

develier-courtételle
un habitat rural mérovingien

2

métallurgie du fer
et mobilier métallique

ludwig eschenlohr
vincent friedli
céline robert-charrue linder
marianne senn

avec une contribution de
robert fellner

et la collaboration de
wim devos
philippe fluzin
vincent serneels
barbara guénette-beck
peter northover
walter fasnacht

La Collection des Cahiers d'archéologie jurassienne
est publiée sous les auspices
de l'Office de la culture de la République et Canton du Jura
et de la Société jurassienne d'Emulation.

Recherches et rédaction



Office de la culture
Section d'archéologie et paléontologie
Hôtel des Halles
Case postale 64
CH-2900 Porrentruy 2
Tél. 032 420 84 51
Fax 032 420 84 99
archeologie@jura.ch
www.jura.ch/sap

La Collection est née de la collaboration
de la Section d'archéologie et paléontologie de l'Office de la culture
et du Cercle d'archéologie de la Société jurassienne d'Emulation.

La direction scientifique de la Collection est assumée par
François Schifferdecker, archéologue cantonal.

Rédaction, maquette et mise en page

Vincent Friedli, Jean Detrey, Marie-Claude Maître-Farine, Line Petignat Häni et Simon Maître.

Edition et diffusion



Cercle d'archéologie de la
Société jurassienne d'Emulation
Rue du Gravier 8
Case postale 149
CH-2900 Porrentruy 2
Tél. 032 466 92 57
Fax 032 466 92 04
sje@bluewin.ch
www.sje.ch
(commandes d'ouvrages)

Code de citation préconisé

Ludwig Eschenlohr, Vincent Friedli, Céline Robert-Charrue Linder, Marianne Senn et al.
Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien. 2. Métallurgie du fer et mobilier métallique.
Office de la culture et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy, 2007, 356 p., 259 fig.,
24 pl., catalogue illustré. (Cahier d'archéologie jurassienne 14).

Publié avec le concours de

Département de la Formation,
de la Culture et des Sports

Département de l'Environnement
et de l'Équipement de la
République et Canton du Jura

Le contenu de ce volume a fait l'objet d'une relecture critique (*peer review*).



Laboratoire fédéral d'essai
des matériaux et de recherche
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf

à paraître dans la collection des Cahiers d'archéologie jurassienne

consacrés à *Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien*

CAJ 16 vol. 4 Environnement et exploitation du terroir au début du Moyen Age

CAJ 17 vol. 5 Analyse spatiale, approche historique et synthèse. Vestiges gallo-romains

déjà parus

CAJ 13 vol. 1 Structures et matériaux de construction (2004)

CAJ 15 vol. 3 Céramiques et autres objets en pierre, verre, os, bois ou terre cuite (2006)

ISBN-10 2-88436-016-6
ISBN-13 978-2-88436-016-6
ISSN 1422-5190

© 2007
Office de la culture et
Société jurassienne d'Emulation
CH-2900 Porrentruy

Illustration de la couverture

Après dégagement, scories en forme de calotte dans le bas foyer 15 de la zone d'activité 4
de Develier-Courtételle.

Préface

Cet ouvrage collectif représente un travail pluridisciplinaire considérable, d'une grande valeur scientifique, qui va bien au-delà de son titre. Il comporte sept chapitres particulièrement clairs et pédagogiques avec des illustrations de qualité et un abondant catalogue formant presque la moitié de l'ouvrage. Il constitue assurément une référence scientifique mais également un modèle qualitatif de présentation à suivre.

En effet, s'il concerne un site d'habitat rural mérovingien d'exception – Develier-Courtételle – ayant livré près de quatre tonnes de déchets métallurgiques, ce qui en fait la plus importante découverte d'Europe dans ce domaine (chapitre 1), nous disposons avec ce travail d'une véritable référence méthodologique pour appréhender la globalité d'une activité humaine et de ses savoir-faire.

Ainsi, il illustre parfaitement le renouveau d'une archéologie que l'on pourrait qualifier d'« encyclopédique » dans sa démarche multidisciplinaire (sciences de l'homme, sciences de la terre, sciences de la matière...) qui montre tout le parti que l'on peut tirer aujourd'hui (avec les moyens d'investigation dont on dispose) d'une fouille exécutée avec une approche systémique.

Le système objet (objet matière-objet fonction) « traduction physique d'un système intellectuel » (Simondon, 1969) synthétise, en effet, un ensemble complexe d'informations interactives dont la valeur documentaire est tributaire des moyens d'observation et du niveau de connaissance de l'observateur. Les méthodes employées par les auteurs vont de l'examen macroscopique le plus simple – l'œil avisé de l'expert – aux études microscopiques nécessitant l'emploi de matériels d'observation et d'analyse utilisés en science des matériaux: microscope métallographique, microscope électronique, fluorescence et diffraction X, spectrométrie de masse à ablation laser... (chapitre 2).

Il convient à cet égard de souligner la curiosité scientifique des auteurs (alliant philosophie de la recherche, rigueur et passion) qui ont fait l'effort méritant d'acquérir une culture élargie leur permettant d'intégrer et de dépasser des données factuelles trop souvent considérées comme « annexes », voire incomprises, ce qui conduit parfois à des interprétations erronées.

C'est notamment le cas pour les résultats archéométriques qui, étant assimilés par les auteurs (puisque certains d'entre eux les ont pour la plupart eux-mêmes réalisés), font intégralement partie du raisonnement interprétatif et ne sont plus utilisés comme des appoints plus ou moins prestigieux (chapitre 2).

Indépendamment d'une lecture archéologique méthodique et rigoureuse du site, il est dans cet ouvrage possible d'avoir une vision d'ensemble de l'articulation de la chaîne opératoire en sidérurgie directe en relation avec d'une part une typo-morphologie analytique des vestiges et déchets des différentes étapes du travail artisanal (chapitre 3) et d'autre part l'organisation spatiale des productions (chapitre 6).

Par ailleurs, compte tenu de l'importance quantitative du site, les auteurs nous proposent une très intéressante typo-chronologie comparative aux niveaux régional, suprarégional et européen (chapitre 7).

La genèse et le suivi historique de noyaux de production (chers à Paul-Louis Pelet) sont également abordés en fonction des nécessaires relations d'échange dans le cadre des différentes activités sidérurgiques de la chaîne opératoire.

Le Jura central, comme l'indique P.-L. Pelet, se situe à un carrefour des grands courants sud-nord et est-ouest de la paléosidérurgie même si son bassin minier n'a pas l'ampleur d'autres (Montage Noire, Ile d'Elbe...) et si son activité intensive se focalise sur les périodes médiévales. L'installation du hameau de Develier-Courtételle (deuxième moitié du 6^e siècle - deuxième moitié du 7^e siècle ap. J.-C.) précède en effet la fondation de l'abbaye de Moutier-Grandval (vers 640 ap. J.-C.) dont Ludwig Eschenlohr a bien montré dans sa thèse (*infra*) le rôle moteur dans l'activité sidérurgique pendant 150 ans.

L'importance de l'habitat rural mérovingien de Develier-Courtételle (la fouille, réalisée par la Section d'archéologie de l'Office de la culture entre 1993 et 1996, couvre 3,5 ha et a révélé l'existence de six fermes et quatre zones d'activité artisanale, dont deux principalement dédiées au travail du fer), est telle que l'Office de la culture et la Société jurassienne d'Emulation lui ont consacré cinq riches volumes de la collection des *Cahiers d'archéologie jurassienne*, soit environ 1500 pages.

Il s'agit là d'un véritable exploit éditorial et financier (à la hauteur des enjeux scientifiques du site) qu'il convient de souligner car peu de structures à l'échelle européenne seraient à même de relever un pareil défi ! A l'heure où les crédits consacrés à la recherche en sciences de l'homme et de la société se tarissent de façon très inquiétante en Europe, le mérite des partenaires de cette prouesse de valorisation scientifique n'en est que plus remarquable. Dans ce domaine aussi, la République et Canton du Jura peut être un modèle bien difficile à égaler et suscite l'admiration de notre communauté scientifique.

Quelques éléments maintenant sur le contenu quantitatif et qualitatif des résultats de la fouille extensive du site.

Les six fermes comportent quatorze grands bâtiments, dix bâtiments de moyenne importance, quarante bâtiments annexes et seize cabanes en fosse.

Pour les structures de combustion, six fours et vingt-quatre foyers à vocation principalement culinaire se situent, à une exception près, dans les fermes.

Par contre, une douzaine de bas foyers et trois aires de forge (épuration-raffinage-forgeage) se concentrent essentiellement à l'intérieur des deux zones d'activité métallurgiques prépondérantes sur le site (zones 1 et 4). Les autres formes d'artisanat présentes semblent plus marginales du point de vue de l'économie du site (textiles, cuir, bois...).

Sur les quatre tonnes de déchets sidérurgiques pris en compte dans l'étude (chapitre 3), près de 90 % sont des scories en forme de calotte (culots qui se forment au fond des foyers de forge et qui sont des indicateurs très précieux en archéométrie pour déterminer le type d'activité), soit 41 475 fragments individualisés. Le nombre estimé de calottes pourrait être de 5000 à 6500. Après recollage, 896 sont presque complètes. Il s'agit donc du plus important corpus jamais étudié en Europe et traduit une très intense activité de postréduction.

En l'absence d'indice de réduction du minerai de fer sur le site, cela signifie que la matière première brute (éponges de fer) était d'origine locale (vallée de Delémont, pour les deux tiers) et importée de secteurs proches (du Grand-Val ? pour le tiers restant). Develier-Courtételle est ainsi un des exemples de sites pour lesquels il est possible de tirer des conclusions relativement fiables sur l'origine du métal travaillé (chapitre 7).

Mille cent soixante-douze calottes ont été prises en compte pour des études typo-morphologiques précises (onze types identifiés; trois cinquièmes des calottes pesant entre 300 et 1300 g) dont une centaine pour les travaux archéométriques (minéralogie, analyses physico-chimiques et études métallographiques). Ce très vaste programme a permis d'identifier l'activité d'épuration et de compactage des éponges de fer (49 % des cas; chapitre 3) vis-à-vis du forgeage des objets proprement dits (46 %), dans une proportion relativement équilibrée, ce qui implique une continuité dans le travail de forge.

Ce résultat est particulièrement exceptionnel car il reflète l'un des rares cas archéologiques où l'on puisse caractériser de façon aussi claire un travail systématique de transformation du métal brut (éponge). Ceci induit bien évidemment de nombreuses questions sur l'organisation des productions (interne et externe) et la circulation des produits.

L'étape de l'élaboration de demi-produits n'est pas mise en évidence sur le site, ce qui semblerait indiquer que les éponges étaient directement transformées en objets après épuration. Le métal était-il pour autant consommé sur place et/ou exporté ?

Les auteurs répondent en partie à cette question (chapitre 4) grâce à l'étude des 2110 objets et fragments en fer soit 10,7 kg (le bronze ne représente que 125 éléments pour 320 g; chapitre 5). Ceci n'est pas négligeable pour un site d'habitat et fait ressortir la suprématie du fer sur les autres métaux (94,3%).

Une bonne partie des outils identifiés (39 sur 97) concerne le travail du métal. Il a été possible de mettre en évidence que celui-ci, transformé sur place, a été utilisé tout au moins en partie pour la réalisation de ces objets (cela semble le cas pour 40 % des 63 objets analysés). Ceux-ci comportent 45 % d'acier entre 0,1 et 0,3 % de carbone, avec l'emploi fréquent d'association de feuilles soudées et du damas « d'assemblage ». Il est à cet égard intéressant de constater une grande maîtrise des processus de décarburation dans la mesure où le métal de base (non travaillé) est très riche en carbone (acier hypereutectoïde) alors que les teneurs dans le métal travaillé atteignent environ 0,2%. Notons que ce savoir-faire (travail d'un métal très riche en carbone) semble être une constante dans le Jura dès le Haut Moyen Age (chapitre 7; L. Eschenlohr et M. Senn *infra*).

En conclusion, cet ouvrage représente un travail remarquable et constitue assurément une référence et un modèle pour notre communauté pluridisciplinaire, tant par les résultats obtenus que par la démarche méthodologique suivie. Il fait honneur à la lignée de chercheurs suisses de premier plan comme Auguste Quiquerez (1801-1882) et Paul-Louis Pelet qui ont su, avec le temps, faire école, preuve en est. Ils peuvent être fiers de ce travail qui reflète le dynamisme de la recherche archéométallurgique de part et d'autre de notre frontière et en particulier en Suisse comme en témoignent les nombreuses publications de qualité ainsi que les doctorats soutenus dans ce domaine (Vincent Serneels 1993, Ludwig Eschenlohr 2001, Marianne Senn 2005).

Que d'efforts pour aboutir à cette nouvelle publication dans des conditions statutaires parfois difficiles. De telles compétences mériteraient d'être pérennisées sur des postes adéquats afin qu'elles puissent à leur tour, comme leurs prestigieux aînés, faire école.

Philippe Fluzin
Directeur de recherche au CNRS
Directeur du laboratoire Métallurgies et Cultures UMR 5060 CNRS
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
Sévenans, novembre 2006

Table des matières

Préface	3
1 Introduction	9
Céline Robert-Charrue Linder avec une contribution de Robert Fellner	
1.1 Présentation générale du site	9
Robert Fellner	
1.2 Panorama de l'étude.....	10
Céline Robert-Charrue Linder	
1.3 Remerciements.....	11
2 Notions de base pour l'étude de la sidérurgie ancienne	13
Marianne Senn, Ludwig Eschenlohr, Céline Robert-Charrue Linder et Vincent Friedli	
2.1 La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne.....	13
Ludwig Eschenlohr	
2.2 Méthodologie.....	15
Céline Robert-Charrue Linder et Vincent Friedli	
2.3 Les méthodes analytiques appliquées	16
Marianne Senn	
2.3.1 Analyses chimiques	16
2.3.2 Analyses microscopiques	17
2.3.3 Concept d'analyses.....	17
2.4 L'aspect macroscopique des scories de fer.....	18
Céline Robert-Charrue Linder et Ludwig Eschenlohr	
2.4.1 Etat de la recherche	18
2.4.2 Les scories de Develier-Courtételle.....	18
2.5 Les caractéristiques chimiques des scories de fer	20
Marianne Senn	
2.5.1 Etat de la recherche	20
2.5.2 Analyses chimiques des scories de Develier-Courtételle.....	20
2.6 Minéralogie des scories de fer	21
Marianne Senn	
2.6.1 Etat de la recherche	21
2.6.2 Les minéraux des scories de Develier-Courtételle	22
2.7 Fer, acier et fonte: existence et utilisation au Haut Moyen Age	23
Marianne Senn	
2.7.1 Etat de la recherche	23
2.7.2 Le fer à Develier-Courtételle	25
2.7.3 La composition chimique du fer, de l'acier et de la fonte de Develier-Courtételle.....	27
2.7.4 La question du damas et de l'utilisation de l'acier durant le Haut Moyen Age	27
Notes	28
3 Les déchets du travail du fer	29
Ludwig Eschenlohr, Marianne Senn, Céline Robert-Charrue Linder et Vincent Friedli	
3.1 Introduction.....	29
3.2 Les calottes	30
3.2.1 Classification macroscopique.....	30
3.2.2 Examens chimiques, minéralogiques et métallographiques des calottes	34
3.2.3 Les calottes aplaties	38
3.2.4 Les calottes denses petites.....	41
3.2.5 Les calottes fluides.....	41
3.2.6 Les calottes avec vitrification.....	45
3.2.7 Les calottes avec bourrelet.....	45
3.2.8 Les calottes avec empreintes de charbon	47
3.2.9 Les calottes circulaires	47
3.2.10 Les calottes concaves	47

3.2.11	Les calottes convexes	51
3.2.12	Les calottes avec quille	51
3.2.13	Les calottes denses.....	52
3.2.14	Les calottes non classées	52
3.2.15	Synthèse métrologique	53
3.2.16	Discussion à propos des différents matériaux constitutifs des calottes	55
3.2.17	Interprétation des études métallographiques effectuées sur les calottes.....	55
3.3	Les déchets riches en fer	57
3.3.1	Les déchets de forge	57
3.3.2	Les scories ferrugineuses	61
3.4	Les autres catégories.....	65
3.4.1	Les battitures	65
3.4.2	Les scories d'aspect coulé.....	66
3.4.3	Le minerai.....	68
3.4.4	Les éléments de construction.....	69
3.5	Définition du métal local de Develier-Courtételle	71
3.5.1	Origine du métal travaillé à Develier-Courtételle.....	72
3.6	Synthèse sur les déchets du travail du fer.....	73
	Notes	73
4	Le mobilier en fer	75
	<i>Vincent Friedli avec des contributions analytiques de Marianne Senn</i>	
4.1	Introduction.....	75
4.2	Les objets.....	76
4.2.1	L'outillage	76
4.2.2	Les ustensiles de l'agriculture et de l'élevage.....	84
4.2.3	Les objets usuels.....	86
4.2.4	Les objets de buffleterie	92
4.2.5	Les objets de parure.....	99
4.2.6	L'armement et l'équipement équestre.....	100
4.2.7	Les ustensiles de cuisine.....	104
4.2.8	Les objets de quincaillerie.....	105
4.2.9	Les clous.....	107
4.2.10	Les objets non définis	108
4.3	Les fragments	108
4.3.1	Les fragments en forme de bande	109
4.3.2	Les fragments en forme de barre	109
4.3.3	Les fragments en forme de tôle	109
4.3.4	Les tiges et les fils.....	110
4.3.5	Les tubes	110
4.3.6	Les fragments informes.....	110
4.4	Synthèse	110
4.4.1	Synthèse archéologique	110
4.4.2	Synthèse analytique	111
5	Le mobilier en bronze	115
	<i>Vincent Friedli avec une contribution analytique de Marianne Senn</i>	
5.1	Introduction.....	115
5.2	La métallurgie des alliages à base de cuivre	115
5.2.1	Le mobilier	115
5.2.2	Les aspects techniques.....	117
5.3	Les objets	118
5.3.1	Les objets de buffleterie.....	118
5.3.2	Les objets de parure	121
5.3.3	Les objets liés à l'armement	126
5.3.4	Les objets isolés et les objets non définis	128
5.4	Les fragments	129

5.5 Synthèse	129
5.5.1 La métallurgie des alliages à base de cuivre	129
5.5.2 Le mobilier	129
6 Répartition spatiale des déchets métallurgiques et des objets métalliques	131
Ludwig Eschenlohr et Vincent Friedli avec la collaboration de Marianne Senn et de Céline Robert-Charrue Linder	
6.1 Répartition spatiale des déchets métallurgiques et des objets métalliques par ensemble.....	133
6.1.1 La ferme 1.....	133
6.1.2 La ferme 2 et la zone d'activité 1.....	137
6.1.3 La zone d'activité 2	137
6.1.4 La zone d'activité 3	137
6.1.5 La zone d'activité 4 et les bassins.....	137
6.1.6 La ferme 3.....	138
6.1.7 La ferme 4.....	138
6.1.8 Le sondage T1.....	138
6.1.9 La ferme 5.....	138
6.1.10 La ferme 6.....	139
6.2 Les structures métallurgiques et les zones de rejet.....	140
6.2.1 La ferme 1.....	142
6.2.2 La ferme 2 et la zone d'activité 1.....	142
6.2.3 La zone d'activité 3	149
6.2.4 La zone d'activité 4 et les bassins.....	149
6.2.5 La ferme 5.....	153
6.2.6 La ferme 6.....	155
6.3 Répartition spatiale du mobilier métallique.....	156
6.3.1 Le regroupement « métallurgie » : les déchets issus du travail du métal.....	157
6.3.2 Le regroupement « économie » : les activités économiques	158
6.3.3 Les autres regroupements catégoriels	160
6.4 Considérations technologiques et chronologiques relatives aux ensembles de Develier-Courtételle.....	160
6.4.1 La ferme 1.....	162
6.4.2 La ferme 2 et la zone d'activité 1.....	162
6.4.3 La zone d'activité 2	163
6.4.4 La zone d'activité 3	163
6.4.5 La zone d'activité 4	163
6.4.6 La ferme 3.....	163
6.4.7 La ferme 4.....	163
6.4.8 La ferme 5.....	163
6.4.9 La ferme 6.....	164
7 Synthèse sur le travail du fer au Haut Moyen Age.....	165
Ludwig Eschenlohr et Vincent Friedli avec la collaboration de Marianne Senn et de Céline Robert-Charrue	
7.1 Approche technologique	165
7.1.1 Les caractéristiques des étapes de la postréduction	165
7.1.2 L'origine du métal.....	165
7.1.3 La qualité du métal	166
7.1.4 Les modes de fabrication.....	167
7.1.5 Les traces d'une autre métallurgie.....	167
7.2 Approche quantitative	167
7.2.1 La durée de fonctionnement	167
7.2.2 La conservation des déchets et des objets.....	168
7.2.3 L'attribution des déchets à une étape spécifique de la postréduction.....	169
7.2.4 L'importance des forges de Develier-Courtételle	169
7.3 Approche comparative	170
7.3.1 Le contexte local.....	170
7.3.2 Le contexte régional.....	172
7.3.3 Le contexte élargi	172
7.4 En guise de conclusion.....	173

Annexes

1 Méthodes d'analyse	175
2 Analyses chimiques globales par WD-XRF.....	179
3 Analyses du métal par spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif avec ablation laser (LA-ICP-MS)	184
4 Analyses des phases minérales dans les scories et battitures par microsonde électronique.....	186
5 Analyses des alliages cuivreux et des métaux précieux par microsonde électronique	190
6 Synthèse des données chiffrées par ensemble.....	191
7 Données chiffrées des zones de rejet R1 à R5 de la ferme 2 et de la zone d'activité 1	192
8 Tableau regroupant les 1432 calottes classées et présentant une conservation de plus de 50%	193
9 Plan général des différentes fermes et zones d'activité.....	201
Résumé	203
Zusammenfassung	204
Riassunto	205
Abstract	206
Bibliographie	207
Catalogue	
Catalogue analytique des calottes, scories ferrugineuses, battitures, déchets de forge et objets en fer.....	219
Catalogue descriptif du mobilier	297
Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle	346
Table des illustrations	350
Crédit iconographique	354
Volumes déjà parus dans la collection des Cahiers d'archéologie jurassienne	355

1

Introduction

Céline Robert-Charrue Linder

avec une contribution de Robert Fellner

1.1 Présentation générale du site

Robert Fellner

Le site de Develier-Courtételle se trouve dans un vallon latéral de la vallée de Delémont, parcouru par le ruisseau La Pran (fig. 1). Découvert lors de sondages liés à la construction de l'autoroute A16 Transjurane, il a été fouillé sur une surface de 3,5 ha. Une étude en cinq volumes, reprenant chacun une facette spécifique du site, a dès lors été planifiée dans la collection des Cahiers d'archéologie jurassienne (CAJ 13 à 17). Les structures découvertes au sein de l'horizon mérovingien, enfouies à une soixantaine de centimètres de profondeur en moyenne, se regroupent en six fermes et quatre zones d'activité (CAJ 13). Ces ensembles sont étalés le long du cours d'eau et sont séparés les uns des autres par des fossés, par des espaces dépourvus de tout aménagement ou encore par le ruisseau lui-même (fig. 2).

Les fermes se composent toutes d'au moins une maison à laquelle sont associés plusieurs bâtiments annexes, notamment des petites constructions à quatre poteaux d'angle et/ou des cabanes en fosse. A l'intérieur ou autour de ces bâtisses se trouvent des fours, des foyers, des fosses ainsi que des empièrtements et des zones de rejet. Les quatre zones d'activité se situent à l'extérieur des fermes. Deux d'entre elles – les zones 1 et 4 – sont principalement dédiées à la métallurgie du fer qui atteint un développement remarquable sur le site et dont il est question dans le présent ouvrage. Les douze bas foyers, dont quatre potentiels, et les quatre aires de forge, dont une probable, qui témoignent en particulier du travail du raffinage et du forgeage, se concentrent pour l'essentiel dans ces deux zones (chap. 6).

Au total, quatorze grands bâtiments, dix bâtiments annexes de taille moyenne, quarante bâtiments annexes de petite taille et seize cabanes en fosse se répartissent, à quatre exceptions près, dans les fermes. S'y trouvent également six fours et vingt-quatre

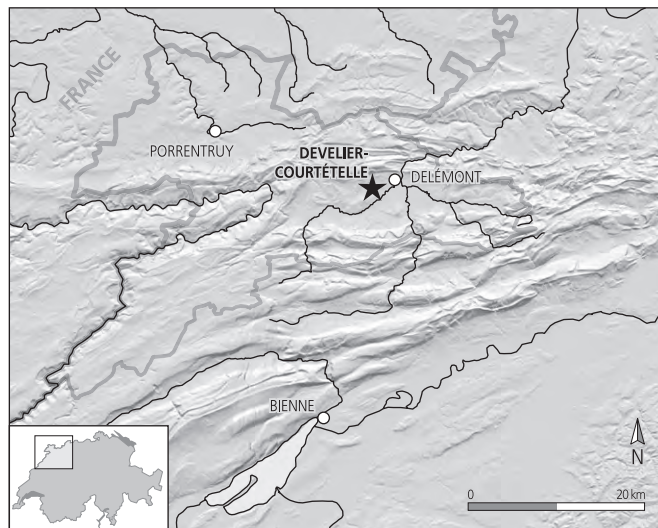


Fig. 1 Situation géographique du site de Develier-Courtételle.

foyers, ces derniers situés parfois à l'intérieur des maisons. Les constructions, dont le plan est matérialisé par des alignements de trous de poteau ou, plus rarement, par des fossés de fondation et des solins en pierre, semblent avoir été édifiées en bois (surtout en sapin) et peuvent atteindre une taille de 12,5 x 11m. Parmi les structures singulières, il faut encore signaler deux tombes isolées et un puits. Deux ensembles de structures spécifiquement liées au ruisseau ont été mis au jour en périphérie des zones habitées. Il s'agit de plusieurs rangées de piquets avec tressage, destinées à consolider la berge au sud des fermes 1 et 2, et d'une série de trois bassins artificiels creusés au nord de la zone d'activité 4 et probablement utilisés pour le trempage du bois de construction. Egalement liés à l'exploitation de l'eau, des secteurs voués au travail des textiles, situés au sud des fermes 1 et 2, sont reliés à ces dernières par des accès empièrés.

Un abondant mobilier archéologique accompagne toutes ces découvertes: environ 10 000 tessons de céramique, 2300 objets et fragments en fer et 140 en bronze, 160 tessons de verre, 90 perles en pâte de verre et en ambre, 350 objets et fragments lithiques, 20 artefacts en bois et 20 en os. S'y ajoutent les déchets, composés de quatre tonnes de scories de fer et de 13 000 ossements d'animaux (le présent ouvrage, ainsi que les CAJ 15 et 16).

Les datations C¹⁴ et la typochronologie du mobilier permettent de dresser un panorama évolutif assez précis du hameau. Ainsi, les fermes 1, 3 et 5 sont fondées dans la seconde moitié du 6^e siècle, alors que toutes les autres unités le sont au plus tard

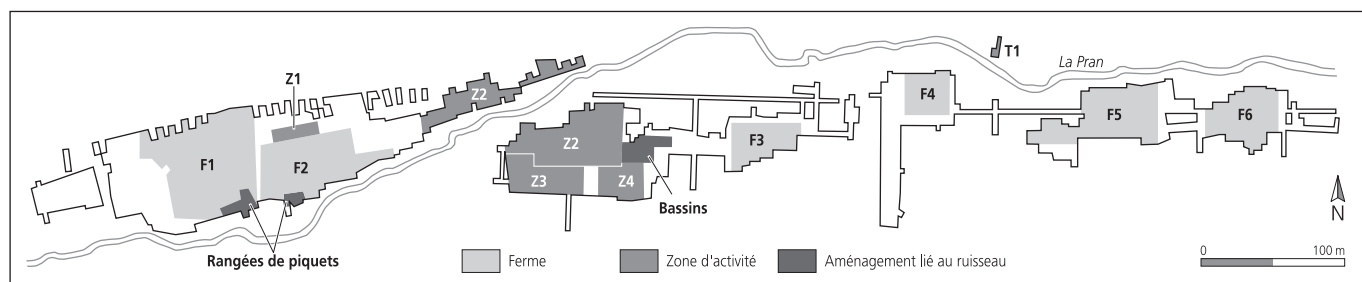


Fig. 2 Vue d'ensemble du site présentant les différents ensembles de structures. Pour la numérotation des bâtiments, se reporter à l'annexe 9, page 201.

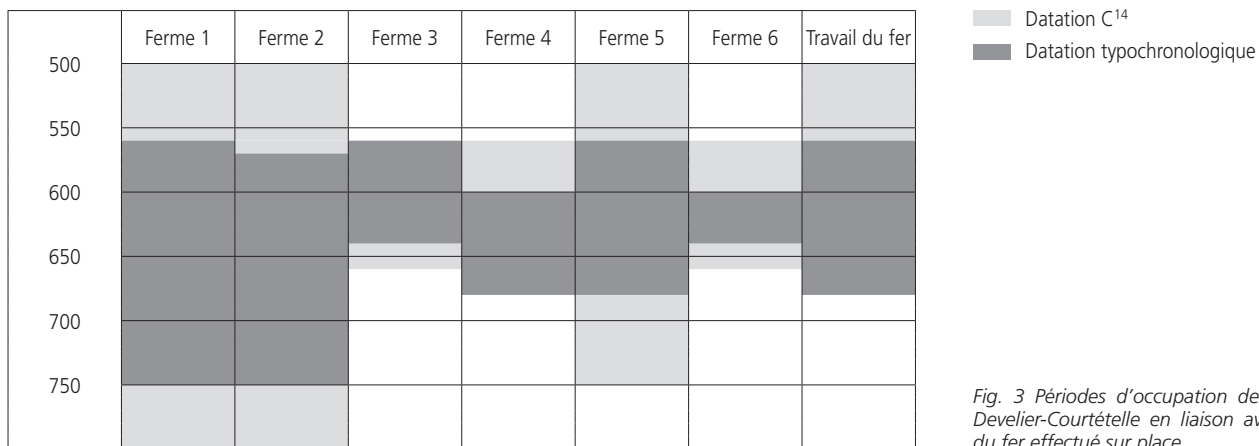


Fig. 3 Périodes d'occupation des fermes de Develier-Courtételle en liaison avec le travail du fer effectué sur place.

à la fin de ce même siècle. L'abandon des fermes 3 et 6 survient probablement déjà dans la première moitié du 7^e siècle, alors que l'occupation des fermes 4 et 5 et de la zone d'activité 4 continue jusqu'après le milieu, voire la fin de ce siècle. Quant aux fermes 1 et 2 situées dans la partie occidentale du site, elles ne sont délaissées que vers le milieu du 8^e siècle (CAJ 17). Sur le plan économique, la métallurgie du fer semble avoir joué un rôle très important jusque dans la seconde moitié du 7^e siècle. L'abandon de la partie orientale de l'habitat coïncide apparemment avec une réorientation axée sur une économie purement agricole (fig. 3; CAJ 16 et 17).

1.2 Panorama de l'étude

Céline Robert-Charrue Linder

On sait déjà que la région, en raison de l'abondance en ressources minérales et de la découverte de nombreux vestiges de bas fourneaux, a constitué, pour la période du Haut Moyen Age, un important centre de réduction du minerai de fer (Eschenlohr 2001). Toutefois, on ignorait encore où se trouvaient concentrés les travaux d'épuration et de transformation du métal, travaux aboutissant à la réalisation d'objets finis. La trouvaille fortuite du hameau de Develier-Courtételle – daté de cette époque et largement épargné par des siècles de construction de villages, de routes et par une agriculture de plus en plus intensive – fournit désormais la preuve, vu la quantité de déchets retrouvés, que le travail du fer a été réalisé sur place, d'une manière que l'on peut sans risque qualifier de pré-industrielle, par des forgerons spécialisés et supposés faire partie de la communauté: la chaîne opératoire est désormais complète. Dès lors, l'occasion était trop belle de mettre en place une étude approfondie de ces déchets afin de retrouver les méthodes utilisées par les forgerons de la région et de cerner les lieux d'approvisionnement en métal, puis les lieux d'écoulement des objets manufacturés.

Précédée d'un chapitre à dominante méthodologique (chap. 2), la première partie de cet ouvrage concerne l'étude des déchets issus du travail du fer (chap. 3). Cette recherche «à rebours» part des déchets pour remonter, d'un côté, vers le minerai utilisé et descendre, de l'autre côté, vers les objets. Elle fait délibérément la part belle, parallèlement à un classement exhaustif de ces déchets, aux méthodes analytiques venues compléter l'aspect archéologique qui se serait vite limité à la description et à la répartition des

déchets en tant que tels. Ces analyses s'intéressent notamment aux éléments traces présents tout au long de la chaîne opératoire, afin de cerner les liens éventuels entre les déchets et les produits associés. De par ces observations archéologiques et analytiques des déchets, les travaux de post-réduction proprement dits ont eux-mêmes été «disséqués» en plusieurs opérations successives parfois difficiles à distinguer.

La seconde partie du volume porte plus spécifiquement sur l'abondant mobilier métallique retrouvé sur le site (chap. 4). Cette étude a pour but d'en présenter une description détaillée et est aussi accompagnée de planches regroupant l'essentiel des objets caractéristiques, de même qu'une foisonnante recherche de parallèles. L'objectif est d'affiner la chronologie du hameau, d'émettre des hypothèses quant aux réseaux d'échanges mis en place, et de définir une éventuelle production locale. Ici également, les analyses métallographiques ont permis de déterminer les différentes techniques de forgeage, ainsi que la palette des artefacts produits sur place, avec un métal d'origine locale. Le chapitre suivant (chap. 5) concerne, quant à lui, la typologie et quelques aspects techniques des objets en métaux non ferreux du site.

Pour donner suite à ces études séparées des déchets et des objets, pour saisir la continuité du travail allant, sur le site, du raffinage de l'éponge de fer jusqu'au forgeage de l'objet, il convient de réaliser des cartes de répartition spatiale prenant en compte les regroupements entre les différents types de déchets et les objets en fer ainsi que leurs liens avec les structures métallurgiques. Nous espérons ainsi distinguer les différentes zones où le travail du fer avait été effectué et surtout quel type de travail – épuration, compactage ou forgeage – avait été entrepris sur place (chap. 6). La totalité de ces données est réunie dans une synthèse globale qui fait le point sur les processus métallurgiques utilisés par les habitants de Develier-Courtételle, sur le rôle et l'importance de ces activités, ainsi que sur le contexte régional et/ou suprarégional dans lequel elles s'intègrent (chap. 7).

Enfin, il a semblé utile, vu l'importance prise par la recherche analytique dans cette étude, de consacrer une large part à la présentation de chacune des méthodes utilisées, dans le but de mieux guider le lecteur tout au long de l'ouvrage. Leur description détaillée se trouve en annexe.

1.3 Remerciements

Ce projet de longue haleine (près de dix ans !) a entraîné dans son sillage de nombreuses personnes, ayant toutes contribué, par leur soutien et surtout par leur enthousiasme, à le mener à bon port. Nous tenons à remercier tout particulièrement les responsables du projet, devenus nos amis, Maruska Federici-Schenardi et Robert Fellner qui, par leurs encouragements constants, leur confiance entière ainsi que leur appui avant tout dans les moments les plus difficiles, nous ont apporté le courage de toujours aller de l'avant.

L'exploitation des quelque quatre tonnes de scories et des 2500 artefacts métalliques récoltés sur le site n'aurait pu se faire sans les collaborateurs de la Section d'archéologie et paléontologie qui ont pris la peine et la patience de les trier, de les cataloguer puis de les saisir dans la base de données «Litosfer». Merci donc à Séverine Wermuth et Martine Thiévent, techniciennes; à Claude Girardin, technicien et spécialiste en bases de données ainsi qu'à Pascal Faivre, informaticien créateur de «Litosfer», qui nous a facilité l'élaboration des données et permis d'en multiplier les possibilités de recherche. Merci également à Pierre Bigler, conservateur et restaurateur, qui a redonné vie à tout ce mobilier métallique qui a fait, au cours du Haut Moyen Age, le quotidien de nos prédécesseurs dans le Jura.

Nous n'oublions pas d'adresser notre gratitude à «nos» dessinateurs, Yves Juillerat, Emmanuel Wüthrich, Léonard Félix, Delphine Bläuer et Tayfun Yilmaz, dont les «pattes» ont magnifiquement contribué à la mise en valeur du matériel. Merci également à Bernard Migy pour ses travaux photographiques empreints de minutie, à Simon Maître pour le scannage et le traitement informatique des illustrations, à Marie-Claude Maître-Farine pour les fastidieux travaux de mise en page, à Line Petignat Häni pour le graphisme et le montage de la maquette de l'ouvrage, de même qu'à Jean Detrey et à Vincent Friedli qui ont supervisé la coordination des travaux éditoriaux et assuré les travaux de relecture.

Sont également remerciés, pour leurs avis précieux lors de ces mêmes relectures, Reto Marti, Vincent Serneels, Corinne Eschenlohr et Philippe Fluzin, ce dernier ayant également accepté d'assurer la préface de l'ouvrage. Un petit clin d'œil aussi à Marie-Hélène «Minouche» Paratte Rana, pour compléter l'équipe et pour prouver une fois de plus, si besoin est, que l'union fait la force.

Nous tenons à remercier chaleureusement Mesdames Anita Rion et Elisabeth Baume-Schneider, précédente et actuelle ministres de l'Éducation, Messieurs Bernard Prongué et Michel Hauser, chefs successifs de l'Office de la culture, et François Schifferdecker, archéologue cantonal et responsable de la Section d'archéologie et paléontologie, qui tous ont cru en ce projet d'envergure et l'ont soutenu dès ses débuts.

Il nous est aussi agréable d'adresser des remerciements marqués à l'Office fédéral des routes dont l'engagement financier a permis la fouille et l'étude du site et au Service des ponts et chaussées qui construit et gère l'autoroute A16 sur le territoire de la République et Canton du Jura.

Enfin, et pour conclure, nous nous associons à Marianne Senn, archéomètre au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa, Dübendorf), qui tient à apporter ses remerciements à Ludwig Eschenlohr (Section d'archéologie et paléontologie, Porrentruy), ce dernier ayant initié son intégration au projet et à François Schifferdecker, archéologue cantonal, pour sa confiance et le soutien financier qu'il a bien voulu appuyer. Ainsi que, pour leur soutien expérimenté et pour les discussions et idées échangées :

- Philippe Fluzin, directeur de l'UMR 5060 du CNRS, laboratoire «Métallurgies et Cultures», Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, notamment pour les mesures de dureté du métal et pour la «photographie scientifique poétique»;
- Vincent Serneels, Département de géosciences, minéralogie et pétrographie, Université de Fribourg, pour les analyses WD-XRF des scories et les textes d'interprétation;
- Hans-Rudolf Pfeifer, directeur du Centre d'analyses minérales, Université de Lausanne, dont le laboratoire est à l'origine du développement des analyses WD-XRF des scories, pour l'exécution de ces analyses;
- Peter Northover, Department of materials, University of Oxford, pour les analyses par microsonde des alliages cuivreux;
- Walter Fasnacht, pour son texte en rapport avec l'interprétation des alliages cuivreux;
- Barbara Guénette-Beck, Centre d'analyse minérale, Université de Lausanne, pour son introduction aux analyses par microsonde et son interprétation des données géochimiques résultant de l'étude minéralogique;
- François Bussy, Institut de minéralogie et géochimie, Université de Lausanne, également pour son introduction aux analyses par microsonde;
- Peter Kresten, Geoarchaeological Laboratory, University of Uppsala, pour l'étude par microsonde des phases minéralogiques d'une scorie;
- Christoph Salter, Department of materials, University of Oxford, pour les analyses par microsonde d'un objet en fer.

Sa gratitude s'adresse également, et pour les mêmes raisons, à ses collègues ou anciens collègues de l'Empa :

- Heinz Vonmont, chef de la Section chimie du solide et analyse, pour sa confiance et les moyens mis à disposition pour les analyses métallographiques et chimiques;
- Peter Boll, Section chimie du solide et analyse, pour son introduction à l'étude au microscope et au microscope électronique à balayage;
- Wim Devos, ancien collaborateur de la Section chimie analytique, à propos des analyses LA-ICP-MS du fer;
- Günther Hobi, Section technologie de surface, pour les analyses à la microsonde des objets en fer;
- Peter Lienemann, Section chimie du solide et analyse, pour son introduction aux bases de la chimie et aux méthodes analytiques;
- Matthias Trottmann, Section chimie du solide et analyse, pour la microscopie, la métallographie et les analyses MEB/EDS;
- Jean-Pierre Emery, pour le long travail de traduction des textes en langue allemande.

2

Notions de base pour l'étude de la sidérurgie ancienne

Marianne Senn
Ludwig Eschenlohr
Céline Robert-Charrue Linder
Vincent Friedli

2.1 La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne

Ludwig Eschenlohr

La sidérurgie ancienne englobe tous les procédés techniques contribuant à l'élaboration artisanale du fer, essentiellement dans le cadre de la filière directe de la réduction. Sa description sous forme de chaîne opératoire met l'accent sur la succession des procédés menant de la matière première, le minerai, à un produit fini, l'objet. Elle n'apporte toutefois qu'une vision abstraite des différentes étapes techniques et ne permet pas encore de répondre à certaines questions essentielles d'organisation (GSAF 1997, p. 9 et 49) :

- par exemple, où avaient lieu les étapes successives de la chaîne opératoire, et comment ces étapes étaient-elles reliées entre elles ?
- à qui appartenaient les matières premières, de même que les produits manufacturés ?
- qui exécutait ces travaux ?

L'étude technologique des déchets du travail du fer se distingue, dans sa démarche, de la typologie « classique » employée pour les recherches sur le mobilier métallique. C'est donc un cheminement différent qui a été suivi lors de l'examen des résidus métallurgiques et du mobilier métallique provenant de Develier-Courtételle, les nombreuses données analytiques récoltées permettant par ailleurs d'établir quelques liens. Au sein même de cet enchaînement logique, il ne peut en effet être question d'une séparation nette entre l'approche induite par la paléométagurgie – limitée aux phases d'extraction, de production et de transformation du fer – et celle induite par la paléomanufacture, limitée elle aux seuls objets en métal et à leur forgeage (Guillaumet 2003).

Cette vision démontre bien les difficultés auxquelles est confronté l'archéologue. Ce dernier, en présence d'une quantité plus ou moins conséquente de déchets issus d'une activité métallurgique, ne peut entreprendre une étude par le biais d'une typologie « classique », comme il le ferait pour le mobilier métallique issu d'une telle activité. L'étude séparée entreprise par différents spécialistes – celle des déchets issus de processus métallurgiques d'une part et celle des objets métalliques d'autre part – aboutit donc à une juxtaposition pluridisciplinaire sans réelle approche interdisciplinaire (chap. 2.2), alors que la réalité archéologique est toute autre. Celle-ci dévoile au contraire une continuité claire entre les différentes phases, assurées par une même personne, et ce depuis le travail de l'éponge de fer – produit brut qui sort du bas fourneau –

jusqu'à l'objet fini. La typologie des objets métalliques, témoins matériels de la vie quotidienne, devrait si possible tenir compte du classement établi pour les déchets, traces laissées lors de la fabrication d'un objet que l'on ne retrouve pas dans la plupart des cas.

Bien que les déchets et les objets soient issus de la même activité, leur contexte archéologique différent exige néanmoins, dans un premier temps, des recherches séparées avec, d'une part, celle des déchets et, de l'autre, celle des objets. Ce n'est qu'une fois les études terminées que leur mise en commun doit mener à une réflexion globale et à des conclusions communes.

Dès le Haut Moyen Age, la vallée de Delémont est englobée dans un district de production du fer qui, à cette époque, est d'une grande importance au niveau européen (Eschenlohr 2001). Il convient de ce fait de placer la transformation et le travail du fer exécutés à Develier-Courtételle dans leur enchaînement technologique et spatial au sein même de ce district. Au début du Moyen Age, la zone étudiée renfermant des témoins de cette production s'étend du bord occidental de la vallée de Delémont à l'extrémité orientale du Val Terbi et, du nord au sud, depuis le plateau de Pleigne jusqu'au vallon du Chaluet (fig. 4).

L'abondance de minerai affleurant sur le pourtour de la vallée de Delémont, du Val Terbi et du Grand-Val a rendu possible, à l'époque, l'approvisionnement en matière première des ateliers sidérurgiques installés au cœur de ce district minier, et cela sans difficultés majeures. Dans la chaîne jurassienne en effet, les méthodes de récolte en surface du minerai n'ont alors nécessité que peu d'infrastructures. Ce n'est que lorsque les ressources ainsi accessibles se sont raréfiées que les extractions minières souterraines se sont progressivement développées. Dans d'autres zones minières, les traces d'une exploitation plus complexe sont sensibles dès la fin de l'Antiquité (Braunstein 2001).

