou qu'ils proviennent du même lingot fondu en plusieurs fois sans modification. On remarquera qu'aucune paire ne montre de coefficients égaux ou supérieurs à la moyenne pour les six éléments. La meilleure corrélation moyenne est celle des phalères 14/3-4, où seules les teneurs en plomb restent peu compatibles. On notera que la troisième phalère identique, très voisine des deux premières, en est cependant légèrement éloignée.

Les objets de composition identique ne sont pas forcément du même type. Le produit d'une coulée a pu donner aussi bien une hache et un ciseau, un bracelet et un perçoir, une épingle et une faucille, que plusieurs faucilles, plusieurs haches ou plusieurs bracelets.

Des paires comme 20/5 — 23/3 et 26/5 — 28/13, où les corrélations d'étain et de plomb sont très au-dessous de celles des impuretés, montrent, comme on le verra mieux dans la hiérarchie suivante, que l'artisan a utilisé pour les deux objets le même matériau de base, mais en variant l'alliage.

Les terminaux du dendrogramme montrent que les objets de composition identique se groupent le plus souvent par deux, quelquefois par trois (14/3-5, 21/1-2 — 28/1, 25/5 — 26/2 — 27/6), mais jamais

plus semble-t-il. Des groupes entiers peuvent cependant montrer des compositions sinon identiques du moins extrêmement voisines. Les treize objets de 6/6 à 28/1, formant le sous-groupe 2.2.1. de la hiérarchie, constituent à cet égard le groupe le plus homogène (coefficient de variance moyen de 12.8). Il est difficile d'admettre que cette extrême similitude de composition, dans ce cas, soit le fruit du seul hasard. Elle nous semble plutôt indiquer que les objets en question correspondent à un lot fabriqué dans un très court intervalle de temps. Il est alors intéressant de constater que le groupe contient à la fois des objets bruts de fonte (faucilles 21/1-2), des objets finis en bon état (faucille 22/3, haches 25/5, 26/2, 28/1, ciseau 29/3, marteau 29/6) et des fragments destinés à la refonte (bracelets 6/6, 7/1, 7/5, 8/5). Il se pourrait donc que nous ayons affaire d'une part aux objets finis, d'autre part aux restes du matériau de base employé. Onze objets sur treize appartiennent d'ailleurs à l'ensemble de 1971. Seules les haches 27/6 (ébréchée) et 28/1 (en bon état mais certainement réaffûtée) ont été trouvées ailleurs dans le village.

Faute d'arguments supplémentaires, nous n'irons pas jusqu'à considérer, d'une façon générale, l'arbre hiérarchique des analyses comme une sorte de schéma de l'activité des bronziers d'Auvernier/Nord, ni les groupes définis comme des lots fabriqués en même temps.

3.3.3. Hiérarchie selon arsenic, antimoine, nickel et cobalt

Elle cherche avant tout à proposer un classement du cuivre utilisé à Auvernier/Nord, abstraction faite des alliages en étain et en plomb. Ont été retenus les cent cinq objets normaux dans les six éléments, plus les quatre objets aberrants en étain et en plomb mais normaux en arsenic, antimoine, nickel et cobalt (9/2, 18/9, 26/4, 31/2).

A la hauteur du niveau de fusion 30 (dépliant 3), on peut distinguer trois groupes principaux. Le troisième (10% seulement du tout) est très éloigné des deux premiers, dont les sommets se situent assez exactement au même niveau. Le groupe 1 contient quatre sous-groupes principaux, le groupe 2 en comprend trois. Les sommets des sous-groupes se situent entre les niveaux 4 et 9. Le tableau 9 donne les teneurs moyennes et l'homogénéité des sous-groupes et groupes. L'annexe 7 (p. 105) donne les analyses dans l'ordre de la hiérarchie. Le groupe 2, qui com-

			Moyenne	Sn	Pb	As	Sb	Ni	Co
33-34	14/3 - 14/4	phalères	95	100	90	91.7	98.8	98.5	90.9
106-122	26/3 - 29/2	hache - ciseau	94.3	100	97.2	92.6	87.9	97.1	90.9
3-5	4/8 - 4/10	épingles	94.1	98.3	96.3	90.5	96	97.8	85.7
13-58	7/1 - 21/2	bracelet - faucille	93.9	86.8	95.2	98.5	95.5	89	98.7
105-123	26/2 - 29/3	hache - ciseau	93.8	95.8	99.4	100	94.8	79.7	93.3
8-128	5/5 - 29/11	bracelet - perçoir	93.7	91	99	94.4	86	100	91.7
63-132	21/7 - 32/1	faucille - déchet	93.3	93.6	83.9	95.3	100	96.2	90.9
57-58	21/1 - 21/2	faucilles	93.2	97.4	95.7	90.7	91.1	95.6	88.9
53-78	20/5 - 23/3	faucilles	93.2	75.6	88.5	100	98.2	96.8	100
43-76	19/3 - 23/1	couteau - faucille	93.2	97.8	79.4	100	98	93.5	90.5
2-59	4/6 - 21/3	épingle - faucille	93.2	91.5	93.4	94.4	90	90	100
57-116	21/1 - 28/1	faucille - hache	93	97.4	79.6	100	95.1	86.2	100
20-22	8/6 - 8/10	bracelets	93	89.8	97.8	96.7	95	90.3	88.5
13-123	7/1 - 29/3	bracelet - ciseau	92.7	100	90.5	92.1	93.5	91.8	88.6
59-98	21/3 - 25/1	faucille - hache	92.5	89.2	100	100	82.5	94.4	88.8
105-115	26/2 - 27/6	haches	92.5	91.6	87.2	88.4	99	95.1	93.7
105-13	26/2 - 7/1	hache - bracelet	91.9	95.8	90	92.1	88.7	90.1	94.9
42-68	19/2 - 22/2	couteau - faucille	90.9	97.9	100	92.9	79.5	82.1	92.9
102-115	25/5 - 27/6	haches	90.8	88.6	94.2	94.8	85.1	97.2	85
15-124	7/4 - 29/4	bracelet - ciseau	90.7	90.6	90.6	97.5	85.2	85.7	94.4
67-104	22/1 - 26/1	faucille - hache	90.5	90	90.4	98.4	95.8	87.3	80.9
102-105	25/5 - 26/2	haches	90.1	96.7	82	93	86	92.4	90.7
7-12	5/4 - 6/7	bracelets	90	84.9	83	95.7	90	95.9	90.8
13-16	7/1 - 7/5	bracelets	89.8	98.1	93.2	83.8	92.9	100	70.9
35-33	14/5 - 14/3	phalères	89.8	88.2	81.5	90.9	97.6	97.1	83.3
26-62	9/5 - 21/6	bracelet - faucille	89.5	98.2	83	91.8	98.4	81	84.7
51-93	20/3 - 24/13	couteau - faucille	89.4	89.9	87.7	92	94.6	86.5	85.9
58-116	21/2 - 28/1	faucille - hache	89.3	100	76.2	90.7	86.7	93.1	88.9
2-98	4/6 - 25/1	épingle - hache	89.2	81.6	93.4	94.4	91.7	85	88.9
108-120	26/5 - 28/13	haches	89	94	63.8	97.2	99.2	88.7	90.9
16-125	7/5 - 29/6	bracelet - marteau	89	92.2	76.5	83	98.5	94.7	89.3
35-34	14/5 - 14/4	phalères	89	88.2	73.3	83.3	98.8	98.6	91.7
16-123	7/5 - 29/3	bracelet - ciseau	88.5	98.1	84.5	77.2	99.4	91.8	80
13-125	7/1 - 29/6	bracelet - marteau	85	90.4	71.4	99	91.5	94.7	63.3

