Les témoignages du travail du fer et du bronze provenant des fouilles En Selly à Avenches en 1997

Autor(en): **Serneels, Vincent / Wolf, Sophie**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de l'Association Pro Aventico**

Band (Jahr): **41 (1999)**

PDF erstellt am: **20.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-245923

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Les témoignages du travail du fer et du bronze provenant des fouilles *En Selley* à Avenches en 1997

Vincent Serneels et Sophie Wolf

Résumé

Les 35 kg de déchets métallurgiques récoltés au cours des fouilles d'Avenches/*En Selley* se répartissent en deux ensembles distincts.

Le premier complexe contient des scories en forme de calotte d'aspect et de taille variables ainsi que d'autres déchets liés au forgeage du fer. Les analyses chimiques de ce matériel montrent des teneurs anormalement élevées en cuivre, plomb et étain qui indiquent que le travail des alliages à base de cuivre a également été pratiqué sur place.

Le second ensemble provient presque exclusivement du travail de fonderie des alliages à base de cuivre. On reconnaît des déchets métalliques, des éléments de construction d'un fourneau et des fragments de moules avec des empreintes de grande taille. On constate l'absence des creusets en terre cuite habituellement associés avec la fonderie d'époque romaine. Par contre, les morceaux d'argile sableuse partiellement fondus, de couleur noire et d'aspect vitreux forment une catégorie inhabituelle et particulièrement bien représentée *En Selley*. Quelques pièces portent des traces d'une ou plusieurs cordelettes. Cette armature a probablement servi à accrocher un revêtement d'argile sur l'extérieur d'un récipient en métal, peut-être un creuset en fer. Les analyses chimiques et minéralogiques montrent que les différents déchets dérivent tous d'un même mélange homogène d'argile, de sable de quartz et de poils d'animal. L'ensemble semble cohérent et pourrait correspondre à l'arasement, au moins partiel, d'un atelier de fonderie.

Zusammenfassung

Die 35 kg Materialabfälle, die aus dem Metall verarbeitenden Atelier in Avenches/*En Selley* gesammelt worden sind, gliedern sich in zwei Gruppen.

Die erste Gruppe umfasst die kalottenförmigen Schlacken unterschiedlichen Aussehens sowie die Schmiedeabfälle. Die chemische Analyse der Schlacken ergab ungewöhnlich hohe Gehalte an Kupfer, Blei und Zinn, was die Verarbeitung von Bronzelegierungen am gleichen Ort belegt.

Zur zweiten Gruppe gehören fast ausschliesslich Reste aus den Schmelzprozessen von Kupferlegierungen. Zu erkennen sind Metallabfälle, Elemente des Schmelzofens und Teile von tönernen Formen, die dem Guss von grossen Stücken gedient haben. Gusstiegel aus Ton, die in der Regel zur römischen Bronzegiesserei gehören, fehlen. Hingegen liegt eine Reihe von ungewöhnlichen, schwärzlichen Brocken aus sandigem Ton vor, die teilweise durch Hitzeeinwirkung vitrifiziert worden sind. Einige dieser Stücke weisen Abdrücke von Schnüren auf. Es sind vielleicht die Spuren einer Art von Halterung zum Fixieren einer Tonschicht rund um ein Metallgefäss, bei dem es sich möglicherweise um einen eiserner Gusstiegel handelte. Die chemischen und mineralogischen Analysen ergeben für die Abfälle dieselbe homogene Zusammensetzung aus quarzhaltigem Ton, vermischt mit tierischen Haaren.

Insgesamt scheint der untersuchte Befund auf eine zumindest teilweise abgebrochene Giessereianlage hinzuweisen.

Introduction

Un peu plus de 35 kg de déchets métallurgiques ont été récoltés au cours des fouilles au lieu-dit *En Selley* à Avenches en 1997-8 (fig. 1). Les matériaux examinés sont de natures très diverses. La plus grande partie sont des déchets liés à la métallurgie, soit du fer, soit des alliages à base de cuivre. Les autres sont des matériaux argilo-sableux, des céramiques au sens large. Sur ce site cependant, ils sont clairement associés aux déchets caractéristiques du travail des alliages à base de cuivre ce qui permet de les interpréter sans ambiguïté.

Diverses classes morphologiques ont été distinguées sur la base de l'examen macroscopique (forme, aspect, couleur, etc.). Le matériel a été quantifié (comptage, poids). En fonction des différentes problématiques, des analyses chimiques globales (20 échantillons) et des lames minces (12 échantillons) ont été étudiées au laboratoire (Serneels 1993).

Les déchets métallurgiques proviennent de deux ensembles du secteur sud (L 3-4) qui se distinguent nettement l'un de l'autre. La plus grande partie des déchets associés à la métallurgie du cuivre provient du comblement d'une cave (structure 1, K 10284). Ces niveaux sont datés du IIe et du début du IIIe siècle de notre ère. Les scories de fer proviennent pour la plupart d'une fosse située au nord de la cave mentionnée et faisant partie d'un horizon stratigraphique plus ancien (K 10286). Ces déchets sont datés du Ier siècle de notre ère. Ces deux ensembles reflètent clairement des activités métallurgiques différentes. (voir *supra* dans ce volume P. Blanc, *Rapport sur les investigations 1997-1998* En Selley et P. Blanc *et al.*, *Avenches*/En Selley, *investigations 1997: quelques repères sur l'occupation tardive d'un quartier périphérique d'*Aventicum (insula *56). Structures et mobilier des IIIe et IVe s. ap. J.-C.*).

1. Le complexe 10286 et le travail des métaux ferreux

L'organisation du travail du fer à l'époque romaine

A l'époque romaine, le fer est produit par la méthode directe (Serneels 1998). Le minerai est extrait du sous-sol et préparé par des techniques simples: lavage, grillage, etc. Il est réduit en métal dans un bas fourneau par une réaction à l'état solide. Le produit est une éponge de fer, bloc de métal plus ou moins compact et plus ou moins mélangé avec de la scorie résiduelle. La plus grande partie des impuretés du minerai est évacuée sous la forme d'une scorie liquide riche en fer. Après le défournement, l'éponge doit être épurée par chauffage et martelage (raffinage) pour obtenir une barre de métal forgeable aussi homogène que possible. Les objets sont produits à partir de ces barres, par déformation à chaud principalement, lors du forgeage. Divers traitements thermiques, comme la trempe et le recuit, peuvent être appliqués au métal afin de lui conférer les propriétés physiques recherchées, en particulier la dureté.

Les recherches actuelles montrent que la production de fer en Suisse à l'époque romaine a du être assez limitée (Senn et Serneels 1994). Alors que plusieurs centaines

N° complexe	Cuivre		Fer		Total	%
	10284	autres	10286	autres		
ARGILO-SABLEUX						
Cailloux fondus	110	56			166	
Torchi/argile cuite	405	171			576	2
Argile cuite informe	442				442	1
Paroi de foyer		53			53	
Fond de foyer	3160	109			3269	9
Elément soufflerie	125				125	
Tuileau	2810	6			2816	8
Argile construction	1662				1662	5
Scorie argilo-sableuse				66	66	
Total argilo-sableux					**9174**	**25**
BASE CUIVRE						
Métal Base Cu	1604	147			1751	5
Scorie Cu	6725	270	23		7018	19
Creuset	3898	251			4149	11
Moule	5697	54			5751	16
Total base cuivre					**18492**	**51**
BASE FER						
Métal Base Fe	120			40	160	
Scorie Fe Calotte			6853	669	7522	21
Scorie Fe Informe				232	232	1
Scorie Fe Rouillée		4	1054	38	1095	3
Total base fer					**9008**	**25**
Total	26758	1119	7929	1044	36850	100
%	73	3	21	3	100	

Fig. 1. Inventaire global des déchets métallurgiques de la fouille d'Avenches/En Selley. *Les poids sont exprimés en grammes.*

d'ateliers de réduction sont identifiés en Suisse, principalement dans la chaîne du Jura, on n'a reconnu des indices d'époque romaine que dans deux régions seulement: à Ferreyres VD (Pelet 1993) et à Laufon BL (Martin-Kilcher 1980). Les minerais sidérolithiques du Jura ne semblent donc pas avoir été exploités sur une grande échelle. Dans plusieurs régions de l'Empire, on connait de très grandes exploitations produisant manifestement des surplus importants, en particulier en Gaule: Yonne, Montagne Noire, Entre-Sambre-et-Meuse (Serneels/Mangin 1996) mais aussi dans les autres provinces (Davies 1935). Un intense commerce de lingots de fer et sans doute d'objets finis semble être en place. La découverte récente de plusieurs épaves chargées de lingots de fer en Méditerranée occidentale en est l'illustration la plus manifeste (Parker 1992, Long 1997).