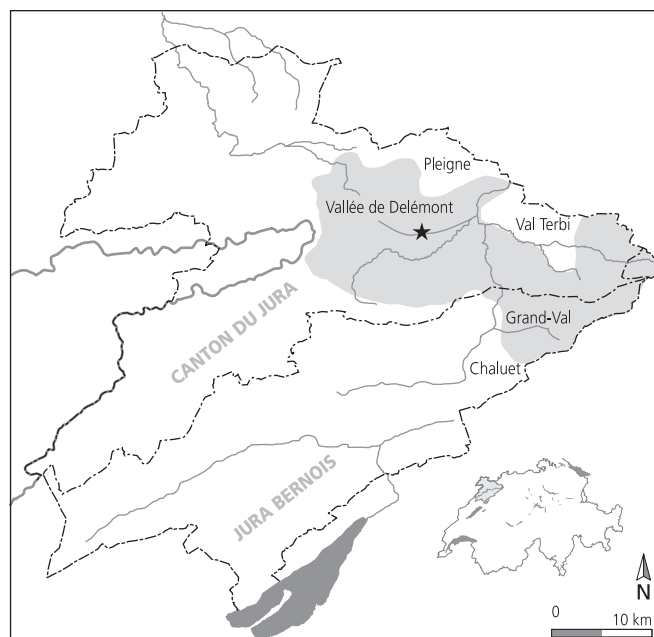
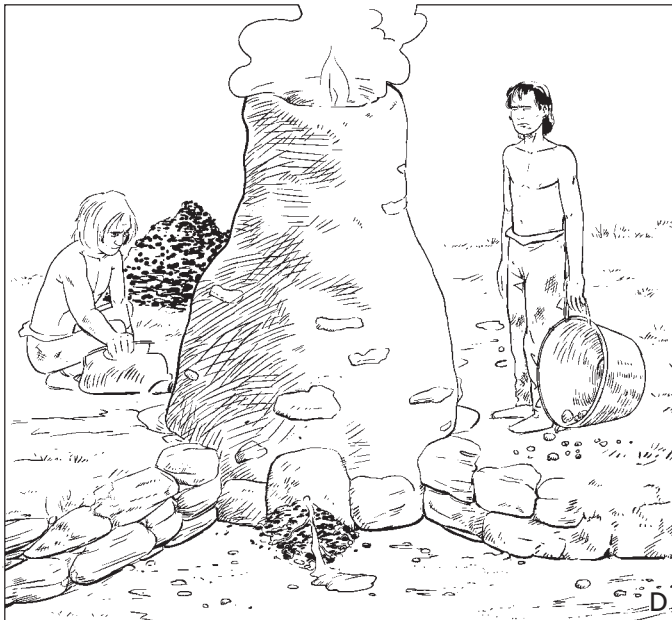
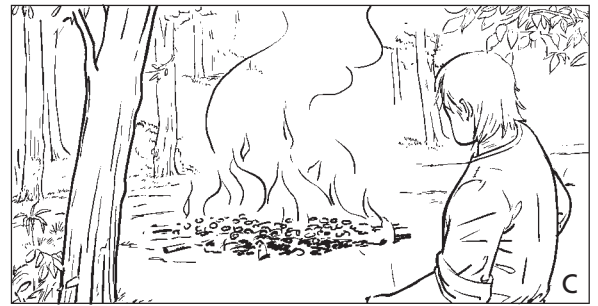
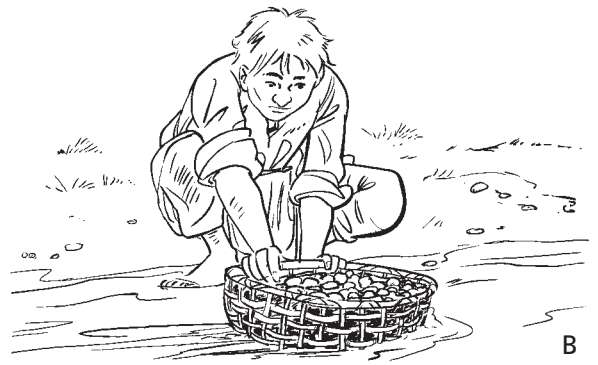
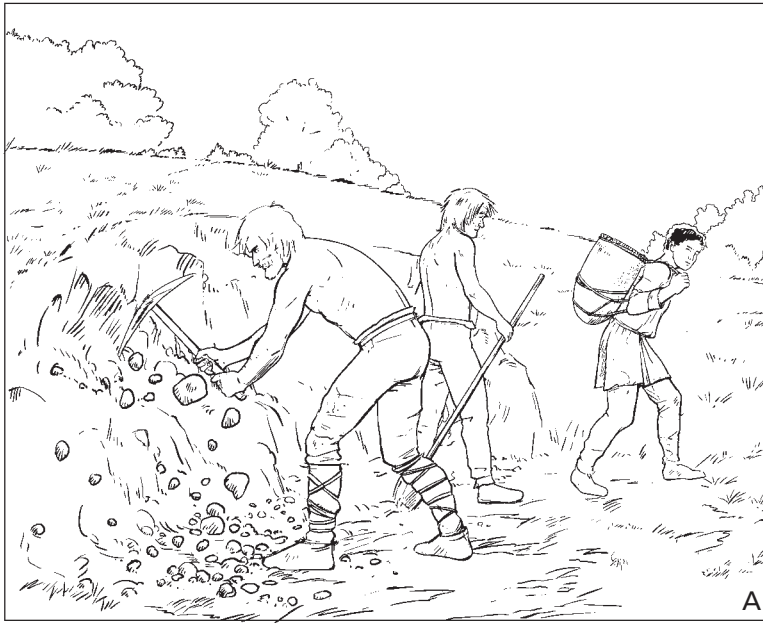


Fig. 4 Extension du district sidérurgique du Jura central suisse avant l'an mil (en gris), avec l'emplacement du site de Develier-Courtételle (★).



En Europe occidentale, dès la fin de l'Age du Fer, les opérations de réduction du minerai de fer s'effectuaient dans des bas fourneaux à scories coulées¹ (les notes sont en fin de chapitre). Dans la partie centrale du Jura suisse, c'est la filière directe de la réduction qui prédominait et ce, jusqu'au début du 15^e siècle. Elle est alors remplacée par la filière indirecte, pratiquée dans des hauts fourneaux. Le principe de la réduction consiste à retirer les atomes d'oxygène liés au fer en les faisant réagir avec le monoxyde de carbone gazeux libéré lors de la combustion du charbon de bois dans le fourneau. Dans le minerai, le fer, associé à d'autres éléments, constitue des minéraux. Pour que les atomes de fer puissent former une structure métallique, il est nécessaire de briser ces structures minérales. Lors des opérations de réduction, la combustion dans le fourneau dégage, d'une part, l'énergie nécessaire au processus et, d'autre part, le monoxyde de carbone qui agit comme réducteur.

Les travaux préparatoires à la réduction du minerai sidérolithique constitué de pisolithes prises dans une gangue argileuse (chap. 3.4.3) sont effectués quelque part entre le lieu de son extraction (fig. 5A) et celui de sa réduction, souvent proches l'un de l'autre. Il s'agit du lavage (fig. 5B), du concassage et du grillage (fig. 5C). Le lavage du minerai consiste à libérer les pisolithes de leur gangue argileuse, par ailleurs pauvre en oxydes de fer; le concassage des plus grands morceaux, agglomérats de pisolithes, facilite leur réduction. Le grillage entraîne, quant à lui, l'évaporation de la majeure partie de l'eau contenue dans le minerai et provoque un début de réduction des oxydes de fer (Eschenlohr et Sermeels 1991).

Durant le Haut Moyen Age, et pour la région qui nous intéresse, la réduction directe du minerai de fer au moyen du bas fourneau à scories coulées n'implique pas d'atteindre le point de fusion du métal «fer» (1536°C)². Avec ce procédé, on parvient à la liquéfaction de l'essentiel des impuretés, qui s'écoulent hors du bas fourneau, par une ouverture ménagée à cet effet, sous la forme de scories coulées (fig. 5D). Il entraîne cependant la perte d'une partie considérable des oxydes de fer contenus dans le minerai (estimée à env. 50% dans le minerai jurassien). Parallèlement, le métal non liquéfié pour cause de température insuffisante s'agglutine à l'intérieur du bas fourneau en un bloc pâteux: l'éponge de fer. Cette dernière est probablement extraite à chaud et, après un premier dégrossissage, acheminée vers la forge d'un habitat proche (fig. 5E et F). On procède dès lors aux opérations de postréduction, à savoir le raffinage et le forgeage (fig. 5G et H). L'éponge se présente sous la forme d'un bloc de fer et/ou d'acier de structure spongieuse encore rempli d'inclusions de scorie et de charbon de bois issus de la réduction; elle doit donc être nettoyée avant son forgeage au sens strict du terme.

Le raffinage rassemble les opérations d'épuration de l'éponge de fer, destinées à la nettoyer de ses impuretés, ainsi que les travaux de compactage, pour finalement obtenir un bloc de métal de bonne

qualité. Comme le raffinage et le forgeage peuvent s'effectuer dans une seule et même structure – le bas foyer (fig. 32) –, il est possible que ces opérations aient été réalisées en continu. De ce fait, la séparation absolue entre le raffinage et le forgeage du métal par la seule observation morphologique des déchets est souvent impossible. Seul un complément analytique peut permettre de situer la pièce en question dans une phase précise, à savoir le début ou la fin du raffinage, la transition entre le raffinage et le forgeage, ou le forgeage final.

2.2 Méthodologie

Céline Robert-Charrue Linder et Vincent Friedli

La fouille menée sur le site de Develier-Courtételle a permis de mettre au jour une quantité exceptionnelle de déchets liés au travail du fer (chap. 3) et un important mobilier en fer (chap. 4). Une petite métallurgie des alliages cuivreux ainsi qu'un corpus plus modeste d'objets en alliages non ferreux ont également été mis en évidence (chap. 5). L'effort, tant sur le terrain que dans les bureaux, a tout d'abord porté sur la gestion de ce nombreux matériel. En parallèle, les analyses de laboratoire ont été effectuées sur plusieurs pièces sélectionnées. Les différentes approches méthodologiques de l'étude sont exposées ci-après. Les moyens analytiques employés sont décrits dans le chapitre 2.3.

Dès le début de la fouille de la partie occidentale du site, sur la commune de Develier, l'importance des vestiges en relation avec la métallurgie du fer s'est imposée (CAJ 13, chap. 6). Lors de la fouille de la partie orientale, située quant à elle sur les communes de Courtételle et de Delémont, ce sont des quantités encore plus impressionnantes de déchets – issus de cette même activité et communément appelés scories – et d'objets métalliques qui ont été recueillies et enregistrées (CAJ 13, chap. 9 et 14). Ce volume considérable de matériel, ainsi que la présence de structures associées au travail du fer, ont dès lors suscité l'idée de la collaboration au projet d'un archéologue spécialisé, dans le but de mieux comprendre quelles ont été les étapes de la chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne mises en œuvre sur ce site d'habitat (chap. 2.1). Ce spécialiste était également à même de fournir un encadrement scientifique adéquat sur le terrain pour tout ce qui concernait les travaux de fouille liés à l'industrie du fer.

Compte tenu de l'énorme masse de déchets (chap. 2.4.2), le lavage et le premier conditionnement ont été effectués immédiatement sur le terrain. L'établissement, sur la fouille, d'un inventaire préliminaire a requis un important travail de classification. Le remontage des pièces, réalisé dans la mesure du possible, ainsi que leur quantification en nombre de fragments et en poids, a abouti à un classement en plusieurs catégories distinctes (chap. 3). Le stockage d'une telle quantité de mobilier posant problème, tout comme son mauvais état de conservation, il a été décidé d'en faire un tri. Dans le même temps, une première sélection ne retenant que les pièces les plus caractéristiques a été effectuée. Les fouilles achevées, un second inventaire est intervenu avant l'étude proprement dite. A cette occasion, une caractérisation plus fine de chaque catégorie a permis une nouvelle sélection de pièces.

Fig. 5 Chaîne opératoire de la métallurgie du fer (filière directe dans un bas fourneau à scories coulées).

Le mobilier métallique, surtout découvert dans les niveaux d'occupation mais parfois à l'intérieur de structures, était, au moment de sa découverte, dans un état de conservation généralement très médiocre. Si la situation était acceptable pour les éléments en alliages cuivreux, l'essentiel du mobilier en fer était à peine identifiable, tant la corrosion et les déformations masquaient les formes et les dimensions : il était généralement impossible de différencier les objets proprement dits des fragments ou des déchets, en particulier dans les zones de travail du fer. Ce matériel a été inventorié, conditionné, puis laissé en attente des indispensables travaux de restauration (chap. 4.1). L'étude du mobilier métallique par un archéologue spécialisé n'a ainsi débuté qu'après l'achèvement des travaux de terrain. Elle a été orientée vers une approche typologique et fonctionnelle où ont été examinées l'importance, la composition et la distribution de ce mobilier.

La saisie informatique a ensuite débuté. Une base de données intégrant la totalité du mobilier archéologique de Develier-Courtételle a été réalisée afin de pouvoir gérer et exploiter au mieux toutes les informations utiles à l'étude et, au final, de pouvoir dresser des cartes de répartition précises (chap. 6). Conjointement, un choix a été effectué parmi les pièces caractéristiques – déchets du travail du fer mais aussi mobilier métallique – en vue de procéder à des analyses chimiques, métallographiques et minéralogiques. Une collaboration étroite a été mise sur pied avec le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) à Dübendorf. Ces recherches en laboratoire, couplées à l'étude archéologique basée sur la description macroscopique, les recherches typologiques, l'étude quantitative détaillée ainsi que sur la répartition spatiale précise du matériel, devaient mener à une meilleure compréhension de la totalité des activités métallurgiques pratiquées sur le site de Develier-Courtételle.

2.3 Les méthodes analytiques appliquées

Marianne Senn

Le large choix évoqué ci-dessus, opéré parmi les déchets et les objets, a permis d'étudier les techniques de travail utilisées et également de déterminer, dans la mesure du possible, quels étaient les produits de l'artisanat local. Les groupes de vestiges suivants ont été pris en compte : toutes les catégories de scories, les parois, les battitures, le minerai, les déchets et les objets métalliques (fig. 6). L'étude particulière du mobilier métallique est développée dans les chapitres 4 et 5.

Le but de l'étude a été de déterminer, pour chacun de ces vestiges, l'étape de la chaîne opératoire au cours de laquelle il s'est formé ou à laquelle il a pris part, en tentant de le caractériser de manière plus précise. Parallèlement, le mode de production a été revu plus en détail. Par ce biais, il s'agissait également d'identifier les produits d'origine locale et d'estimer l'ampleur de la production sur le site.

Après avoir été classés et interprétés du point de vue macroscopique, ces vestiges ont été soumis à des analyses chimiques (chap. 2.3.1) et à des examens microscopiques (chap. 2.3.2). Un certain nombre de problèmes analytiques sont apparus, le

Question	Méthode d'examen	Vestiges	Nb échantillons
Etape de la chaîne opératoire	WD-XRF	scories en forme de calotte	98
		scories ferrugineuses	5
		scories d'aspect coulé	7
		scorie argilo-sableuse	1
		battitures	10
	Microscopie optique	scories ferrugineuses	45
		déchets de forge en fer	21
Participation au processus	WD-XRF	fragments de paroi sablo-argileuse	3
		minerai pisolitique	2
Caractérisation du processus	Microscopie	scories en forme de calotte	25
		scories d'aspect coulé	6
		battitures	10
	Microsonde (MEB/EDS)	scories en forme de calotte	8
		scorie d'aspect coulé	1
		battitures	3
Fabrication / élaboration	Microscopie	objets en fer	69
Parenté / origine	LA-ICP-MS	fer dans calottes	9
		fer dans scories ferrugineuses	33
		déchets de forge en fer	19
		objets en fer	56
	Microsonde	creusets	2
objets en alliages cuivreux		10	
Détermination du matériau	Microsonde	damasquinages de laiton et de métaux précieux	10

Fig. 6 Concept de l'étude.

matériel examiné étant hétérogène, soit en raison de sa composition faite de plusieurs matériaux (scorie, paroi sablo-argileuse, métal), soit en raison des processus de vieillissement touchant les métaux (oxydation).

2.3.1 Analyses chimiques

La composition chimique d'un objet permet sa caractérisation directe ou fournit des informations sur les matériaux ayant contribué à sa formation. Si l'on procède en plus à une analyse des éléments traces³, il est même souvent possible de déterminer la provenance de cet objet. En ce qui concerne la détermination de la composition chimique des scories, du minerai, des battitures et de la paroi, on utilise fréquemment la spectrométrie de fluorescence des rayons X dispersive en longueur d'onde (WD-XRF). Cette méthode d'analyse ne demande qu'un échantillon de masse réduite (environ 30 g), qui doit toutefois être aussi homogène que possible, et présente des avantages aussi bien en matière de préparation des échantillons qu'en matière de coût en comparaison des méthodes d'analyse par voie humide.

Afin d'obtenir des informations supplémentaires sur les conditions de formation des matériaux examinés, il a été procédé à la détermination des minéraux qui les composent. La diffraction des rayons X (annexe 1) permet d'obtenir une vue d'ensemble succincte de la composition minéralogique. Pour des examens plus détaillés, il est nécessaire de recourir à un examen microscopique combiné à des méthodes d'analyse chimique de dissolution locale telles que la microanalyse quantitative par faisceau d'électrons (microsonde électronique) et la spectrométrie semi-quantitative des rayons X dispersive en énergie sous le microscope électronique à balayage (MEB/EDS).

Les métaux archéologiques, et surtout le fer, sont plus difficiles à analyser car ils ne sont en règle générale pas homogènes et ne le deviennent pas plus par pulvérisation, contrairement aux scories. Par le passé, ils ont souvent été analysés à l'aide de méthodes non ponctuelles, ce qui permet d'émettre de sérieux doutes quant à la validité des résultats ainsi obtenus. Il s'est agi, pour les métaux, de préciser d'une part la composition chimique ou l'alliage, et d'autre part la structure métallographique permettant de retracer l'histoire de leur production et de leur élaboration. La détermination des éléments traces associés au métal a servi à établir les relations pouvant exister entre la composition chimique des déchets métalliques et celle des objets en fer découverts sur le site. Il a donc été possible d'en déduire si ces derniers ont bien été produits sur place ou, au contraire, importés.

L'examen de la composition chimique du fer a posé des problèmes particuliers. Le matériau hétérogène formé de métal, d'inclusions de scories, de charbons de bois et de produits de corrosion exigeait lui aussi une méthode permettant de réaliser une analyse ponctuelle. Pour la détermination des éléments traces dans le fer, la spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif avec ablation laser (LA-ICP-MS) s'offrait comme une méthode idéale. Le fer produit par réduction directe dont il est question ici, n'est pas allié à d'autres métaux (nickel, chrome, vanadium, manganèse...) comme l'est l'acier moderne, et les éléments traces qu'il contient proviennent donc du minerai même. Le choix des éléments traces à analyser s'est donc effectué en fonction de ceux qui accompagnent le fer (éléments sidérophiles) dans les différents minerais de fer connus (Tylecote 1987, p. 49-51). Parmi ces éléments traces contenus dans le minerai, les plus fréquents sont le nickel, le cobalt, le cuivre et l'arsenic. Le phosphore, qui est un élément lithophile, et qui n'est que partiellement lié au fer, a également été pris en compte.

Enfin, des éléments typiques des aciers alliés modernes produits par la méthode indirecte (vanadium, chrome et manganèse) ont été retenus, ainsi qu'un élément (aluminium) signalant que des impuretés – essentiellement des inclusions de scorie – ont été analysées conjointement au métal. Avec la teneur en carbone estimée lors de l'examen microscopique, tous ces éléments traces permettent une description chimique approximative du fer produit par la réduction directe du minerai. Il faut toutefois relever que deux éléments qui fournissent des informations importantes sur la qualité du fer – l'azote et le soufre – ne sont pas pris en compte. Il a fallu y renoncer, les méthodes usuelles pour leur détermination ne permettant pas une analyse ponctuelle sur les échantillons.

2.3.2 Analyses microscopiques

Afin de préciser d'autres caractéristiques des matériaux ainsi que l'histoire de la production des objets en fer, et pour établir un lien entre la composition chimique des scories et la phase liquide dont elles sont les témoins, il était nécessaire de procéder à la détermination de la structure des objets.

L'examen de cette structure au moyen du microscope fournit des informations sur leur structure en rendant visible le fibrage du métal et les soudures. Il met en évidence la constitution interne

des alliages et la structure des métaux, et permet ainsi de décrire les composants d'un métal selon leur taille, leur forme et leur distribution. Il permet également de noter les défauts du matériau comme les fissures et les inclusions. Ces composants sont comparés avec le diagramme d'équilibre de l'alliage concerné, ce qui autorise le constat d'éventuelles modifications dues à des phénomènes mécaniques, thermiques ou chimiques.

La composition minéralogique, qui doit ensuite être vérifiée par des méthodes chimiques, peut aussi être déterminée par l'examen microscopique. Toutefois, il est à relever que de très petits composants ne sont plus identifiables sous le microscope.

Les techniques micrographiques sont relativement simples, mais elles exigent un travail important pour la préparation des échantillons. Les différentes étapes sont les suivantes (annexe 1) :

- prélèvement et montage des échantillons;
- polissage et finition mécanique de la section;
- attaque du métal;
- examen sous microscope;
- détermination de la grosseur des grains et estimation quantitative des phases minérales;
- mesure de dureté du métal.

2.3.3 Concept d'analyses

Le concept de l'étude (fig. 6), décrit dans les chapitres consacrés aux examens chimiques et microscopiques, a été élaboré par la Section chimie analytique/Caractérisation des matières solides du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) à Dübendorf (Peter O. Boll †, Wim Devos, Marianne Senn), en collaboration avec le Laboratoire de Métallurgie et Cultures/UMR 5060 du CNRS de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (Philippe Fluzin) et avec le Centre d'analyses minérales de l'Université de Lausanne (Hans-Rudolf Pfeifer et Vincent Serneels). L'Empa est spécialisé dans l'examen des métaux archéologiques (Senn et al. 2001).

Le concept suit les principes généraux de la caractérisation des matières solides et de la détermination de la structure des métaux et des minéraux. Pour définir l'étape de la chaîne opératoire dont les scories sont issues, on utilise les différences des teneurs et des rapports de certains éléments majeurs et éléments traces. Ces derniers, présents dans des teneurs supérieures à 100 mg/kg, sont décisifs pour cette détermination. En ce qui concerne l'examen microscopique du métal, ce sont des caractéristiques macroscopiques telles que le degré de déformation des porosités et des inclusions de scories qui fournissent des informations sur l'étape de la chaîne opératoire dont il est le résultat. La caractérisation du processus s'effectue sur la base de la structure interne des scories, décrite à l'échelle macroscopique par la stratification et les inclusions, et à l'échelle microscopique par les différentes phases minérales déterminées grâce à l'analyse par microsonde. L'identification du procédé d'élaboration des objets en métal repose aussi bien sur des critères macroscopiques, comme les soudures, que sur des critères microscopiques, de nature thermomécanique par exemple.

L'établissement du degré de parenté des métaux entre eux, permettant de définir l'origine locale ou étrangère au site des produits, s'appuie sur la détermination des éléments traces par microsonde et par l'analyse LA-ICP-MS. Outre les valeurs absolues des éléments, les rapports entre des éléments spécifiques sont déterminants.

Une grande importance a été accordée à l'examen d'un nombre suffisamment élevé d'échantillons, de manière à ce que les résultats ne soient pas seulement valables pour les seules pièces prises en considération, mais soient également représentatifs d'une famille d'objets et, finalement, de l'atelier dans son ensemble.

2.4 L'aspect macroscopique des scories de fer

Céline Robert-Charrue Linder et Ludwig Eschenlohr

2.4.1 Etat de la recherche

Alors que les déchets résultant de la réduction du minerai de fer font l'objet, pour le Haut Moyen Age, de nombreuses publications (Eschenlohr et Serneels 1991; Serneels 1993; Pelet 1993; Leroy 1997), la situation était jusqu'à très récemment inverse pour ceux issus des opérations de postréduction. Cela s'explique par le fait qu'il demeure exceptionnel, pour cette époque, de retrouver les sites d'habitat où ces opérations ont été effectuées, contrairement aux sites de réduction, implantés plus à l'écart des zones habitées et donc davantage épargnés.

Comme c'est le cas pour les sites de réduction, la caractérisation des scories de postréduction, ainsi que leur regroupement en différentes catégories, s'avère indispensable afin de reconnaître les assemblages de déchets susceptibles de résulter de cette étape (GSAF 1997; Serneels 1993). Il est en effet avéré que l'on retrouve un regroupement spécifique de déchets sur les sites où des travaux de postréduction ont été pratiqués. Un tel constat n'est cependant rendu possible qu'à partir du moment où l'on dispose d'un ensemble suffisant de déchets et donc d'un échantillon représentatif⁴.

L'intérêt d'une étude archéologique englobant la totalité de ces catégories de déchets se situe à plusieurs niveaux et permet :

- la reconstitution d'une partie de la chaîne opératoire, située entre la réduction du minerai et l'objet fini, permettant de compléter les hypothèses relatives aux acteurs de la chaîne opératoire;
- le repérage des zones de bas foyers, notamment par la présence de fragments d'éléments de construction (parois, tuiles scoriées), et hypothèses sur leurs infrastructures et superstructures;
- l'évaluation de la production en métal d'un site donné, et donc de son importance au niveau régional voire suprarégional;
- de poser des hypothèses relatives au réseau d'importation et/ou d'exportation en métal et/ou en objets finis;
- d'apprécier le savoir-faire des forgerons de l'époque.

Les scories en forme de calotte constituent les déchets les plus caractéristiques retrouvés sur les sites de postréduction (chap. 3.2). Selon les publications, elles peuvent être nommées culots

de forge ou culots plano-convexes. Facilement reconnaissables et apportant leur lot d'informations, elles focalisent l'attention dans les diverses études existantes où est détaillée la variété des formes qu'elles peuvent offrir (Serneels 1995; Anderson et al. 2003; Serneels et Perret 2003). Le but récurrent de ces études est un classement par types permettant d'émettre des hypothèses quant au travail dont chacune pourrait être issue. Les comparaisons entre les différents sites où les calottes sont décrites demeurent cependant difficiles, non seulement en raison de la rareté des publications concernant ce thème précis, mais également du fait de l'importance relativement modeste du matériel conservé selon les sites concernés, que ce soit en Suisse ou ailleurs en Europe.

Si les autres types de déchets issus de la postréduction restent pour l'heure encore peu étudiés (Anderson et al. 2003), les recherches sur ce thème connaissent cependant un intérêt croissant au gré des découvertes, prouvant leur potentiel d'informations, tant dans le domaine archéologique qu'analytique – l'un étant par ailleurs difficilement concevable sans l'apport de l'autre⁵. En effet, ces recherches ne peuvent s'estimer complètes sans l'apport des analyses en laboratoire des déchets concernés. Les publications sur ce sujet précis se doivent donc de comporter un volet analytique, cet aspect de la recherche sur la métallurgie ancienne se développant de pair avec les recherches archéologiques, de plus en plus nombreuses à ce propos (chap. 2.5.1).

2.4.2 Les scories de Develier-Courtételle

2.4.2.1 Données quantitatives

Sont présentées ici les données quantitatives globales des déchets liés au travail métallurgique retrouvés sur le site. L'analyse détaillée de ces données, ainsi que la pertinence des assemblages entre les diverses catégories de déchets, sont détaillées dans le chapitre 3.

Le site de Develier-Courtételle a livré quelque quatre tonnes de déchets issus de la transformation et du travail du fer, représentant au total plus de 100 000 fragments (fig. 7-9).

2.4.2.2 Classement du matériel

Ce matériel a fait l'objet, après examen, description, mesures et saisie dans la base de données, d'un classement en différentes catégories elles-mêmes subdivisées en types :

- scories en forme de calotte, classées en onze types distincts (chap. 3.2);
- déchets de forge (chap. 3.3.1);
- scories ferrugineuses (chap. 3.3.2);
- scories d'aspect coulé (chap. 3.4.2);
- minerai (chap. 3.4.3);
- éléments de construction, fragments de parois et de tuiles scoriées (chap. 3.4.4).

A cette liste s'ajoutent les scories indéterminées (fig. 7). Celles-ci regroupent des pièces de trop petite taille pour assurer une identification. Il est cependant probable qu'elles signalent en majorité

Catégorie	Poids		Fragments	
	kg	%	nb	%
Calottes	3667	88,6	43819	43,8
Déchets de forge	1,1	0,03	103	0,1
Ferrugineuses	110	2,7	9542	9,5
Coulées	87	2,1	12469	12,5
Minerai	1,1	0,03	219	0,2
Parois	211	5,1	22547	22,5
Indéterminés	62	1,5	11420	11,4
Total	4139,2	100	100119	100

Fig. 7 Données quantitatives globales, réparties par catégories de déchets.

Remarque : les catégories des éponges et des battitures, bien que prises en compte dans le tableau récapitulatif des déchets, ne peuvent être considérées comme représentatives de l'ensemble du mobilier.

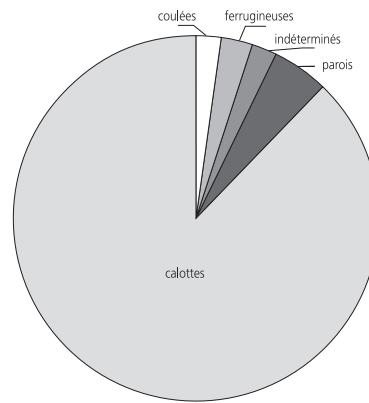


Fig. 8 Part des principales catégories de déchets par rapport à leur poids.

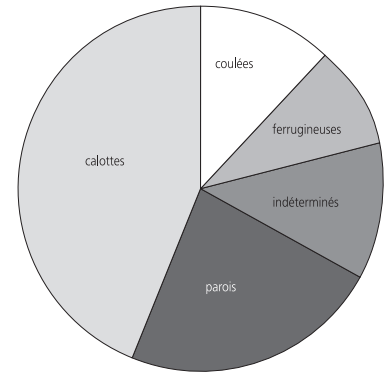


Fig. 9 Part des principales catégories de déchets par rapport au nombre de fragments.

des petits fragments de calottes. Quant aux éponges, seules les pièces fortement métalliques, coupées et parfois analysées, ont pu être identifiées comme telles. Cela n'implique pas qu'une pièce en métal pur soit forcément une éponge. Il est en effet probable que des fragments d'éponge aient été intégrés, suite à leur seule observation morphologique, dans la catégorie des scories en forme de calotte ou dans celle des scories ferrugineuses, ou qu'une partie des éponges soient des déchets en métal pur. Enfin, les battitures, vu leur très petite taille, n'ont pu faire l'objet d'un décompte systématique que dans le contexte de certaines structures associées au travail du fer, pour lesquelles un prélèvement de sédiment, suivi d'un tamisage, a été pratiqué (chap. 3.4.1). Aucune quantification précise de battitures n'a par contre pu être faite sur les zones proches de ces structures.

Tous ces matériaux sont classés globalement dans la catégorie des déchets du travail du fer, même si les fragments de paroi de bas foyer et les tuiles scorifiées s'apparentent plus à un matériau de construction qu'à un déchet de travail proprement dit. Dans ce cas précis, la fonction prime sur le matériau, qui lie étroitement tous ces différents déchets. La composition de la paroi, hétérogène, contient en effet des éléments que l'on retrouve, à différents degrés, dans les diverses catégories de déchets et peut se constituer aussi bien de scories, de métal que de matériau sableux. A ce niveau-là, c'est par le biais de la recherche analytique qu'il est possible d'opérer une séparation plus fine.

Un accent particulier a été mis sur l'étude des scories en forme de calotte. La raison en est simple : elles constituent en paléoméallurgie le déchet type et prédominant, issu des opérations de postréduction. Sur le site de Develier-Courtételle, elles représentent près de 90% du poids total des déchets et 44% du nombre total (fig. 7-9). La catégorie des calottes étant facilement reconnaissable en soi (chap. 3.2), une subdivision interne a été effectuée par types présentant des caractères morphologiques communs récurrents.

Les calottes ont ainsi été classifiées selon plusieurs critères, basés sur leurs dimensions, le rapport entre ces mêmes dimensions, ou encore sur leur aspect de surface (chap. 3.2.1). Certaines d'entre

elles ont également fait l'objet d'études analytiques sans lesquelles il aurait été impossible de les rattacher à une étape spécifique de la chaîne opératoire : épuration de l'éponge de fer, compactage de cette dernière, forgeage d'un type d'objet précis, ou même succession de deux, voire de la totalité de ces différentes étapes.

Lorsqu'un fragment de scorie en forme de calotte ou d'une autre catégorie de déchet semblait, de par sa densité ou son aspect corrodé, être riche en fer, un test systématique a été réalisé à l'aide d'un aimant et la réaction estimée : nulle, faible, moyenne, forte ou très forte.

Enfin, les numéros de catalogue (signalés par l'abréviation « cat. » suivie du ou des numéros concernés) ou d'inventaire cantonal (signalés par l'abréviation « inv. » suivie du ou des numéros concernés) apparaissant dans le texte se réfèrent au catalogue ou aux annexes en fin d'ouvrage.

Les autres catégories de déchets sont également étudiées de façon approfondie et font l'objet d'une description morphologique, suivie d'un développement lié aux résultats analytiques (chap. 3.3 et 3.4). L'ordre de description de chaque type de déchet a délibérément été effectué en fonction de son importance dans le processus technique de raffinage ou de forgeage dont il est issu.

2.4.2.3 Limites de l'étude

Sur la base des éléments récoltés dans le périmètre fouillé, il est possible d'affirmer que l'on n'y a jamais procédé à la réduction du minerai de fer. Cette constatation repose sur les pourcentages des différents types de déchets retrouvés, variant fortement selon l'opération pratiquée (chap. 3) et qui, à Develier-Courtételle, n'attestent que des travaux de postréduction. De plus aucun vestige de bas fourneau n'y a été découvert, ce qui confirme la pratique des seules opérations de postréduction (fig. 5G et H) ; le fer a donc été transformé et des objets fabriqués dans plusieurs des fermes de ce hameau médiéval⁶. De ce fait, seules les étapes de postréduction ont été étudiées, le processus de réduction n'étant plus abordé par la suite, et le minerai simplement évoqué en raison de sa présence sporadique sur le site (chap. 3.4.3).

2.5 Les caractéristiques chimiques des scories de fer

Marianne Senn

2.5.1 Etat de la recherche

Les scories de fer font depuis longtemps déjà l'objet d'analyses chimiques, comme le montre par exemple la publication récente consacrée à l'archéométaballurgie du fer dans le canton de Schaffhouse, intégrant un aperçu des analyses effectuées depuis les années 1940 (Beck et Senn 2000). On retrouve également très souvent, dans les ouvrages de référence sur le fer historique, des tableaux qui donnent la composition chimique des scories (Tylecote 1987). Des modèles d'interprétation de ces analyses se sont développés, à partir du moment où l'on a commencé à considérer les scories comme étant le reflet des systèmes de phases liquides et des processus d'agglomération, c'est-à-dire en tant qu'indicateurs de ces phénomènes. L'un de ces premiers modèles (Morton et Wingrove 1969) concerne la réduction directe du fer et se présente sous la forme d'un diagramme de phases, dans lequel les phases minérales de la scorie sont calculées à partir des valeurs d'analyse des oxydes. Ce système fournit des informations sur les températures de formation des scories et aussi, indirectement, sur les températures et les paramètres de l'opération. Il présente cependant un inconvénient: les phases étant obtenues par calcul, des composants minéraux minoritaires sont ainsi négligés alors qu'ils sont importants pour la détermination correcte du processus de réduction (Kronz 1997, p. 60-64). Il existe actuellement des diagrammes de phases complexes, reposant principalement sur l'étude des phases minérales des scories de fer, qui fournissent des renseignements plus

détaillés sur la conduite de cette opération. V. Serneels a proposé, quant à lui, un autre modèle (Serneels 1993) dans lequel l'analyse des scories inclut désormais l'analyse de leurs éléments traces, souvent négligés. Les éléments traces sont de bons indicateurs d'origine et permettent de développer des modèles de formation des scories à partir des différents produits de départ. Ce modèle est bien adapté pour l'attribution des scories aux diverses phases de la chaîne opératoire, mais ne fournit par contre que des informations limitées quant aux conditions régnant lors de ces phases.

Les substances initiales, qui contribuent à la formation des scories, sont fonction de l'étape dont résultent ces dernières. Ainsi, les scories issues de la réduction directe sont composées principalement d'éléments également typiques du minerai (Fe, Si, Al, Mg, V, Cr), avec un appauvrissement de ceux nécessaires à la production du métal (Fe, Ni, Co, Cu, As, P). Les scories de raffinage contiennent encore une partie des éléments du minerai de départ, mais ceux-ci proviennent alors de la scorie de réduction encore présente dans l'éponge de fer; elles se composent aussi d'éléments issus du métal travaillé. Outre le fer qui est très présent, les scories de forge sont constituées essentiellement d'éléments traces provenant du métal (Ni, Co, Cu, As, P).

2.5.2 Analyses chimiques des scories de Develier-Courtételle

La plupart des scories qui font l'objet de cette étude témoignent, de par leur morphologie en calotte (chap. 3.2), des étapes dont elles sont issues: cette forme est typique des scories de raffinage et des scories de forge. Les analyses WD-XRF ont confirmé ce fait,

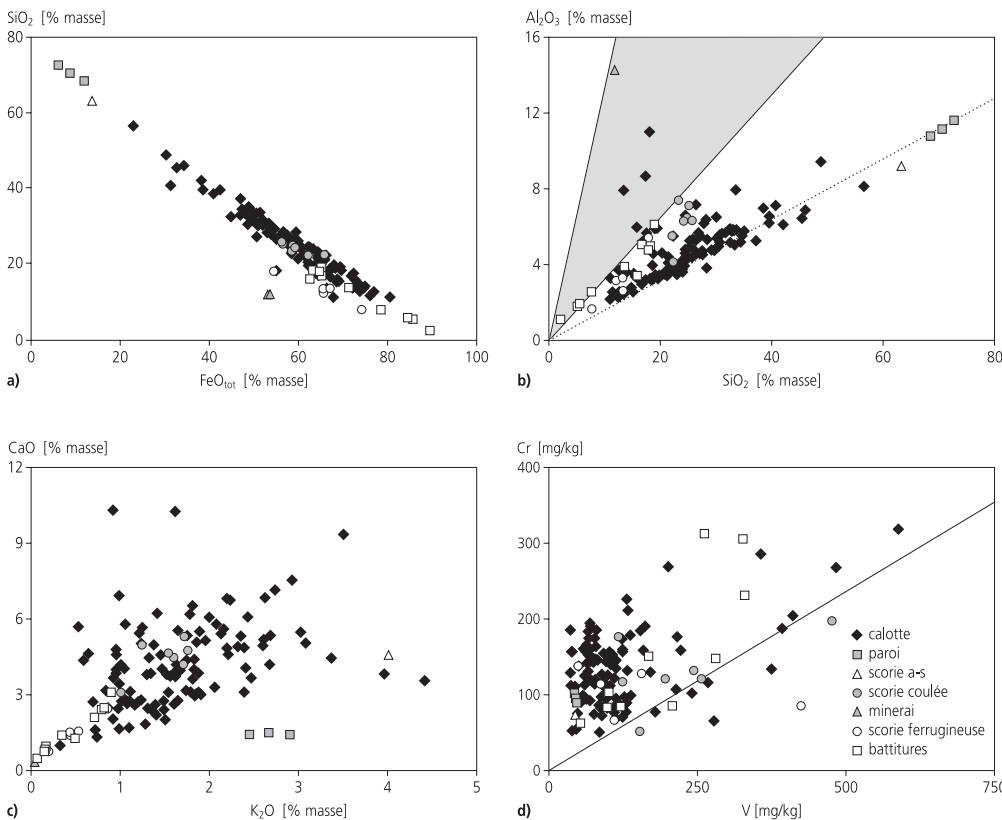


Fig. 10
 a) Les composants principaux des scories et des autres déchets étudiés par WD-XRF sont le FeO et le SiO₂. Le contenu le plus élevé en SiO₂ se trouve dans les parois. Par contre, les battitures se sont formées à partir de métal oxydé et se composent, par conséquent, surtout de FeO.
 b) Les minerais sidérolithiques étant riches en aluminium, ils possèdent un rapport bas en SiO₂/Al₂O₃ similaire aux scories de réduction du district sidérurgique jurassien (en gris). Ainsi que les battitures, les scories d'aspect coulé et les scories ferrugineuses, indiquent l'influence des scories de réduction dans leur composition chimique. La plus grande partie des calottes présentent par contre un rapport SiO₂/Al₂O₃ similaire aux parois (ligne pointillée).
 c) Les contenus élevés en CaO et K₂O prouvent l'influence chimique du charbon de bois dans la formation des calottes. Le charbon de bois est pratiquement absent dans les battitures et les scories ferrugineuses.
 d) Les minerais sidérolithiques sont riches en traces de vanadium et de chrome (les concentrations dans les minerais se trouvent hors du diagramme). Seule une petite partie des calottes, des scories d'aspect coulé, des battitures et des scories ferrugineuses contiennent ces éléments en concentrations élevées, avec un rapport similaire aux calottes de raffinage de Boécourt (ligne).

mais elles ont également démontré que d'autres composants – des décapants ou le charbon de bois utilisé comme combustible – exerçaient une influence non négligeable (chap. 3.2.16).

Les éléments principaux des scories et des autres déchets analysés sont le silicium et le fer (fig. 10 et annexe 2). Bien que leurs teneurs varient fortement dans les scories, leur somme dépasse le plus souvent les 80% masse des composants analysés. Parmi les éléments secondaires, l'aluminium et le calcium représentent environ 15%. Le solde des composants mineurs – où le potassium, le magnésium et le phosphore prédominent – n'atteint que 5%. Seuls font exception à cette règle les échantillons analysés de minerai pisolithique et de paroi de bas foyer. Dans le minerai, le fer domine et la teneur en aluminium est supérieure à celle du silicium. Dans la paroi du bas foyer, le silicium domine et la teneur en aluminium est égale ou supérieure à celle du fer.

Cette composition en éléments majeurs démontre que les scories analysées ne se sont pas formées directement à partir du minerai. Une grande partie d'entre elles contiennent autant ou davantage de fer, et nettement moins d'aluminium, que lui (fig. 11a). Seules de rares calottes ont une composition riche en aluminium qui se rapproche de celle du minerai. Dans le diagramme ternaire FeO-SiO₂-Al₂O₃ (fig. 11a), la majorité des scories se situe vers le pôle FeO (fer), et s'étire en direction du pôle SiO₂ (paroi du bas foyer et scorie argilo-sableuse; fig. 10a et 11a). On constate une certaine influence des scories de réduction dans de nombreuses calottes; elle se remarque davantage encore dans les scories ferrugineuses et sur les scories d'aspect coulé (fig. 10b et d). La majorité des calottes est plus riche en calcium que la paroi du bas foyer, les minerais, les battitures et les scories ferrugineuses (fig. 10c et 11b). L'enrichissement en calcium dans les calottes et les scories d'aspect coulé est dû au rôle non négligeable que joue le charbon de bois dans leur formation.

Les éléments traces dominants sont – en fonction de la pièce examinée – le baryum, le vanadium, le chrome, le nickel, le cobalt et l'arsenic. Dans quelques cas, on trouve également du strontium

en concentrations élevées. Celles du baryum sont particulièrement hautes dans la paroi du bas foyer (annexe 2). Le strontium se trouve de manière typique dans le charbon de bois et dans ses cendres, ainsi que dans le minerai oolithique. Une relation avec ce minerai peut toutefois être exclue car dans ce cas les concentrations de calcium et de phosphore devraient être notablement plus élevées.

Seules quelques rares calottes, une partie des battitures et les scories d'aspect coulé présentent une composition en éléments traces dénotant une influence du minerai (somme V + Cr, fig. 11c). Par contre, la composition des scories ferrugineuses est beaucoup plus fortement influencée par le métal (somme Ni+Co+As, fig. 11c), bien que la scorie de réduction joue aussi un rôle dans leur formation (fig. 10b et d). Il en va de même pour les battitures (fig. 11), dont la composition est le plus souvent fortement influencée par le métal, mais dont la formation dénote toutefois une certaine influence de la scorie de réduction (fig. 10b et d).