Tableau 8 Auvernier/Nord. Les meilleures corrélations de composition entre paires d'objets, rapprochés par la hiérarchie selon étain, plomb, arsenic, antimoine, nickel et cobalt (voir dépliant 2). Le coefficient de corrélation est établi selon la formule: plus petite valeur sur plus grande valeur, fois cent.

	Sn	Pb	As	Sb	Ni	Co	Var. moyenne
1.	6.13	1.80	0.565	0.742	0.285	0.110	
			25	*19*	*39*	*32*	*29*
2.	7.08	1.28	0.441	0.442	0.272	0.105	
			24	*22*	*25*	*40*	*28*
3.	7.91	1.26	0.578	0.655	0.531	0.203	
			30	*25*	*23*	*28*	*26*
1.1.	6.33	1.49	0.491	0.730	0.265	0.109	
			20	*11*	*26*	*23*	*20*
1.2.	6.43	0.82	0.592	0.611	0.162	0.083	
			15	*7*	*10*	*54*	*21*
1.3.	6.23	1.50	0.541	1.071	0.198	0.073	
			10	*8*	*25*	*23*	*16*
1.4.	5.36	3.40	0.773	0.711	0.449	0.141	
			12	*20*	*16*	*24*	*18*
2.1.	8.25	1.03	0.567	0.461	0.310	0.171	
			8	*24*	*16*	*13*	*15*
2.2.	7.08	1.40	0.458	0.464	0.288	0.100	
			13	*17*	*19*	*24*	*18*
2.3.	6.13	1.17	0.300	0.373	0.200	0.066	
			17	*25*	*28*	*36*	*26*

Tableau 9 Auvernier/Nord. Teneurs moyennes et variances (en italique) des principaux groupes définis par la hiérarchie selon arsenic, antimoine, nickel et cobalt (voir dépliant 3 et annexe 7, p. 105).

prend 60% des objets, se situe très près des moyennes générales pour tous les éléments. De part et d'autre de ce groupe moyen, le groupe 1 (31% des objets) se signale par des valeurs plutôt fortes en arsenic et antimoine, et faibles en nickel, le petit groupe 3 par des valeurs fortes dans les quatre éléments.

Les objets de composition aberrante ayant été auparavant écartés, il est une nouvelle fois totalement illusoire de chercher dans la hiérarchie proposée des groupements vraiment significatifs, et en particulier les indices d'utilisation de plusieurs cuivres nettement différents les uns des autres. Elle ne nous montre guère plus que ce que montraient déjà les histogrammes, à savoir de légères variations de teneurs de part et d'autre de moyennes vraiment significatives dans un ensemble très homogène. La hiérarchie rapproche cependant les pièces les plus voisines et nous fait ainsi reconnaître, à l'extrémité de l'arbre, celles que l'on peut considérer comme identiques selon les critères définis ci-dessus. Un bon nombre le sont pour tous les éléments, étain et plomb compris. Ce sont les objets issus de la même coulée, énumérés ci-dessus. D'autres, qui nous intéressent ici, sont identiques au point de vue des impuretés mais différents quant à l'alliage en étain et en plomb. Le tableau 10 donne la liste des meilleures corrélations. Les corrélations moyennes sont calculées pour les quatre impuretés. L'examen du tableau 7 montre que deux mesures du même objet corrèlent en moyenne à 89.6% pour l'arsenic, l'antimoine, le nickel et le cobalt. Les objets de cuivre identique se groupent la plupart du temps par paires mais aussi quelquefois en groupes plus importants (5/5 – 13/6 – 29/2 – 29/11). Leur similitude peut s'expliquer par le fait qu'ils ont été fabriqués à partir de la même matière première, le bronzier variant chaque fois la quantité d'étain et de plomb. On remarquera à ce propos que, à trois exceptions près, la teneur en étain varie moins que celle en plomb, comme si l'artisan avait eu une prise plus directe sur le plomb, dont la proportion lui importait au fond assez peu, que sur l'étain, dont la relative constance peut en partie tenir à la refonte de vieux objets à la teneur elle-même constante. La présence de cuivre pur à Auvernier/Nord, et de cuivre identique à celui d'objets alliés en étain et en plomb (voir par exemple la paire 22/10 – 26/4, groupe 2.3), montre cependant que la teneur moyenne d'étain d'environ 7% n'est pas seulement le fruit aléatoire de la refonte de vieux bronzes, mais qu'elle correspond aussi au dessein des fondeurs.

3.3.4. Hiérarchie des compositions aberrantes

Le dendrogramme de la figure 7 regroupe les vingt-trois objets écartés de la hiérarchie précédente à cause de leurs teneurs aberrantes en arsenic, antimoine, nickel et cobalt. Les quatre objets écartés

			Sn	Pb	As	Sb	Ni	Co	Moyenne
74-131	22/9 - 31/3	faucille-déchet	52.1	36.2	98.3	89	84.3	90.9	90.6
31-122	13/6 - 29/2	phalère - ciseau	76.4	19	92.6	98.3	100	100	97.7
11-53	6/6 - 20/5	bracelet - couteau	68.4	38.7	93.5	89.6	99.7	100	95.7
86-99	24/3 - 25/2	faucille - hache	66.2	41.3	87.3	95	97.4	82.2	90.5
8-122	5/5 - 29/2	bracelet - ciseau	70.5	45.8	94.4	89.2	100	100	95.9
17-65	8/3 - 21/9	bracelet - faucille	96.4	21.2	90.4	89	98.3	95.9	93.4
122-128	29/2 - 29/11	ciseau - poinçon	77.5	45.4	100	96.6	100	91.7	97.1
18-108	8/4 - 26/5	bracelet - hache	74.6	49.6	99.3	86.3	96.8	86.7	92.5
54-83	20/6 - 23/8	couteau - faucille	54.8	76	97	91.2	82.4	92.9	90.9
6-47	5/3 - 19/7	bracelet - couteau	81.5	55.3	98.1	93	97.4	93.7	95.5

Tableau 10 Auvernier/Nord. Hiérarchie des analyses selon arsenic, antimoine, nickel et cobalt (voir dépliant 3). Exemples d'objets très voisins (voir tableau 8) au point de vue des impuretés mais nettement différents quant à l'alliage. La corrélation moyenne ne concerne ni l'étain ni le plomb.