En Suisse romaine, le fer est un métal couramment employé dans tous les aspects de la vie quotidienne. Il est largement disponible, comme en témoignent les grandes quantités d'objets qui sont retrouvées sur les sites de cette époque. Il est aussi travaillé dans d'innombrables forges comme en témoignent les très nombreuses découvertes de scories de forge de cette période (Schaltenbrand Obrecht 1996, p. 218). Ces ateliers sont présents dans les villes, les villages et les établissements ruraux.

Le travail de forgeage du fer se pratique dans un foyer muni d'un soufflet. Le fer est introduit dans le feu de charbon de bois et porté à haute température. Il est ensuite martelé sur l'enclume.

Au cours du martelage, la pellicule d'oxydes de fer qui se forme sur le fer chaud au contact de l'air est brisée en fines particules, les battitures. Celles-ci s'accumulent autour de l'enclume et se mêlent au sédiment. Dans le fond du foyer de forge, diverses substances non combustibles s'accumulent et se mélangent. Si les températures sont suffisantes, le tout subit une fusion et forme une scorie en dessous de la zone la plus chaude, c'est-à-dire sous l'arrivée de l'air du soufflet. Il en résultera, après refroidissement, un bloc plus ou moins hémisphérique de scorie (scorie en forme de calotte).

Les matières qui contribuent à la formation de cette scorie ont des origines diverses. Les cendres du charbon de bois sont le résidu normal de la combustion et peuvent être incorporées. Avec le charbon, des morceaux de pierre ou de terre cuite venant de la couverture de la meule du charbonnier ou de son substrat, peuvent être introduits. Des particules de métal peuvent tomber accidentellement dans le foyer. Des battitures peuvent être amenées directement en tombant dans le foyer ou en se détachant lors des phases de chauffage. Enfin, pour faciliter le travail de soudure et nettoyer les surfaces de la pellicule oxydée, le forgeron utilise un décapant, souvent du sable ou de l'argile, qu'il dépose sur le métal. Le sédiment du sol et des parois du foyer peut aussi contribuer à la scorie. D'autres déchets produits par d'autres activités métallurgiques menées à bien dans le même atelier peuvent aussi être incorporés accidentellement, comme des chutes de bronze. Enfin, lorsque l'on travaille un fer incomplètement purifié, on peut introduire de la scorie de réduction encore contenue dans ce métal sous forme d'inclusions.

Au cours du travail de forge, des scories informes peuvent également être produites dans le foyer. Les parois du foyer subissent aussi l'action de la chaleur et fondent plus ou moins pour former des scories argilo-sableuses ou des parois scorifiées.

Les scories de forge d'*En Selley*

Le complexe 10286 a livré un peu moins de 8 kg de déchets métallurgiques. La plus grande partie est constituée par 13 scories en forme de calotte entières ou assez bien conservées. Ces pièces étaient accompagnées de 30 fragments plus petits et informes de scorie fayalitique qui pourraient appartenir également à des objets similaires, rendus méconnaissables par la fracturation. Un seul petit fragment de scorie de cuivre a été observé. Aucun élément du revêtement interne du foyer de forge n'a été retrouvé. Le sédiment n'a pas fait l'objet d'un prélèvement et il n'est pas possible de se prononcer sur la présence de battitures en quantité importante. Quelques battitures ont été observées dans la croûte d'oxydation des scories.

Les 13 calottes sont assez différentes les unes des autres. Cette variation est bien exprimée sur l'histogramme des poids qui se répartissent entre 150 et 1500 gr sans que l'on observe de groupement particulier. La taille, la forme et l'aspect varient de la même manière (fig. 2). Les quatre

SCORIES EN CALOTTE N° éch.	Poids conservé gr	Conservation %	Poids estimé gr	Densité apparente	Longueur cm	Epaisseur cm	Aspect			
							Surface supérieure		Surface inférieure	
AVS 503	251	100	250	moyen	8.0	4.5	plan	rouillé	convexe	rouillé
AVS 511	1435	100	1450	lourd	14.0	6.0	convexe	rouillé	convexe	rouillé
AVS 512	951	90	1050	moyen	15.0	5.5	concave	gris	convexe	gris
AVS 513	320	100	320	léger	12.0	5.0	plan	vitreux	convexe	gris
AVS 514	639	100	640	moyen	11.0	6.0	concave	rouillé	convexe	rouillé
VAS 515	1173	120	980	moyen	15.0	8.0	convexe	rouillé	cassé	
AVS 516	205	100	205	moyen	7.0	3.5	plan	rouillé	convexe	rouillé
AVS 517	1365	95	1440	moyen	16.0	8.5	concave	gris	convexe	gris
AVS 518	313	?	?	moyen	8.0	5.5	convexe	vitreux	convexe	gris
AVS 519	526	?	?	moyen	10.0	4.5	plan	vitreux	convexe	gris
AVS 520	166	?	?	moyen	?	3.0	plan	rouillé	convexe	rouillé
AVS 521	361	80	450	moyen	9.0	4.0	convexe	rouillé	convexe	rouillé
AVS 522	148	100	150	léger	7.0	4.0	convexe	vitreux	convexe	vitreux

Fig. 2. Description macroscopique des scories en forme de calotte d'Avenches/En Selley.

AVS Lausanne CAM	391 scorie rouillée	511 calotte	512 calotte	513 calotte	5191 calotte sup	5192 calotte inf
SiO2	8.24	8.84	37.60	68.69	52.56	23.82
TiO2	0.08	0.10	0.31	0.39	0.52	0.22
Al2O3	1.70	1.93	6.97	8.66	12.46	4.78
Fe2O3	70.90	60.37	24.70	2.01	9.75	31.51
FeO	1.25	14.84	16.01	7.61	11.52	24.35
Fe métal	10.50	0.00	1.30	0.00	0.00	3.91
MnO	0.04	0.05	0.12	0.12	0.12	0.09
MgO	0.66	0.53	1.24	1.75	2.07	1.00
CaO	4.06	2.26	7.41	5.69	4.71	7.04
Na2O	0.09	0.13	0.84	1.29	1.23	0.55
K2O	0.50	0.35	2.46	2.58	3.41	1.66
P2O5	0.29	0.22	0.33	0.44	0.29	0.29
H20	0.00	1.54	0.00	0.54	0.80	0.00
CO2	1.50	5.97	0.13	0.10	0.10	0.12
C. org.	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
PAF						
Somme	99.82	97.39	99.41	99.88	99.55	99.34
Fe tot	61.06	53.75	31.01	7.32	15.78	44.87
Zr	26	25	90	130	118	59
Y	16	17	28	42	39	23
Sr	152	80	215	213	157	213
Rb	48	45	94	61	65	22
Ba	222	167	488	587	562	441
V	9	18	37	52	94	31
Sn	7	202	98	55	89	7
Sb	0	0	0	0	0	0
Ag	2	5	3	2	3	0
As	12	8	4	4	16	11
Pb	245	304	178	353	118	109
Zn	0	9	12	29	44	9
Cu	512	18547	852	755	4982	486
Ni	56	33	19	48	116	132
Cr	42	21	87	59	84	36
Co	371	351	83	62	102	294
Nb	nd	nd	nd	nd	nd	nd

*Fig. 3. Analyses chimiques des scories en forme de calotte d'Avenches/*En Selley. *Analyses effectuées au Centre d'Analyse Minérale de l'Université de Lausanne (*Pfeifer, Lavanchy*). Le calcul du fer métallique est établi selon la procédure décrite dans* Serneels *1993, p. 193.*

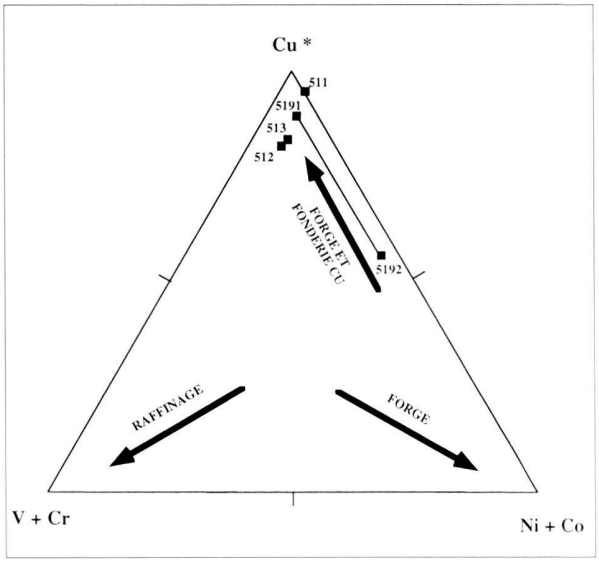


*Fig. 4. Rapports entre les principaux éléments traces dans les scories en forme de calotte d'Avenches/*En Selley. *Le pôle Cu* correspond à la somme des métaux non-ferreux soit: Cu+Pb+Sn+Zn+Ag+Sb.*

échantillons analysés montrent des structures et des compositions chimiques très diverses, depuis des agglomérats de cailloux et autres matériaux argilo-sableux partiellement fondus, pauvres en fer jusqu'à des pièces constituées de fayalite, d'oxydes de fer et de fer métallique (fig. 3). Cette variété reflète une activité non standardisée. Le forgeron travaille à la demande et exécute des travaux divers. Une production de masse, répétitive, donnerait un assemblage de déchets plus homogène.