2.6 Minéralogie des scories de fer

Marianne Senn

2.6.1 Etat de la recherche

La minéralogie des scories de fer fournit des informations sur les conditions du processus métallurgique. La production du fer par la filière directe de réduction implique chimiquement la formation de scories riches en oxydes de fer. Sur le plan minéralogique, il y a cristallisation du fer dans un système en fusion de composition proche de celle de la fayalite. L'examen des scories de raffinage et des scories de forge montre qu'il s'agit là aussi, sur le plan chimique, de scories riches en oxydes de fer provenant de liquides fayalitiques. Elles se sont toutefois formées par accumulation accidentelle et ne se trouvent ainsi pas dans un état d'équilibre. Les scories de fer peuvent également être considérées comme des corps solides formés – sans compter les inclusions et les produits de corrosion – de phases minérales et d'une masse vitreuse résiduelle. La phase minérale typique des scories examinées est la fayalite. On y trouve également une forte proportion

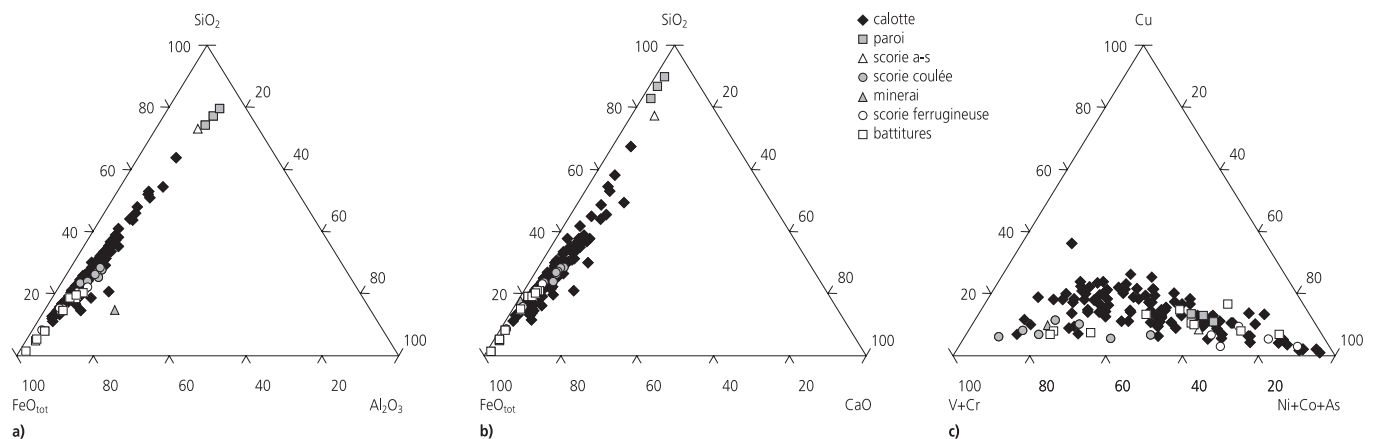


Fig. 11 Diagrammes ternaires de la composition chimique des matériaux étudiés par WD-XRF. a) On observe que pratiquement toutes les compositions oscillent entre celles des battitures et celles des parois. Seules quelques-unes s'approchent du minerai par leur composition chimique. b) Cependant, les scories diffèrent, par leur contenu en CaO, de la paroi. c) Quelques scories sont regroupées dans l'angle gauche, indiquant l'influence des scories de réduction dans leur composition chimique (V et Cr).

de wustite et de leucite, alors que la magnétite, l'hercynite et la rhönite ne jouent qu'un rôle secondaire (chap. 3.2.2). On remarque avant tout leur teneur parfois fortement élevée en leucite. La même constatation a été faite sur des scories d'un atelier de forge du Bas Moyen Age à Wissenbach, région de Lahn-Dill en Bade-Wurtemberg, dans lequel le raffinage jouait également un rôle important (Kronz 1997, p. 190-192). Cette formation accrue de leucite est due à la consommation de charbon de bois (ou d'un équivalent énergétique), qui est plus importante pour le raffinage que pour la réduction. Hormis le calcium, le charbon de bois contient également du potassium comme élément majeur, ce dernier pouvant contribuer à la formation de leucite.

2.6.2 Les minéraux des scories de Develier-Courtételle

Les olivines (Fe, Mg, Mn, Ca) $_2\text{SiO}_4$

Dans les scories examinées, les olivines sont proches du pôle ferreux, la fayalite (Serneels 1993, p. 25, fig. 18). Leur habitus varie en fonction des conditions de refroidissement. Lent, celui-ci conduit à des formes trapues; plus rapide, il conduit à la formation d'aiguilles dont la taille diminue avec l'augmentation de la vitesse de refroidissement. Toutes les tailles existent, depuis les aiguilles de plusieurs centimètres de longueur jusqu'aux «plumes» de quelques microns, et cela parfois même dans un espace très restreint sur la même pièce (fig. 12). Les olivines peuvent avoir cristallisé en deux générations. Souvent la fayalite se trouve en association symplectique avec la leucite (fig. 13).

Près de la moitié des olivines des huit scories analysées⁷ à la microsonde ne présentent qu'une faible variation de leur composition et sont formées d'une fayalite à faible teneur en forstérite (Mg_2SiO_4) et en kirschsteinite (CaFeSiO_4). Dans deux cas, la valeur en forstérite est supérieure à celle en kirschsteinite, ce qui n'est pas inhabituel dans les scories provenant du travail de postréduction, comme le montrent certaines études récentes (Kronz 1997, p. 71). Cette proportion plus grande de forstérite est un indice d'une température élevée, de l'ordre de celle parfois atteinte lors du forgeage (environ 1200°C). L'autre moitié des olivines examinées sont zonées et présentent toutes, à une exception près, un bord enrichi en CaO, phénomène apparaissant sur de nombreuses

scories issues de divers processus. Une seule des scories avec olivine zonée est riche en CaO dans sa totalité, sa zone périphérique résultant d'une diminution de la teneur en CaO. Tout enrichissement en CaO est indépendant de la teneur totale en CaO de la scorie, mais provient de la sous-saturation en SiO_2 du liquide. Par contre, la teneur totale en MgO de la scorie influence directement la composition de l'olivine. La teneur en MnO des scories examinées étant faible, elle ne joue dans ces olivines proches du pôle ferreux de la fayalite qu'un rôle tout à fait secondaire et le composant tephroïte (Mn_2SiO_4) est donc négligeable.

La wustite (Fe_xO)

Lors du travail de postréduction, comme ici pour les battitures, la wustite (fig. 14) se forme le plus souvent par oxydation à chaud du fer en passant par les phases $\text{Fe} \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$, ainsi que l'ont démontré de manière exemplaire les études effectuées sur les battitures de la forge gallo-romaine de Nailly en France (Dunikowski et al. 1996, p. 100-102). Les scories forment à un moment donné, dans le foyer de forge, un bain plus ou moins liquide. Au cours du refroidissement de ce bain, la wustite va cristalliser. Toutefois, il se produit également une réduction du fer à partir de wustite et de spinelles dans les scories, et cela, avant tout dans les zones voisines de la face inférieure de la scorie, mais aussi autour d'inclusions de charbons de bois non brûlés.

Dans les scories examinées, la wustite est toujours de forme dendritique, le plus souvent dans sa première phase cristallisée où elle se trouve en association symplectique avec la leucite. Selon les analyses par microsonde, elle renferme des composants des spinelles riches en Al et Ti, alors que les composants riches en Mn sont absents (annexe 4).

Les spinelles ($\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$)($\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti}$) $_2\text{O}_4$

Les conditions de formation des spinelles sont similaires à celles de la wustite. Ils se forment dans des conditions fortement oxydantes, par exemple au voisinage des trous à vent. Il s'agit alors le plus souvent de magnétite dont on peut admettre qu'elle provient d'une oxydation de la wustite ($\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$). Du fait de l'excès d'oxydes, il se forme également en parallèle des spinelles riches en Al et Ti, qui apparaissent dans les liquides, tels que, par exemple, ceux typiques de la réduction des minerais riches en Al et en Ti.



Fig. 12 Fayalite (F) de forme squelettique, équi-granulaire et en latte, dans la matrice vitreuse (M) (calotte avec vitrification cat. 15, images MEB, mode SE).

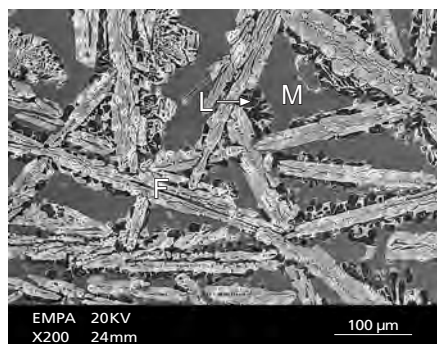


Fig. 13 Fayalite (F) de forme squelettique en latte cristallisée avec leucite (L) au bord et fayalite en association symplectique avec la leucite, l'ensemble se trouvant dans la matrice vitreuse (M) (calotte avec bourrelet cat. 16, image MEB, mode SE).

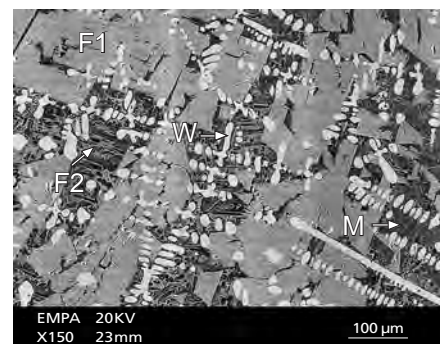


Fig. 14 Dendrites de wustite (W) sur fayalite en latte (F), avec fayalite de deuxième génération dans la matrice vitreuse (M) (calotte avec bourrelet cat. 16, image MEB, mode SE).

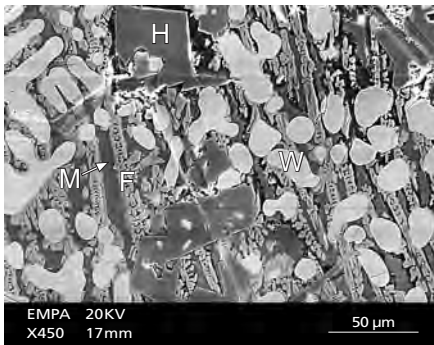


Fig. 15 Dendrites de wustite (W) et spinelle d'hercynite (H) sur fayalite en latte (F) dans la matrice vitreuse (M) (déchet de raffinage riche en métal cat. 35; image MEB, mode SE).

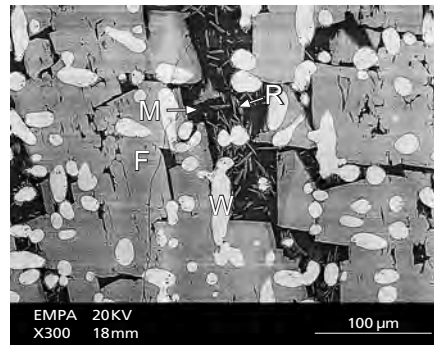


Fig. 16 Dendrites de wustite (W) sur fayalite en latte avec bord zoné (F) et aiguilles de rhönite (R) dans la matrice vitreuse (M) (calotte avec bourrelet cat. 17; image MEB, mode SE).

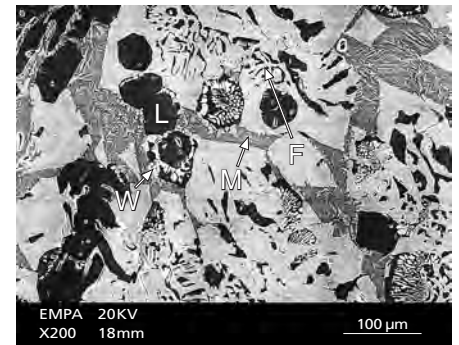


Fig. 17 Cristaux de leucite idiomorphes (L), partiellement symplectique avec la wustite (W), sur fayalite (F) en association symplectique avec la leucite dans la matrice vitreuse (M) (calotte aplatie cat. 7; image MEB, mode SE).

Dans les scories de postréduction examinées, les spinelles représentent aussi des indices d'une participation de la scorie de réduction à leur formation. Les scories de réduction sont éliminées du métal lors du raffinage et se retrouvent ainsi dans les scories de postréduction.

Une série complète de mélanges existe au-dessus de 850 °C entre la magnétite et l'hercynite, qui constituent les deux pôles extrêmes des spinelles examinés. Ces derniers lient les éléments vanadium et chrome, provenant eux aussi du minerai.

Plusieurs types de spinelles ont été observés dans les scories examinées :

- hercynite cristallisée à un stade précoce: le spinelle riche en hercynite cristallise à côté de la wustite comme première phase à partir du liquide (fig. 15), ou cristallise comme première ou deuxième phase avec la fayalite;
- spinelles fortement zonés: la variation des paramètres physiques confère une structure zonée à ces spinelles, dans lesquels le rapport magnétite/hercynite varie;
- magnétites fines ou spinelles squelettiques: ces composants témoignent de conditions plus oxydantes que dans les liquides usuels, et ont pu être observés dans quelques scories étudiées. Du fait de leur faible taille, leur composition chimique exacte est difficile à déterminer, mais présente toujours une composante importante d'hercynite et d'ulvite (cat. 7 et 15).

La rhönite $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_6(\text{Si}, \text{Al}, \text{P})_6\text{O}_{20}$

La rhönite, qui a été décelée dans quelques-unes des scories examinées sur le plan minéralogique, cristallise ici comme phase ultime avant solidification de la matrice vitreuse (fig. 16). La rhönite des scories présente une teneur plus faible en Ti que la rhönite naturelle. Elle se forme aussi bien en milieu réducteur qu'en milieu oxydant dans les liquides résiduels enrichis en Si, Ti et Ca. Il s'agit d'un cristal composé de pyroxène et de spinelle (Kronz 1997, p. 93-99). La rhönite se trouve aussi bien dans les scories de réduction que dans les scories de postréduction.

La leucite KAlSi_3O_8

La leucite est le principal support du potassium dans les scories étudiées. Le potassium, provenant principalement des cendres du combustible et des minéraux argileux de la paroi fondue de la

structure de combustion, contribue notablement à l'abaissement du point de fusion du liquide. Lors du forgeage, de la cendre de bois est également utilisée afin de faciliter la liquéfaction du sable de quartz utilisé comme décapant (Geiger 1996, p. 218). Sur les échantillons examinés riches en potassium, la leucite se forme comme première phase sous forme de cristaux idiomorphes ou en association symplectique avec la fayalite ou des oxydes (fig. 17). A côté de cela, elle forme des boucles entre les fayalites, ou vient s'intercaler entre les fayalites déjà formées.

Le liquide résiduel silicaté

Après la cristallisation de toutes les phases énumérées ci-dessus, le liquide résiduel est enrichi en SiO_2 . L'inertie du système, empêchant la formation d'autres phases que le verre, provoque sa solidification. Les liquides résiduels ou matrices vitreuses examinés présentent des compositions très différentes, qui peuvent être toutefois bien mises en relation avec la composition globale des scories. Cette constatation est en contradiction avec celle qu'A. Kronz (1997, p. 112) émet sur les scories qu'il a examinées, ce qui pourrait être dû à la quantité limitée de matériel analysé dans le cadre de l'étude de Develier-Courtételle.

2.7 Fer, acier et fonte: existence et utilisation au Haut Moyen Age

Marianne Senn

2.7.1 Etat de la recherche

L'examen métallographique des scories et des objets en fer fournit des informations sur les traitements thermiques, sur les déformations plastiques et sur certaines caractéristiques chimiques du fer examiné, ainsi que sur l'histoire de son élaboration. Les études métallographiques d'objets en fer du Haut Moyen Age provenant d'Europe centrale sont fort rares, sauf en ce qui concerne les armes (Tylecote 1986, p. 193-197), tandis que de nombreuses études ont été effectuées sur des objets issus de l'Est et du Nord de l'Europe (Buchwald et Wivel 1998, avec bibliographie complémentaire). Dès l'Époque romaine, la production d'acier est attestée dans certaines régions telles que la province du Norique en Autriche (Schaaber et al. 1977). À l'époque romaine tardive on trouve des armes forgées selon la technique du damas torsadé (par exemple les épées de Nydam au sud du Danemark; Tylecote 1986, p. 56-58). Les principales techniques du travail du fer, telles que la

carburation et la trempe, sont connues au Haut Moyen Age. Malgré cela, pour chaque atelier de forge, il est nécessaire de se poser la question des techniques de travail effectivement employées et des matériaux à disposition.

La bonne compréhension des résultats d'un examen métallographique nécessite une explication des notions de base de la métallurgie. Dans le bas fourneau, le fer se forme par définition dans un état pâteux ou solide à partir du minerai (chap. 2.1). En effet, les températures maximales que l'on espère atteindre par ce procédé métallurgique se situent entre 1100 et 1300°C, alors que la température de fusion du fer est de l'ordre de 1500°C. Le produit obtenu est le plus souvent du fer pur exempt de carbone. Toutefois, dans certaines conditions, et selon le minerai et la conduite du procédé, on obtient également de l'acier (Straube 1986). De nos jours, le fer est produit à l'état liquide, ce qui nécessite des températures notablement plus élevées. Le diagramme fer-carbone montre le comportement du fer aux différentes températures, ainsi que ses différents états et les composants structuraux qu'il renferme en fonction de sa teneur en carbone (fig. 18).

Le fer, l'acier et la fonte se différencient par leur teneur en carbone. Le fer est exempt de carbone⁸, l'acier et la fonte sont des alliages de fer et de carbone. Selon la définition actuelle, l'acier est un alliage dont la teneur en carbone dépasse 0,02 % masse. La

fonte commence à se former à partir d'une teneur en carbone de 1,8 ou 2,06 % masse, selon les manuels. Le fer, l'acier et la fonte sont produits selon des procédés différents et présentent des caractéristiques également différentes.

Dans le diagramme fer-carbone, une distinction est faite entre le système métastable Fe-Fe₃C et le système stable Fe-C. Dans le système stable, le carbone est présent à l'état élémentaire sous forme de graphite, alors que dans le système métastable, il forme un composé chimique avec le fer et se trouve sous forme de carbure de fer ou cémentite (Fe₃C). Le métal de Delevier-Courtételle se situe principalement dans le système métastable Fe-Fe₃C. Pour les rares pièces qui font exception, il faut remarquer que le graphite peut se former par dégradation du carbure de fer suite à un refroidissement très lent, à des fusions répétées et à des recuits de longue durée à température élevée. La présence de silicium comme agent favorisant la formation de graphite, typique des alliages modernes, ne joue ici qu'un rôle tout à fait secondaire dans les conditions de formation.

À côté des cristaux mixtes homogènes α et γ que sont la ferrite et l'austénite, on trouve dans le diagramme fer-carbone, ainsi que dans le métal de Delevier-Courtételle, les composés hétérogènes que sont la perlite et la lédéburite. La cémentite, qui apparaît sous trois formes différentes, est un composé indépendant.

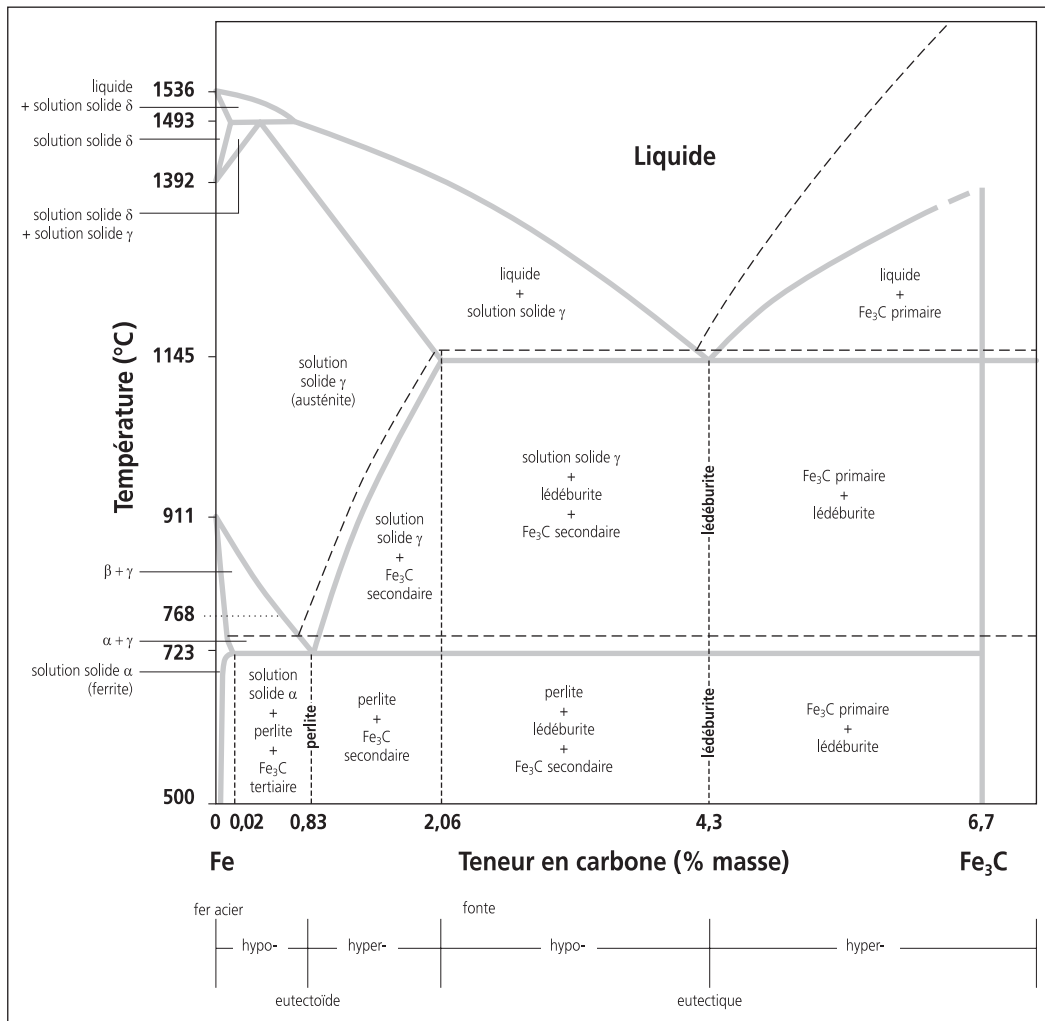


Fig. 18 Diagramme d'équilibre du système fer-carbone. La ligne marquée indique le système métastable Fe-Fe₃C (carbure de fer, cémentite), la ligne pointillée le système stable Fe-C (graphite).

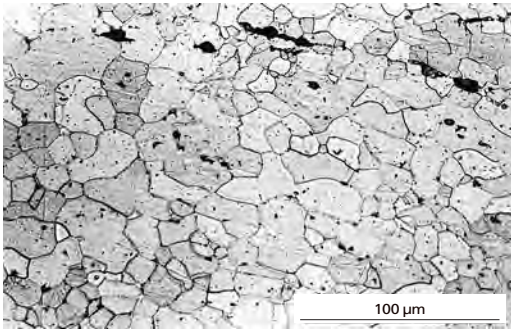


Fig. 19 Fer avec structure recristallisée à petits grains de ferrite, contenant des inclusions allongées de scorie (en noir) (chute cat. 96; micrographie).

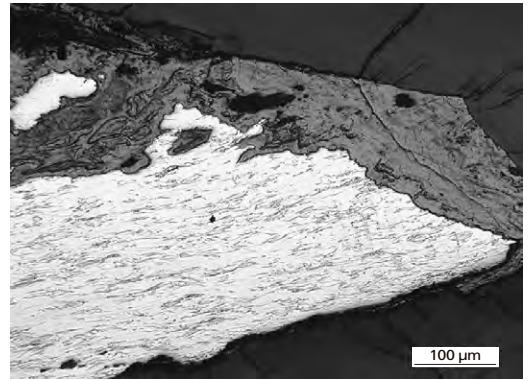


Fig. 20 Fer (en blanc) avec structure de déformation à froid, montrant la ferrite écrouie (déchet peu élaboré cat. 69; micrographie).

2.7.2 Le fer à Develier-Courtételle

Le fer est un matériau ductile. La dureté des fers actuels se situe entre 80 et 90 HV. Celle du fer de Develier-Courtételle se situe entre 83 et 133 HV, ces valeurs prenant également en compte le fer martelé à froid (écrouissage). Une valeur de dureté notablement plus élevée est le signe de la présence d'un élément d'alliage. Le fer possède une limite élastique et une résistance à la traction peu élevée, mais est fortement ductile, comprimable et résilient.

Le constituant métallographique typique du fer est la ferrite (fig. 19). Cette dernière se laisse durcir jusqu'à la fragilisation par déformation plastique, c'est-à-dire par martelage à froid, mais cette caractéristique superficielle disparaît lorsque l'on chauffe à nouveau le métal. Lors de cette déformation, la ferrite perd sa texture granulaire pour former une structure orientée par le martelage (fig. 20).

L'alliage fer-carbone

Lorsque le fer est allié au carbone, et cela à partir d'une teneur de 0,02% masse jusqu'à 1,8 ou 2,06% masse selon les manuels, on parle d'acier. Cette teneur en carbone rend l'acier plus dur et plus tenace que le fer. Un acier moderne avec une teneur en carbone d'environ 0,9% masse présente, en fonction de sa structure, une dureté située entre 225 et 275 HV. A partir d'une teneur en carbone de 0,4% masse, l'acier est trempable. La trempe est un traitement thermique consistant à chauffer l'acier, puis à le refroidir brusquement dans un liquide froid pour ensuite le soumettre à un revenu.

Elle est particulièrement recherchée pour les outils et les armes qui doivent présenter un bon tranchant. La trempe permet d'augmenter la dureté de l'acier jusqu'à un maximum de 1000 HV.

Dans l'acier, un deuxième composant, la cémentite (Fe_3C), commence à se former (fig. 18). Avec de faibles teneurs en carbone, elle se forme à la limite des grains de ferrite (fig. 21). Avec l'augmentation de la teneur en carbone, il apparaît de la perlite (fig. 22), mélange eutectoïde de lamelles de ferrite et de cémentite ou, autrement dit, de fer et de carbure de fer.

Un acier avec une teneur en carbone de 0,02 à 0,7% masse est dit hypoeutectoïde; si sa teneur atteint 0,8% masse, on parle alors d'un acier eutectoïde. Les aciers présentant des teneurs en carbone de 0,9 à 2,06% masse sont dits hypereutectoïdes et présentent une structure de perlite et de cémentite (fig. 23).

L'essentiel du métal des objets examinés de Develier-Courtételle se compose d'acier hypoeutectoïde non trempable (fig. 21).

L'acier trempé renferme des constituants structuraux particuliers: la martensite (fig. 24) et la bainite aciculaires (fig. 25). La teneur en carbone de l'acier trempé est difficile à estimer.

Dans les aciers de Develier-Courtételle examinés, la présence d'une structure de trempe n'a été décelée que sur trois objets, à savoir un ciseau à pointe et un tranchant d'objet non défini

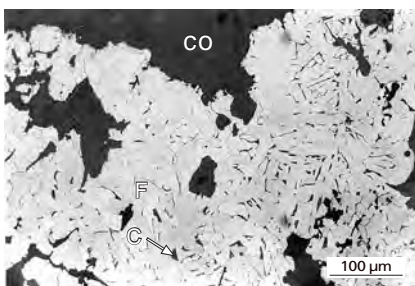


Fig. 21 Acier hypoeutectoïde à structure de ferrite (F) avec cémentite (C) aux joints des grains, entouré de produits de corrosion (CO) (scorie riche en fer travaillé, bord décarbure; déchet de forge peu élaboré cat. 66; micrographie).

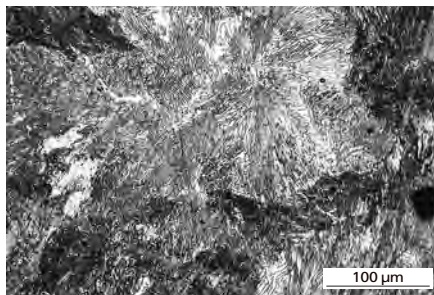


Fig. 22 Acier eutectoïde à structure de perlite lamellaire (fragment d'éponge de fer non travaillé cat. 47; micrographie).

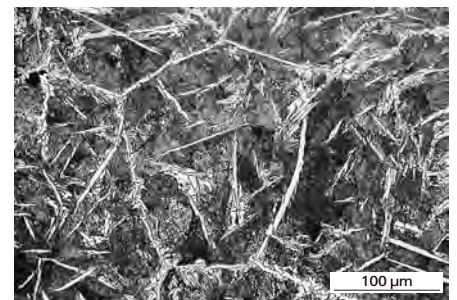


Fig. 23 Acier hypereutectoïde à structure de perlite et de cémentite secondaire en forme d'aiguilles (fragment d'éponge de fer non travaillé cat. 31; micrographie).

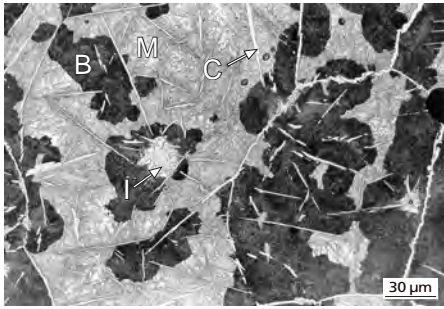


Fig. 24 Acier hypereutectoïde trempé présentant une structure de martensite (M) et de bainite (B) aciculaires, avec inclusions de phosphore-sulfure (I) et aiguilles de cémentite secondaire (C) (ciseau à pointe cat. 356; micrographie).

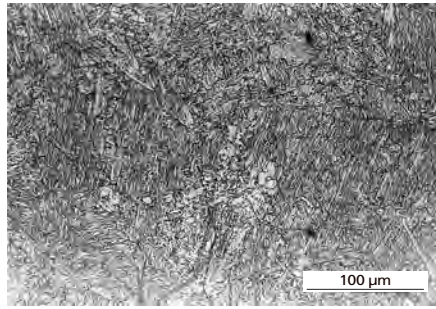


Fig. 25 Acier hypoeutectoïde trempé à structure de bainite aciculaire (tranchant cat. 772; micrographie).

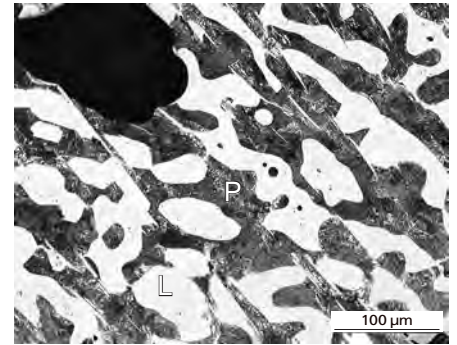


Fig. 26 Fonte hypoeutectique à structure de lédéburite (L) et perlite lamellaire (P) (fragment d'éponge de fer non travaillé cat. 26; micrographie).

(cat. 356 et 772); sur le troisième, un élément de ceinture damasquiné (cat. 403), l'emploi de la trempé ne se justifie nullement d'un strict point de vue fonctionnel. Mais cette rareté des attestations de la trempé peut aussi résulter des méthodes d'examen employées – sur les couteaux par exemple, seul le dos de la lame a été en principe examiné – et des médiocres conditions de conservation du mobilier. Ainsi la partie travaillante des outils est-elle souvent fortement attaquée par la corrosion.

Fonte

A partir d'une teneur en carbone de 1,8 à 2,06 % masse et jusqu'à 4,2 % masse, on parle habituellement de fonte hypoeutectique. Il se forme, en plus de la perlite et de la cémentite, un constituant structural supplémentaire, la lédéburite (fig. 26), mélange eutectique de perlite et de cémentite. Avec une teneur en carbone de 4,3 % masse, une fonte est dite eutectique. La description de la fonte hypereutectique (teneur en carbone > 4,3 % masse) n'est pas donnée ici car elle ne se retrouve pas dans le matériel de Develier-Courtételle. D'une manière générale, la fonte ne joue d'ailleurs qu'un rôle secondaire au sein de ce matériel (fig. 27), même si l'on trouve localement, dans de nombreux fragments de scories riches en fer, des constituants structuraux de la fonte.

Notions usuelles en archéométaburgie

Dans la littérature archéométaburgie plus ancienne (Schaaber et al. 1977), on parle de fer jusqu'à une teneur en carbone de 0,3 % masse, car un acier possédant une teneur en carbone aussi faible n'est pas trempable et ne remplit donc pas certaines des conditions nécessitées par un acier de haute qualité destiné à la fabrication des outils.

Type d'alliage	Total	Fer		Acier			Fonte
		%masse C	%masse C	%masse C	%masse C	%masse C	
		0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-1,8	>2		
Couches examinées (total 130 objets)	153	61	46	26	15	5	
% matériaux		40	30	17	10	3	

Fig. 27 Fer, acier et fonte dans le matériel examiné de Develier-Courtételle. Le contenu en carbone des objets étudiés se base sur une estimation optique au moyen du microscope. Les chiffres indiquent les moyennes du contenu en carbone hétérogène.

Comme écrit précédemment, l'acier devient trempable à partir d'une teneur en carbone supérieure à 0,4 % masse. Cette catégorie d'acier a toujours présenté un intérêt particulier pour la recherche en archéométaburgie car elle a permis – et permet aujourd'hui encore – de forger des lames de haute qualité; on s'est aussi longuement interrogé sur l'époque à partir de laquelle ce matériau fut sciemment utilisé pour la confection de lames.

La fonte est souvent considérée, aussi bien du point de vue de l'étude des matériaux que dans la littérature archéométaburgie, comme de la fonte brute car elle nécessite une décarburation avant de pouvoir être retravaillée.

Dans le présent travail, une différence a été faite entre le fer, l'acier hypoeutectoïde (teneur en carbone jusqu'à 0,3 % masse), les aciers hypoeutectoïdes trempables (teneur en carbone de 0,4 à 0,7 % masse) et les aciers hypereutectoïdes (teneur en carbone de 0,8 à 1,8 % masse). Dans un souci de simplification, l'alliage est considéré ici comme étant une fonte à partir d'une teneur en carbone supérieure à 2 % masse. Cette classification permet ainsi d'opérer une comparaison directe avec les publications plus anciennes dans le domaine de l'archéométaburgie.

Les autres éléments d'alliage du fer

Dans la réduction directe, ce sont avant tout les éléments sidérophiles tels que le nickel, le cobalt, le cuivre et l'arsenic, qui se concentrent dans le métal. Le phosphore par contre s'accumule aussi bien dans le métal que dans la scorie. Le comportement du phosphore est déterminé surtout par la teneur en acide de la scorie, exprimée par sa teneur en SiO₂.

Parmi ces éléments, le phosphore et l'arsenic modifient considérablement les caractéristiques du fer lorsque leur teneur dépasse 0,1 % masse. Lorsqu'il est présent à des teneurs aussi élevées, le phosphore ne peut plus se répartir régulièrement dans le fer et il se forme des parties riches et des parties pauvres en phosphore qui ne peuvent pas être homogénéisées. Le fer riche en phosphore présente une tendance à la fragilité à froid, c'est-à-dire qu'il a une tendance à se fissurer lorsqu'il subit une déformation à froid. Mais d'un autre côté, le phosphore augmente la résistance du fer à la corrosion, et cela surtout en présence simultanée de l'élément trace cuivre⁹. L'arsenic est aujourd'hui considéré comme un élé-

ment nuisible dans l'acier. Il se forme également des parties riches et des parties pauvres en arsenic qui sont encore plus difficiles à rendre homogènes qu'avec le phosphore. L'arsenic porte même préjudice aux possibilités de souder du métal et provoque de plus une fragilité dans le revenu (traitement thermique appliqué après la trempe). Le cuivre a, par contre, certains effets positifs sur le comportement des aciers. Il augmente leur élasticité et améliore nettement leur résistance aux agents atmosphériques. Le nickel et le cobalt ne modifient le comportement du fer qu'à partir de teneurs de l'ordre de 1 %.

2.7.3 La composition chimique du fer, de l'acier et de la fonte de Develier-Courtételle

Dans le matériel de Develier-Courtételle, l'arsenic et le phosphore jouent eux aussi, en plus du carbone, un rôle non négligeable. Le phosphore exerce sur le fer un effet comparable à celui du carbone. Comme le montrent les travaux de V. F. Buchwald sur le fer et les scories archéologiques du Groenland, le fer riche en phosphore présente une dureté semblable à celle de l'acier (Buchwald 2001, p. 75). Toutefois, contrairement à l'acier, le fer riche en phosphore n'est pas trempable. Les mesures de dureté effectuées sur le fer riche en phosphore de Develier-Courtételle confirment cette constatation, avec des valeurs de dureté atteignant 200 à 270 HV. Ce fer riche en phosphore présente une structure typique formée de ferrite avec des bandes de Neumann (fig. 28). De plus, il se forme souvent une structure fantôme à deux phases résultant d'un chauffage à une température supérieure à 1000 °C, couramment atteinte lors du soudage, et un contenu en phosphore entre 0,1 et 0,5 % masse (Vega et al. 2002). Seuls quelques rares objets en fer de Develier-Courtételle présentent une teneur élevée en phosphore, avec des valeurs situées entre 0,3 et 0,6 % masse. Aucun de ces objets n'a été fabriqué à partir de matières premières locales, moins riches en phosphore (chap. 3.2.2).



Fig. 28 Fer riche en phosphore à structure de ferrite, contenant des bandes de Neumann (N) et des structures fantômes (F) (déchet de raffinage cat. 67; micrographie).

On trouve parfois, parmi les scories riches en fer non travaillé, du métal très riche en arsenic, avec des teneurs pouvant atteindre 3,2 % masse. Ce métal, dont la structure est purement ferritique, est d'une dureté égale à celle de l'acier, avec des valeurs situées entre 160 et 200 HV. Quelques-uns des objets en fer ou en acier hypoeutectoïde examinés présentent des teneurs en arsenic situées entre 0,2 et 0,9 % masse et sont ainsi composés d'un matériau qui ne serait plus utilisé aujourd'hui.

2.7.4 La question du damas et de l'utilisation de l'acier durant le Haut Moyen Age

Le Haut Moyen Age est l'époque de la diffusion de la technique du damas torsadé pour la fabrication des épées, en Angleterre dans l'espace anglo-saxon, dans les pays scandinaves et dans le royaume mérovingien. Dès le Moyen Age, par exemple à l'époque viking en Norvège, les épées sont réalisées en acier homogène (teneur en carbone entre 0,4 et 0,75 %; Tylecote 1979, p. 64 et 67). R. Pleiner souligne que les épées en damas provenant de France et de Rhénanie étaient les meilleures de leur époque et qu'elles étaient exportées dans toute l'Europe. Cette technique atteint son apogée au 9^e siècle durant la période carolingienne. Cela a conduit les rois carolingiens à interdire leur exportation au cours des 8^e et 9^e siècles, interdiction qui ne fut respectée que de façon limitée (Pleiner 1975, p. 90).

Aucune épée longue du Haut Moyen Age – la spatha – n'ayant été retrouvée, il n'existe aucun indice d'une fabrication en damas torsadé datant de cette époque à Develier-Courtételle. On y trouve par contre de nombreux objets forgés par damas d'assemblage. Dans une lame, par exemple, ces deux formes de damas consistent en paquets réunis en couches ou en bandes, laissant apparaître le plus souvent des plis. Souvent formés de deux matériaux différents (fer et acier), ces paquets peuvent cependant n'en comporter qu'un seul. Attaqués chimiquement, les objets fabriqués de la sorte révèlent en surface un motif linéaire ou ondé. Pour obtenir un damas torsadé, les paquets ne sont plus seulement pliés mais encore tordus. Dans ce cas, l'attaque chimique révèle en surface le motif en V typique des spathas d'époque mérovingienne.

Dans les déchets d'élaboration du fer figurent de grandes quantités de fonte et d'acier. Dans la filière de la fabrication artisanale du fer, l'acier était un matériau rare : les outils agricoles, y compris les socs de charrue ou certaines armes comme les pointes de lance, étaient presque toujours en fer. Seuls les outils présentent, à partir de la fin de l'Age du Fer, un tranchant rapporté entièrement en acier (Schwab 2002). Les objets réalisés entièrement en acier sont donc rares, même pour l'Époque romaine. Et le plus souvent, afin d'économiser ce matériau, on s'est contenté d'insérer une couche d'acier sur la seule partie tranchante (Pleiner 1970). A cela, font exception certains outils fabriqués en acier trempé – souvent même en acier hypereutectoïde – comme des limes à métaux, par exemple. Ces outils de l'époque romaine satisfont à tous les critères de fabrication des outils modernes. L'acier est ainsi utilisé quasi systématiquement pour les outils de Magdalensberg en Autriche (du 1^{er} siècle av. J.-C. au 1^{er} siècle ap. J.-C.), ainsi que le montrent indubitablement les examens métallographiques effectués sur des limes, des burins et des alènes (Schaaber 1963). Cette concentration d'outils en acier à haute teneur en carbone retrouvés sur ce site archéologique a conduit à considérer cette région, alors rattachée à la province romaine du Norique, comme un centre de production d'acier. Des mentions littéraires ou épigraphiques attestent par ailleurs de la qualité particulière du fer du Norique; certaines inscriptions découvertes à Magdalensberg même montrent que ce dernier était vendu jusqu'en Afrique du Nord. Il ne fait aucun doute qu'il existait, à cette époque, une transformation du minerai de fer dans le Norique.

Malheureusement l'ampleur de cette activité, les techniques employées et la production ne sont pas suffisamment connues.

Un autre indice des débuts de la production d'acier se situe à la fin de l'Époque romaine: il s'agit de la découverte de barres d'acier à Snorup, au Danemark (Høst-Madsen et Buchwald 1999). Ce site d'activités métallurgiques (production et travail) et d'habitat est actif entre le 4^e et le 6^e siècle. On y a découvert des lingots de fer riches en phosphore, provenant de la production locale, en association avec des petits lingots d'acier perforés en forme de cuillère. D'un poids moyen compris entre 20 et 160 g, ces petits lingots sont constitués d'acier hypoeutectoïde (teneur en carbone de 0,3 à 0,4 % masse) produit en Norvège. En effet, leur morphologie et la composition chimique de leurs inclusions de scorie ont trouvé des équivalents en Norvège où ce type de lingot est très fréquent mais n'a pas encore fait l'objet d'études très approfondies.

La fonte a probablement été utilisée comme matière première pour la production d'acier en Angleterre chez les Saxons aux 8^e et 9^e siècles ap. J.-C. déjà, comme l'attestent l'analyse d'outils ou de produits semi-manufacturés (Mack et al. 2000). Sur les outils, le tranchant y est systématiquement rapporté par soudage d'un acier dont la teneur en carbone est comprise entre 1 et 1,5 % masse. L'examen

de coupes métallographiques, appuyé par l'analyse des inclusions des fragments de pièces en acier hypereutectoïde et en fonte hypoeutectique en relation avec l'atelier de forge local, a montré que ce métal n'avait pas été produit à l'état solide comme c'est la règle en réduction directe, mais en passant par une phase liquide.

Les déchets trouvés à Develier-Courtételle, souvent formés d'acier et de fonte, permettent d'émettre l'hypothèse que le matériau de base utilisé par les forgerons du site était constitué d'acier. La découverte d'une éponge majoritairement en acier sur l'atelier de réduction de Boécourt, Les Boulies (Eschenlohr 2001, p. 120-122) vient appuyer cette hypothèse. Son métal présente une composition chimique similaire à celle d'une partie du métal découvert à Develier-Courtételle (Senn 2002). Ces deux sites, ainsi que l'exploitation de l'un et l'atelier de forge de l'autre, sont contemporains. Les produits attribuables à la production locale sont avant tout des couteaux et des outils, alors que les objets personnels et les clous examinés ne sont qu'exceptionnellement issus de la production locale, signe d'une production tenant compte de la spécificité du matériau de base. Ces produits, fabriqués dans les ateliers de forge de Develier-Courtételle, ne se composent pas d'un acier pour outils tel qu'on le connaît dans le Norique mais plutôt d'un acier à plus faible teneur en carbone.

Notes

- ¹ On connaît également, dès l'Age du Fer, dans la même aire géographique, des bas fourneaux à scories piégées. Aucune installation de ce genre n'étant identifiée à ce jour dans le Jura central suisse, ils ne seront pas évoqués davantage ici.
- ² Les essais menés dans le Jura, sous la responsabilité scientifique de l'un des auteurs et d'après un modèle de bas fourneau datant de cette époque, ont permis d'obtenir du fer ou de l'acier dans une fourchette de température oscillant entre 800 et 1200°C environ (GAF 2005).
- ³ Les éléments traces sont ici des éléments chimiques présents dans une concentration inférieure à 0,1 % masse dans un matériau.
- ⁴ Ces conditions faisaient défaut lors de l'étude du site de Boécourt, Les Boulies, où quelques dizaines de calottes ont été retrouvées en position secondaire, sans autres témoins du travail de postréduction (Eschenlohr et Serneels 1991).
- ⁵ Un cours d'initiation destiné, entre autres, à l'identification des déchets de la métallurgie ancienne, a eu pour but de faire prendre conscience de leur importance aux milieux archéologiques directement concernés (GSAF 1997).
- ⁶ Il existe des sites de la même époque comportant des vestiges liés à la réduction et à la postréduction: par exemple à Liestal, Röserntal (BL) (Serneels 1995; Tauber 1998).
- ⁷ Toutes les données chiffrées concernant les analyses minéralogiques se trouvent dans l'annexe 4 ou dans le catalogue des calottes (cat. 7, 13, 15, 19 et 20).
- ⁸ Les commentaires sur le fer, l'acier et la fonte sont tirés de Schumann 1991.
- ⁹ Les commentaires sur les autres éléments d'alliage sont tirés de Wegst 1992.