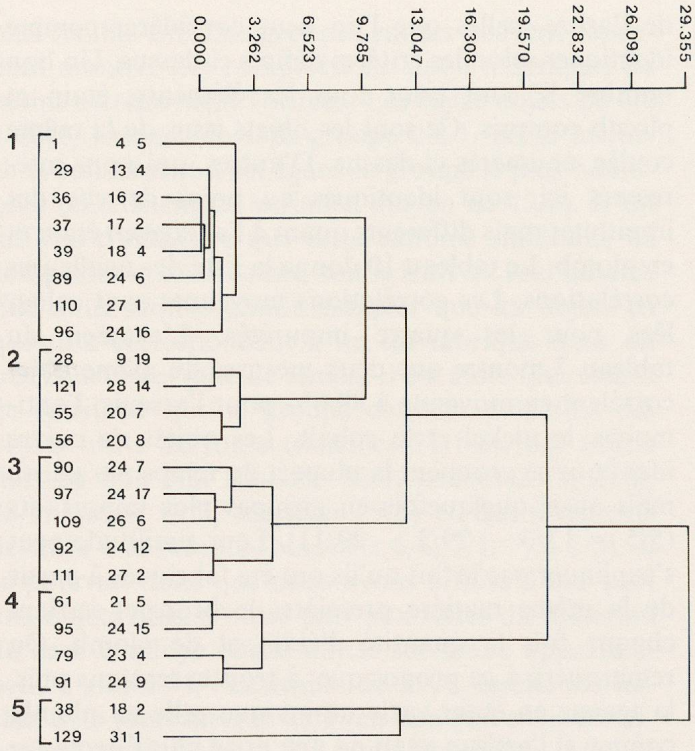


Fig. 7 Auvernier/Nord. Compositions chimiques aberrantes en arsenic, antimoine, nickel et cobalt. Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante. Distance: carré de la distance euclidienne, agrégation: chaînage complet.

uniquement à cause de leur étain ou de leur plomb ne sont pas pris en considération (9/2, 18/9, 26/4, 31/2). L'annexe 8 (p. 106) donne les analyses dans l'ordre de la hiérarchie.

Cinq groupes se laissent clairement isoler:

1. 4/5 – 24/16 huit objets;
2. 9/19 – 20/8 quatre objets;
3. 24/7 – 27/2 cinq objets;
4. 21/5 – 24/9 quatre objets;
5. 18/2 – 31/1 deux objets.

Les groupes 2 et 3 sont très proches l'un de l'autre tandis que les distances séparant 1 de 2 et 3, 2 et 3 de 4 et 4 de 5 sont à peu près identiques. Le groupe 1 rassemble les objets faibles en au moins deux éléments, mais le plus souvent en trois ou quatre. Presque toutes les teneurs sont inférieures à la moyenne. Cinq objets sur sept sont également spécialement pauvres en plomb. Tous les autres objets sont au contraire caractérisés par une ou plusieurs fortes teneurs. Le groupe 2 rassemble les objets normaux en antimoine et nickel mais nettement au-dessus de la moyenne en arsenic et cobalt. Le groupe 3 rassemble des objets supérieurs à la moyenne en arsenic et antimoine, normaux en nickel et cobalt. Le groupe 4 rassemble les objets au-dessus de la moyenne dans tous les éléments. Les deux objets du groupe 5 sont très forts en arsenic et en cobalt, normaux en nickel et très faibles en antimoine.

Les compositions uniformément faibles ou fortes (groupes 1 et 4) ne sont pas vraiment aberrantes car elles conservent le même schéma d'impuretés que la majorité des objets. Ce genre de cuivre provient donc très vraisemblablement du même type de minerai mais d'une veine peut-être plus pure ou au contraire plus polluée. Il se peut aussi que les refontes successives du métal l'aient raffiné toujours plus. Cette dernière hypothèse nous paraît cependant moins vraisemblable car le nickel, l'arsenic, l'antimoine et le bismuth passent pour des impuretés très tenaces, impossibles à éliminer en conditions normales dans un raffinage par le feu (Miller 1954, 297; Lorenzen 1965, 37). Les compositions des types 2 et 3, fortes en deux éléments, normales dans les deux autres, sont déjà plus remarquables. Mais les deux objets les plus spéciaux sont 18/2 et 31/1 car ils combinent deux très fortes teneurs et une très faible. Typologiquement, on ne peut malheureusement rien en dire puisque 31/1 est un lingot tandis que 18/2 est une pointe de lance comme on peut en trouver à cette époque partout en Europe, y compris au bord des lacs suisses. Plus généralement, on remarquera d'ailleurs que parmi les vingt-trois objets aberrants dans leur composition, seuls quatre le sont aussi au point de vue typologique: la lance 18/4 dans le groupe 1, le bracelet 9/19 dans le groupe 2, la serpe 24/17 dans le groupe 3 et la faucille 24/15 dans le groupe 4.

3.4. Comparaisons, origine des métaux

Au Ha B final, la série d'analyses de la station palafittique de Grandson/Corcelettes (treize haches, douze faucilles, douze bracelets), à environ 25 km à vol d'oiseau d'Auvernier, sur la même rive du lac de Neuchâtel, constitue pour l'instant le seul ensemble de comparaison pour la région des Trois-Lacs (Rychner 1983). Les différences les plus sensibles avec Auvernier concernent la recette du fondeur, qui utilise nettement moins d'étain (5.05 contre 7.10%) et un peu plus de plomb (1.99 contre 1.53%), la somme totale de l'alliage restant moindre qu'à Auvernier. Comme à Auvernier, il n'y a pas de différences entre les compositions des trois types d'outils. Le matériau de base de Corcelettes est fondamentalement le même que celui d'Auvernier puisqu'il est caractérisé lui aussi par des quantités décroissantes d'antimoine, d'arsenic, de nickel, d'argent, de cobalt et de bismuth. Toutes les teneurs sont cependant un peu plus faibles qu'à Auvernier, les plus fortes différences concernant le bismuth et le cobalt. Les différences de composition entre Auvernier et Corcelettes sont beaucoup trop minimes pour permettre l'attribution à un atelier ou à l'autre d'un objet isolé, sans compter que les autres ateliers du lac de Neuchâtel ont dû eux aussi employer le même matériau de base.