Par contre, ces scories ont toutes en commun des teneurs relativement élevées en éléments chalcophiles: cuivre (Cu), plomb (Pb), étain (Sn) et même argent (Ag). Assez curieusement, le zinc (Zn) est plutôt peu abondant. Ces traces indiquent que des alliages à base de cuivre étaient travaillés dans le même atelier que le fer (fig. 4, Serneels 1994). Les scories provenant d'autres fouilles d'Avenches, étudiées précédemment, montrent aussi cette particularité (Serneels 1993, p. 162-166).

Les éléments accompagnateurs du fer, nickel (Ni) et cobalt (Co), présentent des rapports variables (de 1:1 à 1:10) ce qui laisse supposer que du métal de diverses origines est utilisé. Les éléments typiques des minerais de fer, en particulier du Sidérolithique du Jura, le vanadium (V) et le chrome (Cr), sont peu abondants. On peut donc exclure que du fer brut du Jura ait été travaillé dans ce cas. Dans l'état actuel des connaissances, il reste cependant impossible d'attribuer une origine précise au fer employé dans cet atelier.

Une autre constatation est intéressante: le rapport entre la silice (SiO2) et l'alumine (Al2O3) est stable, proche de 0.2, ce qui montre que malgré des différences dans la quantité de matériaux argilo-sableux entrant dans la scorie, la nature de ceux-ci ne varie pas beaucoup. On trouve aussi d'assez bonnes corrélations entre SiO2 et TiO2, Zr, Y et Ba. Cette observation renforce la précédente.

Par contre, la chaux (CaO), la soude (Na2O) et la potasse (K2O) se comportent indépendamment ce qui confirme que ces substances sont principalement apportées par les cendres du charbon de bois.

Ces scories de fer ont été produites dans le même atelier, utilisant toujours les mêmes matériaux argilo-sableux et pratiquant aussi la métallurgie des alliages à base de cuivre. L'activité du forgeron est variée, comme le montre les grandes différences d'aspect des scories. Il travaille probablement avec des métaux d'origines diverses et probablement importés.

L'assemblage de déchets, avec une très forte proportion de scories en forme de calotte et pratiquement aucun élément de foyer, est le témoignage d'un rejet sélectif. Les déchets les plus encombrants et les plus faciles à collecter dans l'atelier de forge ont été réutilisés comme matériaux de remblais. La quantité de déchets est très faible mais ne représente certainement pas l'ensemble des scories produites initialement.

2. Le complexe 10284 et la métallurgie des alliages à base de cuivre

L'organisation du travail des métaux cuivreux à l'époque romaine

Les minerais de cuivre sont assez variés, sulfures, oxydes et carbonates, qui demandent des traitements métallurgiques divers, bien maîtrisés à l'époque romaine. Le cuivre est obtenu sous la forme d'un liquide qui peut être moulé en lingots à la sortie du fourneau. Les minerais de cuivre étant relativement rares, la production se trouve forcément concentrée dans les régions possédant des minerais. Des gisements existent cependant dans de nombreuses régions de l'Empire romain. Chypre et l'Espagne sont certainement deux grandes régions productrices mais il existe une multitudes d'autres mines attestées.

Dans certains cas, ce cuivre brut est déjà un alliage à cause de la présence d'autres éléments dans le minerai, comme le fer, le plomb, le zinc, l'arsenic ou l'or et l'argent. Le cuivre brut peut alors soit être utilisé tel quel soit subir un raffinage. A l'opposé, on peut rajouter des éléments d'alliage supplémentaires. C'est le cas pour les bronzes à l'étain car cet élément chimique ne se trouve pratiquement jamais dans les mêmes minerais que le cuivre.

Les Romains utilisaient rarement le cuivre pur mais plutôt les alliages avec l'étain, le plomb et le zinc. Les propriétés physiques comme la couleur, la dureté et la fusibilité de ces alliages sont assez variées. Les bronzes (Cu + Sn) sont durs et jaunes. Les laitons (Cu + Zn) sont durs et jaunes dorés. Les alliages au plomb sont mous et plus ternes. Ces derniers sont par contre plus fusibles et donc plus fluides et mieux adaptés à la production d'objets moulés de forme complexe ne demandant pas de qualités de résistance aux chocs élevées, comme les statues et statuettes. On utilise aussi des alliages ternaires et quaternaires.

On sait peu de chose sur l'organisation de la production des alliages eux-mêmes. On connaît des lingots de cuivre pur ainsi que d'étain provenant principalement de trouvailles faites en mer (Parker 1992). La règle générale pourrait donc être que le mélange est fabriqué dans l'atelier de transformation. Des exemples concernant les laitons ont été identifiés récemment (Rehren 1998 ; Picon *et al.* 1995).

Les techniques de mise en forme des alliages à base de cuivre sont mixtes (Pernot 1996). Ils peuvent être soit coulés soit travaillés par déformation plastique lors du martelage. On combine souvent les deux groupes de techniques en procédant au moulage d'une ébauche puis à son martelage jusqu'à l'obtention de l'objet fini. Dans les techniques de fonderie, on distingue l'utilisation des moules permanents, en pierre ou métal, d'une part et des moules non permanents de l'autre. Parmi ces derniers, on distingue le moulage au sable et le moulage à cire perdue dans un moule en argile cuite.

Le recyclage des débris métalliques a toujours été pratiqué. Il le fut certainement à l'époque romaine mais il est très difficile d'évaluer l'importance de cette pratique.

Pour le moment, l'approvisionnement en alliages à base de cuivre de la Suisse romaine n'a pour ainsi dire pas été étudié. Il est possible de trouver des minerais de cuivre dans les Alpes mais aucune preuve de leur exploitation à l'époque romaine n'a été apportée jusqu'à maintenant. Le Jura et le Plateau sont dépourvus de ressource. On ne connaît pas non plus de vestiges liés à la production du métal brut dans nos régions. Le travail des bronzes est par contre fréquemment mentionné sur la base de la découverte de fragments de moules, de creusets ou de chutes de métal, dans les villes, villages et établissements ruraux de l'époque romaine. Les ateliers connus en Suisse sont rares ; celui de Augst est le seul à avoir fait l'objet d'une publication spécifique (Martin 1978). Un quartier d'artisans bronziers avec de multiples ateliers en bon état de conservation et des déchets métallurgiques abondants, a été fouillé récemment à Autun, en Bourgogne (Chardron-Picault et Pernot 1999).

Les déchets du travail des alliages à base de cuivre d'*En Selley*

Les déchets du travail des alliages à base de cuivre à l'époque romaine sont relativement mal connus, la recherche s'étant focalisée sur les périodes plus anciennes.