3

Les déchets du travail du fer

Ludwig Eschenlohr
Marianne Senn
Céline Robert-Charrue Linder
Vincent Friedli

3.1 Introduction

La valeur informative des scories de fer est très étendue, d'où l'importance de leur enregistrement et de leur description détaillée en tant que matériel archéologique à part entière lors de la fouille. Le site de Develier-Courtételle étant à ce jour pratiquement unique en Europe, en ce qui concerne les quantités de déchets de post-réduction retrouvées, un concept d'élaboration satisfaisant à toutes les exigences scientifiques dans les délais impartis s'est imposé dès le début de l'étude.

Les grandes quantités de déchets scorifiés mis au jour ont, dans un premier temps, été triées par observation macroscopique selon une classification morphologique, les principales catégories étant aujourd'hui assez bien connues. Sur la base de ces attributions, il est rapidement apparu que l'activité principale concernait les étapes de post-réduction, soit le raffinage et le forgeage. Le raffinage comprend deux phases conjointes : le nettoyage de l'éponge de fer des résidus de scories de réduction et d'autres inclusions, appelé « épuration », et le « compactage » consécutif du métal ainsi épuré. En général, ces deux phases ne sont pas distinguées et paraissent sous l'appellation unique de « raffinage ». Il est globalement admis que les résidus issus de cette étape, les scories en forme de calotte, comportent des traces chimiques et métallographiques de l'étape à laquelle elles sont associées. A Develier-Courtételle, ces calottes renferment assez rarement des indices de l'épuration, à savoir des traces des scories de réduction (chap. 3.2.2). La présence de strates métalliques encore peu marquées par le travail permet cependant d'attribuer un nombre important de calottes à la seconde phase, le compactage.

Face à l'impossibilité de conserver l'intégralité du matériel découvert, il était primordial d'enregistrer toutes les données mesurables utiles, avant de jeter près de 60% des quatre tonnes de

Catégorie	Poids		Pièces	
	kg	%	nb	%
Calottes	1512,625	41,2	4165	10,0
Ferrugineuses	54,405	49,3	3614	38,5
Coulées	14,085	16,2	847	6,8
Indéterminées	1,745	2,8	120	1,1
Minerai	0,800	71,4	178	80,9
Battitures	1,000	100	37	100
Parois	95,500	45,3	3880	17,7
Total	1680,160	40,6	12841	13,3

Fig. 29 Déchets scorifiés conservés après classification.

Catégorie	Poids		Pièces		Fragments	
	kg	%	nb	%	nb	%
Calottes	3667,010	88,1	41475	41,9	43819	42,8
Ferrugineuses	109,835	2,6	9360	9,5	9542	9,3
Coulées	86,740	2,1	12390	12,5	12469	12,2
Indéterminées	62,475	1,5	11318	11,4	11420	11,2
Parois	211,035	5,1	21922	22,1	22547	22,0
Minerai	1,120	0,0	220	0,2	219	0,2
<i>Déchets scorifiés</i>	<i>4138,215</i>	<i>99,4</i>	<i>96685</i>	<i>97,6</i>	<i>100016</i>	<i>97,7</i>
Battitures	1,000	0,0	37	0,0	37	0,0
Tuiles scorifiées	10,470	0,3	101	0,1	101	0,1
Déchets de forge	1,072	0,0	103	0,1	103	0,1
Objets en fer	9,695	0,3	2007	2,1	2007	2,1
Total métallurgie	4160,452	100	98933	100	102264	100

Fig. 30 Quantification globale des déchets scorifiés ainsi que des déchets de forge et des objets en fer.

déchets, correspondant à plus de 85% des quelque 100 000 fragments dénombrés sur le site (fig. 29 et 30). Pour toutes les catégories, à l'exception des scories en forme de calotte, cet enregistrement s'est limité au décompte du nombre de fragments – voire de pièces lorsque plusieurs fragments remontaient ensemble – ainsi qu'à leur poids¹. Seules les pièces de dimensions manifestement supérieures à celle de la moyenne d'une catégorie ont fait l'objet d'un relevé en trois dimensions : longueur, largeur et épaisseur. Les catégories ont été définies telles que décrites ci-dessus (chap. 2.4.2.2).

A cette liste, s'ajoutent les déchets de forge (chap. 3.3.1). Issus des opérations finales de forgeage, à l'intersection des scories et des objets finis, ils ont été étudiés séparément de ces derniers. On trouve enfin les objets en fer (chap. 4) qui ont bien entendu tous été conservés et étudiés. Les déchets de forge et les objets en fer faisant partie intégrante de la chaîne opératoire du minerai à l'objet fini, il était évident de les lier à l'étude globale (fig. 30). Enfin, les battitures sont elles aussi commentées dans un paragraphe particulier (chap. 3.4.1).

En fonction de l'importance de chaque catégorie, un échantillonnage a ensuite été effectué en vue d'analyses en laboratoire (chap. 2.3). En suivant l'enchaînement technique de la post-réduction, trois catégories ont tout d'abord été retenues : les calottes, les scories ferrugineuses puis les déchets et les objets métalliques.

Le décompte du nombre minimal d'individus pour les scories en forme de calotte ayant rapidement grimpé à plus de 1000 pièces, seules les calottes entières ont été prises en compte lors de l'échantillonnage avant d'être réparties en types distincts. Un quart d'entre elles a été choisi afin d'être coupé, la sélection se faisant en fonction de l'importance de chaque type retenu. Au final, seul un tiers de ces pièces coupées était destiné à des analyses métallographiques, minéralogiques et chimiques. Le choix s'est opéré en fonction de certains critères archéologiques comme le lien avec une structure précise, la position stratigraphique ou spatiale. Il convient de souligner d'emblée que la majorité des déchets n'a pu être triée selon ces derniers critères car issus d'une zone de rejet sans contexte stratigraphique particulier ni lien direct avec une quelconque structure (chap. 6.1.5).

Catégorie	Calottes	Scories ferrugineuses	Objets et déchets métalliques
	nb	nb	nb
Analyses estimées (1997)	80	15	30
Analyses effectuées (2004)	98	52	85

Fig. 31 Comparaison entre le nombre d'analyses initialement projetées et le nombre d'analyses finalement effectuées.

En fonction de ce choix, une sélection parmi les déchets riches en fer revêtait un intérêt complémentaire. En effet, une confrontation entre les données de terrain et les données de laboratoire est envisageable en fonction des premiers résultats obtenus. La procédure s'inscrit dans une démarche dialectique : après l'obtention des résultats des premières analyses, ceux-ci sont confrontés aux données archéologiques ce qui permet, si nécessaire, de procéder au réajustement des analyses subséquentes. Ainsi, le nombre initial de scories ferrugineuses à analyser ne devait constituer qu'un cinquième de celui des calottes et celui des déchets et objets métalliques le double des scories ferrugineuses. Ce nombre a par la suite été réajusté (fig. 31).

S'il ne peut y avoir de doute sur le fait que l'étape principale de la chaîne opératoire dont témoignent les déchets scorifiés retrouvés est la postréduction, la présence d'un kilogramme de minerai et d'environ 87 kg de scories d'aspect coulé soulève la question d'une éventuelle réduction de minerai de fer sur le site.

A notre avis, deux éléments permettent de postuler que l'on n'a jamais réduit du minerai à Develier-Courtételle. La quantité de minerai retrouvée est en effet minime et aucune structure potentiellement liée à l'activité métallurgique n'en renferme plus de 50 g. D'autre part, les scories d'aspect coulé peuvent fréquemment être mises en rapport direct avec l'expulsion de la scorie liquide lors de l'épuration de l'éponge de fer. La présence de tuyaux de scories d'aspect coulé à la base de certaines calottes, de même que l'aspect coulé de l'extrémité distale de certaines d'entre elles – voire de leur surface entière pour la catégorie des calottes fluides – renforcent ce postulat. Ce dernier sera en outre confirmé par les analyses chimiques, lesquelles distinguent les scories d'aspect coulé provenant du site de postréduction étudié ici des scories coulées issues d'un site de réduction, Boécourt, Les Boulies (JU) par exemple (chap. 3.4.2).

Il convient également d'insister sur le fait que le rapport entre les différentes catégories de scories a son importance : les quelque 87 kg de scories d'aspect coulé ne constituent qu'un peu plus de 2 % des déchets retrouvés sur le site. De plus, le pourcentage de celles ne pouvant pas être mises en relation directe avec les calottes présentes est si faible que l'hypothèse d'une réduction dans le périmètre fouillé peut être clairement exclue.

La problématique de la postréduction peut se focaliser sur la question de la séparation entre l'étape du raffinage et celle du forgeage. Si la césure entre les opérations de réduction du minerai de fer et celles de postréduction est généralement bien marquée, car se déroulant en principe en des lieux séparés, il en va autrement lorsqu'il s'agit d'opérer une distinction parmi les différentes étapes en continuité sur un même atelier.

La masse de métal brut issue du bas fourneau peut être épurée et transformée en un produit semi-fini commercialisable : la barre ou le lingot. Des témoins archéologiques attestent cette façon de faire pour l'Age du Fer et pour l'Epoque romaine. Dans le Jura du Haut Moyen Age, tout indique au contraire que l'éponge dégrossie en provenance du bas fourneau est nettoyée, compactée et forgée d'une traite. Les déchets scorifiés, et notamment les différents types de calottes, semblent toutefois provenir d'enchaînements d'activités bien distinctes. Dans l'approche archéologique, la première question qui se pose est donc la suivante : telle catégorie définie de déchets peut-elle correspondre à un acte technique spécifique ? Autrement dit une calotte de type vitrifié peut-elle, par exemple, être rattachée à une phase opérationnelle précise de la postréduction, à savoir l'expulsion de la scorie, le compactage ou le forgeage ? Si tel n'est pas le cas, comment expliquer les similitudes et les différences ?

La matière première traitée à Develier-Courtételle est constituée du produit brut issu de la réduction dans le bas fourneau. A ce stade de nos connaissances, il semble très probable que l'éponge, hétérogène à sa sortie du fourneau, ait subi un premier nettoyage grossier sur place. Des indices corroborant cette manière d'opérer ont été mis en évidence pour le site de réduction de Boécourt, Les Boulies (Eschenlohr et Serneels 1991). De plus, le nombre d'ateliers de réduction en activité durant le Haut Moyen Age dans la vallée de Delémont et dans les vallons environnants est important, ce qui laisse supposer un approvisionnement aisé du hameau de Develier-Courtételle en métal à nettoyer et à forger (Eschenlohr 2001).

3.2 Les calottes

Les chapitres qui suivent proposent une description morphologique détaillée de chaque catégorie de déchets, chacune étant suivie d'un développement lié aux résultats analytiques. Les catégories de déchets sont présentées selon leur importance dans le processus technique de raffinage et de forgeage dont elles sont issues.

3.2.1 Classification macroscopique

Les scories en forme de calotte, dont la dénomination découle de leur morphologie bien caractéristique, se retrouvent également dans la littérature française sous le terme de scories ou culots « plano-convexes », ou encore « culots de forge » (par ex. Leroy 1997 ; Mangin, Fluzin et al. 2000 ; Mangin (dir.) 2004). Elles représentent le déchet type des opérations de postréduction. Comportant de nombreuses informations sur l'étape de travail dont elles sont issues, les scories en forme de calotte se situent au centre des investigations concernant les déchets scorifiées. Elles sont désignées dans le texte sous le terme simplifié de « calottes ».

Produits, ou plutôt déchets issus du raffinage et/ou du forgeage dans un bas foyer (fig. 32) au fond duquel elles se sont solidifiées, les calottes peuvent être constituées de plusieurs matériaux : scories de réduction, métal, charbon de bois, décapant, mais également sables et argiles employés pour la construction d'une partie des structures de combustion métallurgiques. Leur formation est globalement hétérogène, car les différentes opérations ayant lieu

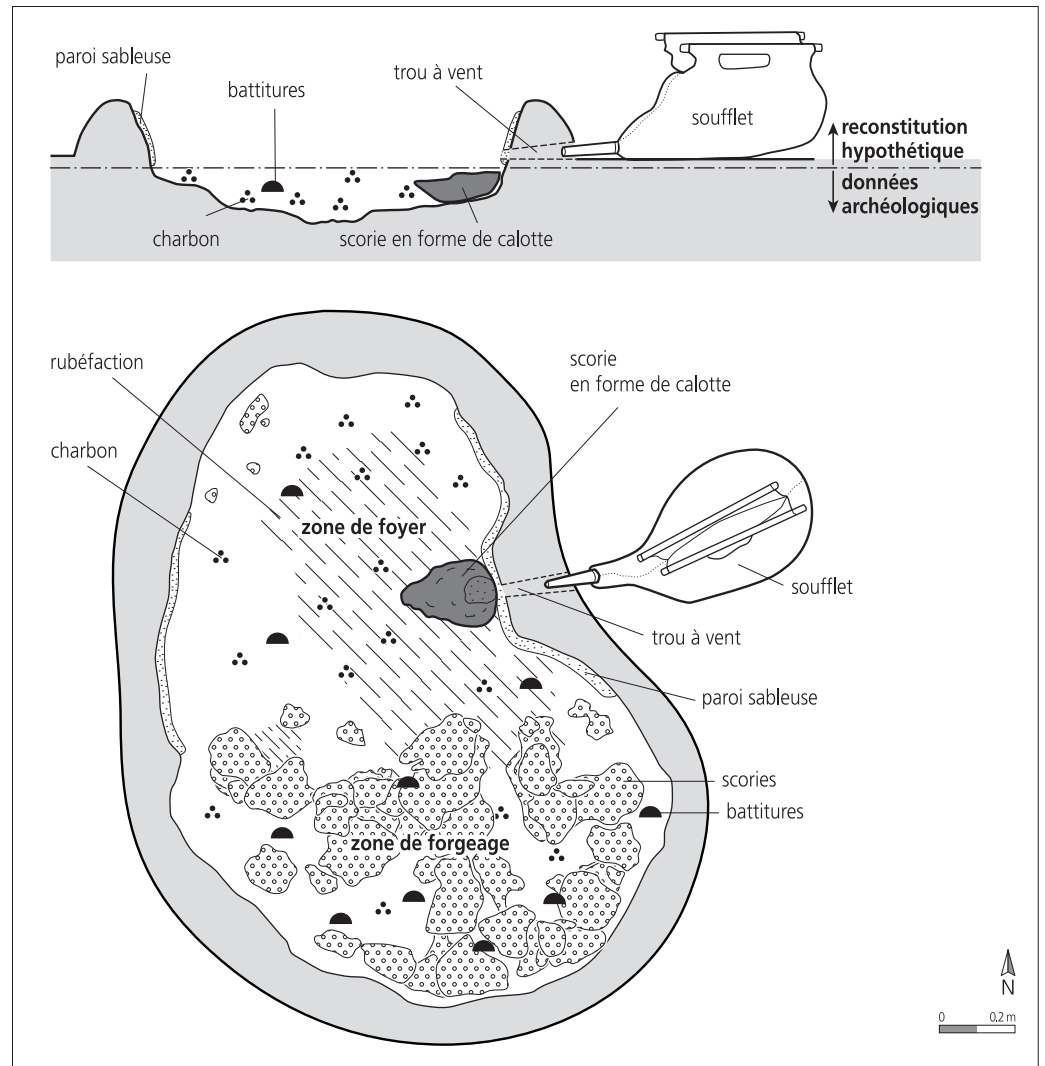


Fig. 32 Schéma d'un bas foyer, basé sur la structure 15 de la zone d'activité 4 (CAJ 13, chap. 9.3.2); les analyses des essences de charbon ont été présentées dans le premier volume (CAJ 13, chap. 17.4.5 et annexe A1). Les données liées aux structures métallurgiques sont ici résumées dans le chap. 6.3.

autour d'un foyer de postréduction ne produisent pas des scories de composition équilibrée. Ce fait n'est pas lié aux matériaux de départ, mais à la courte durée de chacun des travaux du forgeron.

Peu d'études traitant de la classification des calottes ont été menées à ce jour (Serneels 1995; Cech et Walach 1998; Tauber 1998; Serneels et Perret 2003; Anderson et al. 2003). Il peut paraître hasardeux, voire impossible, d'établir un classement à l'intérieur d'un groupe de déchets, leur forme ne découlant pas d'une intention humaine mais bien d'un processus technique dont les facteurs (température, durée, composantes, etc.) varient fortement au gré des conditions spécifiques dans lesquelles ils se sont formés. Pourtant, parmi les catégories de déchets, les calottes sont celles qui se prêtent le mieux à la mise en place d'un tel classement, car elles réunissent de nombreux traits caractéristiques: morphologiques d'abord, mais aussi analytiques. De plus, de par leur constitution bien compacte, elles se retrouvent fréquemment quasi entières. Chaque calotte correspond alors a priori à un travail exécuté dans un temps délimité et avec un objectif précis, par exemple la réalisation d'un objet fini. Encore s'agit-il de déterminer lequel!

Sur le site de Develier-Courtételle, quelque 43 800 fragments de calottes ont été retrouvés, ce qui représente, après recollage, 41 475

fragments individualisés, pour un poids de près de 3,7 tonnes. Elles constituent la catégorie la plus importante parmi les déchets: 88 % du poids total pour 42 % des fragments récoltés (fig. 30). La moitié de la pièce est au moins conservée sur 1432 calottes (3,5 % des pièces) (fig. 34); parmi elles, 896 sont plus ou moins entières (conservation d'au moins 80 %). Longueur, largeur, épaisseur et poids ont été enregistrés pour les individus dont la conservation est d'au moins 50 %. Seul le poids a été pris en compte pour les autres fragments. Pour la prise des mesures, les calottes sont orientées selon leur disposition originelle à l'intérieur du bas foyer: la distance entre la partie proximale, située près de la soufflerie, et l'extrémité distale correspond à la longueur. Celle-ci peut donc être inférieure à la largeur (fig. 33).

La catégorie des calottes étant donc facilement reconnaissable, on peut opérer une subdivision interne par types présentant des caractères morphologiques communs et récurrents.

Au total, 1172 calottes ont été retenues en vue de leur classification détaillée, et 100 d'entre elles analysées en laboratoire (fig. 31). Comme l'attribution précise d'un type de calottes à une étape technique était d'emblée impossible, une présentation respectant une certaine logique dans le classement morphologique a été choisie (fig. 33-34), soit:

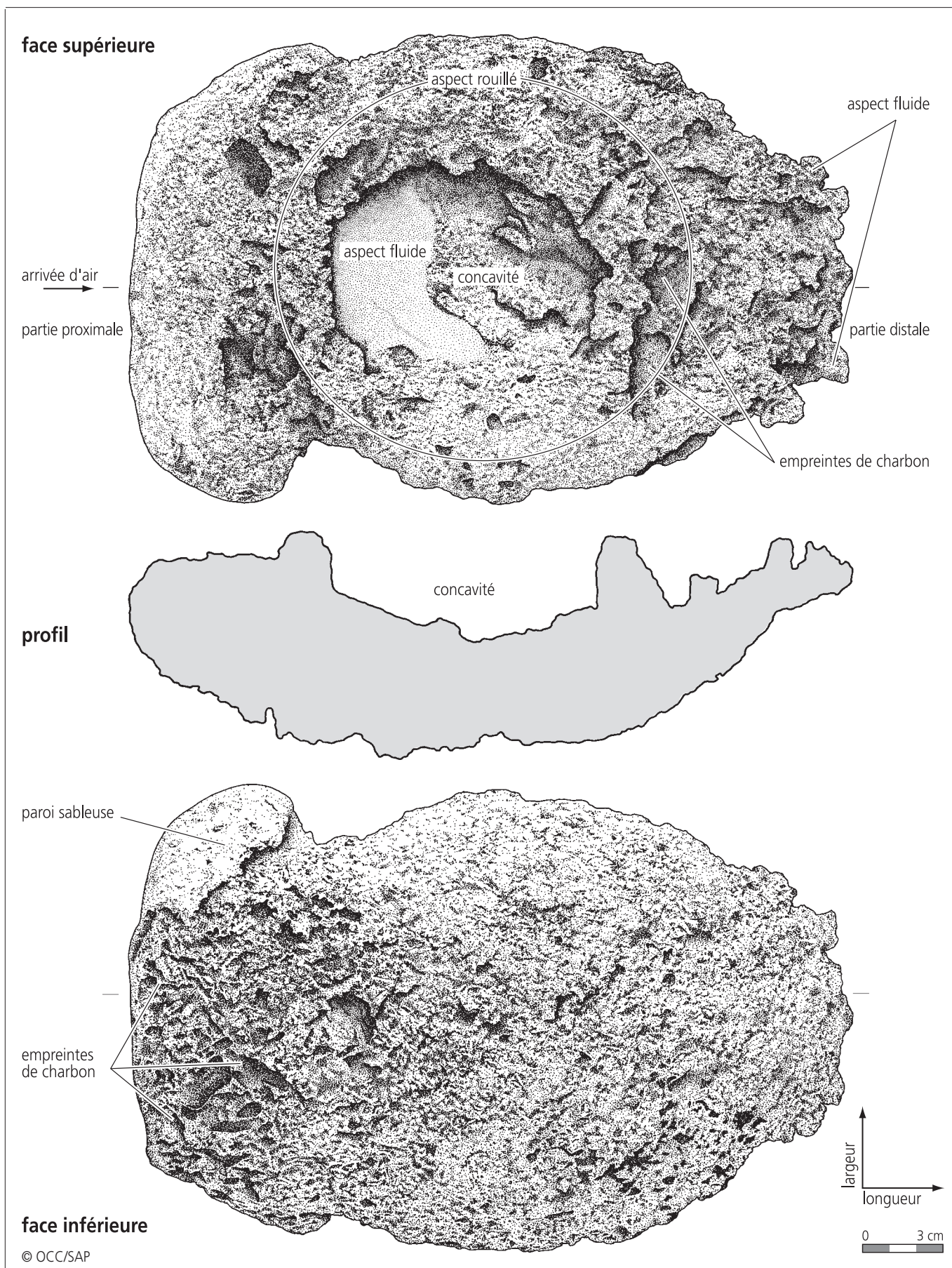


Fig. 33 Schéma explicatif des différentes parties de la calotte concave inv. DEV 995/50159 PR (chap. 3.2.10). Il s'agit de la plus importante, en poids et en taille, des calottes entières retrouvées sur le site de Develier-Courtételle. Echelle 1 : 2.

Fig. 34 Tableau quantitatif récapitulatif en nombre et en poids des types de calottes. Les valeurs des calottes de types DE et QU ne sont pas représentatives, compte tenu du faible nombre de pièces attribuées à ces deux types (respectivement 4 et 23 individus). Elles n'ont de ce fait pas été prises en compte lors du calcul des pourcentages. Le nombre minimal d'individus (NMI) comprend toutes les pièces conservées à au moins 50 %.

Type	NMI		Poids réel		Poids estimé		Poids moyen estimé	
	nb	%	kg	%	kg	%	kg	
Calottes de petite taille	Aplatie (AP)	147	12,5	78,4	8,8	96,5	8,6	0,66
	Dense petite (DP)	212	18,1	95,4	10,7	132,1	11,8	0,62
	Fluide (FL)	113	9,6	40,5	4,5	53,6	4,8	0,47
	Vitrifiée (VI)	136	11,6	58,6	6,5	72,6	6,5	0,53
Calottes de grande taille	Bourrelet (BO)	132	11,3	141,6	15,8	163,4	14,6	1,24
	Charbonneuse (CH)	118	10,1	110,8	12,4	140,3	12,5	1,19
	Circulaire (CI)	114	9,7	121,5	13,6	148,5	13,2	1,30
	Concave (CO)	115	9,8	132,4	14,8	164,9	14,7	1,43
Très*	Convexe (CX)	58	4,9	87,0	9,7	108,3	9,7	1,87
Trop peu**	Quille (QU)	23	2,0	19,1	2,1	25,7	2,3	1,12
	Dense (DE)	4	0,3	9,8	1,1	15,0	1,3	3,75
	Calottes classées	1172	100	895	100	1121	100	0,96
	Non classées (NC)	260		133,9		198,4		0,76
	Sous-total (NMI)	1432	3,5	1029	28	1319		0,92
	Solde des fragments	40043	96,5	2638	72			0,066
	Total des calottes	41475	100	3667	100			0,088

* calottes de très grande taille

** type trop peu nombreux

1. Quatre types de calottes de petite taille, dont deux basés sur leurs dimensions et deux autres sur un aspect particulier de la surface :

- les calottes à faces supérieure et inférieure aplaties, qui présentent de plus un rapport longueur/épaisseur très élevé; après la coupe, on peut y observer deux sous-types, l'une comportant une strate de métal, l'autre en étant dépourvue;
- les calottes denses petites qui sont comme leur nom l'indique « lourdes » et de petite taille. Lors de l'établissement de cette classification près de 90% des pièces attribuées à ce type ont été considérées comme étant lourdes ou moyennement lourdes;
- les calottes dont la face supérieure, et souvent la face inférieure, présentent un aspect fluide;
- les calottes dont toute la face supérieure présente un aspect vitrifié;

le poids moyen estimé des 608 individus de ce premier groupe varie entre 500 et 650 grammes.

2. Quatre types de calottes de grande taille, dont trois basés sur l'aspect de leur surface et le dernier sur ses dimensions ou le rapport entre celles-ci :

- les calottes possédant un bourrelet sablo-argileux, généralement situé du côté proximal;
- les calottes avec des empreintes de charbon localisées en surface;
- les calottes dont les dimensions en largeur et en longueur sont très proches, leur conférant un aspect circulaire;
- les calottes comportant une concavité plus ou moins marquée, le plus souvent centrée sur la face supérieure (fig. 33);

le poids moyen estimé des 479 individus de ce deuxième groupe varie entre 1200 et 1400 grammes.

3. Un type de calottes se distingue par la très grande taille de ses pièces :

- leur face inférieure est en outre très convexe ou fortement bombée; ces calottes sont également de ce fait très épaisses;

le poids moyen estimé des 58 individus de ce troisième groupe est de 1850 grammes.

4. Enfin, deux types de calottes sont représentés par un trop petit nombre d'individus ;

- le premier est formé de 23 individus présentant sur leur face inférieure une proéminence, semblable à une quille de bateau; leur poids moyen estimé est de 1100 g;
- le second n'a livré que quatre individus; ces pièces sont très denses, c'est-à-dire pratiquement dépourvues de toute porosité; le poids moyen estimé de ces calottes qui se caractérisent également par leur grande épaisseur, atteint 3750 grammes !

La présence de rouille sur toute une face peut également être un signe distinctif. Ce dernier doit toutefois être traité avec prudence, compte tenu de l'état avancé de corrosion d'une grande partie du matériel étudié. Quelques autres critères sont trop peu fréquents pour permettre l'attribution à un type, comme la présence d'un écoulement de scorie s'amorçant à l'extrémité distale de la calotte (fig. 33) et se prolongeant sous la forme d'un « tuyau » (fig. 35).

Un placage à composante sableuse dominante, provenant des parois du bas foyer dans lequel les calottes se sont formées, subsiste très souvent du côté proximal et parfois aussi sur la face inférieure (fig. 36; chap. 3.4.4). On a de plus observé, dans deux cas, des traces d'outils.

D'après ces critères, les calottes de Develier-Courtételle ont été cataloguées sous les onze types suivants (fig. 37) :

calottes aplaties	AP	chap. 3.2.3
calottes denses petites	DP	chap. 3.2.4
calottes fluides	FL	chap. 3.2.5
calottes avec vitrification	VI	chap. 3.2.6
calottes avec bourrelet	BO	chap. 3.2.7
calottes avec empreintes de charbon	CH	chap. 3.2.8
calottes circulaires	CI	chap. 3.2.9
calottes concaves	CO	chap. 3.2.10
calottes convexes	CX	chap. 3.2.11
calottes avec quille	QU	chap. 3.2.12
calottes denses	DE	chap. 3.2.13
Le solde est constitué des calottes non classées	NC	chap. 3.2.14

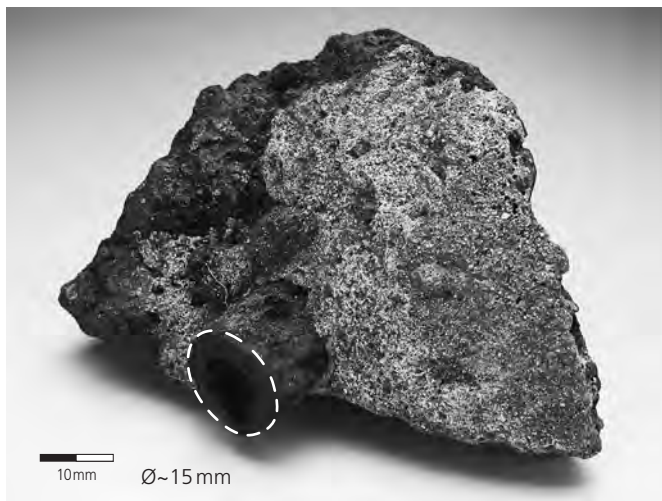


Fig. 35 Tuyau sous calotte. Diamètre du tuyau: environ 1,5 cm.

Certaines pièces présentent la particularité d'être double (fig. 38), voire triple (fig. 39), c'est-à-dire de superposer plusieurs calottes, d'un même type ou de types différents, qui sont alors collées l'une au-dessus de l'autre. Il est possible que cela soit dû au fait que le bas foyer n'ait pas été nettoyé après un premier travail, et que la calotte issue du travail suivant se soit alors formée sur la première en y adhérant. Six calottes sur 1432 (nombre minimum d'individus, NMI), soit moins d'un demi pour cent du total, sont concernées. Ce nombre étant très restreint, cette caractéristique n'a donc pas été prise en compte dans l'approche détaillée qui suit.

Pour des raisons de cohérence, dès qu'il est question dans le texte ou dans les figures d'une mesure ou d'un rapport entre deux mesures, seules les calottes conservées à au moins 90 % ont été prises en compte. Lorsqu'il est question du poids estimé d'une calotte conservée à au moins 50 %, cela correspond simplement à son poids extrapolé pour une conservation à 100 %. Les fourchettes de poids sont donc toujours basées sur le poids estimé de pièces entières, ceci afin de ne pas fausser les calculs globaux².



Fig. 36 Face inférieure d'un fragment de calotte, avec traces du placage sableux provenant des parois du bas foyer.



Fig. 37 Scories en forme de calotte. De gauche à droite, et de haut en bas : calotte avec bourrelet (BO) inv. CTT 994/54478 TI
calotte concave (CO) inv. CTT 994/54385 TI
calotte convexe (CX) inv. CTT 994/55124 TI
calotte dense petite (DP) inv. DEV 994/55496 PR
calotte avec vitrification (VI) inv. CTT 994/57253 TI
calotte aplatie (AP) inv. DEV 994/50855 PR
calotte avec empreintes de charbon (CH) inv. CTT 995/50008 TI
calotte avec quille (QU) inv. CTT 994/56204 TI.

L'ensemble des données disponibles sont regroupées pour chaque type de calotte dans les paragraphes concernés. Puis, à partir de celles-ci, une synthèse globale a été effectuée pour l'ensemble des calottes (chap. 3.2.15)⁴.

3.2.2 Examens chimiques, minéralogiques et métallographiques des calottes

Les calottes ont été soumises à des examens chimiques, minéralogiques et métallographiques afin de déterminer s'il s'agissait de déchets de forge ou de déchets de raffinage des éponges de fer. Les particularités morphologiques des calottes sont en relation avec des caractéristiques macroscopiques (structure, couleur, stratification), ayant elles-mêmes des correspondances sur le plan chimique (chap. 3.2.2 à 3.2.11). Les calottes sont pour certaines stratifiées ; vues en coupe, leurs différentes strates peuvent se distinguer par la couleur ou par les matériaux qui les composent. On considère comme strates soit les parties contenant de nombreuses inclusions métalliques ou de métal corrodé, soit celles constellées d'inclusions de charbon de bois. La scorie elle-même peut être de couleur sombre, gris moyen ou gris clair. Parfois elle possède certaines zones présentant l'aspect de fragments de paroi scorifiée, riche en inclusions de grains de quartz. Cette description justifie leur dénomination de scories argilo-sableuses (SAS).

Particularités chimiques des calottes

Au total, 119 analyses WD-XRF (annexes 1 et 2) ont été effectuées sur 98 calottes, réparties entre tous les types. Si 72 calottes ont été soumises à une seule analyse, dix-sept calottes présentant des strates de couleurs différentes ont subi deux analyses chacune et une seule calotte trois analyses. Huit calottes, six analysées une fois, et deux stratifiées analysées deux fois, ont été exclues de l'étude en raison de leur interprétation morphologique trop incertaine.

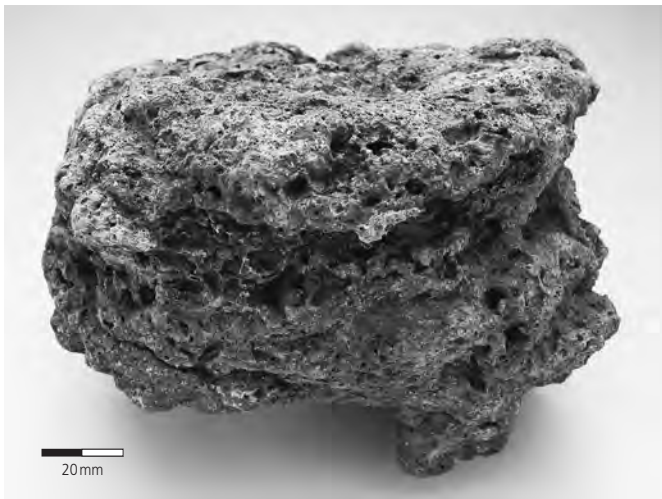


Fig. 38 Calotte double inv. CTT 994/54485 et 58286 TI.

A quelques exceptions près, toutes les calottes analysées sont riches en fer. Elles contiennent en moyenne 50% d'oxyde de fer (FeO) provenant du métal travaillé. Moins elles contiennent d'oxyde de fer, plus on y trouve d'oxyde de silicium (en moyenne 25%). On retrouve aussi toujours du calcium et de l'aluminium à des teneurs de 4 à 5%. La présence de silicium et d'aluminium dans les scories peut avoir trois origines :

- argile et sable provenant des parois du bas foyer ;
- sable de quartz utilisé comme décapant ;
- restes de scories de réduction issus de l'éponge de fer.

Lorsque le sable joue un rôle important dans la formation de la scorie, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est élevé. Ce rapport est moins élevé si c'est la paroi qui joue ce rôle. Les parois sableuses des bas foyers locaux présentent un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 6,3 (fig. 40 et chap. 3.4.4.1), comparable à celui de deux tiers des calottes (fig. 10b) ; cela à quelques rares exceptions près où il est plus élevé. En règle générale il n'y a donc pas eu d'apport supplémentaire de sable lors du forgeage. Dans la majorité des cas, l'origine du silicium et de l'aluminium présents dans les calottes doit être attribuée à un matériau dont la composition est semblable à celle des parois des bas foyers.

Un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nettement plus bas correspond, quant à lui, aux scories de réduction du district sidérurgique du Jura³. Les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ variant entre 1,5 et 5 se retrouvent dans un tiers des calottes du site. Ils peuvent être comparés à ceux des scories de raffinage de Boécourt, Les Boulies, dans lesquelles on décèle parfois un apport important de la scorie de réduction (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 113). Toutefois, seules quelques-unes des calottes analysées de Develier-Courtételle présentent une composition démontrant une influence notable de la scorie de réduction (fig. 10b).

La majorité des calottes de Develier-Courtételle contient davantage de calcium que les parois de bas foyer qui en possèdent peu (fig. 10c). Son origine principale est le charbon de bois et ses cendres, qui influencent également la teneur en potassium (Serneels 2002).



Fig. 39 Calotte triple inv. CTT 995/50706, 53516 et 53517 TI.

Les éléments traces dominants dans les calottes sont des éléments typiques du métal comme le nickel, le cobalt et l'arsenic, ainsi que ceux typiques des scories de réduction comme le vanadium et le chrome. On y trouve également des teneurs accrues en éléments traces en relation avec les parois des bas foyers (Ba) ou les cendres (Sr) (fig. 40).

La composition de la majorité des scories se situe entre les pôles lithophile et sidérophile du diagramme ternaire (fig. 11c), ce qui signifie que la composition en éléments traces de la majorité des scories ne permet pas de distinguer clairement une prépondérance de l'influence du métal ou de la scorie de réduction. Cela peut s'expliquer par le fait qu'une grande partie des calottes contient davantage de chrome que de vanadium, ce qui est typique de la composition des parois de bas foyers (fig. 40).

Les scories de réduction locales contiennent au contraire le plus souvent davantage de vanadium que de chrome, et cela en concentrations beaucoup plus élevées que celles relevées ici pour les calottes (Eschenlohr 2001, p. 109, fig. 97).

Composants % masse	Parois	SAS
SiO_2	70,5	63,2
Al_2O_3	11,2	9,2
MgO	1,2	1,7
CaO	1,4	4,6
K_2O	2,7	4
FeO_{tot}	8,8	13,6
rapport		
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	6,3	6,9
mg/kg (ppm)		
Sr	51	61
Rb	89	105
Ba	371	365
V	46	45
Ni	145	142
Cr	95	73
Co	106	50
rapport		
V/Cr	0,5	0,6

Fig. 40 Comparaison des valeurs moyennes de la composition des fragments de paroi de foyer avec celles d'une scorie argilo-sableuse (SAS). La fourchette de variation des valeurs est très faible. En caractères gras : éléments dont les teneurs divergent.

Caractéristiques minéralogiques

Les analyses minéralogiques ont été effectuées sur l'intégralité de la surface de chaque coupe pour 23 calottes, représentant tous les types importants. Ces analyses montrent que les olivines constituent presque toujours la phase minéralogique dominante (fig. 41). Suivant les conditions de formation, la wustite ou la leucite jouent parfois également un rôle important. Ainsi, dans les déchets riches en oxydes de fer, on trouve à côté des olivines une proportion élevée de wustite. D'une manière générale sur les

scories examinées, cette combinaison de phases peut résulter de deux genèses différentes, car elle apparaît fréquemment dans la strate qui peut se former à la base de la calotte, mais elle peut constituer parfois une caractéristique générale de toute la calotte. Sur une grande partie des scories, la teneur en wustite diminue en se rapprochant de leur face supérieure, alors que cette teneur peut être importante vers leur face inférieure. Ce fait s'explique par les différences de conditions de formation de la scorie dans le bas foyer, comme cela a déjà été remarqué sur les scories du site

Type	Cat.	Type couches	Zone	Phases minérales %						Détermination optique sur la coupe entière
				olivines	wustite	matrice	leucite	hercynite	rhönite	
Aplatie	1	sombre	inf.		40	60				x
			sup.		20	80				x
	2	moyen	-	55	15	30	locale			x
			3	sombre	inf.	25-40	20-50	25-40		
	4	moyen	sup.	50		45		2-5		x
			inf.	60	25	10	5			x
			centre	50	25	25				x
			sup.	50	10	35				x
	7	sombre	inf.	80	locale	5	15			x
			claire	sup.	55	5	15	25		locale
moyenne				43	18	34	5			
Dense petite	8	sombre	inf.	70-80	5-10	5-20	5-15			x
			claire	sup.	60	5	15	20		
	9	moyen	-	60	5	35	locale			x
			10	claire	-	50-60	1-10	40	locale	
moyenne				63	6	23	8			
Fluide	11	sombre	inf.	80	10	5	5			x
			sup.	35-45	40-50	15				x, MEB-EDS
	12	sombre	centre		40	60		locale		x, MEB-EDS, MS
			sup.	40	40-45	10	5	locale		x
13	sombre	-	60	30	5	5	locale	locale	x, MS	
		moyenne				43	33	19	5	locale
Vitrifiée	14	sombre	inf.	40	40	5	15			x
			claire	centre	30		50	20		
	15	claire	sup.	30		65	5			x
			-	40-50		35-50	0-25			x, MEB-EDS, MS
moyenne				37	10	40	13			
Bourrelet	16	sombre	inf.	60	15	5	20			x, MEB-EDS
			claire	centre	75	10	5	10		
	17	sombre	argilo-sabl. sup.	25		50	25			x, MS
			inf.	33	33	33				x, MEB-EDS, XRD
			centre	45	5	50			locale	x, MS
18	sombre	argilo-sabl. sup.	55	locale	40			5	x	
		moyenne				50	11	30	9	locale
Charbonneuse	18	sombre	inf.	40	45	5	10			x
			sup.	50	10	20	30			x
	19	sombre	-	60	5-20	20-30	5-10		locale	x, MEB-EDS, MS
moyenne				50	20	14	16			
Circulaire	20	sombre	-	40	50	10				x, MS
			inf.	50	40	locale	10			x
	21	sombre	sup.	70	20	locale	10			x
moyenne				53	37	3	7			
Concave	22	sombre	-	50-70	locale	10-30	10-20		locale	x
			inf.	50	15	20	15			x
	23	clair	sup.	50		50				x
moyenne				53	7	30	10			
Convexe	24	sombre	inf.	70	10	20				x
			sup.	60	10	30				x
	25	sombre	-	60	5-15	5-15	10-30			x
moyenne				63	10	20	7			

Fig. 41 Phases minérales des calottes examinées. La phase dominante est l'olivine. Les autres phases se répètent dans toutes les calottes, mais en proportions variables : dans les fluides et les circulaires la wustite est une phase importante, tandis que dans les vitrifiées la matrice vitreuse domine ; la leucite est importante dans les vitrifiées et dans celles avec empreintes de charbons.
x : détermination optique effectuée

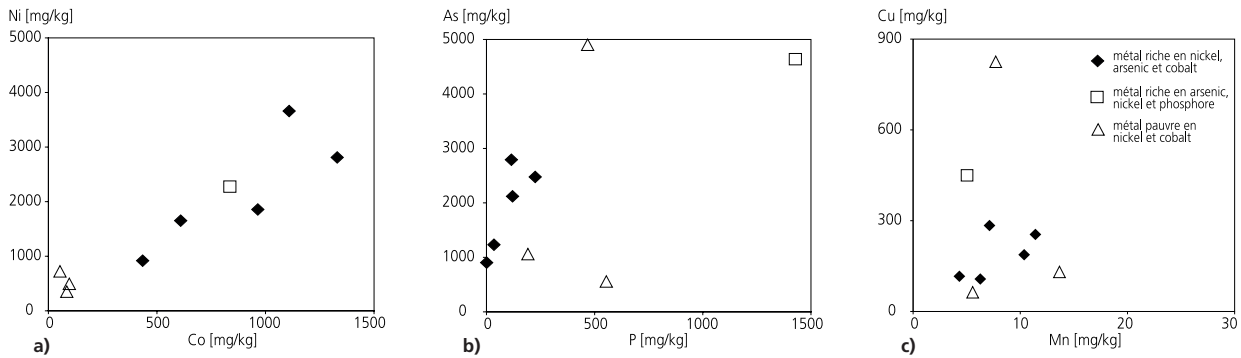


Fig. 42 Composition chimique du métal (fer et acier) dans les calottes (pour les valeurs de mesures, annexe 3, calottes).

de Manching (Keesmann et Hilgart 1992, p. 410). Au début du processus de formation de la scorie, les conditions sont plus fortement réductrices qu'à sa fin où elles suffisent toutefois encore à protéger le métal contre une oxydation excessive, le processus se déroulant dans un liquide riche en sable. Une teneur élevée et régulière en wustite ne se rencontre que sur certains types de calottes telles que les calottes aplaties, les calottes circulaires et les calottes fluides, alors que les calottes avec vitrification et les calottes avec empreintes de charbon se distinguent par une teneur plutôt élevée en leucite.

Caractéristiques chimiques et métallographiques des strates de métal incluses dans les calottes

Le métal examiné forme généralement une strate constituée de fragments plus ou moins épars dans la scorie, seules les calottes aplaties sont parfois entièrement constituées de métal. Parmi ces dernières, un unique exemplaire contient du métal en cours de formation et peut donc être considéré comme une éponge de fer à faible teneur en métal (voir *infra*). Les strates de métal qui présentent des traces témoignant de conditions oxydantes à température élevée sont nombreuses, et certaines sont décarburées sur leurs bords. Ces deux observations sont l'indice d'un traitement du métal intervenu dans un milieu riche en oxygène. Le métal contenu dans les scories renferme de nombreuses cavités et inclusions de scorie non déformées montrant qu'il n'a été qu'incomplètement compacté et épuré. Les strates riches en métal peuvent par conséquent être interprétées comme étant les déchets produits durant le raffinage de l'éponge.