Quelques objets provenant des fouilles de 1979 à Vinelz/Ländti, dans un palafitte de la rive sud du lac de Bienne, à proximité de la grande station de Mörigen, ont été analysés par fluorescence X au Musée national de Zurich (Gross 1986, pl. 72/11-13 et p. 107). Trois objets au moins sont typiques du Ha B final (une épingle vasiforme, deux bracelets côtelés). Quoique le nombre d'analyses soit beaucoup trop restreint et que la différence entre les méthodes d'analyses interdise des comparaisons trop poussées, il est clair, cependant, qu'il s'agit d'un cuivre très comparable à celui d'Auvernier, avec arsenic, antimoine, nickel, cobalt, argent et bismuth, faiblement allié en étain et en plomb. Cinq objets chronologiquement atypiques présentent le même type de composition.

Quelques analyses réalisées par le groupe de Stuttgart, dont les résultats sont en principe bien comparables aux nôtres (voir annexe 1), laissent à penser que le métal utilisé en Valais à la même époque (Ha B final), est le même qu'au bord des Trois-Lacs jurassiens (Junghans/Sangmeister/Schröder 1968 et 1974, abrégés ci-dessous SAM 2/3 et SAM 2/4). Toute une série de torques torsadés, forme locale caractéristique et inconnue dans les palafittes du pied du Jura, révèlent en effet une composition en tous points identique au standard d'Auvernier, aussi bien en ce qui concerne l'alliage que le cuivre (SAM 2/3, 4174-4176, 4206-4214, 4244-4246; Bocksberger 1964, fig. 29/34-35, 38-40).

Quant à la région lémanique, nous n'avons pour l'instant aucun renseignement sur sa métallurgie à la fin de l'âge du Bronze.

Pour les phases antérieures du Bronze final, les analyses sont encore plus rares. Celles de Neuchâtel/Le Crêt constituent le seul ensemble de référence (Rychner 1981) de sorte que l'on ne peut pas savoir dans quelle mesure il est représentatif. Les onze objets analysés forment en tout cas un tout homogène et cohérent, très clairement attribuable à la phase typologique immédiatement antérieure à celle représentée par Auvernier/Nord, soit le Ha B1. Le plomb (0.99%) peut vraisemblablement déjà être considéré comme un élément de l'alliage, tandis que la quantité d'étain utilisée n'atteint même pas la moitié de la moyenne d'Auvernier (3.14%). Le cuivre est de la même sorte qu'au Ha B final. Il est aussi caractérisé, en effet, par la prédominance de l'antimoine, de l'arsenic et du nickel, mais les teneurs sont beaucoup plus hautes (Sb 1.93, As 0.78, Ni 0.95). Celles d'argent et de cobalt, en revanche, sont comparables à celles mesurées à Auvernier/Nord. Remarquons en passant que dans de telles proportions l'antimoine devait déjà fragiliser le bronze (Maréchal 1962, 153).

La typologie de deux objets de Vinelz/Ländti (Gross 1986, pl. 72/1, 2, 8 et p. 61) les rattache très clairement à la phase Ha B1. Le couteau richement décoré montre lui aussi des teneurs prononcées en arsenic (0.5%), antimoine (1.5%) et nickel (0.6%), normales en argent et en cobalt, et pourrait donc se rattacher au type métallurgique de Neuchâtel/Le Crêt. Ce n'est pas le cas de l'épingle céphalaire, riche en arsenic (1.0%) mais relativement pauvre en antimoine (0.4%) et en nickel (0.2%). Les deux objets sont pauvres en étain (4 et 3%). Quant à l'épingle de type Binningen dégénérée à trois côtes, du même site, typologiquement plus ancienne, elle se signale par sa grande pauvreté en antimoine ainsi que par des teneurs basses également en arsenic et en nickel.

Il est difficile de remonter plus haut dans l'âge du Bronze la piste du cuivre Ha B final défini dans la région des Trois-Lacs et en Valais. Il ne nous paraît pas exclu, cependant, que son origine puisse être valaisanne. Au Bronze ancien, en effet, un poignard de Conthey ainsi que cinq épingles à tête discoïde provenant de Conthey, d'Ayent et de Sion (SAM 2/3, 4184-4186, 4192-4193; Bocksberger 1964, fig. 22) ont une composition très voisine du type Neuchâtel/Le Crêt, à antimoine, nickel, arsenic et argent dominants (dans l'ordre, environ 2, 1, 0.7 et 0.7%), mais surtout caractérisée par la présence du *cobalt* (0.06%) rarissime sur le Plateau suisse avant le Bronze final. Ce type de cuivre pourrait être considéré comme l'ancêtre de celui du lac de Neuchâtel et du Valais au Bronze final. Dans sa composition générale, il rappelle le cuivre utilisé pour les haches Bronze ancien de type Salez (Bill 1977; 1985, fig. 3; SAM 2/3, 2779-2784), qui se distingue par des quantités telles d'arsenic, d'antimoine et de nickel, d'argent dans une moindre mesure, qu'elles évoquent un enrichissement intentionnel. Deux objets isolés du Bronze ancien, en dehors du Valais, se rattachent de façon indiscutable à ce type de cuivre valaisan, à Ollon et à Schmitten (SAM 2/3, 7239, 7164).

Au Bronze ancien et au Bronze moyen, sur le Plateau suisse, seuls trois autres objets, dans l'état actuel de nos connaissances, sont caractérisés par le schéma d'impuretés As-Sb-Ni-Co. Ce sont des haches à rebords trouvées précisément dans la région des Trois-Lacs, et dont les teneurs s'inscrivent parfaitement dans les moyennes d'Auvernier, sauf pour l'argent, qui n'est présent qu'en traces. L'une provient d'Aarberg. C'est un représentant bien typique du type Grenchen (Granges) (SAM 2/3, 3071; Abels 1972, N° 575), qui date du Bronze moyen (Bz C). La deuxième a été draguée dans le canal de l'Aar à Hagneck (SAM 2/3, 2792; Abels 1972, N° 540). Elle appartient au type de Habsheim, typologiquement situé entre les types de Langquaid et Grenchen, et datant des débuts du Bronze moyen (Bz B). Le troisième est un fragment de hache de type Neyruz trouvé à La Neuveville/Schaffis. Elle date des débuts du Bronze ancien (Bz A1) (SAM 2/3, 3079; Abels 1972, N° 103).