Les activités de fonderie nécessitent l'emploi de structures de combustion telles que fourneaux et foyers dont les matériaux de construction, en argile le plus souvent, subissent des impacts de chaleur intenses. On utilise des creusets, c'est-à-dire des récipients destinés à contenir le métal en fusion. Ceux qui sont décrits dans la littérature sont généralement en terre cuite réfractaire. On utilise des moules permanents en pierre, en terre cuite ou en métal. Les moules pour la technique de la cire perdue sont en argile plus ou moins cuite. Ils ne sont pas réutilisables ce qui provoque l'accumulation de nombreux fragments mais, étant souvent très peu cuits, ils se conservent mal. Il est évidemment très rare de découvrir ce type de moules non fragmentés. Enfin, le moulage au sable ne laisse pas de vestiges reconnaissables si ce n'est du sable ayant subi une forte chaleur. Jusqu'à maintenant, on n'a pas identifié de vestiges

tuileaux	argile de construction	métal	scories + creusets	moules	somme
2816	6127	1751	11144	5751	27589
10.21	22.21	6.35	40.39	20.85	100.00

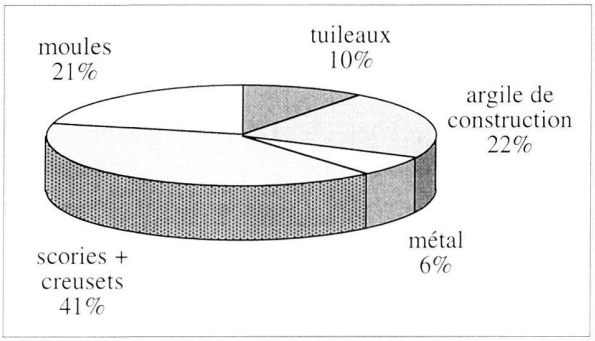


*Fig. 5. Répartition par poids des différentes catégories de déchets métallurgiques liés au travail des alliages à base de cuivre d'Avenches/*En Selley. *La fraction fine n'est pas prise en compte.*

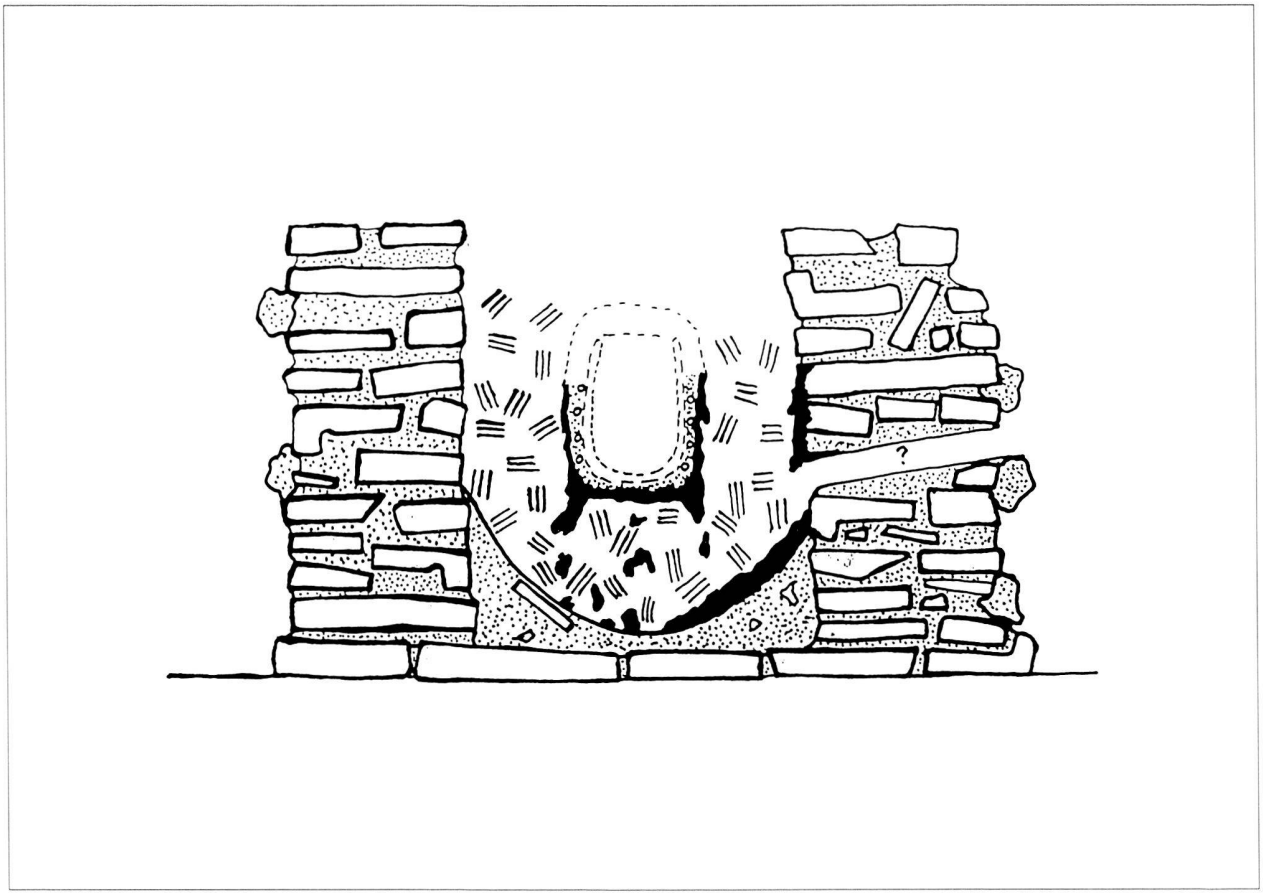


*Fig. 6. Reconstitution du fourneau de fonderie des alliages à base de cuivre d'Avenches/*En Selley *basée sur l'étude des déchets métallurgiques et les parallèles connus.*

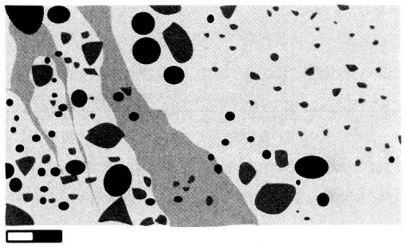
	TUILES	FOND DU FOYER
Inclusions non-plastiques Matrice non-vitrifiée Matrice vitrifiée Verre coloré Pores Cristaux de fayalite Poils d'animal **échelle = 0.5 mm**		
Texture	Argile hétérogène	Argile homogène
Vitrification	Extremité vitrifiée	Hétérogène, plus forte à la surface
Inclusions non-plastiques	5-15 %	10-25 %
(quartz, feldspaths, fragments de roche)	peu arrondis, Ø 1.5-2 mm	peu arrondis, Ø 1,5 mm + poils
Produits recristalisés	–	–
Porosité	< 5 %	< 5 % à l'intérieur
	pores irréguliers	pores irréguliers; 30-40 % aux « bords » (pores ronds. Ø < 2,0 mm)
voir analyses	AVS 7051	AVS 725
voir photos	Fig. 9	

*Fig. 8. Tableau des observations microscopiques sur les différentes catégories de déchets métallurgiques liés au travail des alliages à base de cuivre d'Avenches/*En Selley.

AVS Fribourg IMP	7051 tuile	725 fond foyer	731 creuset	732 creuset	7431 moule interne	7432 moule externe	7441 moule interne	7442 moule externe	801 scorie Cu	802 scorie Cu	804 scorie Cu
SiO2	66.45	67.71	69.33	68.02	69.61	71.15	68.45	70.52	65.75	67.02	62.24
TiO2	0.58	0.56	0.58	0.58	0.58	0.55	0.57	0.58	0.47	0.51	0.55
Al2O3	14.15	13.97	14.98	14.38	13.86	14.24	14.22	14.71	11.78	13.55	14.00
Fe203	4.50	3.87	4.66	4.60	3.19	4.19	3.42	2.19	1.79	4.43	1.83
FeO	0.15	0.60	0.20	0.14	0.90	0.15	1.01	2.24	4.32	0.00	3.20
Fe m.									0.00	0.33	0.00
MnO	0.08	0.11	0.11	0.15	0.08	0.09	0.09	0.11	0.11	0.12	0.13
MgO	2.07	1.75	1.86	1.88	1.59	1.58	1.70	1.74	1.78	1.88	2.23
CaO	5.02	3.49	1.55	3.26	1.30	1.20	1.20	1.06	4.45	2.59	5.66
Na2O	1.58	1.94	2.03	1.91	2.06	2.12	2.08	2.10	1.67	2.01	1.68
K2O	2.80	2.87	3.03	2.96	2.77	2.90	2.87	2.96	2.73	3.35	3.22
P2O5	0.22	0.42	0.18	0.23	0.34	0.22	0.36	0.19	0.22	0.19	0.25
H20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.13	0.00	0.10
CO2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.07	0.07	0.07
C. org.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.00	0.00	0.00
PAF	2.51	2.21	1.12	1.69	3.08	1.43	2.78	1.00			
Somme	100.09	99.50	99.63	99.78	99.36	99.81	98.74	99.40	95.28	96.05	95.17
Fe tot	3.34	3.24	3.45	3.38	3.03	3.09	3.27	3.31	4.61	3.42	3.77
Zr	126	109	128	122	77	109	112	104	142	135	141
Y	33	30	30	31	30	28	29	32	51	54	66
Sr	108	113	77	98	242	74	80	67	155	125	180
Rb	113	115	121	119	112	116	114	119	112	143	148
Ba	495	431	405	405	424	404	466	435	405	383	409
V	74	66	75	68	63	67	73	67	66	80	92
Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2961	3123	4357
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0	0	0
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9	4	7
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9	6	13
Pb	244	281	650	704	1232	718	837	404	6075	7281	11563
Zn	37	22	34	35	31	33	32	34	50	75	81
Cu	30	865	539	619	3084	927	2532	481	10745	9464	16217
Ni	67	56	66	62	55	55	60	60	75	73	94
Cr	101	88	92	83	81	84	81	90	71	75	101
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	86	83	85
Nb	10	9	12	12	26	12	10	11	nd	nd	nd