Les strates plus ou moins éparses de métal des calottes examinées contiennent à parts égales du fer et de l'acier doux, ainsi que de l'acier trempable (fig. 43). On n'y trouve pas d'acier à teneur en carbone dépassant 1% masse. Les strates de métal des calottes présentent des teneurs en carbone supérieures à celles relevées pour l'ensemble du métal étudié (fig. 27).

Des teneurs en carbone plus élevées, avec des valeurs situées entre 1,6 et 1,8%, ont été observées dans le métal des scories des

	Fer	Acier % masse C		
		0,1 - 0,3	0,4 - 0,7	0,8 - 1
Strates éparses de métal examinées	3	6	3	4
%	19	37	19	25

Fig. 43 Teneurs en carbone du métal des calottes examinées.

ateliers de forge romains du Magdalensberg dans la province du Norique, où la production d'acier est attestée (Naumann 1964, p. 10-11). On décèle également des teneurs élevées en carbone dans certaines calottes des ateliers de forge du Bas Moyen Age de Wissenbach dans la région de Dietzhöhlztal en Allemagne, où l'on trouve des indices de décarburation d'un acier hypereutectoïde (Kronz 1997, p. 190-192).

La composition chimique du fer et de l'acier des calottes a été analysée sur neuf exemplaires (fig. 42). Les strates de métal sont en règle générale riches en nickel, en arsenic et en cobalt. Leur rapport Ni/Co varie entre 1,9 et 3,4. Des basses teneurs en nickel et en cobalt (fig. 42a) et un rapport Ni/Co plus élevé (4,1 - 13,4) font ressortir trois échantillons du lot (triangles blancs). Dans un cas, à côté de l'arsenic, le phosphore est lui aussi élevé (carré blanc, fig. 42b, ± 1500 mg/kg). La composition chimique de ces inclusions métalliques dans les calottes diffère de la composition du métal local défini dans le chapitre 3.5. Cette différence s'explique très bien par la réaction chimique (diffusion, oxydation) qu'il y a entre scorie liquide et métal lors de la formation des calottes.

Cat.	Type	Echantillon	Matériel	Ni ppm	Co ppm	As ppm
7	AP	DLP5051	couche claire	16	68	12
		DLP5052	couche sombre	1193	211	2345
		DEV66a	métal	2800	1300	2800
8	DP	DLP5101	couche argilo-sableuse	115	71	433
		DLP5102	couche gris moyen	290	103	1253
		DEV1190	métal	2300	800	4600
9	DP	DLP502	scorie gris moyen	862	172	948
		DEV994/1525	métal	1900	1000	1200
10	DP	DLP504	scorie claire	1131	200	3987
		DEV700	métal	920	430	2500
15	VI	DLP5091	couche argilo-sableuse	157	74	229
		DLP5092	couche gris moyen	524	131	1988
		DEV994-1197B	métal	720	50	4900
16	BO	CTT5351	couche argilo-sableuse	29	41	8
		CTT5352	couche claire	42	56	19
		CTT5353	couche sombre	2	61	4
		CTT52838	métal	350	90	560
17	BO	DLP5061	couche argilo-sableuse	109	99	121
		DLP5062	couche sombre	62	72	118
		DEV51B	métal	1650	610	900
20	CI	DLP531	scorie sombre	196	190	37
		DEV50337D	métal	3700	1100	2100

Fig. 44 Comparaison des teneurs en éléments traces typiques du métal, dans le métal et dans la scorie des calottes (analyses WD-XRF et LA-ICP-MS, annexes 2 et 3). Abréviations des types, voir figure 34.

On connaît également la composition des éléments traces de la scorie pour huit des neuf échantillons. La composition de ces derniers ne reflète que partiellement celle de la scorie (fig. 44). Les éléments traces typiques du métal sont parvenus dans la scorie par oxydation du métal. C'est avant tout dans les calottes circulaires et celles avec bourrelet qu'il n'y a aucune concordance entre la composition de la scorie et celle du métal. Il en va de même pour les strates sablo-argileuses des scories examinées, dont la composition est parfois tellement influencée par d'autres matériaux qu'elles ne reflète pas, ou que très faiblement, la composition du métal.

Pour les autres types de calottes examinées, les relations entre la composition du métal et celle de la scorie des strates sombre et gris moyen varient d'un cas à l'autre. Leurs éléments traces ne présentant jamais de teneurs élevées ni en vanadium ni en chrome, aucune des calottes analysées qui contiennent du métal ne peut être liée au raffinage de par sa composition chimique. Seule l'étude métallographique permet cette attribution.

3.2.3 Les calottes aplaties (fig. 45)

Catalogue 1 à 7

Sur 147 calottes attribuées à ce type, 73 sont conservées à 90% au moins. Les calottes aplaties sont de forme générale ovale et présentent, en coupe, une silhouette plate: leur face supérieure est donc plus ou moins plane, de même que la face inférieure, peu ou pas bombée. Cette caractéristique se reflète dans le rapport longueur/épaisseur. Pour près des trois quarts de ces calottes, il est supérieur à 2,5 avec une valeur moyenne de 3,1; 15% des calottes aplaties ont un rapport supérieur à 4,0. Une unique pièce possède un rapport inférieur à 2,0. Ce type présente la moyenne la plus élevée du rapport longueur/épaisseur (fig. 45d).

Quant à la forme ovale, elle est caractérisée par le rapport longueur/largeur qui est, pour plus de 40% des pièces attribuées, égal ou inférieur à 1 (fig. 45e). La moyenne du rapport longueur/largeur est la plus basse de toutes les catégories. Les deux rapports présentent donc un nuage de points bien groupés.

Deux autres traits caractéristiques sont à relever pour ce type de calottes. Il s'agit, pour un cinquième des individus, d'une part d'une surface hydroxydée et, d'autre part, d'une densité généralement élevée (3,0 en moyenne, la plus forte de tous les types). Un tiers des calottes est magnétique, et une sur cinq possède une aimantation de moyenne à forte lors du test à l'aimant. Cette présence répétée de métal peut également être déduite de la densité moyenne des pièces mesurées. Cependant, ces dernières étant peu nombreuses (13 calottes sur 147), toute affirmation concernant la relation à la densité serait non fondée.

Le poids moyen des calottes aplaties conservées à au moins 50% est de 530g. Par rapport au poids moyen de l'intégralité des calottes (720g), les calottes aplaties sont donc de petit gabarit. Ce fait est également souligné par un pourcentage en nombre ($\pm 13\%$) supérieur à celui en poids, réel ou estimé ($\pm 9\%$). En tenant compte du pourcentage de conservation estimé, le poids moyen estimé par calotte s'élève à 660g. La fourchette de poids d'un individu oscille entre 70g et 1710g. Un tiers des pièces pèse

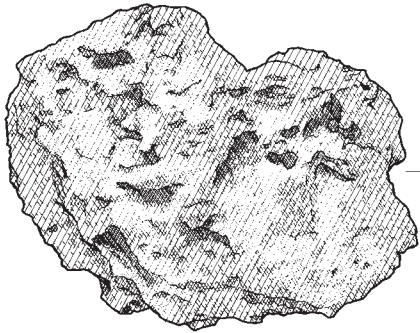
moins que 500 g, plus d'une pièce sur deux (54%) entre 500 g et un kilogramme, et seule une calotte sur huit pèse plus d'un kilogramme (fig. 45c). Enfin, seule une calotte aplatie sur douze présente des traces de paroi du bas foyer.

Les trois quarts des 13 calottes aplaties examinées ne sont pas stratifiés. La scorie ou les strates présentes dans le quart restant sont principalement de couleur sombre. Deux calottes attribuées à ce type sont entièrement constituées de métal (cat. 5 et 6). L'interprétation de ces morceaux d'acier en forme de calotte n'est pas simple. Dans les deux cas, le métal ne présente pas ou très peu de traces de travail. L'acier de la pièce cat. 5 présente un gradient de carbone croissant de sa face inférieure vers sa face supérieure et renferme de nombreuses inclusions de phosphore. Elle présente une face inférieure bombée, empreinte négative du bas foyer dans lequel elle s'est formée. Dans cette pièce, le métal a dû s'agglomérer secondairement, avec cémentation, dans le foyer. Dans le cas de la pièce cat. 6, il s'agit par contre d'un bloc d'acier hyper-eutectoïde. Du fait de son homogénéité et de sa teneur en métal atteignant 95%, elle est classée parmi les éponges de fer⁵. Les strates métalliques dans les calottes témoignent en général d'une accumulation secondaire lors du travail d'une grosse pièce, de laquelle un morceau de métal s'est détaché. Par contre, la calotte cat. 3 est une éponge pauvre en fer dans laquelle le métal s'est formé par réduction à partir de la scorie liquide.

D'après leur composition en éléments traces, plus de 50% des scories se situent entre les phases de raffinage et celles de forgeage. Bien que les teneurs en Al de certaines calottes aplaties soient parfois élevées, leurs teneurs en Cr et V demeurent basses. Seules trois pièces (cat. 3, inv. CTT 994/55202 TI et CTT 995/50455 TI) sont influencées par le raffinage, ce qui se manifeste par une participation, quoique relativement faible, de la scorie de réduction à leur formation (teneurs élevées en V et Cr). Une de ces calottes (cat. 3) est également riche en CaO, ce qui témoigne d'une origine différente (chap. 3.5.1). Trois calottes (cat. 4, 7 et inv. CTT 994/55311 TI) présentent quant à elles une influence claire du métal oxydé - c'est-à-dire de la forge - dans leur formation, de par leurs teneurs élevées en nickel, cobalt et arsenic.

Les phases minérales prédominantes de ces scories sont la fayalite, la wustite et la matrice vitreuse, cette dernière étant plus fréquente que dans les autres types. Seule une des scories examinées est riche en leucite (cat. 7). Elle possède également une ébauche de bourrelet et contient l'unique strate gris clair analysée. Comme elle contient aussi une strate riche en métal, on peut la classer dans un groupe intermédiaire qui va du raffinage au forgeage.

Les examens effectués donnent l'image d'un type de calotte dont la formation est issue, d'une part, de métal quasiment non travaillé et, d'autre part, de scorie de réduction et surtout de métal oxydé durant le forgeage. Les calottes riches en métal, ainsi que celles influencées par la scorie de réduction, sont toutes en contexte de raffinage (huit pièces), tandis que quatre se placent en contexte de forge (fig. 65). La scorie de couleur gris moyen et gris clair ne se retrouve, en ce qui concerne Develier-Courtételle, que dans le contexte de la forge.



a

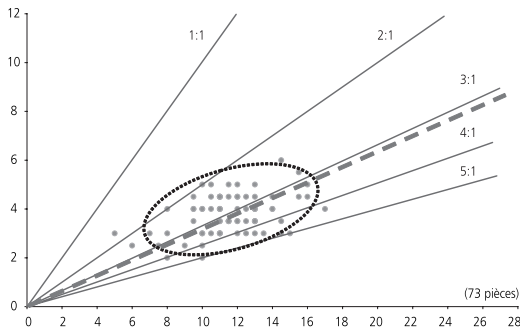


Calottes aplaties	Valeur moyenne (147 pièces)		Valeur moyenne (73 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	147	conservation (%) 83	longueur (cm) 11,5	11,5	bourrelet	6	4
% des calottes classées	12,5	poids réel (g) 530	largeur (cm) 10,8	10,8	charbons	11	7,5
Poids total (kg)	78,4	poids estimé (g) 660	épaisseur (cm) 3,8	3,8	concavité	9	6
% des calottes classées	8,8	densité (11 pièces) 3,0	longueur / largeur 1,08	1,08	convexité	10	7
Poids total estimé (kg)	96,5		longueur / épaisseur 3,13	3,13	quille	1	0,7
% des calottes classées	8,6		largeur / épaisseur 2,93	2,93	vitrification	1	0,7
					surface fluide	9	6
					surface rouillée	31	21
					trace de paroi	12	8

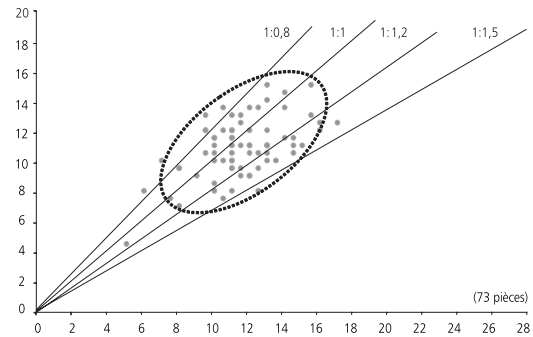
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	12	39	78	18	0	147
%	8	26,5	53	12	0	100

c



d



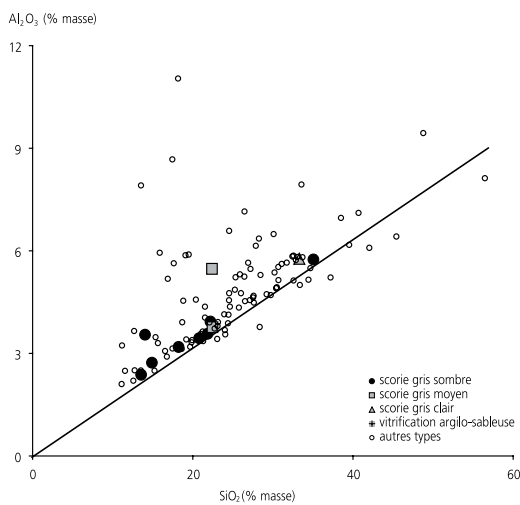
e

Stratification	Analyses (11 pièces)			
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)	
Non stratifiée	8 gris sombre	7	66,6	3,5
Stratifiée	3 gris moyen	3	63,1	4,7
Métal pur	2 gris clair	1	48	7,2
Total	13 taches sombres	1		
	métal dispersé	1		
	riche en métal	1		
	riche en charbon	1		

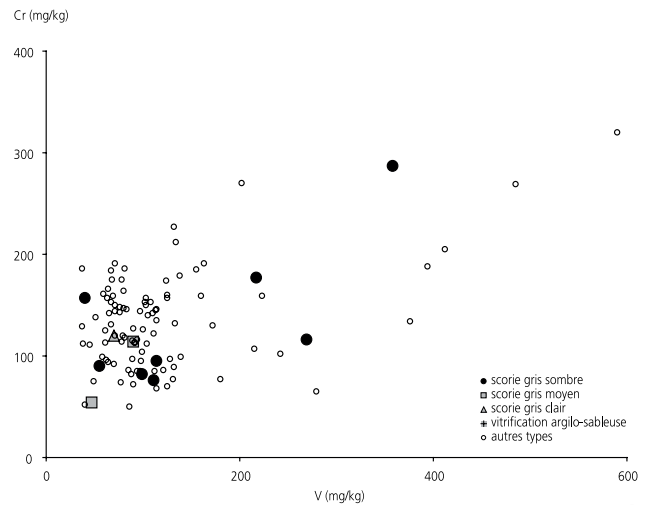
Métal pas ou peu travaillé, en cours de formation Teneur en C du métal (% masse) : 0 à 0,9

Etape: **épurati-on-compactage-forgeage**

f

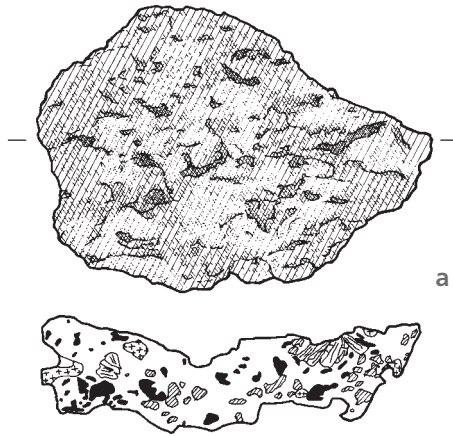


g



h

Fig. 45 Les calottes aplaties (cat. 1-7). Synthèse des données archéologiques. a : calotte aplatie cat. 4 (échelle 1 : 3); b : synthèse des données; c : répartition par groupe de poids estimé; d : rapport longueur / épaisseur; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.

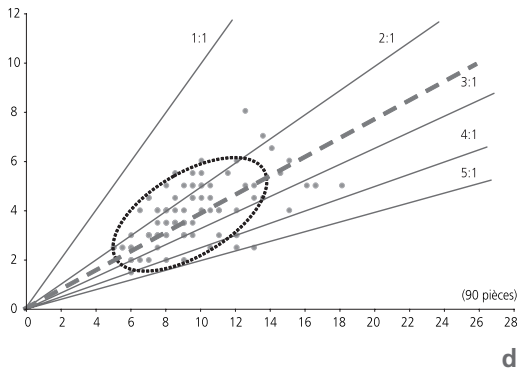


Calottes denses petites	Valeur moyenne (212 pièces)		Valeur moyenne (90 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	212	conservation (%)	80	longueur (cm)	9,6	bourrelet	9 4
% des calottes classées	18,1	poids réel (g)	450	largeur (cm)	8,6	charbons	12 5,7
Poids total (kg)	95,4	poids estimé (g)	620	épaisseur (cm)	3,9	concavité	9 4
% des calottes classées	10,7	densité (6 pièces)	2,8	longueur / largeur	1,13	convexité	15 7
Poids total estimé (kg)	132,1			longueur / épaisseur	2,60	quille	7 3,3
% des calottes classées	11,8			largeur / épaisseur	2,34	vitrification	2 1
						surface fluide	21 10
						surface rouillée	17 8
						trace de paroi	17 8

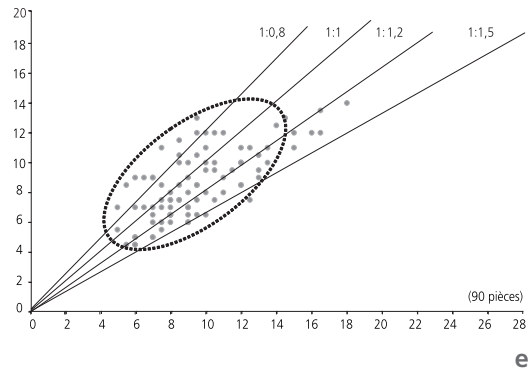
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	57	60	56	34	5	212
%	27	28,3	26,4	16	2,4	100

c



d



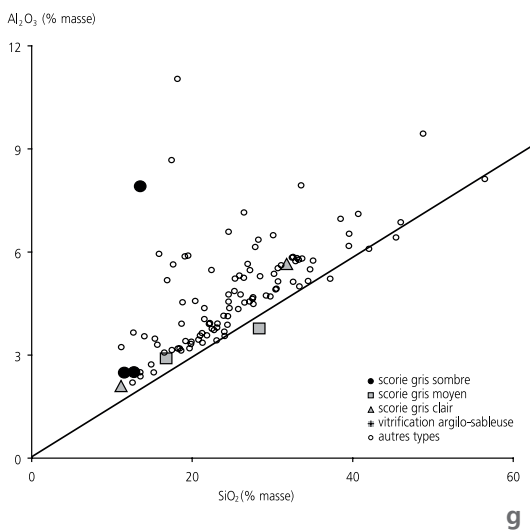
e

Stratification	Analyses (6 pièces)			
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)	
Non stratifiée	3 gris sombre	3 69,5	4,6	
Stratifiée	3 gris moyen	2 65,7	2,8	
Métal pur	0 gris clair	2 59,9	2,9	
Total	6 taches sombres	0		
	riche en métal	3 non stratifiée	1,6	
	riche en charbon	2		

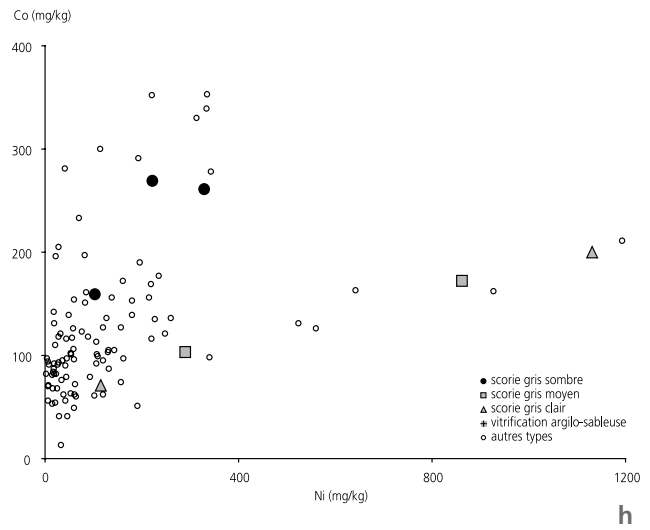
Métal pas ou peu travaillé Teneur en C du métal (% masse) : 0,4 à 0,7

Etape: **épuraton-compactage**-forgeage

f



g



h

Fig. 46 Les calottes denses petites (cat. 8-10). Synthèse des données archéologiques. a : calotte dense petite cat. 9 (échelle 1 : 3) ; b : synthèse des données ; c : répartition par groupe de poids estimé ; d : rapport longueur / épaisseur ; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données ; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories ; h : rapport Ni / Co dans les différentes couches de scories.

3.2.4 Les calottes denses petites (fig. 46)

Catalogue 8 à 10

Sur 212 calottes classées dans cette catégorie, 90 sont conservées à 90 % au moins. Ces calottes ne possèdent pas de véritable trait caractéristique décelable à l'œil nu. Dans un premier temps, un regroupement concernant de nombreuses pièces d'aspect globalement similaire, a été effectué sous la dénomination de calottes « inclassables ». Cette classification sans réel critère objectif a été basée sur les petites tailles et la densité assez forte de 2,8 de ces pièces. Par la suite, et essentiellement grâce aux résultats analytiques, il est apparu que ce type, même s'il était moins précisément défini que la plupart des autres, pouvait avoir une identité propre, d'où sa nouvelle appellation de « denses petites ». Ainsi 80 % de ces calottes pèsent moins d'un kilogramme et 50 % moins de 500 g. Une calotte sur six se situe entre 1 et 2 kg. L'attribution des treize pièces dont le poids dépasse 1500 g devrait être reconsidérée, d'autant plus que leur taux moyen de conservation est très bas (57 %) ⁶. Les calottes de ce type sont assez denses, car malgré leurs dimensions moyennes plus réduites que celles des calottes avec vitrification, elles sont en moyenne plus lourdes (poids moyen estimé de 620 g contre 530 g).

Le rapport entre la longueur et la largeur de ces pièces est moins éloquent. Un petit tiers possède une valeur égale ou inférieure à 1, tandis que pour un quart d'entre elles la longueur dépasse de 20 % au maximum la largeur (valeur 1,2). Un autre quart est constitué de pièces dont le rapport longueur/largeur est égal ou inférieur à 1,3. Enfin, pour une calotte sur cinq, la longueur dépasse de plus d'un tiers la largeur (> 1,3). Le rapport longueur/épaisseur se situe entre 2 et 3 pour plus de 60 % de ces calottes, tandis qu'un cinquième se situe en dessous de la valeur 2 et un autre au-dessus de 3.

Les six calottes denses petites analysées renferment souvent des strates plus ou moins éparpillées de métal, mais également des inclusions de métal. À l'examen, ce dernier ne présente pratiquement aucune trace de travail : il s'agit toujours d'acier.

Pratiquement toutes les calottes sont pauvres en silicium. Les éléments traces dominants sont typiques du métal (Ni, Co et As). L'analyse chimique donne l'impression qu'il s'agit de scories de forge, de même que l'étude minéralogique lors de laquelle on constate l'absence d'hercynite, un minéral typique de la réduction (fig. 41). Toutefois, comme le métal ne comporte pratiquement aucune trace de travail et qu'il est présent en quantités importantes, il est possible que ces calottes proviennent en partie de l'étape de compactage du métal.

Une pièce (inv. DEV 994/51352 PR) montre clairement par la présence d'aluminium, de vanadium et de chrome, qu'on a parfois procédé à l'évacuation de la scorie de l'éponge.

3.2.5 Les calottes fluides (fig. 47)

Catalogue 11 à 13

Sur 113 calottes classées dans cette catégorie, 67 sont conservées à 90 % au moins. La caractéristique de ces calottes est de posséder une face supérieure noire, d'aspect fluide, semblable aux scories d'aspect coulé (chap. 3.4.2). Elles présentent les plus faibles dimensions moyennes de tous les types. Une seule pièce conservée à 90 % au moins pèse plus d'un kilogramme (1010 g). Quatorze autres calottes, plus grandes que la moyenne, ont un taux de conservation moyen de 61 %, par rapport au taux moyen de 85 % de toutes les pièces de ce type. Ceci pourrait impliquer que le poids des grandes pièces a été quelque peu surestimé.

Pour près de 40 % des pièces, le rapport longueur/largeur est égal ou inférieur à 1, comme c'était déjà le cas pour les calottes aplaties. Un quart environ ont une longueur dépassant de 20 % au moins la largeur (valeur 1,2). Cela explique que ce type possède un rapport moyen de 1,11, proche des plus petites moyennes affichées par les aplaties et les circulaires.

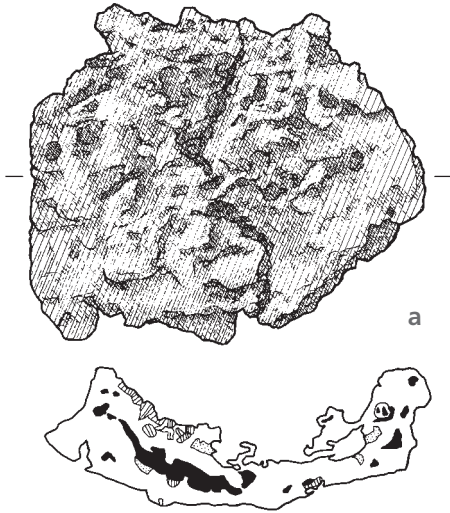
La moitié des pièces possède un rapport longueur/épaisseur situé entre 2 et 3. Un quart environ ne dépasse pas la valeur 2, alors que pour un cinquième des calottes elle se situe entre 3 et 4. Deux individus se distinguent par leur silhouette particulièrement plate (rapport longueur/épaisseur de 4,6 et de 7,3).

Les huit calottes analysées ne sont en majorité pas stratifiées et présentent un aspect gris sombre.

Du point de vue chimique, les calottes fluides se classent parmi les déchets riches en oxydes de fer. Elles sont parfois riches en CaO, ce qui reflète une contribution partielle du charbon de bois à leur formation. Un grand nombre d'entre elles sont riches en Al₂O₃, mais seules trois renferment une grande quantité de vanadium, indice d'une nette contribution de la scorie de réduction. Le rapport en SiO₂/Al₂O₃ est typique d'un apport provenant principalement de la paroi du bas foyer. Deux de ces scories riches en Al, V et Cr contiennent également des teneurs élevées en CaO (inv. DEV 994/51049 PR et CTT 996/51443 TI), phénomène déjà observé sur une calotte aplatie. L'origine de ces scories est abordée dans le chapitre 3.5.1.

Pratiquement toutes les scories fluides sont riches en wustite et renferment souvent des spinelles à forte teneur en aluminium (fig. 41), typiques des scories de réduction provenant d'un minerai pisolithique.

On constate une influence de la scorie de réduction dans la formation de près de 50 % de ces calottes, ce qui les classe parmi les scories de raffinage, les autres étant classées parmi les déchets du forgeage.

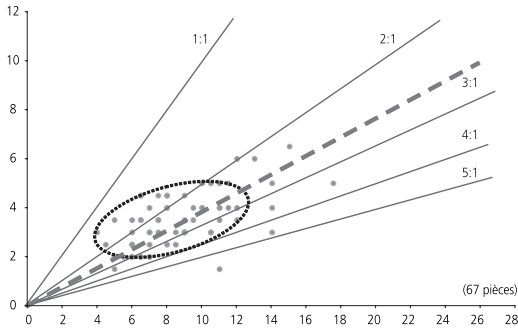


Calottes fluides	Valeur moyenne (113 pièces)		Valeur moyenne (67 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	113	conservation (%) 85	longueur (cm) 8,7	8,7	bourrelet	7	6
% des calottes classées	9,6	poids réel (g) 360	largeur (cm) 8,0	8,0	charbons	7	6
Poids total (kg)	40,5	poids estimé (g) 470	épaisseur (cm) 3,5	3,5	concavité	4	3,5
% des calottes classées	4,5	densité (8 pièces) 2,9	longueur / largeur 1,11	1,11	convexité	0	0
Poids total estimé (kg)	53,6		longueur / épaisseur 2,62	2,62	quille	3	2,7
% des calottes classées	4,8		largeur / épaisseur 2,39	2,39	vitrification	0	0,0
					surface fluide	101	89,4
					surface rouillée	15	13,3
					trace de paroi	10	9

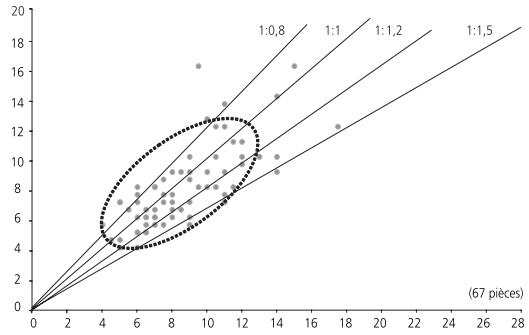
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	50	23	25	13	2	113
%	44	20,4	22	11,5	2	100

c



d



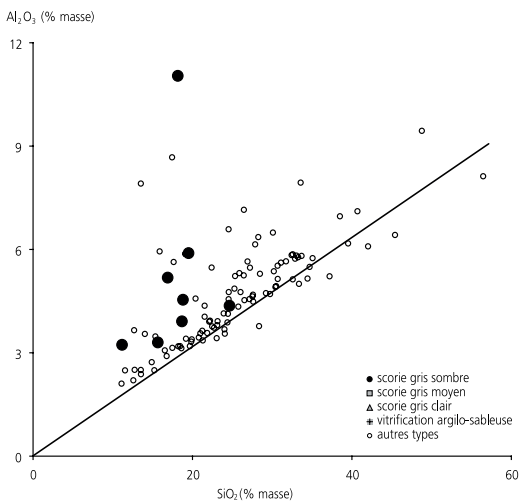
e

Stratification	Analyses (8 pièces)		
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)
Non stratifiée	6 gris sombre	8 66,3	4,5
Stratifiée	2 gris moyen	0	
Métal pur	0 gris clair	0	
Total	8 taches sombres	0	
	riche en métal	0	
	riche en charbon	2	

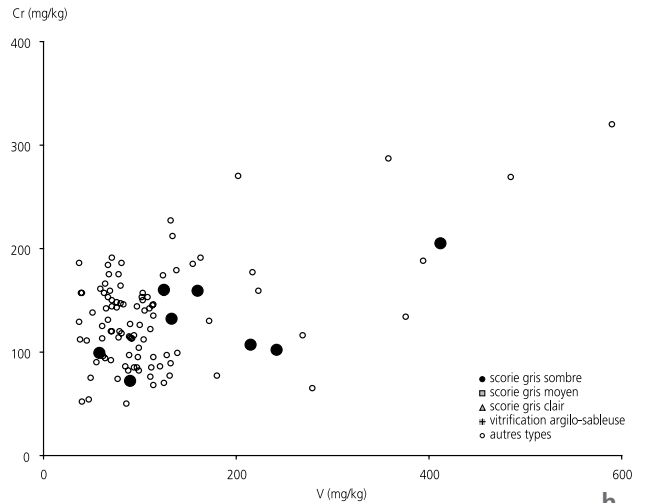
Métal pas ou peu travaillé Teneur en C du métal (% masse): 0,4 à 0,7

Etape: épuration-forgeage

f

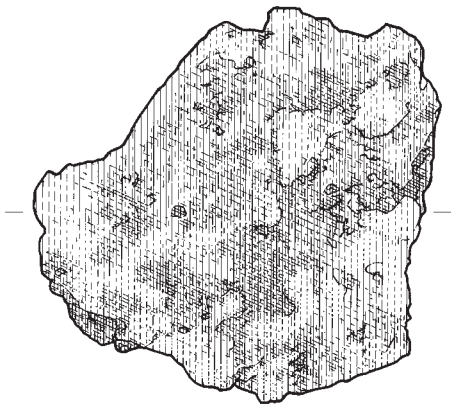


g

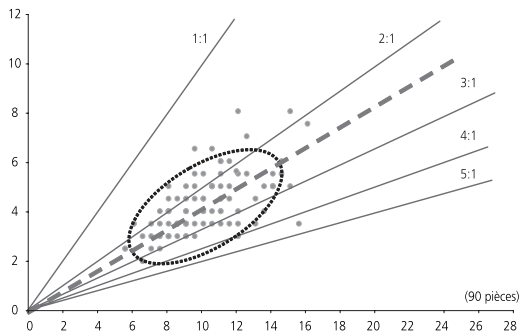


h

Fig. 47 Les calottes fluides (cat. 11-13). Synthèse des données archéologiques. a : calotte fluide cat. 13 (échelle 1 : 3); b : synthèse des données; c : répartition par groupe de poids estimé; d : rapport longueur / épaisseur; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.



a



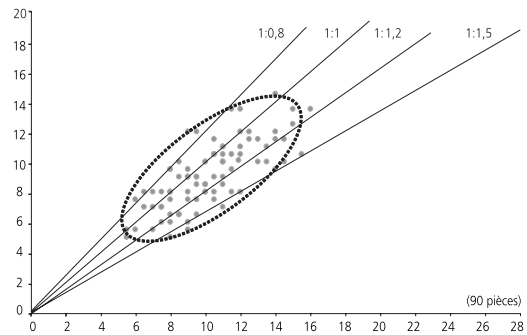
d

Calottes avec vitrification	Valeur moyenne (136 pièces)		Valeur moyenne (90 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	136	conservation (%) 86	longueur (cm) 10,2	10,2	bourrelet	10	7,4
% des calottes classées	11,6	poids réel (g) 430	largeur (cm) 9,1	9,1	charbons	6	4,4
Poids total (kg)	58,6	poids estimé (g) 530	épaisseur (cm) 4,3	4,3	concavité	4	3
% des calottes classées	6,5	densité (11 pièces) 2,4	longueur / largeur 1,13	1,13	convexité	17	12,5
Poids total estimé (kg)	72,6		longueur / épaisseur 2,43	2,43	quille	0	0
% des calottes classées	6,5		largeur / épaisseur 2,17	2,17	vitrification	133	98
					surface fluide	1	0,7
					surface rouillée	0	0
					trace de paroi	37	27

b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	42	44	35	13	2	136
%	31	32,4	25,7	9,6	1,5	100

c

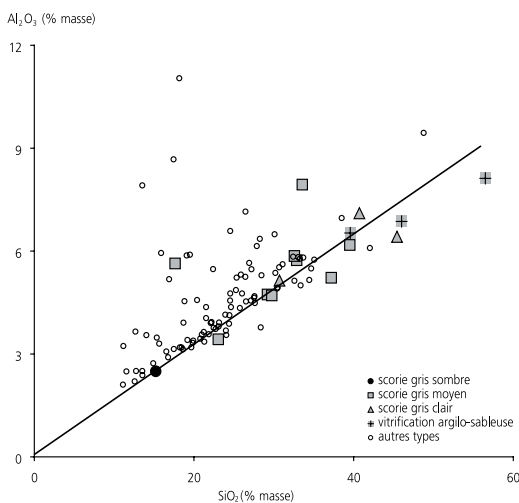


e

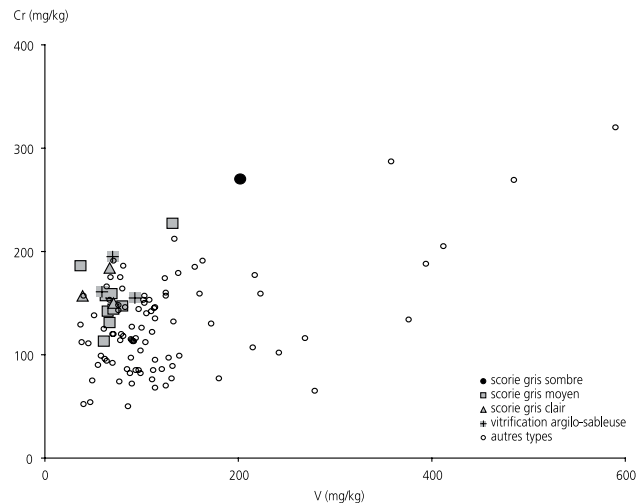
Analyses (11 pièces)				
Stratification	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)	
Non stratifiée	gris sombre	1	68,6	1,6
Stratifiée	gris moyen	11	52,8	3,8
Aggloméré	gris clair	10	38,2	5,8
Total	taches sombres	8		
	riche en métal	2	non stratifiée	1,6
	riche en charbon	2		

Etape: forgeage

f

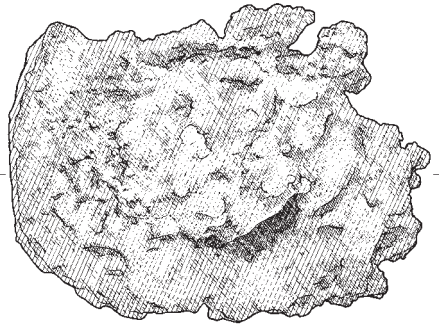


g

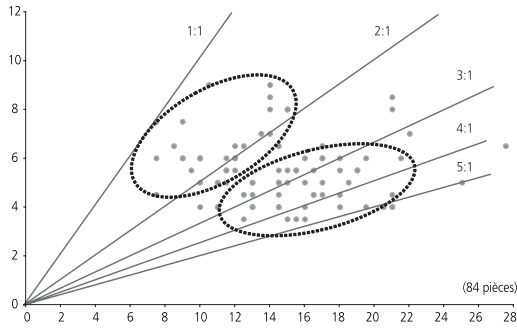


h

Fig. 48 Les calottes avec vitrification (cat. 14-15). Synthèse des données archéologiques. a : calotte avec vitrification cat. 15 (échelle 1 : 3); b : synthèse des données; c : répartition par groupe de poids estimé; d : rapport longueur / épaisseur; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.



a



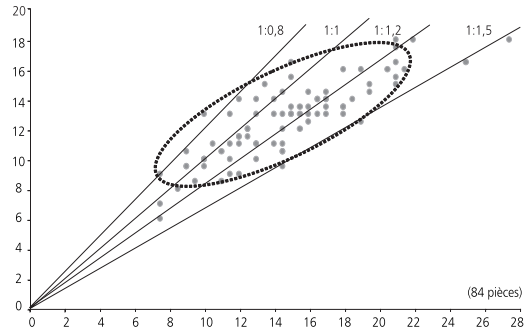
d

Calottes avec bourrelet	Valeur moyenne (132 pièces)		Valeur moyenne (84 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	132	conservation (%)	88	longueur (cm)	14,7	bourrelet	127 96,2
% des calottes classées	11,3	poids réel (g)	1070	largeur (cm)	12,7	charbons	30 22,7
Poids total (kg)	141,6	poids estimé (g)	1240	épaisseur (cm)	5,9	concavité	2 1,5
% des calottes classées	15,8	densité (14 pièces)	2,7	longueur / largeur	1,16	convexité	2 1,5
Poids total estimé (kg)	163,4			longueur / épaisseur	2,54	quille	2 1,5
% des calottes classées	14,6			largeur / épaisseur	2,20	vitrification	51 38,6
						surface fluide	10 7,6
						surface rouillée	4 3,0
						trace de paroi	58 43,9

b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	4	18	37	55	18	132
%	3	13,6	28	41,7	13,6	100

c



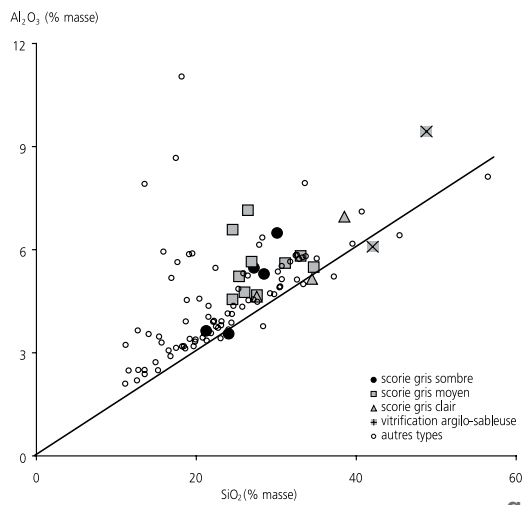
e

Analyses (14 pièces)				
Stratification	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)	
Non stratifiée	1 gris sombre	6	58,8	4,2
Stratifiée	gris moyen	12	55,4	4,2
	gris clair	8	48,1	5,9
Total	taches sombres	0		
	riche en métal	7		
	riche en charbon	2		

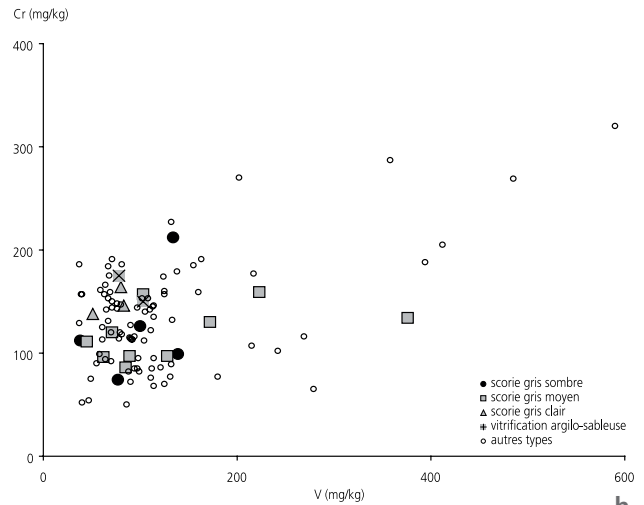
Métal pas ou peu travaillé Teneur en C du métal (% masse): 0,3 à 0,8

Etape: **épurat**ion-compactage-forgeage

f



g



h

Fig. 49 Les calottes avec bourrelet (cat. 16-17). Synthèse des données archéologiques. a : calotte avec bourrelet cat. 17 (échelle 1 : 3) ; b : synthèse des données ; c : répartition par groupe de poids estimé ; d : rapport longueur / épaisseur ; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données ; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories ; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.

3.2.6 Les calottes avec vitrification (fig. 48)

Catalogue 14 à 15

Sur 136 calottes attribuées à ce type, 90 sont conservées à 90 % au moins. Leur trait caractéristique est leur face supérieure vitrifiée. Ces calottes, de petite taille, présentent de plus la densité moyenne la plus basse de toutes les catégories (poids moyen de 530 g). Neuf pièces sur dix pèsent au maximum un kilogramme. Contrairement aux calottes fluides, 10 % des grandes pièces bénéficient d'une bonne conservation (73 %; 86 % pour le taux moyen total), ce qui implique qu'une calotte vitrifiée peut être de grande taille.

Pour les deux tiers des 90 calottes prises en compte, la longueur ne dépasse pas la largeur de plus de 20 %, parmi elles un bon tiers présente un rapport inférieur ou égal à 1,0. Le rapport longueur/épaisseur est le plus faible statistiquement parlant de tous les types considérés (les calottes denses et les quilles, ne comptant que trop peu d'individus, ne sont pas prises en compte). Cela indique simplement que l'épaisseur des calottes avec vitrification est importante par rapport à leurs longueur et largeur.

Une partie des onze calottes analysées présente une forme d'agglomérats, tandis que les autres sont stratifiées. Toutes renferment des taches gris foncé que l'on peut interpréter comme des inclusions de battitures partiellement dissoutes, ainsi que des inclusions de métal et de charbon de bois. Une des inclusions de métal (cat. 15) a été examinée, ce qui a fait ressortir sa formation en acier à faible teneur en carbone (0,1 % masse), peu travaillé. La couleur de la scorie varie du gris clair au gris moyen.

Le silicium et l'aluminium dominent dans la composition chimique des strates claires. Leur teneur en chrome est également élevée. Cette composition est en relation directe avec celle de la paroi du bas foyer. Elle est toutefois plus riche en CaO, indice d'une forte influence du charbon de bois et de ses cendres. Seule la composition des strates gris sombre et gris moyen des scories se rapproche de la composition moyenne des autres calottes. Parmi les éléments traces, ceux provenant du métal (As, Co, Ni) dominent dans certaines pièces.

Ces calottes contiennent davantage de leucite que les autres catégories (fig. 41). Sur la pièce examinée, l'olivine est riche en MgO, indiquant un travail effectué à une température élevée (cat. 15; Kronz 1997, p. 71).