Il est, à nos yeux, peu vraisemblable que ces rares objets, en bronze à l'étain, soient à considérer comme les descendants d'un petit groupe d'objets en

cuivre pur du Chalcolithique et des débuts du Bronze ancien, constituant le *copper cluster* 5 défini par B. Ottaway (1982, 118-119). Douze des vingt et un objets en question proviennent du lac de Neuchâtel ou de ses environs immédiats, quatre du Léman, le reste d'Allemagne, d'Autriche et de Hongrie. Dans la région du nord-ouest des Alpes, aux débuts de la métallurgie, ce groupe est le seul à contenir du cobalt en quantité significative, c'est-à-dire au moins 0.01%. Ils sont en outre caractérisés par l'antimoine dominant, précédant l'arsenic, le nickel, l'argent, le cobalt et le bismuth, soit exactement le même schéma qu'à Auvernier, les teneurs étant cependant un peu plus basses. Ces valeurs ne sont toutefois que des moyennes assez peu significatives puisque les coefficients de variance, dans ce cluster, ne sont jamais inférieures à 84 (Bi) et atteignent 179, précisément pour le cobalt. Il n'est donc pas très étonnant qu'aucun des seize objets suisses n'ait des teneurs comparables aux moyennes du groupe! Le plus proche, relativement, de la composition moyenne, est un poignard d'Auvernier, totalement dépourvu d'arsenic mais contenant, en ordre décroissant, de fortes quantités d'antimoine, de nickel, d'argent, de cobalt et de bismuth. Seuls sept objets sur seize ont du cobalt en quantité égale ou supérieure à 0.01%, et deux seulement sur ces sept en ont plus de 0.1% (0.14 et 0.15%, à Auvernier et à Concise, au bord du lac de Neuchâtel).

Quant aux objets rassemblés dans le *bronze cluster* C du même auteur (Ottaway 1982, 164, 166 et 346), ils n'ont, de toute évidence, rien à faire dans le Bronze ancien et datent du Bronze final. Leur compositon moyenne, avec 8.31% d'étain et 0.76% de plomb, mais aussi le schéma classique As-Sb-Ni-Co + Ag-Bi démontrent en effet leur âge très tardif. Il s'agit d'ailleurs d'objets typologiquement insignifiants (six ciselets, un poinçon, un tube en tôle de bronze), provenant de Chevroux, Concise et Colombier, stations du lac de Neuchâtel qui ont aussi connu une occupation au Bronze final.

Il apparaît donc que le cuivre au cobalt en général, et plus particulièrement le cuivre du type Bronze final As-Sb-Ag-Ni-Co est d'une grande rareté aux débuts de la métallurgie sur le Plateau suisse. Les trois haches citées plus haut d'Aarberg, de Hagneck et de La Neuveville en constituent jusqu'à présent les plus anciennes traces dans la région qui nous intéresse. Sa généralisation au Bronze final représente certainement un important changement technique, mais aussi économique, puisqu'il implique probablement la mise à profit d'une nouvelle source d'approvisionnement. La combinaison As-Sb-Ni, sans cobalt, dans des proportions très comparables à celles mesurées à Auvernier/Nord, paraît, en revanche, courante dès le Bronze ancien et au Bronze moyen dans la région des Trois-Lacs (SAM 2/3, 2938, 2949, 3060, 3074, 3080, 3105; SAM 2/4, 16525, 18413; Ottaway 1982, analyses 46, 48, 93).

On peut aussi se demander si la présence régulière de cobalt au Bronze final n'est pas en relation avec l'usage de l'étain ou surtout du plomb, pratiquement inconnu au Bronze ancien et au Bronze moyen. Pour le moment, l'une et l'autre de ces corrélations nous paraissent difficiles à établir. En effet, les objets Bronze ancien et Bronze moyen de la région des Trois-Lacs que nous venons de citer, à schéma As-Sb-Ni, ont beaucoup d'étain et pas de cobalt, ce qui exclut la corrélation étain-cobalt, à moins qu'un nouvel étain, riche en cobalt, soit apparu au Bronze final. D'autre part, les six objets du Bronze ancien valaisan cités plus haut, à fortes teneurs As-Sb-Ni-Ag, ont du cobalt mais sont dépourvus de plomb. A Auvernier même, nous avons vu qu'il n'existe aucune corrélation régulière et significative entre étain et cobalt et entre plomb et cobalt, mais une corrélation possible, en revanche, entre arsenic et cobalt (voir en particulier les groupes 1 et 2 de la hiérarchie des compositions aberrantes).

Quant à la recette du fondeur, on ne peut pas affirmer, dans la région des Trois-Lacs, que la diminution des teneurs en étain du Bronze moyen au Bronze final soit une règle absolue. On observe, en effet, que très nombreux sont les objets du Bronze ancien et du Bronze moyen dont la proportion d'étain se situe entre 3 et 8%, identique à celle observée au Bronze final (SAM 2/3, 2788, 2970, 3034, 3035, 3047, 3060, 3071, 3072, 3080, etc.). La proportion d'objets contenant 10% et plus d'étain semble cependant plus élevée au Bronze ancien et au Bronze moyen qu'au Bronze final.

Des comparaisons à plus longue distance, c'est-à-dire entre la région des Trois-Lacs et les provinces culturelles voisines, sont encore loin d'être à l'ordre du jour puisque nous ne disposons d'aucune analyse ni pour la région lémanique et la Savoie, ni pour la Franche-Comté et ses grands dépôts, ni pour l'Alsace, ni pour la vallée du Rhin allemande, ni pour la Suisse orientale. En Autriche, en revanche, la métallurgie de l'âge du Bronze, et en particulier celle du Bronze final, a été étudiée de façon intensive. Il en est résulté de très importantes séries d'analyses spectrographiques ainsi qu'une abondante littérature, facilement accessible, dorénavant, au travers du résumé très concis et de la bibliographie fournis par R. Pittioni (1980/1, 33-37; 1980/2, 82-92). Comme on le sait, la méthode employée n'a fourni que des résultats semi-quantitatifs, exprimés, pour chaque élément mesuré, par les symboles Sp = trace, + = faible, ++ = modéré, +++ = fort, HM = principal (Neuninger/Pittioni/Preuschen 1960, 4), sans qu'aucune clé ait jamais été fournie pour la transposition de ces symboles en valeurs numériques. La comparaison, pour une même série d'objets, entre les résultats quantitatifs de l'équipe de Stuttgart et les résultats semi-quantitatifs de l'école de Vienne (Neuninger/Pittioni 1962; Ottaway 1982, 175-177) a démontré l'impossibilité d'englober ces

derniers dans une étude 100% quantitative. La comparaison entre le cuivre utilisé dans la région des Trois-Lacs au Bronze final et les quatre types principaux de cuivre définis en Autriche (Pittioni 1980/2, 85-86) ne peut donc être qu'approximative et très boiteuse. Le cuivre du Mitterberg (Salzbourg) se distingue de celui d'Auvernier par l'absence d'antimoine. Le cuivre de type salzbourgeois méridional (autour de Bischofshofen) est surtout caractérisé par l'argent et le nickel, l'arsenic, l'antimoine et le cobalt n'étant présents que sous forme de traces. Les deux autres cuivres typiques sont d'origine tyrolienne. Le type Kupferplatte-Kelchalm (Kitzbühel) ne contient pas non plus d'antimoine, tandis que le type Alte Zeche-Bertagrube (Schwaz) contient de bonnes quantités d'argent et d'arsenic, moins de nickel, d'antimoine et de cobalt. C'est encore celui qui se rapprocherait le plus de celui des Trois-Lacs.