Fig. 7. Analyses chimiques des différentes catégories de déchets métallurgiques liés au travail des alliages à base de cuivre d'Avenches/ En Selley. *Les analyses ont été effectuées à l'Institut de Minéralogie de l'Université de Fribourg (*Maggetti, Galetti*).*

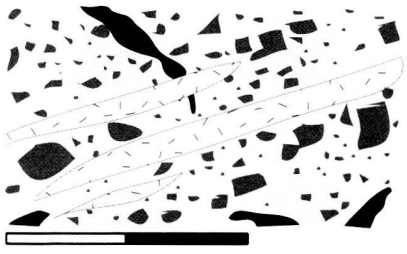
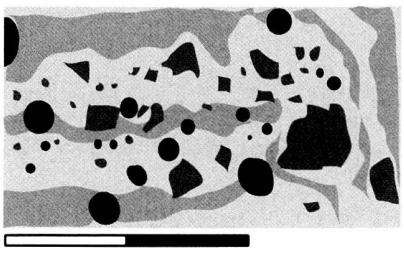
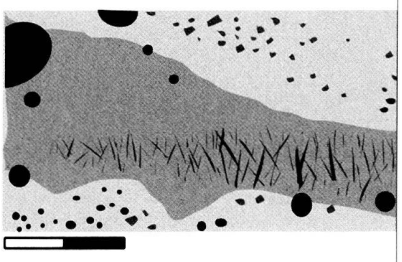
MOULES	CREUSETS	SCORIES
		
Argile homogène non vitrifié 20-25 % angulaires, Ø < 1,0 mm + poils – 20-25 % pores irréguliers	Argile homogène très vitrifié, localement non fondu 20-25 % angulaires, Ø < 1,5 mm + poils fayalite, billes de métal, hydroxydes de fer 20-50 % pores ronds, Ø < 2,0 mm	Argile homogène très vitrifié 15-25 % angulaires, Ø < 1,0 mm + poils fayalite, billes de métal, hydroxydes de fer 15-25 % pores ronds, Ø < 2,0 mm
AVS 7431/2; 7441/2	AVS 731; 732	AVS801; 802; 804
Fig. 10; 16	Fig. 13, 14	Fig. 11; 12; 15

Fig. 8 (Suite)

pouvant être clairement interprétés comme relevant de cette technique mais on ne peut exclure cette possibilité.

En principe, au cours des opérations de fonderie, on ne forme que très peu de scories au sens propre. Par contre, les gouttelettes ou nodules de métal qui tombent à côté du moule sont fréquentes. Certaines pièces métalliques sont particulièrement caractéristiques comme les masselottes ou entonnoirs de coulée.

Les activités de martelage et de mise en forme mécanique laissent surtout des déchets métalliques: chutes et découpes. Les activités de polissage laissent des couches de fines particules de métal, en général altéré en sels ou en oxydes de cuivre.

L'assemblage de déchets métallurgiques livré par le complexe 10284 est assez varié (fig. 1 et 5).

Les scories fayalitiques typiques de la métallurgie du fer sont pratiquement absentes. De même, on ne rencontre que quelques petits fragments de métal ferreux rouillés. Les éléments argilo-sableux, provenant d'une construction, probablement un fourneau, sont assez divers: tuileaux, torchis, éléments informes. Les éléments rattachés directement à la métallurgie des alliages à base de cuivre sont les plus abondants. Ils se répartissent en plusieurs catégories différentes: des résidus métalliques, des fragments de moules, des matériaux complètement scorifiés (scories au sens strict) et d'autres qui ne sont que partiellement scorifiés et correspondent à des fragments de creuset.

Ces différents matériaux ont fait l'objet d'analyses chimiques (fig. 7) et d'observations macroscopiques et microscopiques (fig. 8). L'interprétation globale est présentée à la figure 6.

Le sédiment est principalement constitué de sable et de limons contenant environ 15 % de petits fragments d'argile cuite et de scorie de cuivre. On y trouve aussi 0,1 % de battitures magnétiques.

Les éléments de construction du fourneau

La plus grande partie des matériaux en terre cuite montrent des traces d'impact de chaleur anormal et proviennent donc probablement de la démolition d'un fourneau. Sur la base de l'examen détaillé de ces débris et en se référant aux parallèles connus, il est possible de proposer une reconstitution hypothétique de cette structure (fig. 6). La construction était bâtie au moyen de fragments de tuiles de récupération, empilés horizontalement et liés avec de l'argile. Les tuileaux utilisés dans la construction sont faits avec de l'argile sableuse qui n'a été que sommairement travaillée (fig. 9). Les inclusions non plastiques sont réparties de manière hétérogène dans la matrice argileuse. Il semble qu'il n'y a pas eu d'ajout volontaire de dégraissant. Les joints sont épais de 1 à 2 cm. Des bouchons d'argile, de formes irrégulières, ont été placés à l'extérieur de manière à colmater des fuites dans la structure. Ils portent nettement les empreintes des tuileaux et parfois la trace des doigts de l'artisan.

La hauteur de la construction ne peut pas être restituée objectivement. Elle n'excède probablement pas 50 cm. Aucun élément se rapportant à une superstructure en forme de coupole, par exemple, n'a été mis en évidence. En plan, la structure était probablement quadrangulaire à l'extérieur. Par contre, la cuve interne est certainement de plan circulaire. Elle possède un diamètre interne de 30 à 35 cm. L'épaisseur des parois ne devait pas être supérieure à 10 ou 20 cm, compte tenu des dimensions des tuileaux utilisés. Les dimensions externes peuvent donc être estimées entre 50 et 80 cm.

Le fond de la cuve est constitué par des éléments de tuile plate (*tegulae*) recouverts par une couche d'argile compactée. La surface du fond de la cuve est concave et hémisphérique, comme le montrent plusieurs fragments. Le matériau qui constitue ce garnissage interne incorpore environ

Légendes de la page 119

Fig. 9. Fragment de tuile AVS 705. La matrice argileuse sombre est hétérogène et les inclusions non plastiques (claires) sont irrégulièrement distribuées. Photo en lumière polarisée. Longueur de l'image: 3,5 mm. Photo S. Wolf, Fribourg.

Fig. 10. Fragment de moule AVS 741. La céramique est homogène. Les inclusions non plastiques sont très anguleuses. Les poils d'animaux apparaissent sous la forme de bandes étroites claires. Photo en lumière naturelle. Longueur de l'image: 1,7 mm. Photo S. Wolf, Fribourg.

Fig. 11. Scorie de cuivre AVS 806. La couche extérieur (à droite) est un verre rougeâtre riche en cuivre dans lequel recristallisent des cristaux de fayalite et des oxydes de fer. La partie interne (à gauche) est un verre incolore (noir) contenant un grand nombre de grains de quartz anguleux (clair). Photo en lumière polarisée. Longueur de l'image: 3,5 mm. Photo S. Wolf, Fribourg.