Ces calottes peuvent être considérées comme des scories de forge typiques. Il demeure toutefois difficile d'affirmer si la vitrification provient d'un matériau semblable à la paroi du foyer de forge – de la cendre de charbon de bois ayant été ajoutée comme décapant – ou alors de l'environnement direct (feu, foyer de forge).

3.2.7 Les calottes avec bourrelet (fig. 49)

Catalogue 16 à 17

Sur 132 calottes attribuées à ce type, 84 sont conservées à 90 % au moins. Le bourrelet, presque toujours bien marqué (127 individus sur 132), se situe sur la face supérieure, généralement du côté proximal de la pièce. Avec un poids moyen de 1070 g, ce type fait partie des calottes de grandes dimensions, ce qui est confirmé par leur

pourcentage en nombre ($\pm 11\%$), clairement inférieur à celui en poids ($\pm 16\%$). Leur poids oscille globalement entre 140 g et 4180 g mais plus de quatre calottes sur cinq pèsent plus de 500 g. Le poids moyen estimé est quant à lui de 1240 g. Ce type de calotte a une épaisseur de 20 % supérieure à la moyenne de toutes les calottes prises en compte. Enfin, un nombre élevé de calottes avec bourrelet (env. 44 %) portent des traces de paroi de foyer. Quelque 39 % présentent une vitrification sur toute leur face supérieure. Pour différentes pièces, c'est la présence de plusieurs de ces traits caractéristiques qui a permis leur attribution à cette catégorie.

La silhouette des calottes à bourrelet est globalement plus allongée que celle des calottes de petite taille, notamment celles du type aplati. Ceci s'exprime par un rapport longueur/largeur supérieur, compris entre 1 et 1,5 pour près de 80 % des pièces.

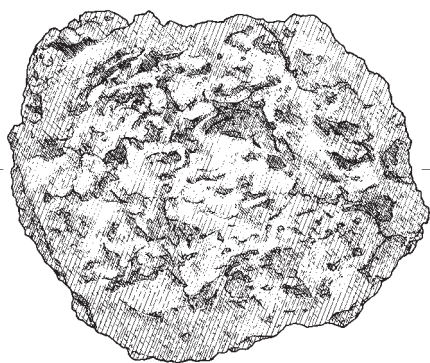
Ce type de calotte se distingue par une grande variation du rapport longueur/épaisseur : un quart présente un rapport inférieur à 2, pouvant descendre jusqu'à 1, soit une épaisseur identique à la longueur de la pièce ! Il faut toutefois relever que c'est également ce type qui renferme le plus grand nombre de pièces ayant un rapport supérieur à 4 ($\pm 20\%$) : il s'agit donc de calottes de faible épaisseur comparée à leur longueur ou inversement. Les pièces comprises dans la fourchette entre 2 et 3 ne représentent qu'un bon tiers de l'échantillon. Au moins deux groupes semblent donc se distinguer au sein de ce type, mais les résultats analytiques n'ont pas permis de confirmer ce fait.

Les 14 calottes examinées sont presque toutes stratifiées et renferment souvent des strates plus ou moins éparses de métal. On distingue fréquemment une strate inférieure gris moyen ou gris sombre, ainsi qu'une strate supérieure gris clair. Le matériau des bourrelets, de nature sablo-argileuse, a lui aussi été examiné sur certaines calottes.

Dans deux cas (cat. 16 et 17), le métal examiné est à nouveau l'acier, hypoeutectoïde (teneur en carbone de 0,1 % masse) ou eutectoïde. Il présente peu de traces de déformation ou de phénomènes de décarburation.

Les strates gris clair et sablo-argileuses contiennent davantage de SiO₂ et de Al₂O₃ que les strates foncées, indiquant une plus forte participation de la paroi du bas foyer dans leur formation. La strate claire présente des teneurs élevées en CaO⁷ qui est, comme le K₂O, un des composants principaux du charbon de bois. Il est ainsi probable que du charbon de bois ait également contribué à sa formation. Dans quelques rares cas, de la scorie de réduction a participé à la formation de la strate gris moyen.

La détermination de la composition minéralogique, effectuée sur deux scories, indique qu'elles sont pauvres en wustite par rapport aux scories aplaties. Cela correspond à une composition chimique dans laquelle apparaissent comparativement moins d'oxydes de fer mais proportionnellement davantage d'éléments provenant de la paroi, ainsi que du charbon de bois. Il se peut que ce dernier ait été utilisé comme décapant lors de cette étape d'élaboration, ceci afin de protéger le métal de l'oxydation.

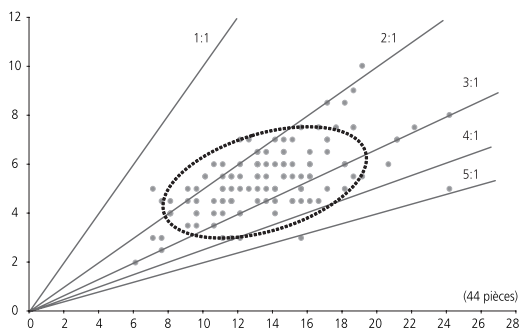


Calottes avec empreintes de charbon	Valeur moyenne (118 pièces)		Valeur moyenne (44 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	118	conservation (%)	81	longueur (cm)	14,5	bourrelet	4 3,4
% des calottes classées	10,1	poids réel (g)	940	largeur (cm)	12,2	charbons	117 99
Poids total (kg)	110,8	poids estimé (g)	1190	épaisseur (cm)	5,7	concavité	13 11
% des calottes classées	12,4	densité (7 pièces)	2,6	longueur / largeur	1,20	convexité	11 9,3
Poids total estimé (kg)	140,3			longueur / épaisseur	2,56	quille	3 2,5
% des calottes classées	12,5			largeur / épaisseur	2,17	vitrification	2 1,7
						surface fluide	9 7,6
						surface rouillée	0 0
						trace de paroi	23 19,5

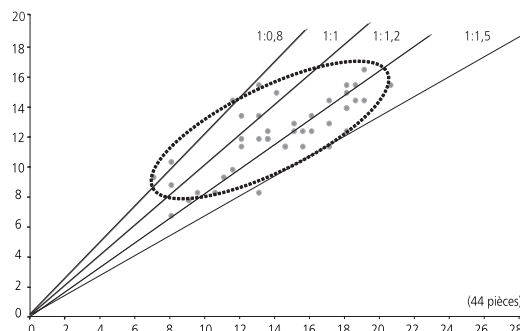
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	3	20	39	42	14	118
%	2,5	17	33	35,6	12	100

c



d

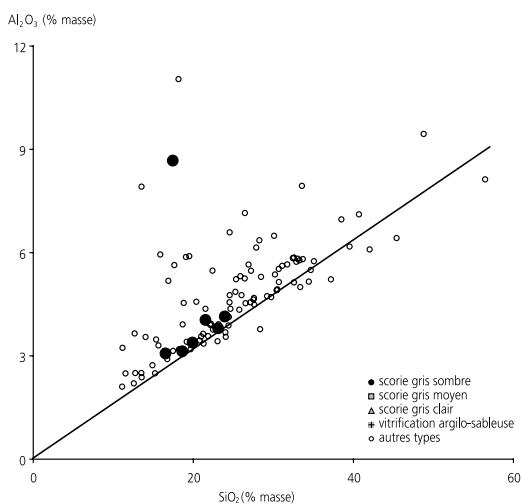


e

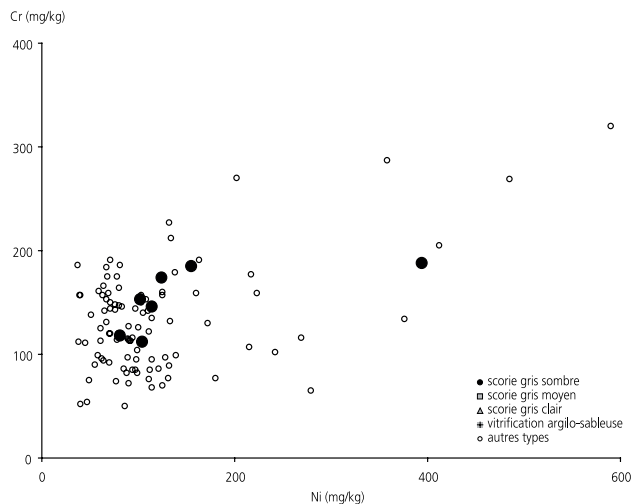
Stratification	Analyses (7 pièces)			
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)	
Non stratifiée	3 gris sombre	7	65	
Stratifiée	4 gris moyen	2		
Métal pur	0 gris clair	0		
Total	7 taches sombres	0		
	métal dispersé	0		
	riche en métal	0		
	riche en charbon	5		

Etape : épuration-forgeage

f



g



h

Fig. 50 Les calottes avec empreintes de charbon (cat. 18-19). Synthèse des données archéologiques. a : calotte avec empreintes de charbon cat. 19 (échelle 1 : 3); b : synthèse des données; c : répartition par groupe de poids estimé; d : rapport longueur / épaisseur; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données; g : rapport SiO₂ / Al₂O₃ dans les différentes couches de scories; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.

La fréquence des strates de métal indique que les calottes avec bourrelet ont dû se former avant tout lors du compactage des éponges de fer. De plus, trois calottes conservent l'influence de la scorie de réduction dans leur formation avec une teneur élevée en aluminium et en vanadium. Ainsi dix calottes se placent dans le contexte du raffinage, et seules cinq calottes dans celui de la forge.

3.2.8 Les calottes avec empreintes de charbon (fig. 50) Catalogue 18 à 19

Sur 118 calottes attribuées à ce type, 44 sont conservées à 90 % au moins. Ces calottes se caractérisent par des empreintes de charbons de grande taille, assez nombreuses et figées sur la face supérieure. Avec un poids moyen conservé de 940 g et estimé de 1190 g, ce type fait partie, comme les calottes avec bourrelet, des calottes de grand gabarit. Leur poids oscille entre 50 et 3880 g. Quatre pièces sur cinq pèsent plus de 500 g.

Ces calottes se distinguent par leur silhouette très allongée: près de 60 % des individus ont une longueur supérieure de 20 % au moins à la largeur. Le rapport moyen longueur/largeur de 1,2 confirme l'aspect allongé, significatif pour ce type; ce rapport est de 1,14 en moyenne pour toutes les calottes, et n'est égal ou supérieur à 1,2 que dans deux cas, si l'on fait abstraction du type avec quille (chap. 3.2.12). En corollaire, le nombre de pièces ayant un rapport égal ou inférieur à 1 représente une calotte sur cinq environ.

En ce qui concerne le rapport longueur/épaisseur, deux tiers des individus possède une valeur moyenne située entre 2 et 3, tandis qu'un bon quart affiche une valeur égale ou supérieure à 3.

On observe des traces de paroi dans un cas sur cinq (19,5 %). La densité moyenne, basée sur la mesure des sept pièces analysées, est de 2,6.

Ces calottes peuvent être stratifiées ou non, les strates de scories sont surtout sombres. Il n'y a aucune strate riche en métal ou en inclusions de métal. Les phases minérales sont typiques de la forge. La composition chimique ainsi que la morphologie des sept calottes analysées montrent également qu'elles se sont formées durant le forgeage. Seule une calotte (inv. CIT 996/50660 TI) peut être attribuée au raffinage avec des teneurs nettement plus élevées des éléments Al, V et Cr. Toutes les autres sont riches en chrome et contiennent peu de vanadium. Cette composition est typique d'une participation de la paroi du bas foyer à leur formation. Malgré cela, le charbon de bois et la paroi ne participent que faiblement à la formation de ces calottes. Cela est surprenant pour ce qui est du charbon de bois – qui a donné son nom à cette catégorie de calottes – mais celui-ci est avant tout présent sur et dans les calottes sous forme d'empreintes et d'inclusions.

Les analyses ont été effectuées sur des zones d'échantillons dépourvues de tout type d'inclusions. Il faut en conclure que le charbon de bois ne s'est pas entièrement carbonisé et n'a donc pas participé à la formation de ces calottes.

3.2.9 Les calottes circulaires (fig. 51) Catalogue 20 à 21

Sur 114 calottes attribuées à ce type, 59 sont conservées à 90 % au moins. Comme leur nom l'indique, ces calottes se caractérisent par une morphologie plus ou moins circulaire. Le rapport longueur/largeur oscille entre 0,8 et 1,2 pour 80 %; il est proche de 1 dans 58 % des cas. Pour une dizaine de calottes conservées à 90 % ou plus, ce rapport se situe au-delà de 1,2. Le critère de sélection choisi pour ce groupe n'a pas, dans ces cas précis, été strictement respecté⁸.

Pour près des deux tiers des pièces, le rapport longueur/épaisseur se situe entre 2 et 3, et pour un tiers entre 3 et 4. Dans les deux cas, les valeurs sont bien regroupées. Ce rapport ne dépasse jamais 4, ce qui est propre à ce type. Seuls deux individus affichent une valeur inférieure à 2.

Le poids moyen d'une calotte circulaire est de 1070 g (estimé 1300 g): elle fait donc partie des calottes de grande taille. Aucun individu ne pèse moins de 400 g et trois affichent moins de 500 g. A l'opposé, seules deux pièces dépassent les 3 kg. Près de la moitié des individus pèse entre 1 et 2 kg. Un quart environ des calottes circulaires porte respectivement des traces de paroi, des empreintes de charbons ou une face inférieure convexe.

Onze calottes ont été analysées. Elles présentent une structure variable. La strate de métal étudiée sur la pièce cat. 20 est constituée d'acier peu travaillé à faible teneur en carbone (0,2 % masse).

Les conditions de formation des deux pièces sur lesquelles on a procédé à un examen minéralogique sont différentes (fig. 41). La calotte cat. 20 présente une répartition anormale de CaO dans les olivines zonées. Ces olivines sont riches en CaO au centre et leurs bords en sont pauvres, alors que pour toutes les autres olivines étudiées, ce sont les bords qui sont enrichis en CaO. Les deux échantillons ont cependant ceci en commun que la fayalite et la wustite dominant dans les phases minérales.

La composition en éléments traces situe ces calottes dans l'étape du forgeage. La teneur élevée en Cr prouve l'influence de la paroi. Le charbon y a également joué un rôle, alors que la scorie de réduction ne s'y retrouve qu'à deux reprises (teneurs nettement plus élevées de tous les éléments Al, V et Cr). La présence de strates plus ou moins éparpillées de métal ainsi que celle de scorie de réduction démontre toutefois que l'épuration et le compactage de l'éponge sont intervenus dans leur formation pour 36 % des cas.

3.2.10 Les calottes concaves (fig. 52) Catalogue 22 à 23

Les 115 calottes de ce type, dont 51 conservées à 90 % au moins, se caractérisent par une concavité généralement bien marquée sur la face supérieure, dont l'amorce se situe du côté proximal de la pièce. Leur poids moyen est de 1150 g (poids estimé 1430 g) et varie entre 230 et 3840 g, sans compter les valeurs extrêmes des deux plus grandes calottes du site: la première est conservée à 100 % et pèse 4580 g (fig. 33) et la seconde, dont seule la moitié environ a été conservée, a un poids estimé d'à peu près 5500 g⁹.



a

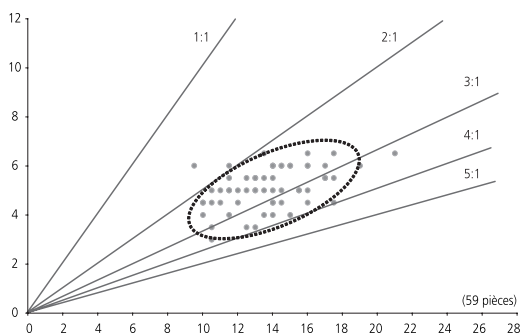


Calottes circulaires	Valeur moyenne (114 pièces)		Valeur moyenne (59 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	114	conservation (%) 85	longueur (cm)	13,7	bourrelet	9	8
% des calottes classées	9,7	poids réel (g) 1070	largeur (cm)	12,6	charbons	27	23,7
Poids total (kg)	121,5	poids estimé (g) 1300	épaisseur (cm)	5,1	concavité	12	10,5
% des calottes classées	13,6	densité (11 pièces) 2,9	longueur / largeur	1,10	convexité	25	22
Poids total estimé (kg)	148,5		longueur / épaisseur	2,73	quille	0	0
% des calottes classées	13,2		largeur / épaisseur	2,50	vitrification	2	2
					surface fluide	10	9
					surface rouillée	12	10,5
					trace de paroi	28	24,6

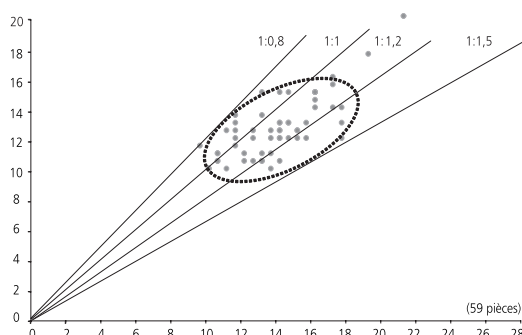
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	0	4	42	54	14	114
%	0	3,5	37	47,4	12,3	100

c



d



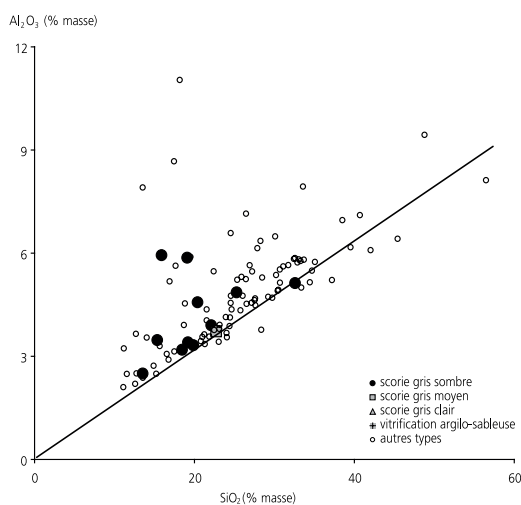
e

Stratification	Analyses (11 pièces)		
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)
Non stratifiée	6 gris sombre	10	64,7
Stratifiée	gris moyen	1	58,5
	gris clair	0	
Total	11 taches sombres	0	
	riche en métal	3	
	riche en charbon	1	

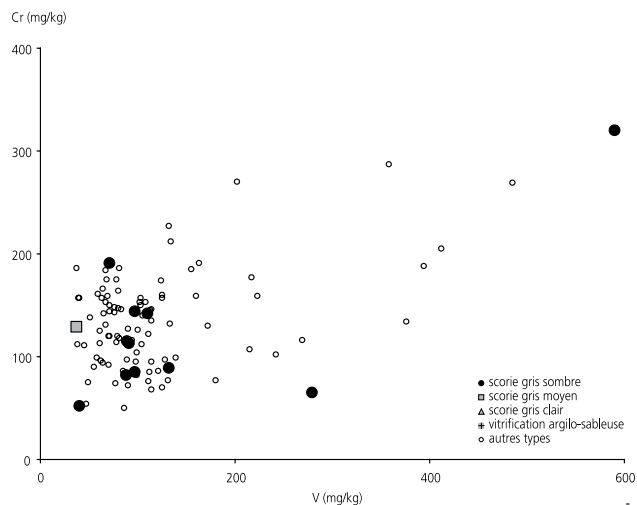
Métal peu travaillé Teneur en C du métal (% masse): 0,1

Etape: épuraton-compactage-forgeage

f

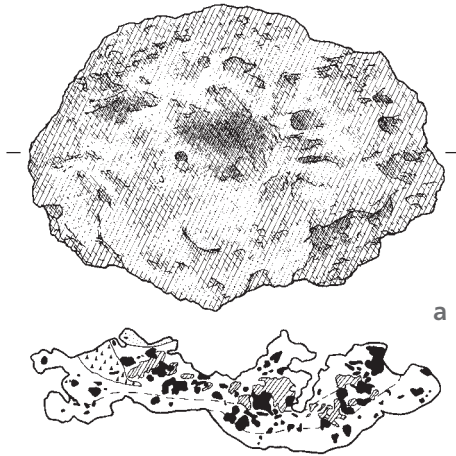


g



h

Fig. 51 Les calottes circulaires (cat. 20-21). Synthèse des données archéologiques. a: calotte circulaire cat. 21 (échelle 1:3); b: synthèse des données; c: répartition par groupe de poids estimé; d: rapport longueur / épaisseur; e: rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f: synthèse des données; g: rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories; h: rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.

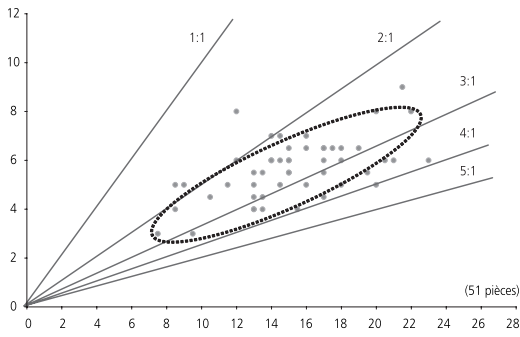


Calottes concaves		Valeur moyenne (115 pièces)		Valeur moyenne (51 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	115	conservation (%)	82	longueur (cm)	15,5	bourrelet	9	8
% des calottes classées	9,8	poids réel (g)	1150	largeur (cm)	13,4	charbons	18	15,7
Poids total (kg)	132,4	poids estimé (g)	1430	épaisseur (cm)	5,7	concavité	115	100
% des calottes classées	14,8	densité (10 pièces)	2,6	longueur / largeur	1,16	convexité	0	0,0
Poids total estimé (kg)	164,9			longueur / épaisseur	2,77	quille	4	3,5
% des calottes classées	14,7			largeur / épaisseur	2,42	vitrification	1	1
						surface fluide	7	6
						surface rouillée	14	12
						trace de paroi	36	31,3

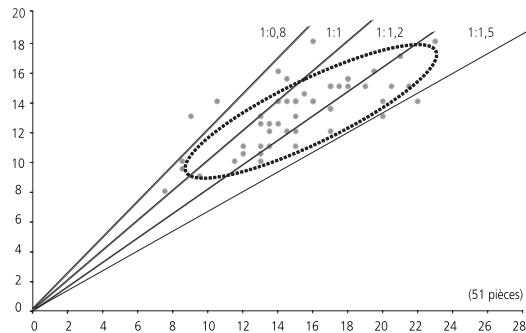
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	2	5	30	58	20	115
%	1,7	4,3	26	50,4	17,4	100

c



d



e

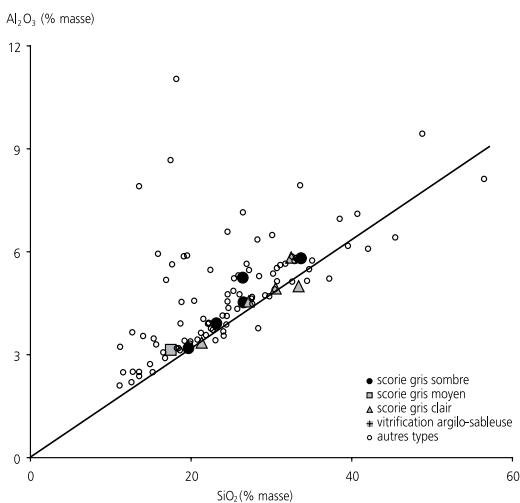
Analyses (10 pièces)			
Stratification	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)
Non stratifiée	gris sombre	6	58,4
Stratifiée	gris moyen	5	72,4
	gris clair	6	51,8
Total	taches sombres	2	
	riche en métal	5	
	riche en charbon	3	

Métal peu travaillé

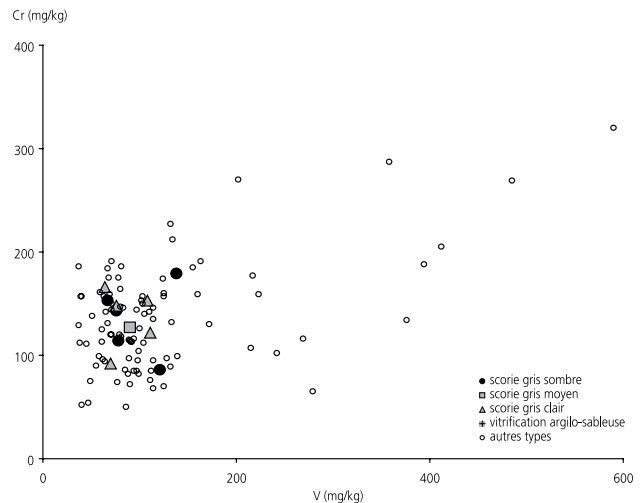
Teneur en C du métal (% masse): 0,3

Etape: compactage-forgeage

f

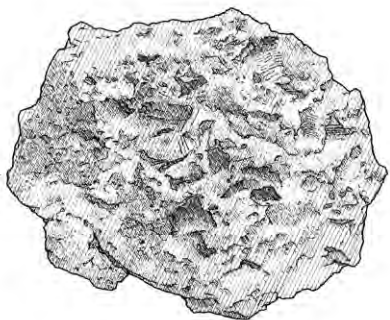


g

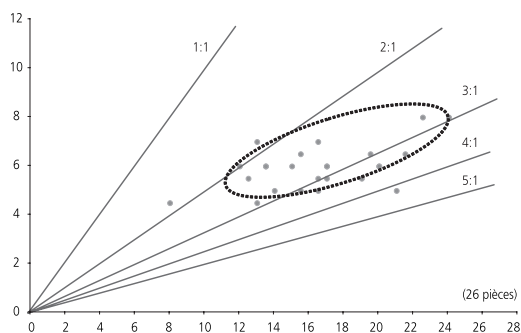


h

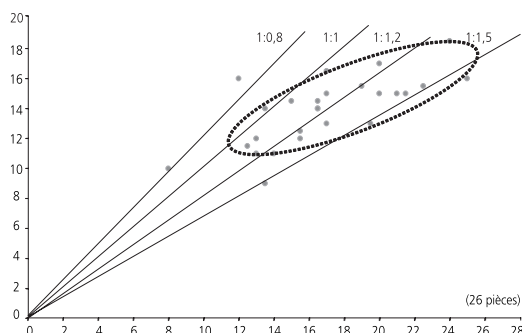
Fig. 52 Les calottes concaves (cat. 22-23). Synthèse des données archéologiques. a: calotte concave cat. 23 (échelle 1:3); b: synthèse des données; c: répartition par groupe de poids estimé; d: rapport longueur / épaisseur; e: rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f: synthèse des données; g: rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories; h: rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.



a



d



e

Calottes convexes	Valeur moyenne (58 pièces)		Valeur moyenne (26 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	58	Conservation (%) 82	Longueur (cm) 16,9	Bourrelet	11	19	
% des calottes classées	5,0	poids réel (g) 1500	largeur (cm) 13,9	charbons	23	39,7	
Poids total (kg)	87,0	poids estimé (g) 1870	épaisseur (cm) 6,0	concavité	3	5	
% des calottes classées	9,7	densité (9 pièces) 2,7	longueur / largeur 1,21	convexité	55	95	
Poids total estimé (kg)	108,3		longueur / épaisseur 2,82	quille	1	1,7	
% des calottes classées	9,7		largeur / épaisseur 2,34	vitrification	0	0	
				surface fluide	6	10,3	
				surface rouillée	1	1,7	
				trace de paroi	20	34,5	

b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	0	1	7	28	22	58
%	0	1,7	12	48,3	38	100

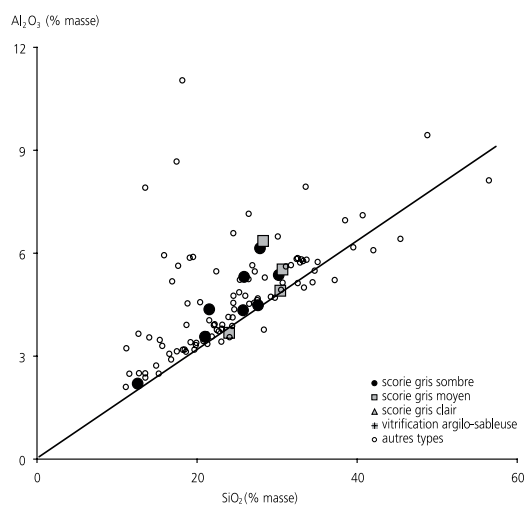
c

Stratification	Analyses (9 pièces)		
	Couche (scorie)	Total FeO (% masse)	CaO (% masse)
Non stratifiée	1 gris sombre	8	60,5
Stratifiée	8 gris moyen	3	53,9
	gris clair	0	
Total	9 taches sombres	0	
	riche en métal	7	
	riche en charbon	1	

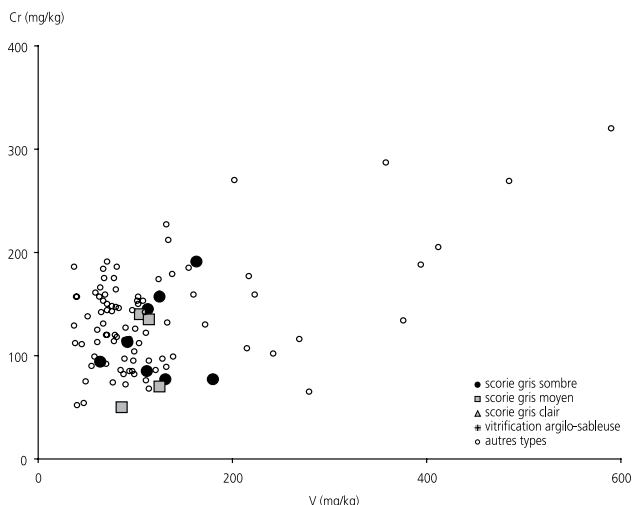
Métal pas ou peu travaillé Teneur en C du métal (% masse) : 0 à 0,8

Etape: épuración-compactage

f



g



h

Fig. 53 Les calottes convexes (cat. 24-25). Synthèse des données archéologiques. a : calotte convexe cat. 25 (échelle 1 : 3) ; b : synthèse des données ; c : répartition par groupe de poids estimé ; d : rapport longueur / épaisseur ; e : rapport longueur / largeur. Synthèse des données analytiques. f : synthèse des données ; g : rapport SiO_2 / Al_2O_3 dans les différentes couches de scories ; h : rapport V / Cr dans les différentes couches de scories.

Seuls six individus peuvent être considérés comme étant de petite taille par rapport à la moyenne : leur poids est inférieur à 500 g.

Pour la moitié des pièces, le rapport longueur/largeur se situe entre 1 et 1,2. Pour plus d'un tiers d'entre elles, ce rapport est supérieur à 1,2. Le rapport longueur/épaisseur présente des proportions similaires à celles des calottes circulaires, à savoir que près des deux tiers se situent entre 2 et 3 et qu'un tiers est de valeur égale ou supérieure à 3. Leur épaisseur assez importante est compensée par une très grande longueur moyenne, ce qui influence le rapport évoqué.

Un tiers des calottes concaves porte des traces de paroi, ce qui les situe au-dessus de la moyenne.

Les dix calottes avec concavité analysées sont en grande partie stratifiées. En plus des strates de métal, on trouve également des inclusions de battitures sous forme de taches foncées. Sur cinq strates de métal observées, une seule a été analysée (cat. 23) : elle se compose d'acier à teneur en carbone moyenne (0,2 à 0,8 % masse) et ne présente aucune trace de travail.

L'analyse des éléments traces démontre, pour quelques pièces, une forte influence du métal (Ni, Co, As). Seule la teneur en Cr des calottes est élevée. La distribution des éléments laisse penser que ces calottes se trouvent uniquement en relation avec le forgeage. Cependant, la présence de métal les relie également au compactage d'une éponge de fer poreuse. La paroi de foyer et le charbon de bois ont joué un rôle non négligeable dans leur formation, essentiellement en ce qui concerne les strates claires. La fayalite et la matrice vitreuse dominant parmi les phases minérales. Dans un cas, l'examen minéralogique a révélé la présence de quartz, utilisé comme décapant (cat. 22).

3.2.11 Les calottes convexes (fig. 53)

Catalogue 24 à 25

Les 58 calottes appartenant à ce type, dont 26 conservées à 90 % au moins, se distinguent par une face inférieure très bombée. À l'exception des calottes denses – trop peu nombreuses pour comparaison valable – ce type se compose des calottes les plus lourdes. Leur poids moyen est de 1500 g, voire 1870 g en poids estimé ! La fourchette de poids se situe entre 640 et 3610 g. Une seule calotte convexe est de petit gabarit (300 g).

Le rapport longueur/largeur est supérieur à 1,1 pour près de trois quarts des individus, et encore supérieur à 1,2 pour la moitié des pièces. Malgré son fond bombé, ce type ne se distingue guère des autres par son rapport longueur/épaisseur qui oscille entre 2 et 3,5 pour quatre pièces sur cinq. Avec une valeur de 2,8, ces calottes possèdent le rapport moyen le plus élevé de tous les types, à l'exception des aplaties, ce qui est d'autant plus remarquable que l'on y retrouve les calottes possédant la plus grande épaisseur moyenne, donc également la plus grande longueur moyenne.

Les neuf calottes convexes analysées sont presque toutes stratifiées, avec des strates plus ou moins éparpillées de métal. Les examens

effectués sur deux de ces strates indiquent que le métal n'est pas ou peu travaillé et qu'il présente des traces d'oxydation à haute température. Il s'agit de fer cémenté sur les bords ainsi que d'acier décarburé. Parmi les phases minérales dominantes se trouvent la fayalite et la matrice vitreuse, comme dans le cas des calottes concaves.

La composition chimique de ces calottes permet de déceler, sur certaines d'entre elles, une légère influence de la scorie de réduction (Al, V et Cr). Pour le reste, cette composition n'est influencée, en plus du fer, que par la paroi du bas foyer et par le charbon de bois (teneur élevée en CaO, principalement dans les strates de couleur gris moyen), ce qui les classerait parmi les scories de forge. Du point de vue métallographique, les strates riches en métal sont composées de déchets d'éponges de fer raffinées encore peu travaillées, certainement issues du compactage du métal. De ce fait – sept des calottes analysées contiennent de telles strates – 89 % des calottes convexes sont à interpréter en tant que déchets de raffinage.

3.2.12 Les calottes avec quille (fig. 54)

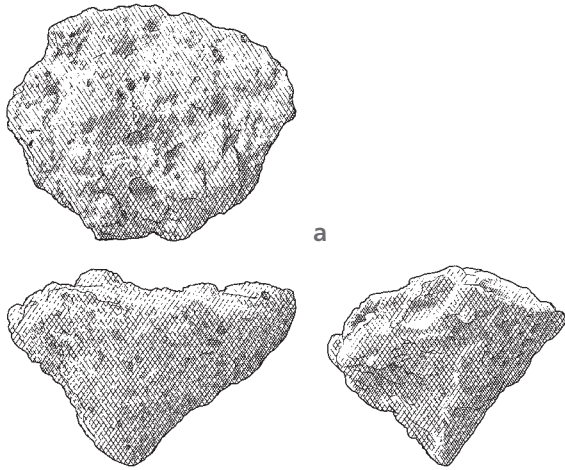
Les 23 calottes regroupées sous cette appellation possèdent toutes une « excroissance » sur leur face inférieure, que nous avons appelée « quille » par analogie avec celle des bateaux.

Seules huit pièces étant conservées à au moins 90 %, la base de données est donc bien trop faible pour que l'on puisse en tirer des enseignements fiables. Les réflexions qui suivent sont donc à prendre comme de simples indices. Pour renforcer quelque peu cette base, 19 calottes sur 23, dont la conservation atteint au minimum les deux tiers, ont été prises en compte (conservation moyenne de 84 %). Fort logiquement, ce type se caractérise par des rapports longueur/épaisseur et largeur/épaisseur les plus bas de tous les types de calottes examinées.

Par contre, le rapport longueur/largeur est le plus élevé de tous les types : 1,3. Près de la moitié des pièces retenues présentent une longueur au moins supérieure d'un tiers à la largeur ; la longueur est pratiquement doublée dans deux cas. Cette faible largeur donne à bon nombre de ces calottes une morphologie comparable à une coque, renforçant par là l'aspect « quille » de leur excroissance.

Malgré le faible nombre d'individus, cette image est cohérente. Une seule pièce a un rapport supérieur à 3, et aucune valeur ne se trouve en dessous de 1,5. Un peu plus de la moitié des pièces se répartit entre 2 et 3 et, pour plus du 40 % des calottes, entre 1,5 et 2.

Faute de toute analyse, on ne peut que constater qu'il s'agit de scories de postréduction. D'autres considérations, notamment en lien avec les scories d'aspect coulé en forme de tuyau, sont abordées dans le chapitre 3.4.2. Il faut encore mentionner la présence d'une quille ou d'une amorce de quille sur 14 calottes appartenant aux diverses autres catégories. Des cas similaires sont décrits par P. Fluzin en Pologne (Bielenin et al. 1998).

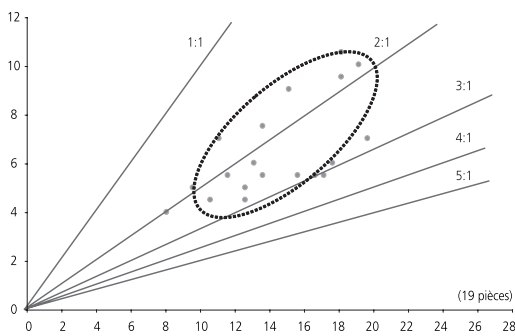


Calottes avec quille	Valeur moyenne (23 pièces)		Valeur moyenne (19 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	23	conservation (%) 78	longueur (cm) 14,3		bourrelet	3	13
% des calottes classées	2,0	poids réel (g) 830	largeur (cm) 11,0		charbons	2	8,7
Poids total (kg)	19,1	poids estimé (g) 1120	épaisseur (cm) 6,5		concavité	1	4,3
% des calottes classées	2,1	densité -	longueur / largeur 1,32		convexité	0	0
Poids total estimé (kg)	25,7		longueur / épaisseur 2,28		quille	22	95,7
% des calottes classées	2,3		largeur / épaisseur 1,77		vitrification	0	0
					surface fluide	2	8,7
					surface rouillée	0	0
					trace de paroi	2	8,7

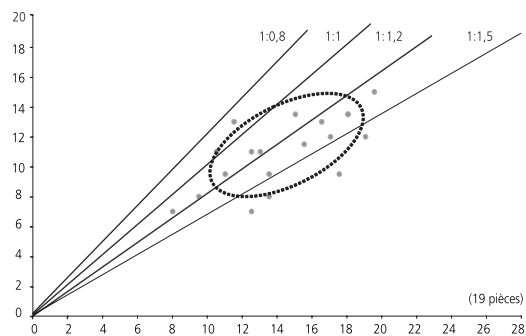
b

	< 250 g	251-500 g	501-1000 g	1001-2000 g	> 2000 g	Total
Nombre	1	4	7	7	4	23
%	4,3	17,4	30,4	30,4	17,4	100

c



d



e

Fig. 54 Les calottes avec quille. Synthèse des données archéologiques. a: calotte avec quille inv. CTT 994/56204 TI (échelle 1:3); b: synthèse des données; c: répartition par groupe de poids estimé; d: rapport longueur / épaisseur; e: rapport longueur / largeur.

3.2.13 Les calottes denses

Les quatre fragments attribués à ce type sont d'aspect massif et apparemment denses (fig. 55 et 56). Leur poids moyen, aussi bien réel qu'estimé, est considérable: l'estimation représente le double du type le plus lourd, à savoir les calottes convexes (3570g, respectivement 1870g). Compte tenu de leur très faible effectif, leur présence sur le site reste toutefois anecdotique.

Ceci justifie le fait que seuls deux exemplaires de ce type ont été examinés. Leur composition chimique les classe parmi les scories de forge, avec participation du charbon de bois à leur formation.

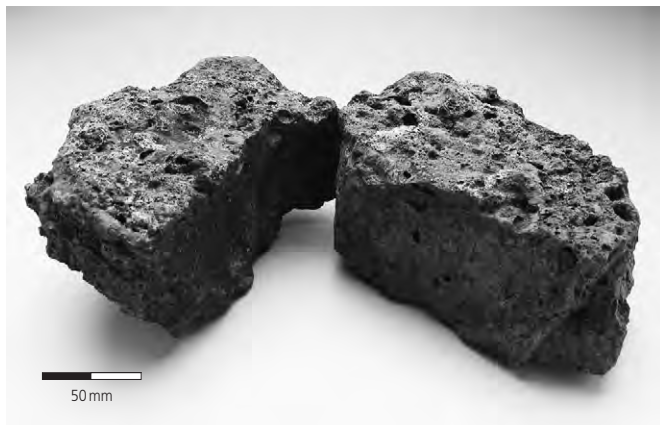


Fig. 56 La calotte dense inv. DEV 995/50190 PR.

Calottes denses	Valeur moyenne (4 pièces)		Valeur moyenne (4 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	4	Conservation (%) 64	Longueur (cm)		Bourrelet	0	0
% des calottes classées	0,3	Poids réel (g) 2450	Largeur (cm)		Charbons	0	0
Poids total (kg)	9,8	Poids estimé (g) 3750	Épaisseur (cm) 7,6		Concavité	0	0
% des calottes classées	1,1	Densité -	Longueur / largeur		Convexité	0	0
Poids total estimé (kg)	15,0		Longueur / épaisseur		Quille	0	0
% des calottes classées	1,3	3000 g et +	Largeur / épaisseur		Vitrification	1	25
					Surface fluide	0	0
					Surface rouillée	0	0
					Trace de paroi	1	25

Fig. 55 Les calottes denses. Synthèse des données archéologiques.

3.2.14 Les calottes non classées

Au nombre de 260, dont 80 conservées à 90% au moins, elles représentent le solde des pièces étudiées. Elles constituent un peu moins d'un cinquième du nombre minimum d'individus (18%) et n'ont pu, comme leur nom l'indique, être attribuées à un type déterminé. En effet, aucun trait caractéristique n'apparaît et les données réunies dans le tableau synthétique ont uniquement une valeur indicative (fig. 57).

Calottes non classées	Valeur moyenne (260 pièces)		Valeur moyenne (80 pièces)		Trait caract.	Nb	%
Nombre total	260	Conservation (%) 72	Longueur (cm) 10,2		Bourrelet	7	2,7
% des calottes classées		Poids réel (g) 520	Largeur (cm) 8,9		Charbons	6	2,3
Poids total (kg)	133,9	Poids estimé (g) 760	Épaisseur (cm) 4,1		Concavité	2	1
% des calottes classées		Densité	Longueur / largeur 1,12		Convexité	5	2
Poids total estimé (kg)	198,4		Longueur / épaisseur 2,47		Quille	4	1,5
% des calottes classées			Largeur / épaisseur 2,15		Vitrification	1	0,4
					Surface fluide	2	1
					Surface rouillée	2	1
					Trace de paroi	40	15,4

Fig. 57 Les calottes non classées. Synthèse des données archéologiques.

3.2.15 Synthèse métrologique

Au sein des scories en forme de calotte, onze types ont pu être distingués. Parmi eux sept types représentent chacun entre un dixième et un douzième des pièces étudiées. Trois sont numériquement plus faibles : il s'agit des types convexe, avec quille et dense. Un groupe un peu moins clairement défini, les calottes petites denses, se démarque par un nombre d'individus supérieur à la moyenne, à savoir un septième environ du nombre minimum d'individus conservés. Les deux types les plus faiblement représentés, avec quille et dense, ont été écartés des approches quantitatives. Ce qui correspond à 27 calottes sur 1172.

Près d'un cinquième des pièces conservées à au moins 50% sont restées non classées. Cela est dû à un état de conservation relativement mauvais, ainsi qu'au degré de fragmentation plus important d'une grande partie de ces pièces : leur degré moyen de conservation est de 72 %, alors qu'il est de 84 % pour les neuf autres types présents.

A propos de la classification selon le poids, on constate que trois pièces sur cinq pèsent entre 300 g et 1300 g, le solde se partageant de part et d'autre de cet intervalle (fig. 58).

Un premier groupe est composé de quatre types – aplatie, dense petite, fluide et avec vitrification –, le poids moyen estimé est de 570 g, à plus ou moins 100 g. Un deuxième groupe, constitué également de quatre types – avec bourrelet, avec empreintes de charbon, circulaire et concave –, présente un poids moyen estimé à 1290 g, à plus ou moins 140 g. Le dernier groupe – avec l'unique type convexe – se distingue par un poids moyen très élevé : 1870 g (fig. 59)¹⁰. Bien que le poids n'ait pas servi de critère de tri, ces groupes, assez bien délimités, sont cependant cohérents avec la classification proposée au chapitre 3.2.1.