Un tel rapprochement n'aurait de sens, cependant, que si l'on pensait pouvoir situer l'origine du cuivre des Trois-Lacs dans le Tyrol, connu pour l'exploitation préhistorique quasi industrielle de ses minerais. Or les éléments d'une discussion sérieuse du problème de *l'origine du cuivre* utilisé à Auvernier et dans la région au Bronze final font encore totalement défaut. Il nous manque surtout la carte exhaustive des gisements de cuivre les plus proches ayant pu être exploités à cette époque, ainsi que des séries d'analyses précises de ces minerais. Ces conditions seraient-elles remplies, on sait alors les difficultés qu'il y a à mettre en relation minerais et objets finis (Schulz 1983; Tylecote 1970). Les hypothèses possibles relèvent donc du seul bon sens. Il est ainsi raisonnable d'admettre que les ressources en matière première d'une zone productrice d'objets finis mais dépourvue de minerais locaux avaient pour origine les zones métallifères les plus proches. Pour la région des Trois-Lacs et la Suisse occidentale en général, celles-ci sont à situer dans le Valais (val d'Hérens, val d'Anniviers), dans les Alpes centrales et dans les Grisons (Schmutz 1986; Kündig/de Quervain 1953, 130-134). Comme on l'a souligné depuis longtemps, le développement d'une métallurgie florissante et dans le Valais et dans les Grisons, au Bronze ancien, s'appuie sans doute sur l'exploitation des minerais locaux et sur le commerce du métal extrait. Sans qu'elle puisse se fonder encore sur aucune base solide, l'hypothèse de l'origine essentiellement valaisanne du cuivre d'Auvernier nous paraît renforcée par l'utilisation du même cuivre à la même époque en Valais, et par l'existence en Valais d'un cuivre du Bronze ancien qui pourrait être l'ancêtre de celui du Bronze final. La trinité arsenic-antimoine-argent, d'autre part, qui caractérise les cuivres du Bronze final dont nous nous occupons, indique très vraisemblablement que le minerai de base était une chalcopyrite *(Kupferkies)* ou un cuivre gris *(Fahlerz)* (Coghlan/Butler/Parker 1963, 12-14). Or ces types de minerais se rencontrent dans les trois principales zones cuprifères de la Suisse (Kündig/de Quervain 1953, 130-134).

L'origine du cuivre reste, certes, une question centrale dans l'étude de la métallurgie du bronze. Contrairement à Pittioni (1980/2, 83), nous ne pensons pas, cependant, que l'intérêt de l'analyse d'objets en bronze préhistoriques dépende entièrement de la possibilité ou non d'établir la relation minerai – objet fini. Celle-ci, en effet, ne peut être déterminée avec certitude qu'au moment où existent dans les gisements des traces d'exploitation ancienne et datable, ce qui est rarement le cas. La démonstration définitive de l'origine des métaux utilisés nous paraît donc constituer le but idéal, ultime, d'une recherche comme la nôtre, mais si lointain et peut-être même inaccessible qu'il ne doit pas masquer l'énorme intérêt, immédiat, qu'il y a à définir par l'intérieur l'expression métallurgique d'une culture, à la comparer de ce point de vue à d'autres cultures, et à mettre simplement en évidence, avant même de les expliquer, les changements intervenant dans la nature des matières premières utilisées.

L'origine de l'étain est encore beaucoup plus difficile à élucider que celle du cuivre, mais elle n'est pas non plus forcément très lointaine. Certes, ce métal a très bien pu arriver des zones stannifères classiques que sont la Cornouailles anglaise et le sud-ouest du Devonshire, la Bretagne, la Galice et le nord du Portugal ainsi que les Monts Métallifères *(Erzgebirge)*, entre Saxe et Bohême (Muhly 1973, 251-256; Ramin 1965, 20-26; Penhallurick 1986; Franklin/Olin/Wertime). Mais si l'on accepte l'idée d'une part que les centres métallurgiques se fournissaient de préférence aux sources les plus proches, d'autre part que les gisements les plus faciles à exploiter l'ont été en premier, on peut alors imaginer que l'étain des palafittes de Suisse occidentale provenait des nombreux gisements alluvionnaires connus dans le Massif central français (Ramin 1965, 21). Aucune preuve, cependant, ne pourra jamais être apportée aux différentes hypothèses sur ce sujet tant que les différentes sources d'étain n'auront pas été individualisées au point de vue de leurs éventuelles impuretés et aussi longtemps que nous ne connaîtrons aucune trace directe d'exploitation protohistorique de l'étain en filon (l'exploitation alluvionnaire, quant à elle, ne laisse naturellement aucune trace). Il faut savoir, d'autre part, que l'étain sous sa forme métallique est extrêmement rare dans tous les centres métallurgiques importants de l'Europe préhistorique. Dans les palafittes, par exemple, on ne connaît guère que les lamelles décorant de rares poteries, et un nombre très limité de petits objets (Rychner 1979, pl. 98/6, 130/4). La double présence de lingots et d'objets de cuivre pur et d'objets finis en bronze montre cependant que les bronziers locaux – par exemple ceux d'Auvernier – fabriquaient eux-mêmes leur alliage et devaient donc disposer d'étain. Or les rares objets d'étain pur qui

nous sont parvenus indiquent que d'éventuels lingots de ce métal n'ont pas pu être entièrement rongés par la «peste» de l'étain. Il se pourrait donc que l'étain ait été ajouté au cuivre en fusion, en milieu réducteur (par exemple sous une couche de charbons), sous sa forme native et oxydée de concentré de cassitérite (SnO_2). La cassitérite alluvionnaire (grains arrondis de couleurs variées, le plus souvent inférieurs à 1 cm), en effet, peut fort bien passer inaperçue dans une fouille archéologique (Maréchal 1962, 170-171; Forbes 1972, 154-155; Charles 1975 et 1977).