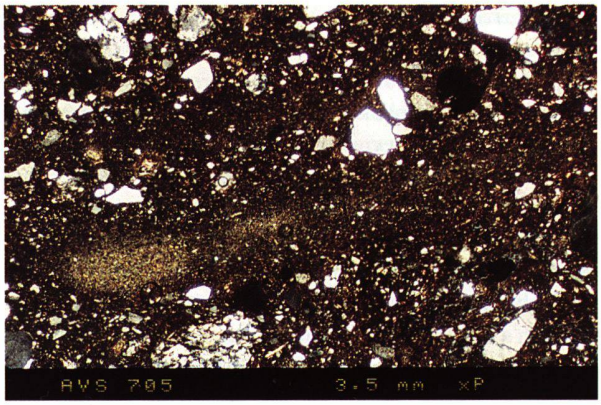
Fig. 12. Scorie de cuivre AVS 807. La matrice est vitreuse avec une alternance de bandes sombres ou claires. La porosité est sphérique (blanc). Les inclusions non plastiques sont des grains de quartz anguleux (clair). Photo en lumière naturelle. Longueur de l'image: 3,5 mm. Photo S. Wolf, Fribourg.

Fig. 13. Quatre fragments de revêtement externe de creuset. Les empreintes de ficelles parallèles sont encore visibles dans la partie incomplètement fondue. Photo S. Wolf, Fribourg

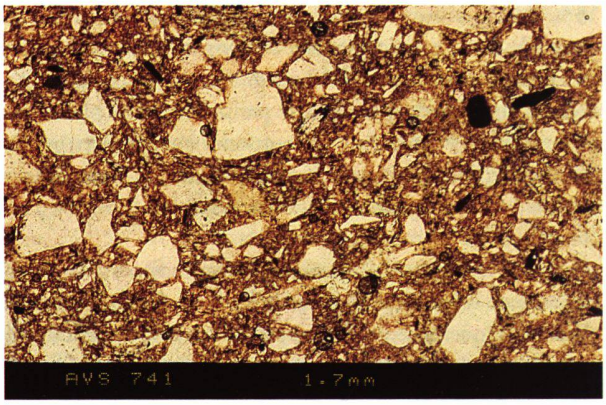
Fig. 14. Cinq fragments de revêtement externe de creuset. La partie vitrifiée est noire et la partie cuite orange. Photo S. Wolf, Fribourg.

Fig. 15. Cinq fragments de scories de cuivre en forme de nodule ou de stalactite. Verre noir avec localement des reflets rouges. Photo S. Wolf, Fribourg

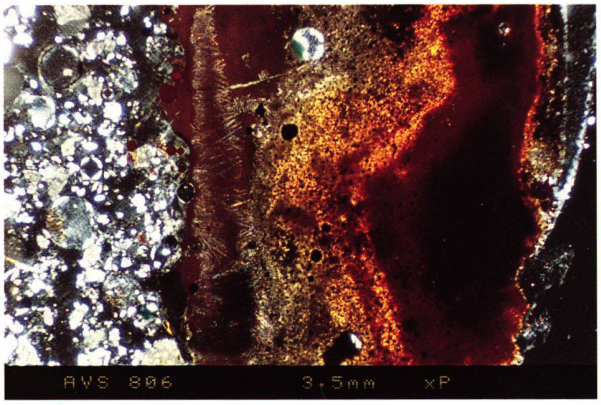
Fig. 16. Fragment de moule. On distingue nettement deux enrobages successifs. La partie interne friable présente une couleur noire (cuisson faible et réductrice) alors que la partie externe est dure et claire (cuisson forte et oxydante). Photo S. Wolf, Fribourg.



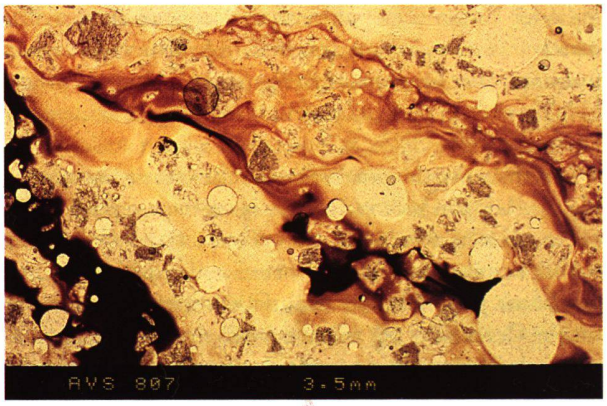
9



10



11



12

13

14

15

16

15 % de dégraissant minéral, principalement quartzeux, et des poils d'animaux. On observe aussi de petits fragments de charbon de bois et quelques graviers plus grossiers. La couche supérieure est constituée par un matériau plus fin et proprement lissé qui peut correspondre à un rechapage. Ce mélange a donc été préparé volontairement mais sans y apporter un très grand soin, contrairement à ce que l'on constate pour les moules et creusets.

On n'a pas identifié de pièce pouvant appartenir à un revêtement interne de la paroi de la cuve. Au contraire, on observe fréquemment une scorification des tuileaux qui indique que ceux-ci étaient en contact direct avec le feu.

Les très rares éléments qui pourraient témoigner d'un dispositif de soufflerie sont trop petits pour permettre une restitution du dispositif. Ces quelques fragments semblent indiquer l'usage d'un tube métallique pour amener l'air dans le foyer. La position de cette arrivée d'air dans la structure construite ne peut pas être précisée.

Les moules

Les éléments de moules sont relativement nombreux (fig. 5). Les plus caractéristiques montrent un gradient de couleur bien marqué entre une surface interne noire et une surface externe rose orangé. La surface externe est toujours nettement plus cuite que la surface interne qui reste très friable. Ces moules ont été cuits brièvement à des températures relativement basses avant l'usage. La couleur sombre de la partie interne s'explique par une cuisson dans des conditions réductrices au moment du remplissage par le métal liquide.

Le matériau utilisé est une argile très sableuse. C'est manifestement le résultat d'une préparation spécifique. On a rajouté comme dégraissant une poudre obtenue en concassant une roche très riche en quartz, probablement granitique. Le concassage est assez poussé (grains < 1,5 mm) et la poudre a sans doute été tamisée, compte tenu de la granulométrie des particules visibles. On a aussi ajouté des poils d'animaux et le mélange a été complètement homogénéisé (fig. 10). Il ne contient pas de gravier ni de charbon de bois. La proportion de dégraissant minéral est de l'ordre de 20 %.

Sur la plupart des fragments étudiés, on ne distingue qu'une seule couche de revêtement argileux mais quelques pièces montrent clairement deux enrobages successifs superposés. Il n'y a cependant pas de différence dans la nature du matériau pour ces deux couches.

Les analyses chimiques montrent que l'on a affaire à un matériau très siliceux (environ 70 % SiO2) et pauvre en chaux (CaO environ 1 %). Cette composition correspond bien à celle d'un matériau réfractaire. La présence de poils est une recette classique pour la production de moules et de creusets métallurgiques. Ils renforcent la cohésion de la matière et, en brûlant, introduisent une porosité supplémentaire permettant l'évacuation des gaz. Cette matière organique, si elle n'a pas été brûlée au cours de la cuisson du moule, se consumera au moment où le métal chaud est versé dans le moule et contribuera ainsi à rendre l'atmosphère plus réductrice (Schneider/Zimmer 1984).

Sur certaines surfaces internes des fragments de moules, on observe des traces vertes cuivreuses et les analyses chimiques effectuées sur ces parties internes sont nettement enrichies en cuivre et en plomb. Cette contamination est certainement due au contact avec le métal.

Les empreintes internes des moules sont peu lisibles. Les pièces les mieux conservées portent des empreintes planes ou légèrement courbes mais toujours régulières de plusieurs centimètres carrés. Aucune empreinte correspondant à un petit objet comme une fibule ou un élément de harnachement, n'a été observée. De même, l'épaisseur des fragments de moule est en général importante. Dans certains cas, elle dépasse les 3 ou 4 cm. La taille des fragments est également souvent importante : plus de 5 cm d'arête. Ces indications plaident pour la fabrication de pièces en bronze de grande taille. Les moules sont rarement des formes simples comme des solides de révolution mais présentent souvent plusieurs courbures ce qui indique que l'on produit des objets de forme compliquée.

Il faut signaler la découverte d'une pièce qui peut être interprétée, avec certaines réserves, comme un fragment de l'entonnoir de coulée d'un grand moule. Le diamètre interne de l'entonnoir est de 10 cm environ. La pièce s'évase ensuite et le diamètre externe maximal conservé atteint 20 cm. L'espace interne, complètement érodé ne peut pas être décrit précisément. Un tel moule est destiné à la production d'un objet en bronze assez volumineux. Un autre gros fragment de moule possède une forme externe en cloche de 15 cm de haut et de diamètre externe maximal de 20 cm. Plusieurs autres fragments plus petits pourraient appartenir au même type d'objet.