A partir du nombre de calottes conservées à au moins 50% (nombre minimum d'individus conservés), et du poids total des scories en forme de calotte, le nombre minimum d'individus peut

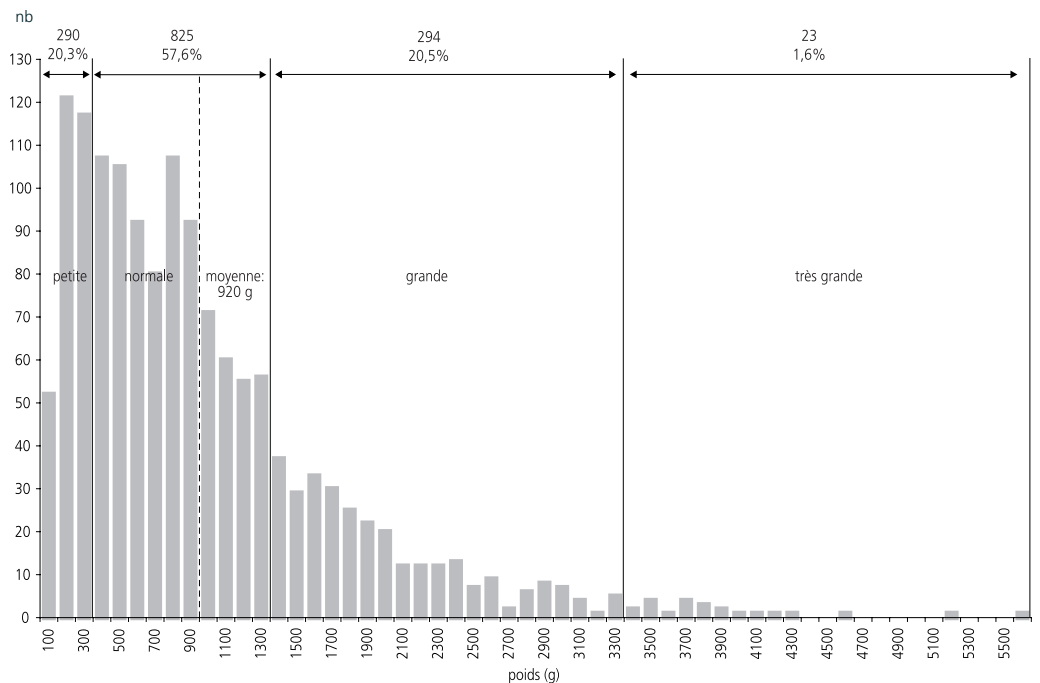


Fig. 58 Classes de calottes en fonction du poids estimé.

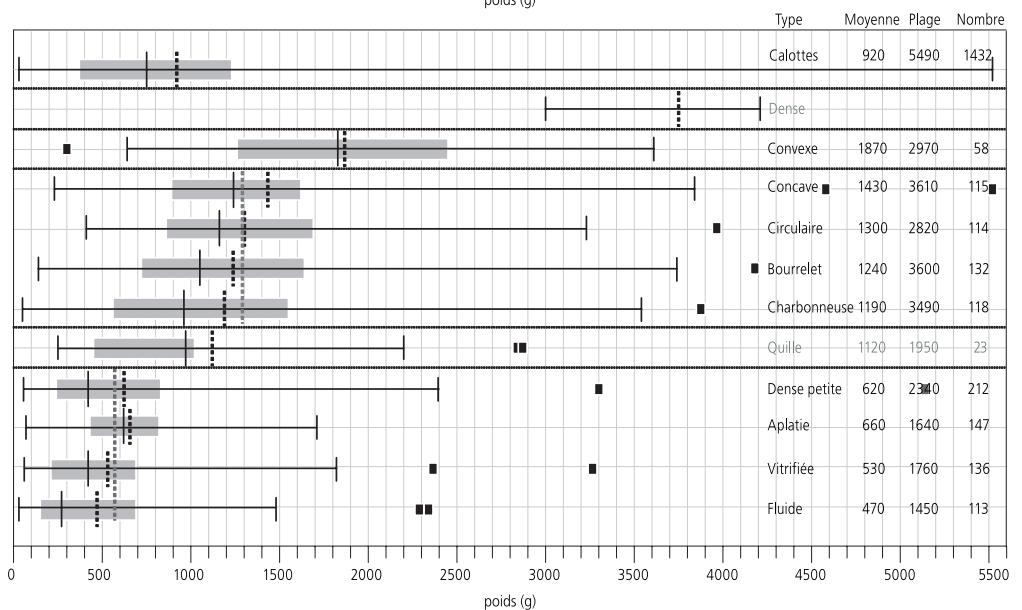
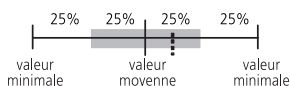


Fig. 59 Variation du poids estimé des calottes par type : à droite, la première valeur indique la plage totale en grammes entre la valeur minimale et la valeur maximale; la seconde indique la valeur moyenne de toutes les calottes attribuées à ce type. Le type dense (4 individus) figure uniquement à titre indicatif (adapté d'après Anderson et al. 2003, fig. 201).



Total	Calottes > 50%			Calottes < 50% et autres types			Calottes total
	état	kg	nb	état	kg	nb	
Hypothèse min.	conservé	1029	1432	conservé	2638	40032	
Conservation 100%	estimé	1319	1432	conservé	259	33428	
	manque	-290		manque	-290		
	moyenne	0,92		reste	2607	2830	
Estimation	100%		1432			2830	4262
	calottes > 50%			calottes < 50%			calottes
Hypothèse	85%						5015
Conservation <100%	66%						6400
	50%						8525

Fig. 60 Calcul et estimation du nombre de calottes.

être calculé: on atteint le chiffre de quelque 4300 pièces (fig. 60). En effet, le poids moyen d'une calotte conservée à plus de 50% est de 920 g. Comme les calottes conservées à au moins 50% représentent assez précisément un tiers du poids de toutes les calottes découvertes, il est possible d'extrapoler le nombre de calottes en divisant le poids restant par leur poids moyen. Si l'on tient compte du fait que la fouille n'a révélé ni la totalité du mobilier, ni l'extension réelle du site, on peut admettre raisonnablement qu'il manque entre 15% et 33% de ce mobilier, ce qui mène à une estimation située entre 5000 et 6500 calottes (nombre minimum d'individus estimés; fig. 60).

En comparant les rapports longueur/largeur et les types groupés par poids, quelques tendances se dégagent (fig. 59, 61-62). En effet, un bon tiers des petites calottes (aplatie, dense petite, fluide et avec vitrification) affiche une valeur égale ou inférieure à 1. Parmi les grandes calottes (avec bourrelet, avec empreintes de charbon, circulaire et concave), seules les circulaires présentent une proportion similaire. Pour le plus grand type (convexe), seul un dixième indique un rapport de 1 ou moins. Dans les rapports moyens, compris entre 1,01 et 1,3, on constate que les petites calottes affichent une moyenne d'un peu plus de 40%, tandis que le second groupe atteint près de 60% (fig. 61). Enfin, dans les rapports de longueur clairement supérieurs à la largeur (>1,3), on retrouve dans les deux groupes un cinquième des pièces, à l'exception logique des circulaires (± 7%), ainsi que de celles avec empreintes de charbon et des convexes qui franchissent les 30%. La tendance générale est donc que les petites calottes sont plus larges que longues et que pour les grandes, la part de celles qui sont plus longues que larges augmente avec le poids.

Type	Longueur / largeur		
	≤ 1,0	1,0 - 1,3	> 1,3
Convexe (XL)	11,5	57,7	30,7
Concave	19,5	64,8	15,7
Circulaire	32,2	61,0	6,8
Bourrelet	22,7	57,1	20,3
Charbonneuse	18,1	50,0	31,7
Moyenne (L)	23,1	58,2	18,6
Dense petite	31,1	44,5	24,5
Aplatie	42,4	41,1	16,5
Vitrifiée	35,5	45,5	18,9
Fluide	37,2	43,2	19,5
Moyenne (S)	36,6	43,6	19,9

Fig. 61 Présentation synthétique du rapport longueur / largeur classifié par type. En gras, les valeurs indiquant les tendances qui se dégagent. Les moyennes se rapportent aux types de grande taille (L) et à ceux de petite taille (S). Les calottes de type convexe sont les seules à appartenir à la catégorie de très grande taille (XL).

Type	Longueur / épaisseur			
	≤ 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	> 4
Convexe (XL)	11,5	53,9	30,8	3,8
Concave	9,8	60,8	27,5	2
Circulaire	3,4	64,4	32,2	0
Bourrelet	25	57,2	15,5	2,4
Charbonneuse	15,9	68,2	15,9	0
Moyenne (L)	13,5	62,7	22,8	1,1
Dense petite	27,8	52,2	14,5	5,5
Aplatie	4,1	42,4	42,4	10,9
Vitrifiée	26,6	63,3	8,9	1,1
Fluide	26,9	50,8	19,4	3
Moyenne (S)	21,4	52,2	21,3	5,1

Fig. 62 Présentation synthétique du rapport longueur / épaisseur classifié par type. Voir aussi la légende de la figure 61.

Pour ce qui est du rapport longueur/épaisseur, on observe une tendance similaire (fig. 62), avec la différence remarquable que parmi les petites calottes, un certain nombre ont une longueur quatre fois supérieure à l'épaisseur. La classification typomorphologique se reflète donc assez bien dans ces différents rapports, ainsi que dans la relation avec le poids.

Si l'exploitation des données mesurées a permis de distinguer des groupes de calottes selon leur poids, leurs dimensions et les différents rapports qui en découlent, la synthèse des données issues de l'analyse chimique permet, en outre, de distinguer ces mêmes calottes d'après les teneurs en fer qui caractérisent chaque type (fig. 63)¹¹. Deux groupes se distinguent clairement: d'une part, trois types affichant un taux aux alentours de 45% (avec bourrelet, concave et convexe) et, d'autre part, cinq types dont le taux moyen oscille autour de 50% (fluide, dense petite, avec empreintes de charbon, aplatie et circulaire). Enfin, un seul type, celui des calottes avec vitrification, se démarque clairement grâce à un taux nettement inférieur (± 38%). Outre les déductions que l'on peut en tirer sur le plan analytique, ces données permettent également de postuler un calcul global du fer perdu dans les scories (chap. 7).

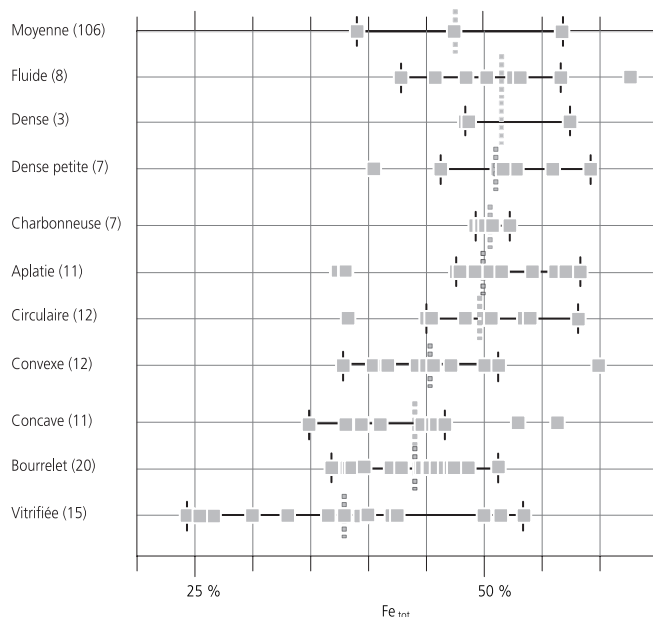


Fig. 63 La teneur en fer des calottes analysées en pourcentage (adapté d'après Anderson et al. 2003, fig. 206; pour les chiffres, voir annexe 2).

3.2.16 Discussion à propos des différents matériaux constitutifs des calottes

Comme on l'a vu, certaines calottes présentent une stratification en coupe, les différentes strates se distinguant par leur couleur ainsi que par leur composition chimique. Elles sont le reflet des différentes opérations effectuées, la calotte constituant une unité de travail.

Les calottes étudiées se composent de :

- strates contenant de nombreuses inclusions métalliques ou de métal corrodé. Ces strates sont propres à Develier-Courtételle, elles ne correspondent pas à celles que V. Serneels a dénommé « scorie ferreuse rouillée (SFR) » (Serneels et Perret 2003, p. 475). Dans ce contexte, la présence de métal témoigne des opérations de raffinage (chap. 3.2.2). Le fait de retrouver parfois du charbon de bois dans ces strates n'apporte aucune information supplémentaire;
- strates constituées de scories de couleur sombre ou gris moyen. Les strates gris foncé sont riches en FeO (teneur entre 60 et 70%), et peuvent également présenter des teneurs élevées en CaO et Al₂O₃. Les strates gris moyen, quant à elles, ont une teneur moyenne en FeO. Toutes les scories en contexte de raffinage, bien que minoritaires, se situent dans ces deux catégories. V. Serneels a dénommé ce type de strates « scorie grise dense (SGD) », en y incluant probablement la scorie de couleur gris moyen (Serneels et Perret 2003, p. 475);
- strates de couleur gris clair, dont la composition chimique correspond plus ou moins à celle des strates sablo-argileuses. Elles ont tendance à être encore plus riches en CaO, mais plus pauvres en oxydes de fer (fig. 64). Dans les cas étudiés, ces strates sont surtout formées de matrice vitreuse et ne contiennent que peu de fayalite (annexe 2, catalogue);
- parfois, la strate supérieure est d'aspect similaire aux « scories argilo-sableuses (SAS) », avec des fragments de paroi scorifiée riches en inclusions de grains de quartz. Leur composition chimique est étroitement apparentée à celle des parois de bas foyers et des scories argilo-sableuses (fig. 64). Ces strates renferment de grandes quantités de SiO₂ et présentent un rapport SiO₂/Al₂O₃ identique à celui des parois de bas foyers.

Sur d'autres sites étudiés, on ne peut distinguer les strates claires des strates sablo-argileuses. A Châbles (FR), par exemple, ces

Composants % masse	Parois	SAS	Strates claires	Strates s-a
SiO ₂	70,5	63,2	31,3	46,6
Al ₂ O ₃	11,2	9,2	5,2	7,4
CaO	1,4	4,6	5,5	5,0
K ₂ O	2,7	4,0	2,3	3,0
FeO _{tot}	8,8	13,6	49	32,8
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	6,3	6,9	6,0	6,3
mg/kg				
Sr	51	61	69	85
Ba	371	365	267	349
V	46	45	77	81
Ni	145	142	195	101
Cr	95	73	137	167
Co	106	50	112	70
V/Cr	0,5	0,6	0,6	0,5

Fig. 64 Composants chimiques caractéristiques des matériaux riches en sable : parois, scories argilo-sableuses (SAS), strates claires et strates sablo-argileuses (s-a).

strates n'existent pas (Anderson et al. 2003, fig. 206). Sur le plan macroscopique, ces deux couches se distinguent par leur degré de fusion, les strates sablo-argileuses n'ayant subi qu'une fusion partielle, tandis que les strates gris clair sont totalement scorifiées. La teneur élevée en CaO de ces dernières témoigne d'une influence accrue du charbon de bois dans leur formation, mais également d'un apport plus marqué en métal.

On retrouve des témoignages du forgeage dans les strates sombres, gris moyen, claires et sablo-argileuses, se manifestant par une prépondérance des éléments sidérophiles (Ni, Co et As). On ne retrouve aucune contribution de la scorie de réduction dans la formation des strates claires et sablo-argileuses, alors que le charbon de bois et du matériel sablo-argileux y jouent un rôle plus important, certainement sous la forme de décapant. Selon la définition donnée dans le contexte des scories de forge de Châbles, la scorie grise se formerait plutôt durant une des phases du forgeage lors de laquelle on donne forme à l'objet, tandis que les phases claires et sablo-argileuses découleraient plutôt des travaux de finissage ou de soudage (Serneels et Perret 2003, p. 476).

3.2.17 Interprétation des études métallographiques effectuées sur les calottes

En résumé, l'examen du métal contenu dans les scories apporte les informations suivantes :

- on trouve des fragments d'éponges de fer parmi les calottes aplaties;
- les échantillons de métal examinés semblent tous issus d'un travail effectué à partir d'éponges de fer;
- l'acier a la plupart du temps été travaillé dans un milieu riche en oxygène.

Même si la composition chimique des scories ne reflète que rarement le raffinage des éponges de fer, les caractéristiques macroscopiques du métal inclus dans les scories ne laissent quant à elles aucun doute sur l'appartenance de ces calottes à l'étape du raffinage. On ne retrouve pourtant qu'une faible quantité de scories de réduction dans la formation de ces calottes. Deux raisons peuvent être évoquées :

- d'une part, la découverte de scories de raffinage à proximité du bas fourneau de Boécourt permet de supposer que les premières opérations d'épuration du métal ont été effectuées sur place (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 115);
- d'autre part, les éponges composées d'acier contiennent moins de scories que les éponges formées de fer (cat. 6 et scories ferrugineuses, toutes composées d'acier).

La mise en relation entre les différentes étapes de la chaîne opératoire – déterminées sur la base des caractéristiques macroscopiques, métallographiques et chimiques – et les différents types de calottes (fig. 65), fait ressortir qu'un cinquième des calottes examinées peut être mis en relation avec l'épuration de l'éponge de fer.

Un grand tiers du matériel peut être relié à une autre étape, le compactage, dont on retrouve les traces dans les strates riches en métal (37%). Ces dernières ne se retrouvent systématiquement

Cat. / inv. Somme (Σ)	Type	Interprétation chimique	Interprétation métallographique	Poids réel (g)	Cons. %	Poids estimé (g)
CTT 994/55202 TI	AP	épuraton		1360	90	1511
CTT 995/50455 TI	AP	épuraton		810	50	1620
3	AP	épuraton		1280	75	1707
DEV 994/55482 PR	AP		intermédiaire	820	100	820
1	AP		compactage	570	90	633
5	AP		compactage	420	100	420
6	AP		compactage	395	100	395
7	AP	forgeage	compactage	630	100	630
DEV 995/50114 PR	AP	forgeage	compactage	460	80	575
2	AP	forgeage		440	80	550
4	AP	forgeage		810	100	810
CTT 994/55311 TI	AP	forgeage		715	100	715
CTT 995/50459 TI	AP	forgeage		580	100	580
Σ raffinage	8	61,5		5925		7491
Σ intermédiaire	1	7,7		820		820
Σ forgeage	4	30,8	100	2545		2655
DEV 994/51352 PR	DP	épuraton		470	100	470
9	DP	forgeage	compactage	280	100	280
DEV 994/51199 PR	DP	forgeage	compactage	160	100	160
DEV 994/53906 PR	DP	forgeage	compactage	120	100	120
8	DP	forgeage		640	80	800
10	DP	forgeage		340	100	340
Σ raffinage	4	66,7		1030		1030
Σ forgeage	2	33,3	100	980		1140
12	FL	épuraton		170	100	170
DEV 994/51049 PR	FL	épuraton		790	75	1053
CTT 996/51443 TI	FL	épuraton		1010	100	1010
CTT 996/50742 TI	FL	forgeage	intermédiaire	500	100	500
11	FL	forgeage		520	75	693
13	FL	forgeage		430	100	430
CTT 996/50514 TI	FL	forgeage		765	100	765
CTT 996/50656 TI	FL	forgeage		560	100	560
Σ raffinage	3	37,5		1970		2233
Σ intermédiaire	1	12,5		500		500
Σ forgeage	4	50	100	2275		2448
DEV 994/54703 PR	VI	forgeage	compactage	710	90	789
14	VI	forgeage		1100	90	1222
15	VI	forgeage		600	90	667
DEV 994/53950 PR	VI	forgeage		440	80	550
DEV 994/54471 PR	VI	forgeage		630	80	788
DEV 995/50251 PR	VI	forgeage		330	100	330
DEV 994/50779 PR	VI	forgeage		240	100	240
CTT 996/50525 TI	VI	forgeage		560	100	560
CTT 994/53716 TI	VI	forgeage		190	60	317
CTT 995/52248 TI	VI	forgeage		760	100	760
CTT 995/53177 TI	VI	forgeage		890	100	890
Σ raffinage	1	9		710		789
Σ forgeage	10	91		5740		6323
DEV 995/50548 PR	BO	épuraton		1630	100	1630
CTT 994/53777 TI	BO	épuraton		1830	100	1830
CTT 994/53853 TI	BO	épuraton		3630	100	3630
16	BO	forgeage	compactage	2060	100	2060
17	BO	forgeage	compactage	1620	100	1620
DEV 994/51261 PR	BO	forgeage	compactage	1250	90	1389
CTT 994/54514 TI	BO	forgeage	compactage	2740	80	3425
CTT 994/53788 TI	BO	forgeage	compactage	2560	100	2560
CTT 994/53866 TI	BO	forgeage	compactage	2360	100	2360
CTT 994/53878 TI	BO	forgeage	compactage	1650	80	2063
CTT 994/54420 TI	BO	forgeage		1510	90	1678
CTT 994/53232 TI	BO	forgeage		1380	100	1380
CTT 994/56201 TI	BO	forgeage		2420	100	2420
CTT 994/53863 TI	BO	forgeage		1750	100	1750
CTT 994/53768 TI	BO	forgeage		1100	100	1100
Σ raffinage	10	66,7		21330		22566
Σ forgeage	5	33,3		8160		8328

Cat. / inv. Somme (Σ)	Type	Interprétation chimique	Interprétation métallographique	Poids réel (g)	Cons. %	Poids estimé (g)
CTT 996/50660 TI	CH	épuraton		1180	50	2360
18	CH	forgeage		3100	80	3875
19	CH	forgeage		1380	100	1380
DEV 994/55321 PR	CH	forgeage		2930	100	2930
DEV 995/50983 PR	CH	forgeage		2860	100	2860
CTT 994/53736 TI	CH	forgeage		750	100	750
CTT 994/55410 TI	CH	forgeage		1610	90	1789
Σ raffinage	1	14,3		1180		2360
Σ forgeage	6	85,7		12630		13584
DEV 994/53346 PR	CI	épuraton		1940	65	2985
DEV 994/51539 PR	CI	épuraton		1670	75	2227
20	CI	forgeage	compactage	1070	60	1783
DEV 994/50991 PR	CI	forgeage	compactage	1150	50	2300
DEV 994/54677 PR	CI	intermédiaire		1080	85	1271
CTT 994/53047 TI	CI	intermédiaire		920	100	920
21	CI	forgeage		870	100	870
DEV 995/50133 PR	CI	forgeage		1780	70	2543
CTT 994/57603 TI	CI	forgeage		860	100	860
CTT 994/52859 TI	CI	forgeage		1530	100	1530
CTT 994/53472 TI	CI	forgeage		775	100	775
Σ raffinage	4	36,4		6660		10080
Σ intermédiaire	2	18		1780		2543
Σ forgeage	5	45,5		6885		7840
23	CO	forgeage	compactage	770	100	770
DEV 995/50126 PR	CO	forgeage	compactage	1000	90	1111
DEV 995/50194 PR	CO	forgeage	compactage	1420	90	1578
CTT 994/54577 TI	CO	forgeage	compactage	2740	100	2740
CTT 994/53778 TI	CO	forgeage	compactage	1710	100	1710
CTT 994/56220 TI	CO	intermédiaire		1540	100	1540
22	CO	forgeage		2000	100	2000
DEV 995/50874 PR	CO	forgeage		270	100	270
CTT 994/54355 TI	CO	forgeage		1350	100	1350
CTT 994/54481 TI	CO	forgeage		2450	80	3063
Σ raffinage	5	50		7640		7909
Σ intermédiaire	1	10		1540		1540
Σ forgeage	4	40		6070		6683
DEV 994/55359 PR	CX	épuraton		940	90	1044
24	CX	forgeage	compactage	2075	80	2594
25	CX	forgeage	compactage	1960	100	1960
DEV 994/54747 PR	CX	forgeage	compactage	2250	85	2647
DEV 994/54802 PR	CX	forgeage	compactage	1380	50	2760
CTT 994/52857 TI	CX	forgeage	compactage	2050	100	2050
CTT 994/56146 TI	CX	forgeage	compactage	1610	100	1610
CTT 994/52858 TI	CX	forgeage	compactage	1890	100	1890
CTT 994/53219 TI	CX	intermédiaire		3230	100	3230
Σ raffinage	8	89		14155		16555
Σ intermédiaire	1	11		3230		3230

Nombre	AP	DP	FL	VI	BO	CH	CI	CO	CX	Total	%
Epuraton	3	1	3	-	3	1	2	-	1	14	15,6
Compactage	5	3	-	1	7	-	2	5	7	30	33,3
Raffinage	8	4	3	1	10	1	4	5	8	44	49
Intermédiaire	1	-	-	-	-	-	2	1	1	5	5,6
Forgeage	4	2	5	10	5	6	5	4	-	41	45,6
Total	13	6	8	11	15	7	11	10	9	90	100
%	14,4	6,7	8,9	12	16,7	7,8	12	11	10	100	

Poids (g)	AP	DP	FL	VI	BO	CH	CI	CO	CX	Total	%
Epuraton	4835	470	2235		7090	2360	5210		1045	23245	18,4
Compactage	2655	560		790	15480		4085	7910	15510	46990	37,2
Raffinage	7490	1030	2235	790	22570	2360	9295	7910	16555	70235	55,6
Intermédiaire	820						2190	1540	3230	7780	6,2
Forgeage	2655	1140	2950	6320	8330	13545	6580	6685	-	48205	38,2
Total	10965	2170	5185	7110	30900	15905	18065	16135	19785	126220	100
%	8,7	1,7	4,1	5,6	24,5	12,6	14,3	12,8	15,7	100	

Fig. 65 Attribution des types de calottes aux différentes étapes du processus métallurgique. Epuration : scorie riche en Al₂O₃, (CaO) et V>Cr. Compactage : calotte avec une strate riche en métal ou éponge sans scorie. Forgeage : calotte riche en métal (Ni, Co, As) ou sans caractéristique spécifique. Abréviations des types, voir la figure 34.

que dans les calottes convexes et celles avec bourrelet. Les opérations d'épuration et de compactage, soit le raffinage, réunissent donc près de 55 % (49 % du nombre et 56 % du poids) des calottes examinées. Les traces de l'opération de forgeage sont visibles quant à elles sur le solde des calottes examinées, soit 45 % (46 % du nombre et 38 % du poids), notamment sur les calottes avec empreintes de charbon et les calottes avec vitrification.

La majorité des types de calottes examinés présentent par leur genèse des formes mixtes. Dans quelques cas (calottes convexes, avec traces de charbon, avec bourrelet et avec vitrification), les différences de forme signalent également des étapes distinctes de la chaîne opératoire. Elles se reflètent dans la structure interne et dans la variation de leur composition chimique, témoins des différents matériaux ayant contribué à leur formation.

Les scories de forge découvertes sur d'autres sites archéologiques (Neftenbach (ZH): Rychener 1999; Dietikon (ZH): Ebnöther 1995; Zoug (ZG): Senn-Luder 1998) ne comportent pas de strates de métal mais uniquement des inclusions de métal de petite, voire de grande taille. Cela est indépendant de l'époque de laquelle elles proviennent. Les scories de raffinage du Haut Moyen Age et du Plein Moyen Age de Boécourt et de Röserntal (BL) sont semblables aux scories de raffinage de Develier-Courtételle. A Boécourt, certaines calottes renferment également des strates de métal (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 109-112). Sur le plan chimique, il existe aussi une parenté entre les calottes de Boécourt et celles de Develier-Courtételle pour ce qui est du rapport Si/Al qui varie entre 2 et 7, ainsi que pour les éléments traces où dominant très fréquemment le vanadium et le chrome. La teneur en vanadium est toujours plus élevée que celle en chrome, et les teneurs concordent entre elles. Les calottes de Röserntal ont également été classées en divers types (Serneels 1995), mais la comparaison avec les catégories définies ici n'est pas très aisée. On peut cependant avancer que les calottes de raffinage très oxydées avec strates métalliques du type 1 de Röserntal correspondent aux calottes aplaties définies à Develier-Courtételle, de même que les calottes de type 5 correspondent, elles, probablement aux calottes avec vitrification. Les autres types de Röserntal n'ont pas d'équivalent avec ceux de Develier-Courtételle, les différences morphologiques étant trop grandes. Le fait que l'on puisse comparer les types de scories définis dans cette étude avec une partie des types de scories d'autres sites renforce la validité de cette approche typologique.

3.3 Les déchets riches en fer

Il existe à Develier-Courtételle une autre grande classe de déchets de travail du fer: ceux de petite taille, riches en fer. Ces derniers se différencient des déchets scorifiés présentés jusqu'ici par leur morphologie mais surtout – à quelques exceptions près (chap. 3.2.3) – par leur importante teneur en métal, teneur qui peut être exclusive ou partagée avec de la scorie. On s'accorde ainsi à distinguer, sur la base de critères macroscopiques et analytiques, deux catégories de déchets riches en fer: les déchets métalliques de forge et les scories ferrugineuses.

La catégorie des déchets de forge – considérés ici en tant que déchets élaborés – rassemble les pièces identifiées comme chute, ébauche ou raté, ainsi que de la matière de récupération qui se situe déjà un peu à l'écart du contexte du forgeage proprement dit. Celle des scories ferrugineuses a été subdivisée, grâce aux analyses, en déchets peu élaborés, fragments d'éponge travaillée ou non. Le degré de déformation plastique est ici un critère distinctif essentiel.

Déchets de forge	Pièces	Poids	Moyenne
	nb	g	g
Chute	74	568	8
Ebauche	12	251	21
Raté	13	179	14
Matière de récupération	4	74	18
Total	103	1072	10

Fig. 66 Typologie des déchets de forge, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

3.3.1 Les déchets de forge

Catalogue 81 à 89, 91 à 112, 114, 116 à 144 et 156 à 161

Aspects morphologiques

Etape capitale de la chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne, le forgeage est le lien entre la phase de production du métal et l'objet fini. Les opérations de mise en forme du métal appliquées à cette occasion ont laissé à Develier-Courtételle un type précis de déchets riches en fer: les déchets de forge. Leur identification s'est effectuée en combinant à nouveau étude morphologique et analyses physico-chimiques, ceci afin de cerner au mieux les objectifs principaux du forgeage: la modification des propriétés physiques du métal et sa mise en forme.

La classification des déchets de forge se fonde sur l'existence de marques de travail et sur la forme. Les pièces de métal qui ne peuvent être caractérisées à l'aide de ces critères n'ont pas été prises en compte. Il est en effet très délicat de faire la différence à l'œil nu entre un résidu de forge informe, abandonné par exemple en raison d'un traitement thermique raté, et un reste de mobilier informe. Cette identification se complique encore en raison d'une fragmentation poussée du mobilier et de la corrosion généralisée qui rend souvent fragiles les surfaces. Une certaine prudence s'impose donc quant à la signification des 103 déchets de forge (fig. 66) reconnus à Develier-Courtételle, dont 67 individus figurent au catalogue.

Les chutes

Parmi les vestiges du forgeage figurent 74 chutes, c'est-à-dire des «pièces métalliques non fonctionnelles détachées d'un objet au cours de la fabrication de celui-ci» (GSAF 1997, p. 85). Dans leur très grande majorité, elles présentent un aspect géométrique allongé, en forme de «barre» ou de «bande» selon que la section est carrée ou rectangulaire (fig. 67). L'appellation «tôle» correspond à des objets plats et celle de «fragment» à des chutes informes.

La véritable identification d'une chute repose sur la présence de traces – de «stigmates» – laissées par les différentes opérations de mise en forme du métal. Il arrive qu'une même chute témoigne de plusieurs actions distinctes. Si dans la littérature l'accent est parfois porté sur les seules traces de découpe, les chutes de Develier-Courtételle révèlent la mise en œuvre d'autres techniques de travail. Les plus significatives sont exposées ici.

Couper du métal est l'action la plus fréquente puisqu'elle est attestée sur 41 chutes. Pour une pièce en cours de forgeage, cette opération induit la formation de deux biseaux de chute. Si l'un de ces angles est conservé sur la chute elle-même, l'autre angle, qui

Chutes	1 op.	2 op.	3 op.	Total
Barre	16	9	1	26
Bande	19	11	4	34
Tôle	5			5
Fragment	6	3		9
Total	46	23	5	74

Fig. 67 Répartition des chutes de forge en fonction de leur morphologie et du nombre d'opérations (op.) de mise en forme subies.

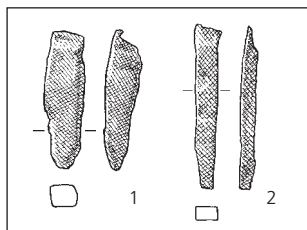


Fig. 68 Couper du métal. Cette action se caractérise par un biseau dont l'angle est « large » pour le cat. 84 (1) et « étroit » pour le cat. 158 (2). La chute cat. 84 (1) présente un petit « sourcil » à la base de la découpe. Echelle 1:2.

se trouvait sur l'objet forgé, n'est par définition plus conservé. Les biseaux observables à Develier-Courtételle (fig. 68) sont allongés ou courts en fonction de l'angle de chute; un léger « sourcil » est parfois présent à la base de la découpe. Ces traces sont pour la plupart perpendiculaires à l'axe de l'objet et placées à l'une de ses extrémités. Un travail longitudinal, formé par la juxtaposition de plusieurs découpes, est cependant attesté (cat. 100 et 118). L'étude de la forge gallo-romaine de Châbles, Les Saux a amené une réflexion novatrice pour l'examen des déchets de forgeage (Duvau-chelle et Agustoni 2002). La mesure des angles de chute y a mis en évidence des fourchettes d'angles qui sont a priori en relation avec l'utilisation de différents outils. Si une telle approche quantitative n'est pas envisageable à Develier-Courtételle (faiblesse de l'échantillonnage, état de conservation et dimensions réduites du matériel), on observe néanmoins certains traits généraux comme la différenciation entre angles de chute « larges » et « étroits » définis pour l'étude de Châbles (*ibid.*, p. 263-264). Cette caractéristique sera reprise pour l'identification des outils associés aux déchets de forge.

Fendre du métal nécessite l'emploi d'un outil tranchant. Cette opération s'effectue de préférence au centre de la pièce et longitudinalement, provoquant un renflement caractéristique du bord. Seules trois chutes attestent de ce travail, le cat. 91 comportant en plus deux marques laissées par le tranchant d'un outil (fig. 69).

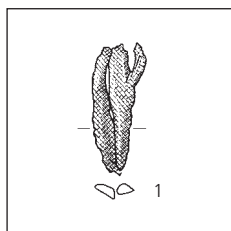


Fig. 69 Fendre du métal. Renflement du bord et traces d'outil sur la chute cat. 91. Echelle 1:2.

Étirer en longueur du métal entraîne de toute évidence une réduction de l'épaisseur et un allongement de la pièce. Observée à 24 reprises, cette action de mise en forme est la deuxième en importance sur le site (fig. 70).

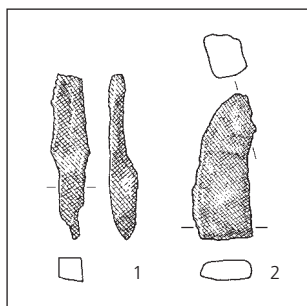


Fig. 70 Étirer en longueur du métal. Deux exemples illustrés par les chutes cat. 136 (1) et 141 (2). Echelle 1:2.



Fig. 71 Ébauche cat. 87 avec traces d'un décor incisé en cours de réalisation. Longueur 5,1 cm.

D'autres techniques, comme le fait de refouler et d'épauler du métal, ne sont attestées que par deux très petites chutes (cat. 123 et 128). Dans le premier cas, la barre a été frappée à l'une de ses extrémités de manière à augmenter sa section; cette même extrémité a été ensuite étirée. Sur la seconde pièce, un léger épaulement a modifié le profil de l'objet en réduisant sa section. Enfin, les chutes peuvent être vrillées (par ex. cat. 138) ou courbées (par ex. cat. 120 et 141).

Les ébauches

A la différence des chutes, les ébauches présentent une mise en forme générale parfois avancée mais il leur manque encore des détails définitifs pour en faire des objets finis et déterminables. Il s'agit donc d'un « état » intermédiaire, d'une première mise en place de l'objet. Douze ébauches ont été identifiées.

Sur la plupart des pièces, la mise en forme très sommaire (par ex. cat. 86, 105, 106 et 126) ou un peu plus avancée (cat. 127), ne permet pas d'imaginer la pièce recherchée. Il en va de même pour le cat. 87 (fig. 71) qui comporte toutefois une particularité: l'ébauche d'un décor. Matérialisé par quelques incisions ne dessinant aucun motif, ce travail pourrait concerner la réalisation d'un décor gravé ou éventuellement damasquiné.

Parfois, la forme d'une ébauche permet d'envisager une identification plus précise. Le cat. 116, forgé en pointe et vrillé, porte



Fig. 72 Ébauches cat. 104 (1) et 159 (2) interprétées comme des éléments de garnitures de ceinture en cours de réalisation. Longueur 3,6 et 5,8 cm.

encore une facette de martelage. Il s'agit probablement ici d'une tige de clou en cours de réalisation. Les ébauches cat. 104 et surtout cat. 159 (fig. 72) évoquent des éléments de garnitures de ceinture. La première, en forme de languette, pourrait renvoyer par exemple à une plaquette verticale ou à l'extrémité brisée d'un ferret. La seconde est une plaque trapézoïdale dont l'épaisseur est irrégulière. Les bords ainsi qu'une extrémité sont rectilignes. L'autre extrémité, endommagée, semble arrondie. Toutes ces caractéristiques incitent à identifier cet objet comme un élément – très probablement une contre-plaque – en rapport avec les garnitures de ceinture tripartites du premier tiers du 7^e siècle. Si de telles identifications sont difficiles à établir de manière certaine, il est possible d'évoquer au moins un parallèle intéressant en contexte d'habitat. A Riedisheim, Leibersheim (Haut-Rhin, F), deux objets comparables ont été interprétés comme des ébauches liées à la fabrication de garnitures de ceinture en fer (Schweitzer 1984, p. 153, pl. 57.2 et 68.12).

Les ratés

Les treize ratés de fabrication sont des pièces métalliques sur lesquelles le travail d'élaboration n'a pas pu être poursuivi. Ces pièces sont toujours difficiles à identifier. Dans certains cas un examen visuel permet de discerner les raisons de cet arrêt. Pour l'objet cat. 88, le pliage de la partie amincie a dû entraîner une cassure; même résultat pour l'objet cat. 144, mais en raison cette fois d'une perforation mal réalisée. Un martelage trop puissant et une soudure mal effectuée ont entraîné des défauts sur les objets cat. 111 et 160.

Dans d'autres cas, ce sont les analyses métallographiques qui permettent de qualifier les objets ratés et d'éviter quelques mauvaises interprétations. Elles seules peuvent ainsi mettre en évidence des traitements thermiques ratés, principale cause de la mise au rebut de nombreuses pièces. De toute évidence, le forgeron de l'époque arrivait, par son expérience, à la même conclusion.

La matière de récupération

Quatre pièces font ressortir un phénomène qui se situe un peu à l'écart du forgeage proprement dit: le recyclage du métal. Paradoxalement, leur existence montre que du métal de rebut a été collecté puis abandonné sans être réutilisé! Dans le cas des tôles cat. 89 et 112, plusieurs strates soudées entre elles ont été identifiées. La présence de tôles parmi les ratés et les pièces de récupération pourrait trouver une explication plus technique. L'élaboration de simples tôles de métal est en effet considérée comme difficile à exécuter en forge artisanale (Mangin, Fluzin et al. 2000, p. 194), l'emploi d'un métal le mieux épuré possible étant indispensable. Le forgeron doit dans ce cas faire preuve d'une plus grande maîtrise technique que lors de la réalisation d'objets massifs.

Considérations particulières

Se pose ici la question de l'outillage du forgeron (chap. 4.2.1). Le principal constat est l'absence d'outils nécessaires au bon fonctionnement des aires de forge, même si leur utilisation ne fait pourtant aucun doute. Les déchets du forgeage peuvent le démontrer.

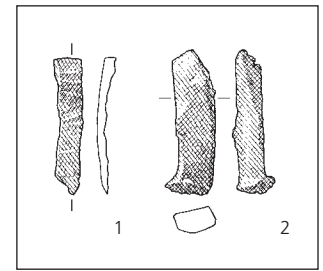


Fig. 73 Traces de martelage sur les chutes cat. 96 (1) et 138 (2). Echelle 1:2.

Le meilleur exemple est peut-être celui du marteau, outil de frappe indispensable à la mise en forme du métal (fig. 73). Les traces parallèles observées sur la chute cat. 96 (fig. 73.1) témoignent d'un travail d'allongement effectué au marteau. Le pas de frappe très serré, de l'ordre de 0,5 cm, et la faible profondeur d'écrasement résultent d'un travail de martelage effectué avec la panne de cet outil. Des traces d'écrasement sur une extrémité (fig. 73.2) ou quelques facettes de martelage (par ex. cat. 116) sur des chutes sont des indications allant dans le même sens. Le martelage rend indispensable un support de frappe qualifié au sens large d'enclume. Il nécessite également l'emploi de pinces de forge pour un bon maintien des objets, que le travail s'effectue à chaud ou à froid.

Pour couper du fer, l'emploi de plusieurs outils peut être envisagé: le ciseau droit, le tranchet, la tranche, le marteau et le bord de l'enclume (Duvauchelle et Agustoni 2002, p. 261). Ainsi à Châbles, les angles de chute « larges » proches de 80° sont attribués à des découpes effectuées au ciseau. Pour les angles « étroits » compris entre 25° et 55°, un travail sur le bord de l'enclume ou au marteau est probable. A Develier-Courtételle, les différences entre les angles de coupe relevés sur certaines chutes (fig. 68) pourraient ainsi révéler l'emploi de différents outils destinés à couper le métal. Pourtant le ciseau droit est le seul et unique type retrouvé lors des fouilles archéologiques.

Caractéristiques macroscopiques

Catalogue 81, 86, 89, 95-96, 101, 107-112, 117, 121-122, 126, 129, 135, 138, 142, 157 et 160

Les caractéristiques macroscopiques permettant de définir, à l'œil nu ou sous binoculaire, un déchet de forge sont limitées:

- il s'agit d'une part d'objets présentant des traces de découpe (cat. 101, 121, 126, 129 et 135). Ces dernières indiquent que l'objet est resté inachevé ou qu'il s'agit d'un reste enlevé d'une pièce en cours de travail;
- d'autre part ce sont des pièces présentant des défauts de forgeage importants tels que des fissures (cat. 81, 111 et 122), des soudures ratées (cat. 107 et 110) et de fortes carburations qui empêchent la finition ou l'utilisation de l'objet;
- quatre objets sont des déchets de récupération (cat. 89, 112, 117 et 138). La définition archéométallurgique du fer recyclé est une question controversée. R. Pleiner (1970, p. 134-135) entend par là du fer – formé de nombreuses strates soudées entre elles – et obtenu par soudage de différentes tôles, barres ou fils en paquets. Les objets romains décrits par R. Pleiner (1970, par ex. pl. 12, 13, 18 et 20) comme étant paquetés présentent des inclusions allongées qui marquent les soudures entre les

Type	Total	Fer	Acier % masse C		
			0,1 - 0,3	0,4 - 0,7	0,8 - 1,8
Déchet élaboré	nb	17	8	7	1
Déchet élaboré	%	100	47	41	6
Déchet récupéré	nb	4	2	2	

Fig. 74 Teneur en carbone des déchets élaborés examinés.

différentes strates. R. Schwab (2002) mentionne une autre possibilité de reconnaître les objets récupérés. Il relève que des pointes de flèche ou également des burins ont été parfois réalisés par soudage de tôles enroulées. Cette technique conduit inévitablement à des soudures de mauvaise qualité qui peuvent encore renfermer des inclusions de la croûte oxydée du métal. Souvent les objets de ce type présentent aussi des surfaces carburées. Les cat. 89 et 112 pourraient témoigner d'une telle pratique à Delevier-Courtételle. Ces deux tôles n'ont toutefois pas été soudées par enroulage mais par pliage. Le cat. 89 présente des parties totalement soudées sur la section polie, bien que sur les faces latérales de l'objet on distingue encore nettement quelques replis de tôle non soudés. Le cat. 112 n'est que plié et non soudé. Par contre le cat. 117 a été obtenu par soudage de plusieurs strates: celles-ci diffèrent aussi bien par la composition chimique du métal que par un degré variable d'élaboration de celui-ci. Le cat. 138 est lui aussi mis en paquets et présente de plus des soudures imparfaites.

Huit des objets rangés dans la catégorie des déchets de forge ne remplissent aucun de ces critères (cat. 86, 95, 96, 108, 109, 142, 157 et 160). Six d'entre eux ont été classés dans ce groupe du fait de leur forme (voir plus haut). Les deux autres (cat. 108, 109) présentent des caractéristiques microscopiques (forte carburation, mélange de deux métaux) qui les font indubitablement qualifier de déchets. La pièce cat. 108 est composée d'un mélange de fer et de bronze qui s'est formé à une température supérieure à 1000 °C. Il s'agit là d'un produit accidentel qui, du fait de sa température de formation élevée a dû plutôt être formé dans un bas foyer que lors de l'incendie d'une maison.