Quant à *l'origine du plomb* utilisé en Europe centre-occidentale au Bronze final, elle n'a encore fait l'objet, à notre connaissance, d'aucune recherche ni d'aucune hypothèse. Encore faudrait-il être sûr que le plomb a toujours été allié volontairement et qu'il ne représente pas simplement une impureté du cuivre, dont il peut parfois constituer une part importante, comme le montre l'analyse moyenne des cuivres du Tyrol ou de Transylvanie (Pittioni 1980/2, 86), ainsi que celle d'un lingot d'Auvernier même (31/1) contenant 0% d'étain et 0.88% de plomb. Les objets à haute teneur en plomb, cependant (18/9, 22/7, 24/4, 24/9, etc.), ainsi que la variation de cette teneur entre des objets identiques quant à leur cuivre montrent que le plomb devait bien être disponible sous forme de métal ou de galène dans les ateliers de fondeurs, ce que confirme la présence d'un poids en plomb dans les anciennes collections d'Auvernier (Rychner 1979, pl. 130/11). Comme pour la cassitérite l'ajout direct de la galène (sulfure naturel de plomb, PbS) au cuivre, en fusion réductrice, était parfaitement possible, pour peu qu'elle ait été auparavant grillée, c'est-à-dire oxydée (Maréchal 1964, 328). Le plomb est très largement répandu dans le massif alpin (Kündig/de Quervain 1953, 122-130) et dans toutes les régions de France (Maréchal 1962, 222-223).

3.5. Addendum 1986

Depuis janvier 1984, la poursuite de nos recherches en paléométallurgie a permis de définir, au moins provisoirement, les principaux types de cuivre utilisés à l'ouest du Plateau suisse et dans le Bassin lémanique, entre le Bronze moyen et la fin du Bronze final. Il est apparu qu'ils se distinguaient les uns des autres non seulement par le niveau absolu des différentes teneurs en impuretés, mais aussi, et peut-être plus encore, par l'importance relative des impuretés les unes par rapport aux autres. C'est ainsi que des périodes typologico-chronologiques ont pu être caractérisées par un ou plusieurs «schémas de composition», mis en évidence par des classifications hiérarchiques ascendantes utilisant comme critère de distance le chi-carré et non le carré de la distance euclidienne, comme nous l'avons fait pour Auvernier. Ces travaux ont confirmé le rôle prépondérant de l'arsenic, de l'antimoine, du nickel et du cobalt. A la lumière de nos dernières recherches, le but de ce petit addendum est donc de reconsidérer sommairement l'ensemble d'Auvernier/Nord, sans doute moins monolithique que nous le pensions, et dont les différentes composantes apparaissent dès lors plus clairement. Nous nous référons dans cet exposé à nos publications des matériaux de Morges (1986 a), d'Echallens (1984 b), de Genève/Les Eaux-Vives (1986 b) et de la région des Trois-Lacs (1986 c).

Relevons, pour commencer, l'erreur que nous avons probablement commise en décidant d'aligner artificiellement les mesures de Boillat SA sur celles du L.R.M.F., au moins en ce qui concerne l'arsenic. La base de cette «calibration» (voir ci-dessus, p. 22) était en effet l'évaluation chiffrée de la divergence, importante, constatée entre les deux laboratoires dans leurs séries de mesures de 1980 (Rychner 1981). En fait, si l'on examine les analyses comparées des cinq objets témoins (annexe 1, p. 97), on constate que le L.R.M.F. mesure, certes, plus d'arsenic que Boillat SA, mais que la différence moyenne n'atteint que 6.72% relatifs. S'il fallait «calibrer», le facteur de multiplication 1.07 avait donc des chances d'être plus adapté que ceux que nous avons utilisés (1.34 et 1.42). Or, la suite des analyses comparées de ces cinq objets témoins (nous en rendrons compte ailleurs), en particulier à l'EMPA de Dübendorf (émission atomique), au British Museum de Londres (absorption atomique) et au Max-Planck-Institut de Heidelberg (activation neutronique), a montré que les teneurs d'arsenic mesurées par Boillat SA se situaient parfaitement dans la moyenne des cinq laboratoires principaux (L.R.M.F., Boillat SA, EMPA, British Museum, Max-Planck-Institut), alors que les valeurs du L.R.M.F. la dépassaient toujours un peu. Nous avons donc certainement faussé nos résultats en prenant le L.R.M.F. comme étalon. En tout état de cause, il convient donc, pour l'arsenic, de prendre en considération les mesures brutes de Boillat SA, données en annexe 4 (p. 102). C'est sur elles, en tout cas, que nous nous appuyons dans cet addendum. Quant à l'argent, élément à propos duquel les divergences entre Boillat SA et le L.R.M.F. étaient les plus frappantes, les vraies valeurs semblent devoir se situer à peu près à mi-chemin entre celles des deux laboratoires.

Le schéma de composition de loin le plus important à Auvernier/Nord est $Sb > As > Ni > Co$. Il concerne 55.3% des cent trente-deux objets analysés. C'est le schéma typique du Ha B final en Suisse occidentale, bien mis en évidence à Morges, et auquel se rattache la totalité des objets de Corcelettes analysés par le L.R.M.F. Ce schéma apparaît cependant dès avant le début du style Ha B2, comme le montrent certains objets de Morges (100, 103). La présence, aussi bien à Auvernier même (9/2, 27/2, 31/2)

qu'à Corcelettes (Rychner 1984 a, fig. 1/2-3 et p. 77), de lingots et d'objets finis de ce type de cuivre pur est importante. Elle montre, en effet, que l'apparition, vers la fin du Bronze final, de ce nouveau schéma d'impuretés, a toutes les chances de correspondre à l'arrivée d'un nouveau type de matière première, et non à la simple usure par refonte des cuivres typiques du Ha A2-B1.

Le deuxième type de composition en importance est *Sb > As = Ni > Co* (treize objets, 9.8%), où nous comptons comme égales des valeurs différentes jusqu'à 5% relatifs (remarque valable également pour les autres schémas mentionnés). Nos recherches actuelles montrent que ce schéma, très apparenté au premier, revêt la même signification chronologique. Il est surtout attesté au Ha B final, par exemple à Genève/Les Eaux-vives (203, 204, 231) et à Morges (139, 134, 140 et 132, dans le groupe 2.3), mais apparaît lui aussi dès le Ha A2-B1 (Morges, 91).

Le schéma *Sb = As > Ni > Co* (sept objets: 6/3, 8/6, 8/10, 14/1, 19/2, 25/5, 27/4) est de toute évidence à considérer comme un avatar du type Sb > As > Ni > Co . Il n'y a rien à dire de spécial de la morphologie des objets correspondants.