Les fragments de creusets et les scories.

Les scories de cuivre sont abondantes sur le site (environ 1300 fragments, fig. 5). Ce sont des corps vitreux de couleur noire et d'aspect brillant (fig. 15). Ils contiennent une multitude de grains de quartz qui apparaissent sous la forme de petits points blancs. Localement, en surface de ces scories on observe un verre de couleur rouge sombre, contenant des particules de cuivre métallique altéré. Ce verre ne contient pas de grains de quartz.

Ces scories sont toujours petites, ne dépassant pas 5 cm d'arête pour un poids de moins de 100 gr. Une bonne partie ne sont que des fragments mais montrent toujours des surfaces de refroidissement naturelles. Les pièces intactes sont nombreuses. Ces scories ne forment donc jamais des masses importantes, probablement moins de 100 gr à la fois. Les surfaces présentent des empreintes de charbons de bois qui montrent que ces scories se sont refroidies dans la masse de combustible, à l'intérieur du fourneau. Les formes que l'on observe le plus souvent sont des gouttes, des nodules ou des rognons irréguliers. Les scories en forme de stalactite sont aussi assez fréquentes.

Les analyses chimiques et les observations au microscope montrent clairement que l'on a affaire à des terres cuites partiellement fondues. La masse vitreuse est le résultat de la fusion de la matrice argileuse alors que les grains de quartz résiduels correspondent au dégraissant. Sur certaines pièces, on observe la pâte céramique cuite dans la partie centrale

du nodule alors que les surfaces externes sont toutes complètement scorifiées. La transition entre les deux milieux est graduelle.

Lorsque de la céramique non vitrifiée est encore visible, elle présente les mêmes caractères que l'argile des moules. Dans les parties vitrifiées, les grains de quartz sont, du point de vue morphologique, très similaires à ceux que l'on observe dans les parties moins fondues. Ces matériaux ne peuvent certainement pas être le résidu de la fusion d'un minerai de cuivre mais résultent de la fusion partielle d'un matériau argilo-sableux.

Un verre riche en cuivre, de couleur rouge sombre, n'a été observé que comme une fine pellicule millimétrique déposée à la surface de la matière vitreuse noire. Elle n'a pas pu être analysée chimiquement de manière séparée. Au microscope, on observe un début de cristallisation d'aiguilles de fayalite dans la masse vitreuse. On observe aussi de nombreuses billes de métal cuivreux (fig. 11). Dans ce cas également, il est improbable que ce verre résulte de la fusion d'un minerai de cuivre mais il est tout aussi évident qu'il ne se forme pas par fusion d'une argile. Le métal et sans doute aussi la cendre de charbon de bois jouent un rôle dans la formation de ce verre particulier.

De nombreuses pièces sont des objets mixtes, comportant une face vitreuse noire scorifiée et une autre face argileuse cuite rouge sombre le plus souvent, parfois grise (fig. 14). Les parties vitreuses sont en tous points semblables aux pièces complètement scorifiées décrites ci-dessus. Les parties argileuses présentent de grandes similitudes avec les argiles utilisées pour la fabrication des moules: 20 à 25% de dégraissant quartzeux, présence de poils, homogénéisation de la pâte. Chimiquement, les différences sont peu significatives.

Les analyses chimiques montrent clairement la parenté entre les argiles cuites et les matériaux vitreux noirs. L'observation microscopique des grains de quartz montre une abondance et une morphologie comparables. En coupe, on observe clairement le gradient de fusion. C'est clairement une vitrification sur place de l'argile sableuse car la transition est graduelle. Il s'agit donc bien d'un seul et même matériau ayant simplement subi un impact de chaleur variable.

La plupart de ces pièces se présentent sous la forme de plaquette avec une surface vitreuse noire et l'autre argileuse cuite. Ces fragments mixtes sont le plus souvent courbes. La convexité est presque toujours située du côté vitreux alors que la face argileuse est concave. La face vitreuse était en contact avec le combustible puisque l'on peut identifier des empreintes de charbon de bois.

L'épaisseur de la partie vitreuse est en général de quelques millimètres et celle de la partie argileuse varie de 1 mm à 2 cm. Dans presque tous les cas, la surface argileuse est une surface d'induration à l'intérieur d'une masse de matière et non pas une surface originale. On observe que très rarement des empreintes sur cette face argileuse. Quelques-unes sont des surfaces courbes de quelques centimètres carrés qui indiquent que l'on a probablement affaire à un revêtement argileux posé sur un autre objet. D'autres empreintes sont dues à des ficelles en fibres végétales assez grossières d'un diamètre d'environ 4 mm. Celles-ci sont disposées parallèlement à la surface scorifiée, espacées de 2 à 4 cm (fig. 13). Le rôle de ces ficelles est énigmatique. Elles pourraient servir à faciliter l'accrochage de la couche argileuse du revêtement externe sur un objet lisse. Dans un seul cas, on peut observer sur la même pièce les empreintes de ficelle passant le long d'une surface argileuse courbe régulière.

Ces observations nous poussent à interpréter ces matériaux mixtes comme des éléments provenant du revêtement de creusets contenant l'alliage de fonderie et disposés à l'intérieur du fourneau dont les éléments ont été reconnus. Les scories vitreuses ne sont que des parties complètement fondues de ce même revêtement et tombées dans la partie inférieure du fourneau (fig. 6).

Il est étonnant par contre de ne pas retrouver des fragments provenant des creusets eux-mêmes. Si ceux-ci avaient été en céramique, comme c'est le cas pour la plupart des creusets décrits dans la littérature, il est invraisemblable qu'ils n'aient pas été observés. Ces objets sont clairement reconnaissables et se conservent au moins aussi bien que les autres déchets métallurgiques qui ont été retrouvés sur le site (Chardron-Picault/Pernot 1998). De plus des creusets en céramique destinés à la fonderie des alliages à base de cuivre ont été identifiés dans les collections du Musée Romain d'Avenches. Cette absence *En Selley* est donc une donnée objective et n'est pas due à un mauvais échantillonnage.

La seule hypothèse serait de considérer que ces éléments mixtes recouvraient des creusets en métal, par exemple en fer. Cependant cette pratique semble anormale et n'a pas été confirmée par d'autres découvertes archéologiques.

Interprétation et discussion des résultats concernant le travail des alliages à base de cuivre

Les matériaux découverts dans le complexe 10284 peuvent être interprétés comme un ensemble cohérent, correspondant à la destruction d'une structure de combustion et à l'évacuation des déchets produits par un type de travail spécifique de fonderie des alliages à base de cuivre. Le tout a été utilisé comme matériel de remblais. L'ensemble n'a cependant pas subi un tri sélectif mais a été rejeté en vrac, comme le montre l'abondance des particules fines dans le sédiment. On peut donc penser à la démolition d'un atelier se trouvant dans les parages immédiats du site.

Les matériaux de construction permettent de restituer un fourneau somme toute assez comparable à d'autres installations connues dans le monde romain (Augst, Autun). Les tuileaux de récupération ont été fabriqués avec une argile incomplètement homogénéisée. Les autres éléments argilo-sableux ont tous été confectionnés à l'aide d'un mélange réfractaire spécial, comportant une argile épurée, une forte proportion de quartz et des poils d'animaux. Les éléments de moules peuvent être identifiés sans ambiguïté. Ils ne peuvent pas correspondre à la fabrication de petits objets tels que fibules, boucles de ceinture, etc. Ils se rapportent sans doute à des objets plus volumineux. La fabrication de vaisselle (chaudronnerie) semble devoir être écartée car les

éléments de moules possèdent des formes trop complexes. Il n'y a pas d'élément probant pour mieux identifier la production, mais on ne peut pas exclure la production de moyennes ou même de grandes statues en métal.

L'absence des fragments de creusets en céramique qui sont le vestige le plus habituel et le plus typique des activités de fonderie des alliages à base de cuivre est troublante. Elle est à mettre en parallèle avec l'abondance de fragments de revêtement argileux plus ou moins vitrifiés. Par leurs formes convexes, ces éléments ne peuvent pas être interprétés comme le garnissage des parois de la cuve du fourneau. Les empreintes de ficelle et les rares traces internes plaident pour un revêtement placé sur un objet lisse qui pourrait être en métal et qui aurait été placé à l'intérieur du fourneau. L'utilisation de creusets en métal peut éventuellement être mise en rapport avec la quantité de bronze à chauffer en une seule fois.