Le schéma *Sb > Ni > As > Co* , à Auvernier/Nord, concerne lui-aussi 9.8% des objets analysés. C'est un des deux plus fréquents au Ha A2-B1, aussi bien à Morges (surtout groupe 2.2) que dans la région des Trois-Lacs. Des treize compositions concernées, cinq sont en fait à rattacher au groupe Sb > As = Ni > Co à cause de leur trop faible rapport Ni > As (5/3, 13/5, 20/2, 21/6, 23/3). Le bas niveau de ses teneurs relie la phalère 16/2 au groupe 2.2 des Eaux-Vives, qui est en majorité antérieur à Ha B2. Des sept autres objets, pour autant qu'ils soient morphologiquement caractéristiques, aucun n'évoque le Ha A2 ou le Ha B1 (7/3, 14/3-5, 23/4, 21/5, 24/9). On peut juste remarquer que le bracelet 7/3 (forme 1, variante 5) est typologiquement un des plus anciens de son genre.

La relative abondance (21 objets, 15.9%) des objets à *arsenic dominant*, rares dans le Bronze final palafittique, nous apparaît comme une des originalités métallurgiques d'Auvernier/Nord. Le schéma le plus courant est As > Sb > Ni > Co , qui concerne douze objets: 8/4, 18/4, 19/1 22/2, 24/6, 24/7, 25/5, 25/6, 26/4, 28/9, 28/13, 29/4. La composition de 24/6, avec antimoine, nickel et cobalt faibles, est caractéristique du Bronze moyen, ce que confirme la teneur en plomb inférieure à 0.1% (Rychner 1986 c). Cette faucille, qui est à coup sûr du Bronze final, résulte donc probablement de la refonte d'un objet Bronze moyen. La lance 18/4 (type Vénat), à teneurs uniformément basses, est un des rares objets «étrangers» à Auvernier/Nord (voir p. 62 et 81). Dans ce cas, l'examen interne de l'objet confirme donc le diagnostic morphologique. Des autres objets à arsenic dominant, on ne peut, en revanche, rien dire de particulier. Ils s'inscrivent parfaitement dans le style Ha B2 des bronzes d'Auvernier/Nord. Il en va de même de l'unique objet de schéma As > Sb > Ni = Co (19/5) et des deux objets de schéma As > Ni > Sb > Co (8/3, 21/9). Les six dernières compositions à arsenic dominant (9/19, 18/2, 20/8, 24/16, 28/14, 31/1) sont spécialement peu orthodoxes dans la mesure où le cobalt, d'ordinaire la plus faiblement représentée des quatre impuretés retenues, dépasse l'antimoine (31/1) ou même le nickel et l'antimoine (9/19, 18/2, 20/8, 24/16, 28/14). Cette composition surprenante correspond dans deux cas (bracelet 9/19, faucille 24/16) à une morphologie curieuse. Mais la présence dans ce lot d'un des deux seuls fragments de lingot plano-convexe d'Auvernier/Nord, nous paraît importante. Bien que son schéma ne soit pas exactement celui des autres objets (As > Co > Ni > Sb, avec très forte dominance de l'arsenic et grande faiblesse de l'antimoine), ce fragment pourrait tendre à montrer, en effet, que ce type de composition correspond lui-aussi à l'utilisation d'une matière première bien définie et non pas au recyclage de plusieurs types de cuivres plus anciens. Une autre remarque paraît s'imposer: 9/19, 18/2, 20/8, 24/16, et 28/14 sont tous des fragments destinés à la refonte. Les formes de 9/19 et 24/16 sont franchement étrangères à la Suisse occidentale, celle de 18/2 est pour ainsi dire paneuropéenne, et on ne peut rien dire de celles de 20/2 et 28/14. Il est donc tout à fait possible de considérer l'ensemble de ces fragments de composition aberrante non comme des déchets de l'activité d'un bronzier local, mais comme un lot de matière première inhabituelle, peut-être arrivé de l'est des Alpes, comme l'indiquerait la forme de la faucille 24/16 (voir p. 65).

Les cuivres à arsenic dominant ne représentent à Morges et à Genève/Les Eaux-Vives que 7.4 et 8.1% des objets analysés. Un des deux objets de Morges, de schéma As > Co > Sb = Ni (137), correspond parfaitement à la série d'Auvernier que nous venons d'évoquer. Il s'agit d'une hache à ailerons de type Ha B2 parfaitement normal. L'autre objet (142) est une hache à douille à bords pincés, donc un intrus au point de vue typologique. Les quatre impuretés sont toutes inférieures à 0.1%. Le même type de composition se retrouve dans un couteau Ha B1 des Eaux-Vives (223). Les deux autres objets à arsenic dominant de ce site genevois sont une faucille difficilement datable (218) et un couteau Ha B2 (228). Le type à cobalt très fort n'y est pas attesté. Les schémas à arsenic dominant sont également connus dans le dépôt d'Echallens (6, 7, 21, 22). Il s'agit de deux lingots et de deux haches à douille de type launacien, mais les teneurs sont extrêment basses et le cobalt nul, en tout cas inférieur à 0.1%.

Deux objets seulement relèvent des schémas à *nickel dominant*. La phalère 13/4 n'a pas grand chose de commun avec les compositions à nickel dominant du Ha A2 des Trois-Lacs et du Léman, caractérisées par d'assez fortes teneurs, y compris de

cobalt. La composition de 4/5, quant à elle, avec le plomb inférieure à 0.1% et son schéma Ni > As > Sb > Co à arsenic, antimoine et cobalt faibles, représente l'autre grand type de composition du Bronze moyen (Rychner 1986 c).

Le schéma Ni = As > Sb > Co du fragment de faucille 24/14 est à rapprocher indifféremment du groupe à nickel dominant ou de celui à arsenic dominant.

En conclusion, il apparait que le matériel d'Auvernier/Nord est avant tout caractérisé par les types de composition Sb > As > Ni > Co et Sb > As = Ni > Co, ce qui correspond bien à sa morphologie essentiellement récente, de type Ha B2. La présence encore marquée de cuivre Sb > Ni > As > Co, qui nous paraît pour le moment caractéristique du Ha A2-B1, sans compter celle de deux compositions franchement Bronze moyen, pourrait indiquer qu'Auvernier/Nord représente dans le Ha B2 un stade moins avancé que Corcelettes, dont les trente-sept objets analysés se rattachent exclusivement au schéma Sb > As > Ni > Co. Déjà soulevée (Rychner 1984 b, 367; 1986 a, 128; 1986 d; Rychner/Ruoff 1986, 79, 152), cette hypothèse se marie bien avec la date dendrochronologique d'Auvernier/Nord (de 878 à 850 av. J.-C.), trop haute d'un siècle si l'on estime que l'abandon d'Auvernier/Nord doit correspondre à celui des palafittes en général et à la fin de l'âge du Bronze, située historiquement vers 750 av. J.-C.