Incontestablement, on a travaillé des alliages à base de cuivre. La nature du métal n'a pas encore fait l'objet d'une étude approfondie mais on remarque que les analyses chimiques des scories détectent la présence de cuivre mais aussi d'étain et de plomb. Le zinc est nettement plus faible. Il semble donc que cet atelier travaillait principalement les bronzes au plomb, un bon alliage pour la fonderie d'objets qui ne demande pas une bonne résistance aux chocs ni une grande dureté.

3. Les artisanats métallurgiques dans les grandes villes romaines

L'activité artisanale et, en particulier la métallurgie de transformation, apparaît de plus en plus comme une composante importante de la vie économique des grandes villes à l'époque romaine. Malheureusement, mis-à-part quelques rares exceptions comme Alésia (Mangin 1981) ou Augst (Martin 1978), c'est seulement récemment que la présence de déchets métallurgiques a été prise en compte au cours des fouilles urbaines. La multiplication des découvertes au cours de ces dernières années est sans doute due en partie à l'accroissement des destructions mais certainement aussi à la prise de conscience de l'intérêt de l'étude de ce type de vestiges. On connaît maintenant de véritables quartiers d'artisans métallurgistes à Autun (Chardron-Picault/Pernot 1999), à Rennes (Le Cloirec 1996), à Amiens (Buchez/Gemehl 1997) ou encore à Bordeaux (Leblanc 1997).

En Helvétie romaine, Avenches (Morel 1987, Morel *et al.* 1992), et Augst (Martin 1978) ont régulièrement livré des traces d'activités métallurgiques et la fouille *En Selley* en est une illustration supplémentaire. En outre, à côté des quartiers spécialisés et souvent périphériques par rapport à l'agglomération, on trouve aussi des indices d'activités jusque dans le cœur même des villes.

Les nouvelles approches des déchets métallurgiques, quantitatives d'une part, c'est-à-dire qui cherchent à prendre en compte les volumes de déchets produits, et qualitatives d'autre part, c'est-à-dire qui ont pour but d'identifier aussi finement que possible les activités pratiquées, ouvrent de nouvelles perspectives et permettent de poser de nouvelles questions. Quelle est la place de l'artisanat métallurgique dans le tissu économique de la ville? Quelles sont ses sources d'approvisionnement en matières premières? Quels sont ses débouchés? Quelles sont les différences entre l'artisanat urbain et l'activité qui est présente dans les agglomérations secondaires ou encore les établissements ruraux?

Dans le cas d'Avenches/*En Selley*, aussi bien le travail du fer que celui des alliages à base de cuivre semble avoir un caractère assez spécifique. Le forgeron travaille de manière non standardisée et traite aussi les métaux nobles. Le bronzier produit des grands objets en bronze, peut-être des statues. Pour le moment, Avenches est le seul site de Suisse où ce type de vestiges a été clairement identifié. A l'heure actuelle, malheureusement, la documentation publiée est encore beaucoup trop lacunaire et bon nombre de données anciennes doivent être révisées. Il est donc encore trop tôt pour tirer des conclusions définitives à ce propos.

Bibliographie

BUCHEZ/GEMEHL 1997 — N. BUCHEZ et D. GEMEHL, Amiens découvertes récentes, *Archéologia* 333, 1997, p. 48-53.

CHARDRON-PICAULT/PERNOT 1999 — P. CHARDRON-PICAULT et M. PERNOT, *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun, Le site du Lycée Militaire* (*Documents d'Archéologie Française* 76), Paris, 1999.

DAVIES 1935 — O. DAVIES, *Roman Mines*, Oxford, 1935.

LEBLANC 1997 — J.-C. LEBLANC, Caractérisation d'une activité spécialisée: des forgerons charrons au Ier siècle après J.-C. Premiers résultats, *Mélanges C. DOMERGUE* 1, *Pallas* 48, 1997, p. 251-264.

LE CLOIREC 1996 — G. LE CLOIREC, *Rennes: ateliers métallurgiques du Haut Empire* (*Instrumentum* 3), Montagnac, 1996, p. 15.

LONG 1997 — L. LONG, Inventaire des épaves de Camargue, de l'Espiguette au grand Rhône. Des cargaisons de fer antiques aux gisements du XIXe s. Leur contribution à l'étude du paléorivage., p. 59-116 in: M. BAUDAT (éd): *Crau, Alpilles, Camargue, Histoire et archéologie* (colloque Arles 1995), Arles, 1997.

MANGIN 1981 — M. MANGIN, *Un quartier de commerçants et d'artisans d'Alésia* (*Publications de l'Université de Dijon* 60), Paris, 1981, 2 vol.

MARTIN 1978 — M. MARTIN, Römische Bronzegiesser in Augst BL, *Archéologie Suisse* 1, fascicule 3, 1978, p. 112-120.

MARTIN-KILCHER 1980 — S. MARTIN-KILCHER, *Die Funde aus dem römischen Gutshof von Laufen-Müschhag*, Bern, 1980.

MOREL 1987 — J. MOREL, Avenches, Aux Conches-Dessous. Investigations en 1985-1986, *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et Archéologie* 70, 1987, p. 185-188.

MOREL *et al.* — J. Morel, H. AMREIN, M.-F. MEYLAN et C. CHEVALLEY, Un atelier de verrier du milieu du Ier siècle ap. J.-C. à Avenches, *Archéologie Suisse* 15, fascicule 1, 1992, p. 2-17.

PARKER 1992 — A.J. PARKER, *Ancient Shipwrecks of the Mediterranean and the Roman Provinces* (*British Archaeological Reports, International Series* 580), Oxford, 1992.

PELET 1993 — P.-L. PELET, *Une industrie reconnue: Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud* (*CAR* 60), Lausanne, 1993.

PERNOT 1996 — M. PERNOT, Archéométallurgie des alliages à base de cuivre: techniques et ateliers de fabrication, p. 42-52 in: *Arqueometria y Caracterizacion de Materiales arqueologicos*, Teruel, 1996.

PICON *et al.* 1995 — M. PICON, M. LE NEZET-CELESTIN, A. DESBAT, Un type particulier de grands récipients en terre réfractaire utilisés pour la fabrication du laiton par cémentation (*Société Française d'Etude de la Céramique Antique en Gaule, Actes du Congrès de Rouen*, 1995), Marseille, 1995, p. 207-215.

REHREN 1998 — T. REHREN, *Messingtiegel in der CUT, Xanten* (*Xantener Berichte* 8), Bonn, 1998.

SCHALTENBRAND OBRECHT 1996 — V. SCHALTENBRAND OBRECHT, Die Eisenfunde, in: E. Deschler-Erb (éd.), *Ausgrabungen im unteren Bühl: Die Funde aus Metall. Ein Schrank mit Lararium des 3.Jahrhunderts (Monographien der Kantonsarchäologie Zürich* 27, *Beiträge zum römischen Oberwinterthur – Vitudurum* 7), 1996, Teil II, Zürich, 1996, p. 141-228.

SCHNEIDER/ZIMMER 1984 — G. SCHNEIDER et G. ZIMMER, Technische Keramik aus antiken Bronzegusswerkstätten in Olympia und Athen, *Berliner Beiträge zur Archäometrie* 9, 1984, p. 17-60.

SENN-LUDER/SERNEELS 1994 — M. SENN-LUDER et V. SERNEELS, La Suisse avant le haut fourneau: carte des vestiges sidérurgiques, p. 387-392 in: M. MANGIN (éd.): *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen* (*Annales littéraires de l'Université de Besançon* 536), Paris, 1994.

SERNEELS 1993 — V. SERNEELS, *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale* (*CAR* 61), Lausanne, 1993.

SERNEELS 1994 — V. SERNEELS, L'apport des analyses chimiques de minerais, scories et produits associés à l'étude de la sidérurgie ancienne, in: M. MANGIN (éd.), *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen* (*Annales littéraires de l'Université de Besançon* 536), Paris, 1994, p. 75-82.

SERNEELS 1998 — V. SERNEELS, La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne, p. 7-44 in M. FEUGÈRE et V. SERNEELS (dir): *Recherches sur l'économie du fer en Méditérranée nord-occidentale* (*Monographies Instrumentum* 4), Montagnac, 1998.

SERNEELS/MANGIN 1996 — V. SERNEELS et M. MANGIN, Sidérurgie ancienne (Age du Fer - Moyen Age): les zones productives principales entre le Rhin, les Alpes et les Pyrénées, *Revue Archéologique de l'Est* 47, 1996, p. 193-198.