Caractéristiques microscopiques

Parmi les déchets de forge – déchets élaborés – les pièces formées de fer sont plus fréquentes (47%) que dans l'ensemble du matériel examiné (40%; fig. 27), alors que les pièces en acier sont quel-

que peu sous-représentées. Les déchets élaborés sont essentiellement formés de fer et d'acier avec des teneurs en carbone situées entre 0,1 et 0,3 % masse. Seul un objet (cat. 111) est formé d'acier trempable avec une teneur en carbone de 0,4-0,7% masse (fig. 74). La teneur moyenne en carbone des déchets élaborés est de 0,2% masse, ce qui correspond à la teneur en carbone moyenne des déchets peu élaborés (fig. 79). La qualité du métal travaillé se reflétant dans ces groupes de déchets, on peut admettre que le métal utilisé sur le site était essentiellement du fer et de l'acier à faible teneur en carbone. Le même type de métal se retrouve aussi dans la qualité de la matière de récupération.

Composition chimique du métal

La plus grande partie des déchets de forge montrent une grande ressemblance dans leur composition chimique avec les scories ferrugineuses, la distinction portant avant tout sur leur faible teneur en manganèse (fig. 75). Toutes les scories ferrugineuses dont la teneur en manganèse se situe entre 50 et 150 mg/kg présentent une teneur en carbone de 0,6 à 1% masse. Aucun métal de cette composition ne se trouve dans les déchets élaborés à faible teneur en carbone. On constate donc qu'il existe une relation entre les teneurs en manganèse et en carbone des échantillons analysés. Cela permet de supposer que le métal des scories ferrugineuses s'est formé à des températures plus élevées que le métal pauvre en carbone et en manganèse.

La composition chimique de trois des quatre pièces de récupération diffère de celle du groupe de référence par ses teneurs élevées en cuivre et en arsenic (cat. 112, 117, 138). Il se peut que les teneurs en cuivre élevées du métal découlent de la réutilisation de fer contaminé par un alliage cuivreux. Seule la tôle cat. 89 ne présente pas de teneurs élevées en arsenic et en cuivre, mais sa composition l'exclut tout de même en tant que métal local.

Parmi les déchets de forge, quelques-uns possèdent une composition chimique très particulière:

- les deux strates analysées du cat. 160 sont pauvres en Ni et As;
- le cat. 81 contient plus de P que tous les autres objets;
- le cat. 157 est très riche en As;
- le cat. 111 a un rapport Ni/Co trop élevé;
- les deux strates analysées du cat. 135 sont très riches en As et Cu.

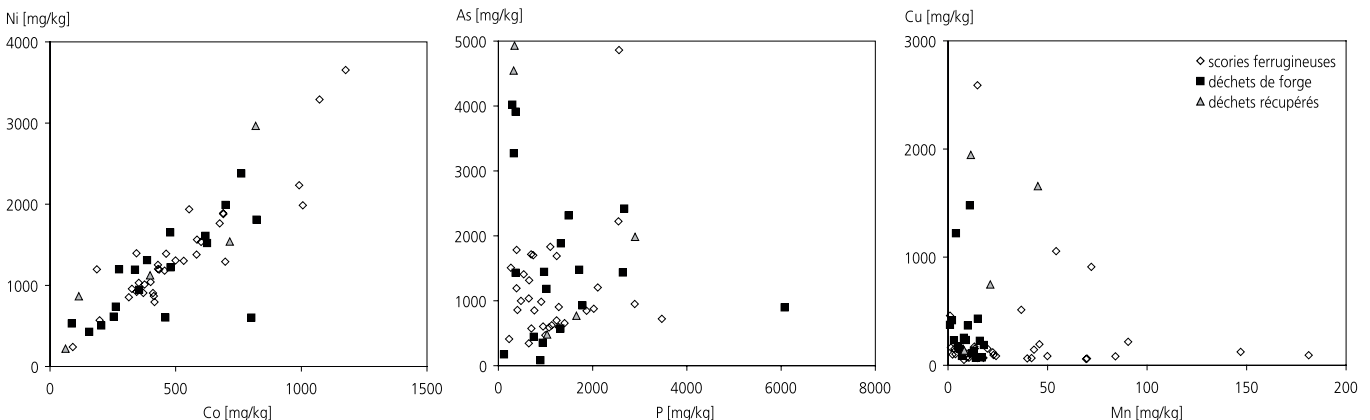


Fig. 75 Composition chimique des scories ferrugineuses et des déchets élaborés. L'analyse statistique (boîte à moustaches) subdivise les valeurs en valeurs extrêmes, valeurs aberrantes et groupe de référence.

3.3.2 Les scories ferrugineuses

Catalogue 26 à 70

Aspects morphologiques

Les 9542 fragments regroupés dans la catégorie des scories ferrugineuses représentent 9360 pièces individuelles pour un poids de 109,8 kg (fig. 30). Le poids moyen est d'environ une dizaine de grammes par pièce (11,7 g), pour des dimensions moyennes de l'ordre de quelques centimètres; ces dernières n'ont toutefois pas été enregistrées. Ces déchets informes, pour la plupart de contours arrondis ou « déchiquetés », sont de petite taille et se reconnaissent au premier abord par leur couleur orangée, témoin de leur forte oxydation, et par leur densité relativement élevée. Leur réaction à l'aimant, principal critère de sélection, est moyenne à forte, ce qui a priori laisse présumer d'une importante teneur en métal (fig. 76).

Les scories ferrugineuses sont également connues sur certains sites de production du fer, comme par exemple à Boécourt, les Boulies (Eschenlohr et Serneels 1991). Elles sont parfois appelées « gromps » (voir *infra*) et se composent soit de zones périphériques d'éponges, soit de pisolithes partiellement réduites. Les fragments d'éponge sont également la première catégorie de déchets retrouvés sur le site de postréduction de Develier-Courtételle.

De par leur nombre très important, une restauration systématique des scories ferrugineuses n'était pas envisageable. Ainsi, dès la première classification, il est vite apparu, en raison de leur oxydation extrême, qu'il était très difficile de procéder à l'œil nu à une séparation rigoureuse entre les scories ferrugineuses et les déchets métalliques de forge, issus d'un travail ultérieur. A l'occasion, la forme générale de certains fragments – dans la plupart des cas couplée à une réaction à l'aimant – a directement orienté leur classification vers la seconde catégorie. Mais dans la plupart des cas, les recherches analytiques sur un échantillonnage de pièces sélectionnées puis restaurées ont été déterminantes pour parachever le tri. Ce dernier, malgré cette double détermination morphologique et partiellement microscopique, n'est en aucun cas exhaustif. Il n'est pas exclu qu'une marge d'erreur, même faible, puisse exister dans la séparation entre les deux catégories.

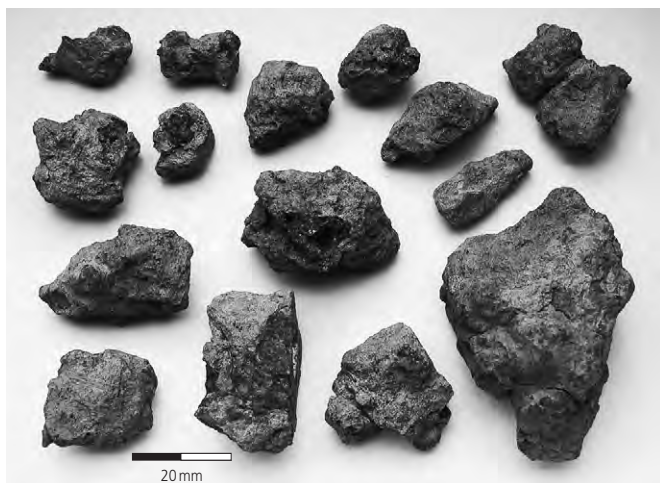


Fig. 76 Scories ferrugineuses.

Type	Total	100 % métal	55 - 95 % métal	50 - 100 % scorie
Éponge non travaillée	22	15	3	4
Éponge travaillée	21	7	5	9
Déchet peu élaboré	6	4	2	-
Total	49	26	10	13

Fig. 77 Teneurs en métal et en scorie des scories ferrugineuses examinées. La proportion de pièces riches en scorie ayant été travaillées est un peu surévaluée, car on a inclus dans cette catégorie les pièces considérées comme scories et analysées par XRF. Leur composition chimique ne concordant pas avec celle des scories de réduction, elles ont été classées parmi les éponges travaillées. Toutefois, la distribution macroscopique de leurs teneurs en scorie et en produits de corrosion, ainsi que le degré de travail du métal corrodé qu'elles renferment, sont inconnus.

Il faut préciser que seule une infime partie du matériel classé parmi les scories ferrugineuses, celle qui présentait une forme plus ou moins déterminable et une forte aimantation, a été nettoyée par le restaurateur afin de déterminer s'il s'agissait d'un objet, d'une ébauche, etc.

Caractéristiques macroscopiques

Plus de la moitié des scories ferrugineuses examinées sont formées uniquement de métal (fig. 77). Le solde, présentant une morphologie mixte, est dominé pour moitié par le métal et pour l'autre moitié par la scorie. Dans ces deux cas, on observe deux modes de formation du métal :

- d'une part, une formation primaire du métal par réduction à partir du minerai. Ces pièces ne renferment souvent que très peu de métal qui est alors présent sous la forme de gouttes en filaments dispersées dans la scorie (cat. 34-36, 45). Parmi les phases minérales, on trouve toujours dans ces scories, en plus de la fayalite, des quantités élevées d'hercynite (fig. 78) ;
- d'autre part, une accumulation secondaire du métal dans la scorie. Il s'agit du métal perdu dans le bas foyer durant le forgeage. Dans ce cas, la scorie renferme du métal sous forme d'inclusions de taille variée (cat. 64 et inv. CIT 995/53551 TI).

Les scories ferrugineuses sont, comme on l'a vu, le plus souvent informes. Lorsque le métal qu'elles contiennent renferme des inclusions de scorie et de charbon de bois, ainsi que des vides non déformés, elles sont désignées comme étant « non travaillées », le métal ne présentant alors aucune trace d'une quelconque déformation plastique.

Si l'on observe sur ces pièces des surfaces planes ou des angles, et que les vides et les inclusions dans le métal montrent en plus des traces de déformation, elles sont alors qualifiées de « travaillées ». Ces traces témoignent d'une déformation partielle, c'est-à-dire d'un métal n'ayant pas été bien compacté.

Cat.	Qualité du métal	Structure de la scorie
34	fer	hercynite et fayalite dans matrice vitreuse
35	fer	fayalite symplectique avec hercynite dans matrice vitreuse
36	fer	hercynite et fayalite dans matrice vitreuse
49	acier hypoeutectoïde	wustite dans matrice vitreuse
54	acier eutectoïde	wustite dans matrice vitreuse

Fig. 78 Scories ferrugineuses analysées par MEB/EDS. Phases minéralogiques de la scorie et métal associé.

Quelques pièces, travaillées sur toutes leurs faces, offrent même une forme bien définie. Cette dernière cependant, cachée par la corrosion de surface, n'est souvent visible que sur la section polie. Les inclusions allongées de scorie n'apparaissent que sur ce type de pièces. De par leur forme, ces pièces ont été interprétées comme des déchets peu élaborés : elles comportent bien davantage de vides et de grandes inclusions de scorie qu'un déchet de forge qui est, lui, un déchet élaboré.

Tant sur les scories ferrugineuses travaillées que sur les déchets peu élaborés, le métal renferme des fissures témoignant d'un travail de déformation raté.

La présence de nombreux vides, d'inclusions de scorie non déformées et d'inclusions de charbon de bois non brûlé sont les caractéristiques typiques des éponges de fer (Pleiner 2000, p. 230-250). Des fragments de métal semblables ont été retrouvés en Pologne sur des ateliers de réduction datant de l'Époque romaine (Nosek 1994). Ces déchets y ont été dénommés « gromps », par analogie avec des déchets similaires décrits au 17^e siècle et formés lors de la réduction ou lors du premier travail des éponges de fer.

Une partie des scories ferrugineuses peut ainsi être constituée de fragments d'éponges de fer ou de métal, perdus ou éliminés au cours des premières phases d'élaboration que sont l'épuration et le compactage des éponges de fer.

Caractéristiques microscopiques

La majeure partie des scories ferrugineuses contient de l'acier (fig. 79). Il est frappant de constater que, parmi elles, le groupe des pièces renfermant de l'acier à teneur en carbone faible à moyenne (28 %) est sous-représenté par rapport à l'ensemble des pièces examinées (47 %; fig. 27). Toutes les pièces en fonte se trouvent parmi les scories ferrugineuses. La teneur en carbone des scories ferrugineuses diminue avec l'augmentation du degré d'élaboration : ainsi, alors que les scories ferrugineuses non travaillées présentent en moyenne une teneur en carbone de 1 % masse, cette teneur diminue à 0,4 % masse dans le groupe des scories ferrugineuses travaillées et n'atteint plus que 0,2 % masse dans le groupe des déchets peu élaborés. Cela permet de déduire que l'acier riche en carbone et que la fonte n'ont pas été travaillés par déformation plastique. Il n'existe pas de traitement thermique utilisé de manière préférentielle : le nombre de pièces présentant des surfaces, soit carburées, soit décarburées, est pratiquement égal. D'une manière générale, on relèvera qu'aucun des

Type	Total	Fer		Acier		Fonte
		% masse C	% masse C	% masse C	% masse C	
Ferrugineuse non travaillée	22	5	4	8	5	
Ferrugineuse travaillée	17	7	6	4		
Déchet peu élaboré	7	3	3	1		
Total (nb)	46	5	13	13	5	
Total (%)	100	33	28	28	11	

Fig. 79 Teneur en carbone des scories ferrugineuses examinées. On remarque, dans ce groupe de pièces, que l'acier à teneur en carbone basse à moyenne est sous-représenté par rapport à l'ensemble des pièces étudiées.

changements thermiques observés n'a été effectué de manière intentionnelle.

Souvent le fer, l'acier et la fonte présentent des inclusions dont la composition chimique diffère de celle de la scorie. Dans le fer, il s'agit de petites inclusions sphériques non métalliques. Dans l'acier, on trouve souvent des plages de ferrite renfermant des îlots sphériques avec un noyau de couleur foncée (fig. 80). Dans la fonte, les germes de lédéburite contiennent souvent des pointillés typiques de la stéadite. Les analyses par fluorescence MEB/EDS ont permis de déterminer que toutes ces inclusions dans le métal renfermaient les éléments phosphore, soufre, fer et, pour certaines, oxygène. En connaissant la composition chimique, on peut identifier les inclusions biphasées non métalliques dans le fer comme le phosphate de fer entourant du sulfate de fer. Par contre les inclusions biphasées dans l'acier ont pu être déterminées comme étant formées de phosphore de fer (Fe₃P) entourant du sulfure de fer (FeS). Dans les phosphures de fer, on trouve de plus des traces d'arsenic, alors que l'on décèle la présence de manganèse et de vanadium dans certaines des inclusions de sulfure de fer. Dans l'acier, les inclusions de FeS entraînent une fragilité à chaud, ce qui provoque une rupture du métal lorsque l'on tente de le travailler en le portant au rouge, à des températures situées entre 800 et 1000 °C (Schuhmann 1991, p. 461-462).

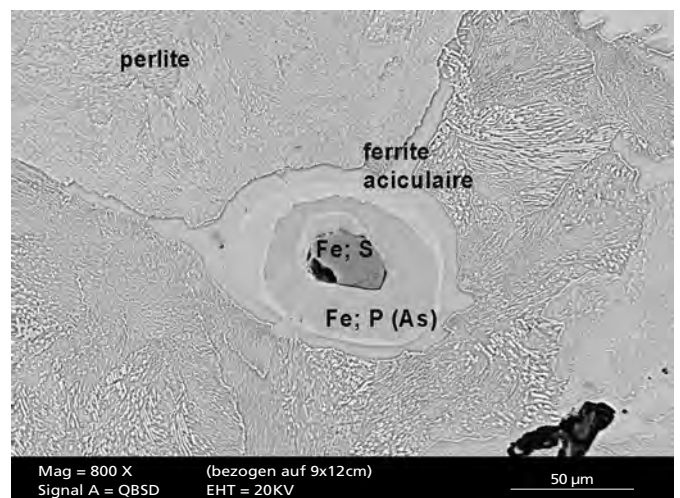
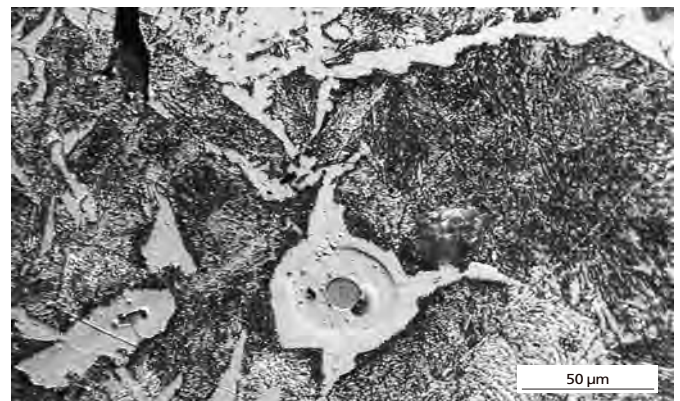


Fig. 80 Inclusion biphasée dans l'acier sur le fragment de déchet de forge peu élaboré cat. 66. En haut : image microscopique. En bas : image MEB, mode SE.

Des différences importantes et très localisées dans la composition chimique du métal provoquent des tensions conduisant à sa fissuration lors de la déformation. Ces différences apparaissent non seulement dans les inclusions décrites ci-dessus, mais également dans la répartition très hétérogène des teneurs en carbone dans l'acier. Cela est très net dans la scorie ferrugineuse non travaillée cat. 33, formée d'acier eutectoïde dans lequel sont tombées des gouttes de fonte. Cette dernière forme alors des îlots présentant des duretés de 600 à 700 HV dans un acier environnant nettement plus doux d'une dureté d'environ 290 HV.

Un quart des scories ferrugineuses travaillées et des déchets peu élaborés, soit six pièces, présente des traces d'une déformation à froid.

Près d'un tiers du fer contenu dans les différents types de scories ferrugineuses présente des caractéristiques structurales particulières et une dureté plus élevée que le fer non allié (140-230 HV). Ces particularités ont la forme de bandes de Neumann (fig. 28), de filigranes et d'aiguilles de phosphore, ainsi que de grains grossiers. Comme le montrent les analyses chimiques (voir *infra*), il s'agit là de fer riche en phosphore ou en arsenic dont les teneurs sont supérieures à 0,2 % masse.

Composition chimique du métal

Le métal des 33 scories ferrugineuses analysées se caractérise par des teneurs élevées en nickel, en arsenic et en phosphore (fig. 81 et annexe 3). En règle générale, les teneurs en vanadium, en chrome et en manganèse sont inférieures à 100 mg/kg, les deux premiers se trouvant même souvent sous la limite de détection. Cela concorde avec le principe de l'enrichissement lors de la réduction directe selon lequel, de par leur enthalpie libre, le vanadium et le chrome sont liés dans la scorie en raison de leur réduction à des températures plus élevées.

A quelques exceptions près, les teneurs en cuivre sont basses (en majeure partie inférieures à 200 mg/kg), celles en cobalt sont nettement plus élevées. Les teneurs en nickel et en cobalt sont corrélées entre elles, et la majorité des scories ferrugineuses présentent ainsi un rapport nickel/cobalt compris entre 2 et 3.

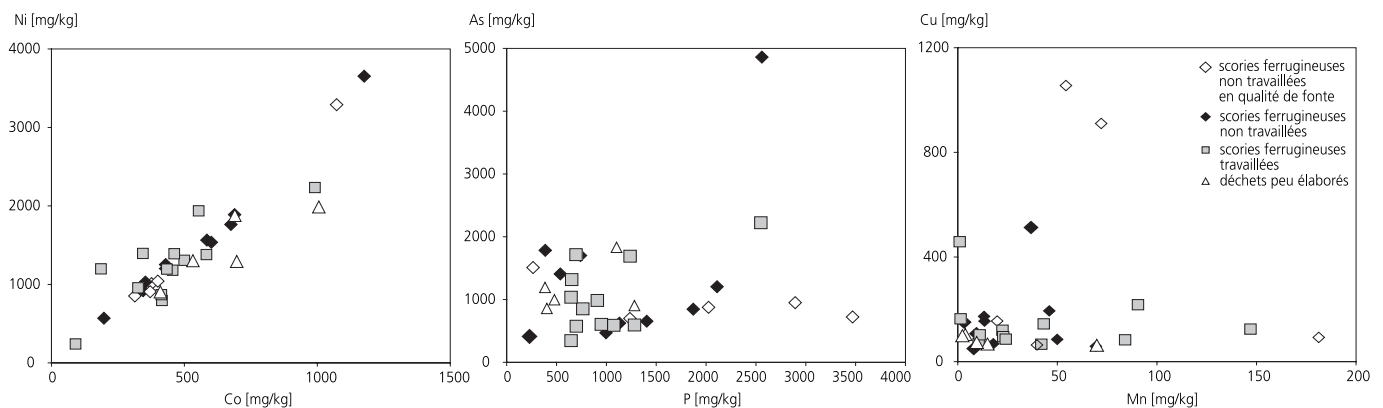


Fig. 81 Composition chimique des scories ferrugineuses. Les valeurs extrêmes en As (32000) et Cu (2600) ne sont pas représentées. Les scories ferrugineuses travaillées et les déchets peu élaborés sont plus pauvres en P et Cu que les scories ferrugineuses non travaillées.

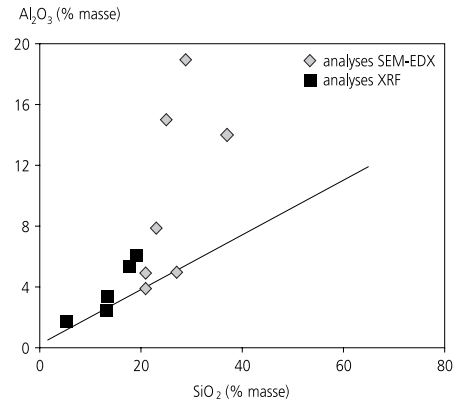


Fig. 82 Comparaison des teneurs en certains composants des scories ferrugineuses, déterminées par XRF et MEB/EDS.

La teneur en arsenic la plus élevée atteint 3,2 % masse, celle en phosphore 0,35 % masse et celle en cuivre 0,26 % masse (cat. 57 et 59). Ces deux pièces ne sont que partiellement représentées sur la figure 81. Leur composition fait exception par rapport à celle des autres scories ferrugineuses. Les pièces possédant les deux teneurs les plus élevées en phosphore, la teneur la plus élevée en manganèse ainsi que les deux teneurs les plus élevées en cuivre correspondent à une fonte (cat. 26, 40 et 42; fig. 81).

Ces pièces ne sont pas non plus typiques du métal travaillé à Develier-Courtételle car elles se sont formées en passant par l'état liquide et non pas à l'état solide comme le reste du métal retrouvé sur ce site. La réduction avec un passage par l'état liquide conduit à d'autres mécanismes d'enrichissement que la réduction directe à l'état solide, ces deux procédés intervenant à des températures différentes.

Composition chimique de la partie formée de scorie

Des analyses de scorie ont été effectuées par MEB/EDS sur cinq pièces renfermant des inclusions de métal et par WD-XRF sur quatre pièces sans inclusions visibles de métal.

Ces dernières sont riches en fer et comportent parfois un peu plus d'aluminium que les calottes (fig. 10b et 82). La composition est moins influencée par la cendre de charbon de bois que celle des calottes, comme l'indiquent les teneurs moins élevées en calcium et en potassium (fig. 10c). Parmi les éléments traces, les éléments

Cat.	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /CaO	K ₂ O/MgO
33	1,5	12	10
34	2,6	2	1,7
35	1,7	2	0,8
35	2,9	1,2	2,8
53	5,3	0,8	*
48	5,4	0,5	2,5
48	4,2	0,8	2,6
Boécourt (JU)	1,2	13,6	2
Corcelles (BE)	2,4	1,9	0,9

Fig. 83 Rapports de quelques composants des scories riches en fer, analysées par MEB/EDS (* calcul impossible car la teneur en MgO est inférieure à la limite de détection).

sidérophiles nickel, cobalt et arsenic, typiques du métal, dominant (fig. 11c). Dans deux pièces au moins, on constate toutefois une participation de la scorie de réduction à leur formation, ce qui se manifeste par des teneurs légèrement plus élevées en aluminium, en vanadium et en chrome. Dans les scories ferrugineuses examinées, le métal constitue donc le composant le plus important lors de la formation de la scorie. La légère influence de la scorie de réduction constatée sur certaines pièces mène à les placer dans le même contexte de raffinage qu'une partie des calottes (chap. 3.2.17).

Lors de la caractérisation macroscopique, il avait déjà été noté que la scorie des ferrugineuses contenant du métal en cours de formation renfermait également de l'hercynite en plus de la fayalite (fig. 78). Ces dernières représentent des phases typiques des scories de réduction du minerai pisolithique (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 71-84). Les phases et les rapports des différents composants (voir *infra*) indiquent que certaines pièces (cat. 34, 35 et 36) sont des fragments d'éponges de fer riches en scorie.

Les résultats des mesures MEB/EDS n'ont pas été publiés, car il s'agit de données non standardisées et donc non quantifiables avec sûreté. Certains rapports des composants ont toutefois été calculés selon la méthode éprouvée par V. Buchwald et H. Wivel (1998) en Europe du nord sur des inclusions de scorie dans le métal, afin de déterminer son origine (fig. 83).

La scorie du cat. 33 est riche en aluminium et elle présente un rapport SiO₂/Al₂O₃ comparable aux scories de réduction de minerai pisolithique jurassien (Eschenlohr 2001, p. 105-118). Il en va de même pour les cat. 34 et 35 dont la teneur élevée en CaO est typique du minerai oolithique (Beck et Senn 2000, p. 248). Le cat. 35 confirme ce fait par sa teneur élevée en phosphore et en arsenic (le métal du cat. 34 n'a pas été analysé).

Dans le district sidérurgique jurassien, on trouve dans le Grand-Val, des ateliers de réduction du Haut Moyen Age où le minerai et les scories présentent une composition chimique similaire (Eschenlohr 2001, p. 107-108). Etant donné la proximité géographique et chronologique de Develier-Courtételle et des ateliers du Grand-Val, la composition chimique particulière de ces deux scories ferrugineuses fait supposer un lien entre ces régions.

Les cat. 48 et 53 présentent par contre de faibles teneurs en aluminium, qui s'expriment par un rapport SiO₂/Al₂O₃ plus élevé. Elles viennent ainsi se ranger parfaitement dans les scories ferrugineuses dont la composition a été déterminée par WD-XRF (fig. 82). Il s'agit pour ces deux pièces de scories de forge dont la composition chimique ne permet pas de tirer de conclusion sur l'origine du minerai de fer.

Synthèse

Les scories ferrugineuses ont été classées par l'étude analytique en fragments d'éponge non travaillée, fragments d'éponge travaillée et déchets peu élaborés, en fonction notamment de leur degré de déformation plastique. Elles se composent, pour la moitié des échantillons pris en compte, uniquement de métal, l'autre moitié étant également constituée d'une plus ou moins grande quantité de scorie. Il est difficile de définir de manière macroscopique si une scorie s'est formée lors de la réduction ou lors des travaux de postréduction. La frontière entre les déchets peu élaborés, faisant partie de la catégorie des scories ferrugineuses, et les déchets élaborés (déchets de forge) est subtile et se fait une fois de plus au niveau analytique, les premiers contenant d'avantage d'inclusions de scories non déformées ainsi que de «vides». Le métal contenu dans les éponges travaillées ainsi que dans les déchets peu élaborés comporte partiellement des fissures témoignant d'un travail de déformation raté.

La présence de nombreux vides et d'inclusions de scories non déformées, de même que la présence de charbon de bois non brûlé, est caractéristique des éponges de fer. Les scories ferrugineuses, sur cette base, sont donc constituées de fragments d'éponges de fer ou de métal, perdus ou éliminés au cours des premières phases de transformation des éponges de fer.

Le métal présent dans les scories ferrugineuses se compose d'acier dans 56 % des cas. Pour 11 % il s'agit de fonte et, pour les 33 % restant, de fer. On observe également que plus les scories ferrugineuses sont élaborées, moins il y a de carbone, ce qui mène à la conclusion que les fragments riches en carbone et en fonte n'ont subi aucune déformation plastique.

Sur ces bases, il est possible de considérer que les scories ferrugineuses composées uniquement de métal sont des fragments d'éponges de fer. Lorsqu'il y a présence de scorie, il peut s'agir soit d'éponges de fer pauvres en métal, soit de fragments de scories de raffinage ou de forgeage renfermant des inclusions de métal.

On observe sur un grand nombre de scories ferrugineuses des défauts de production comme une trop faible teneur en métal, une forte proportion en inclusions – d'où leur fragilité à chaud – ou encore une teneur très élevée en carbone. Ce matériel défectueux a donc certainement été éliminé de la chaîne opératoire.

3.4 Les autres catégories

3.4.1 Les battitures

Catalogue 71 à 80

Aspects morphologiques

Le site de Develier-Courtételle comporte, comme on l'a vu, la présence simultanée des travaux de raffinage et de forgeage. Lors de ces opérations, le martelage entraîne la fragmentation de la pellicule d'oxydes de fer qui se forme à la surface du fer chaud au contact de l'air. Les petits fragments ainsi obtenus, appelés battitures, sont alors projetés dans l'aire de forge. Leur présence dans une structure indique donc qu'un martelage à chaud du fer y a été effectué, ou du moins à proximité (fig. 84-85).

Il est très difficile d'estimer le nombre de ces minuscules déchets, de même que leur poids. Etant donné leur très petite taille, de l'ordre du millimètre, seul un prélèvement de sédiments dans les structures liées au travail du fer était envisageable afin d'en évaluer la quantité.

Après passage aux tamis de maille de 2 puis 1 mm, les sédiments ont été triés à l'aimant afin d'en sortir les battitures; une quantification et un pesage systématique ont alors été effectués. La faible quantité et la petite taille de ces déchets n'ont pas permis d'en donner une interprétation quantitative valable.



Fig. 84 Battitures. A gauche, battitures globulaires; à droite, battitures lamellaires.



Fig. 85 Battitures. A gauche, battitures rouillées; à droite, battitures scoriacées.

Cat.	Type	Phases minérales
73	lamellaires fines	oxydes de fer massifs
75	lamellaires fines	wu, ma / oxydes de fer massifs
71	lamellaires	*quartz, wu, ma, fa
72	lamellaires épaisses	fa, ma, wu / oxydes de fer massifs
74	lamellaires épaisses	**fa, ma, wu / wu, ma / oxydes de fer massifs
79	rouillées	agglomérat (charbon de bois, quartz, battitures lamellaires et globulaires)
80	scoriacées	**fa, ma, wu
78	globulaires	**wu, ma / fa, wu, ma
77	globulaires	fa, wu, ma / wu, ma / ma
76	globulaires	wu, ma / ma

Fig. 86 Phases minérales des battitures types examinées (*déterminé par XRD, **analyses par microsonde électronique, annexe 4). Caractères gras: phases dominantes. fa: fayalite; wu: wustite; ma: matrice vitreuse.

Un des premiers constats à l'œil nu ou à la binoculaire est qu'il n'y a pas un seul et unique type de battitures mais au moins deux groupes principaux, très réactifs à l'aimant: les battitures lamellaires, petits fragments de métal plus ou moins plats, et les battitures globulaires, en forme de petites gouttes creuses. Deux autres types moins bien représentés ont encore été identifiés: les battitures scoriacées et les battitures rouillées.

Résultats analytiques

Les différences morphologiques des battitures correspondent à des caractéristiques chimiques et minéralogiques distinctes (fig. 86-87). Alors que les battitures lamellaires sont souvent formées exclusivement d'oxydes de fer, les battitures globulaires et les battitures scoriacées sont le plus souvent formées d'une matrice vitreuse riche en fayalite et en wustite qui renferme des cristaux isolés d'hercynite. Les battitures rouillées sont par contre des conglomérats formés à partir de battitures et de matériaux utilisés pour le forgeage (charbon de bois, quartz).

Sur le plan chimique, les battitures appartiennent aux matériaux les plus riches en fer parmi ceux examinés (fig. 10a). Ceci s'explique par le simple fait qu'elles proviennent directement des pertes au feu du métal durant le forgeage. D'où également une teneur moindre en potassium et en calcium que dans les calottes examinées (fig. 10c), car le charbon de bois ne participe pas à ce processus.

Les battitures globulaires peuvent se former de deux manières:

- lors du soudage, à partir du métal et de fondants en cours de forgeage;
- lors du raffinage ou de l'élimination des restes de scories des éponges de fer.

Si les battitures globulaires se forment lors du forgeage à partir de fondants tels que le sable, l'argile ou la limaille de fer, leur composition chimique est logiquement influencée par ces matériaux. Par contre, si elles se forment lors du raffinage, c'est alors la scorie de réduction qui influence leur composition. Les battitures examinées ici renferment davantage d'aluminium que la majorité des calottes (fig. 10b), toutefois leur teneur en vanadium n'est supérieure à celle du chrome que dans quelques cas (fig. 10d). La composition chimique des battitures scoriacées correspond à celle des battitures globulaires.

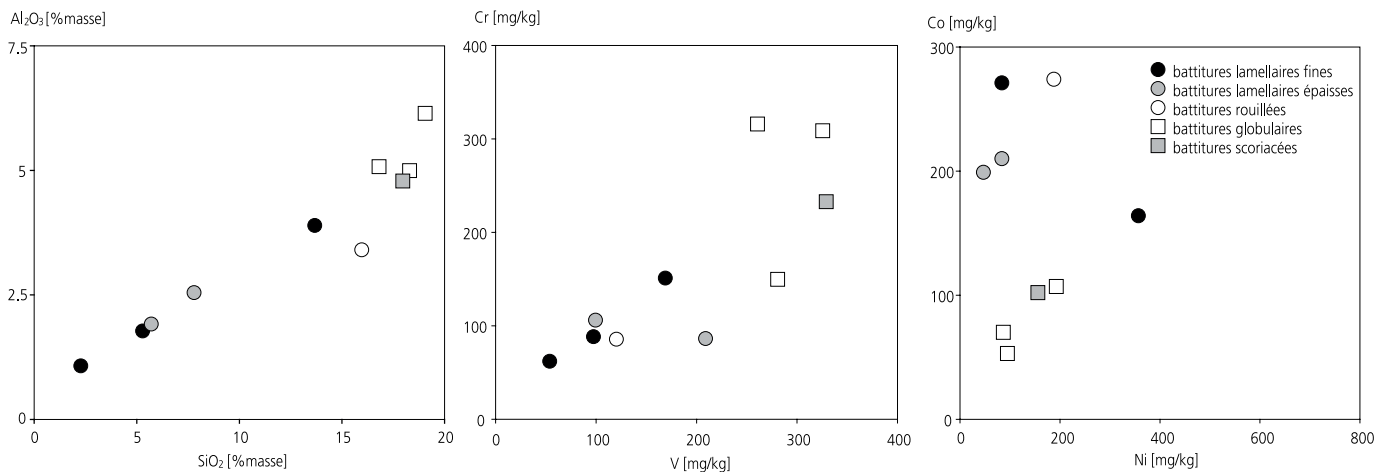


Fig. 87 Caractéristiques chimiques des différents groupes de battitures. Bien que pratiquement tous les groupes de battitures soient riches en aluminium (exception: battitures rouillées), le vanadium et le chrome ne dominent que dans quelques groupes, indiquant que du matériau argilo-sableux a exercé une influence notable sur la composition chimique de ces battitures. La distribution des éléments nickel et cobalt, typiques du métal dans les battitures, ne correspond pas à celle relevée dans les scories ferrugineuses. Ce qui frappe, c'est que près de la moitié des battitures renferme davantage de cobalt que de nickel.

Les battitures lamellaires fines à grossières examinées sont plus riches en fer que les battitures globulaires (fig. 86). On constate dans un seul cas une nette influence de la scorie de réduction sur la formation de battitures lamellaires grossières. Sur le plan chimique, les battitures rouillées sont nettement apparentées aux battitures lamellaires.

En plus du fer, les battitures contiennent également des éléments traces typiques du métal, tels que le nickel et le cobalt. D'une manière étonnante, près de la moitié des battitures renferme davantage de cobalt que de nickel, ce qui ne correspond absolument pas à la composition, riche en nickel, du métal des scories ferrugineuses (chap. 3.3.2). De même, les analyses effectuées sur des déchets de forge expérimentaux (Serneels et Crew 1997, p. 79) montrent que les battitures connaissent normalement un enrichissement en nickel et en arsenic, au détriment du cobalt. De nombreuses calottes contiennent également davantage de cobalt que de nickel. Cela s'explique par le rôle joué par la paroi du bas foyer dans leur formation, rôle qu'elle ne joue évidemment pas dans la formation des battitures scoriacées et rouillées. L'origine de la teneur élevée en cobalt demeure inexpliquée.

3.4.2 Les scories d'aspect coulé

Problématique

D'un point de vue archéologique – et ceci dès les débuts de l'étude du mobilier métallurgique – il a fallu s'interroger sur la présence de cette catégorie de déchets sur un site reconnu comme site de postréduction. En effet, on connaissait jusqu'alors essentiellement les scories coulées sur les ateliers de réduction, c'est-à-dire de production du fer. Plusieurs hypothèses ont été étudiées :

- les scories coulées auraient pu être amenées par l'érosion naturelle. Ceci impliquerait cependant que la zone de réduction se trouve à proximité du site, ce qui, à notre connaissance, n'est que peu probable. En effet, la réduction du minerai de fer se pratique, logiquement, de préférence à proximité des gisements, les éponges de fer étant par la suite amenées sur les sites où se déroulent les travaux de postréduction (Eschenlohr 2001).

De plus, l'érosion impliquerait une distribution spatiale spécifique, ce qui n'est pas le cas à Develier-Courtételle. L'hypothèse a dès lors été écartée ;

- les scories coulées auraient été amenées sur le site « accidentellement » lors du transport des éponges, et proviendraient du site de réduction. Cependant, de par leur nombre élevé, cette hypothèse n'est pas réaliste ;
- elles auraient également pu être amenées volontairement depuis le site de réduction, et ce pour diverses raisons : remblais, assainissement de surfaces, dégraissants, fondant lors des opérations métallurgiques. Cette hypothèse n'a pas pu être étayée par une quelconque observation (chap. 6) ;
- les scories coulées présentes sur le site de Develier-Courtételle, associées aux autres catégories de déchets, se seraient formées lors du travail de postréduction et non lors de la réduction. Les deux types de scories coulées ne résulteraient donc pas d'un même processus de travail, malgré leur similitude morphologique. Les analyses chimiques et minéralogiques, ainsi qu'une étude fine de la répartition, doivent alors apporter des éléments susceptibles d'éclaircir la question, en mettant en évidence des différences chimiques ou la présence de différents oxydes de fer.

Aspects morphologiques

Les 12 469 fragments regroupés dans cette catégorie de scories dites « d'aspect coulé » représentent 12 390 pièces individuelles pour un poids total de 86,7 kg (fig. 30). La divergence de pourcentage entre nombre et poids total indique la très petite taille moyenne de cette catégorie de déchets (± 7 g) comparée à celle des calottes (± 84 g). Les scories d'aspect coulé sont facilement identifiables : leur surface, légèrement bombée, est noire, lisse et brillante tandis que leur face inférieure, plus ou moins plane, porte en creux les empreintes des matériaux sur lesquels le liquide s'est écoulé puis solidifié (fig. 88). C'est de cette dernière caractéristique que découle leur appellation. Elles ne réagissent pas ou que très rarement à l'aimant.

Comme déjà vu, on parle également de scories coulées dans le contexte de la réduction du minerai de fer, ces dernières s'écoulant hors du bas fourneau. A l'œil nu, il est difficile de faire la



Fig. 88 Scories d'aspect coulé.

distinction entre une scorie coulée, résidu de la phase de production, et une scorie dont l'aspect est également coulé, mais issue de la phase de transformation et d'élaboration du métal.

A Develier-Courtételle, c'est surtout la proportion de scories d'aspect coulé par rapport aux autres catégories – notamment les scories en forme de calotte – qui permet d'exclure, sans avoir recours à des analyses, que ces scories puissent être les déchets de la phase productive. Sur les sites de réduction, les scories coulées constituent le déchet type et l'écrasante majorité de tous les résidus; sur un site intact, même de petites dimensions, les quantités rencontrées de scories coulées sont de l'ordre d'une à plusieurs tonnes (Eschenlohr et Serneels 1991). Dans le cas d'un atelier de postréduction, même quand il est de l'importance de celui de Develier-Courtételle, cette catégorie de déchet en est une parmi d'autres et nettement minoritaire par rapport au déchet type constitué, dans le cas présent, par les calottes (3667 kg conservés à Develier-Courtételle). On n'en rencontre alors que quelques dizaines de kilogrammes au maximum, précisément 86,7 kg sur le site étudié. Cette approche quantitative simple devrait dans tous les cas constituer la première démarche archéologique face à des déchets métallurgiques provenant d'un ensemble bien défini

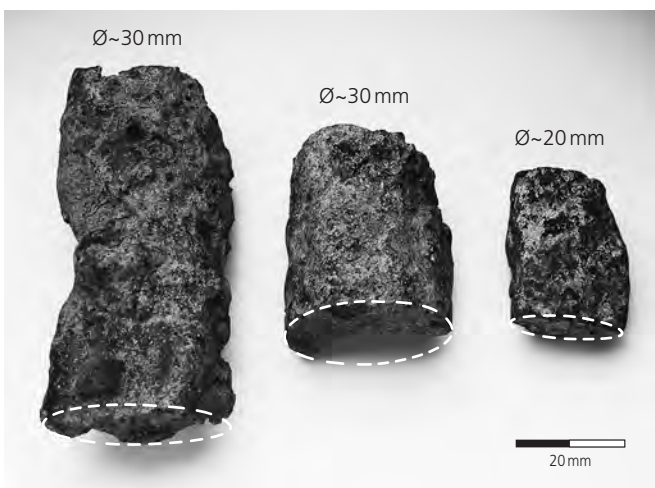


Fig. 89 Scories d'aspect coulé en forme de tuyaux.

Composants	Develier-Courtételle scories d'aspect coulé	Boécourt, Les Boulies scories coulées
FeO _{tot}	66	52
SiO ₂	27	27
Al ₂ O ₃	7	21
CaO	5	2
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,9	1,3

Fig. 90 Comparaison de la composition chimique des scories d'aspect coulé de Develier-Courtételle avec celle des scories coulées de l'atelier de réduction de Boécourt, Les Boulies (composition moyenne calculée à partir des valeurs, annexe 2 et Eschenlohr et Serneels 1991, p. 81). Valeurs normées à 100 pour la somme de FeO + SiO₂ + Al₂O₃.

dans l'espace et dans le temps. Enfin, il convient de rappeler que dans la filière directe, lors des deux étapes principales de la chaîne opératoire – soit la réduction suivie de la postréduction – il est nécessaire de séparer le métal de la scorie en liquéfiant cette dernière. Ceci implique que parmi les déchets de chacune de ces étapes peuvent se trouver des pièces présentant un aspect coulé. Dans le corpus qui nous intéresse, on observe cette fluidification de la scorie, outre les scories d'aspect coulé, sur de très nombreuses calottes, et notamment sur les calottes fluides, les calottes avec quille et à partir de tuyaux localisés à l'extrémité ou sur la face inférieure de certaines calottes (fig. 35).

Seuls 49 fragments se distinguent par leur morphologie en forme de tuyau (fig. 89). S'ils ne représentent que 0,3% de tous les fragments attribués aux scories d'aspect coulé, leur poids moyen (36 g) est cinq fois supérieur à celui d'une scorie ordinaire de cette catégorie. En plus de ces fragments en forme de tuyau enregistrés individuellement, il faut encore mentionner la présence de 33 tuyaux ou amorces de tuyau sur des calottes, dont trois avec quille. L'origine de la morphologie en tuyau peut s'expliquer par un écoulement de la scorie liquéfiée dans une sorte de canal. Toutefois, en l'absence de tout indice concret dans les bas foyers étudiés, il n'est pas possible d'étayer davantage cette hypothèse.

Résultats analytiques

Sept scories du type « aspect coulé » ont été analysées. Ces scories étant généralement très petites, il a fallu parfois broyer ensemble plusieurs fragments du même complexe pour obtenir la quantité de poudre nécessaire à l'analyse.

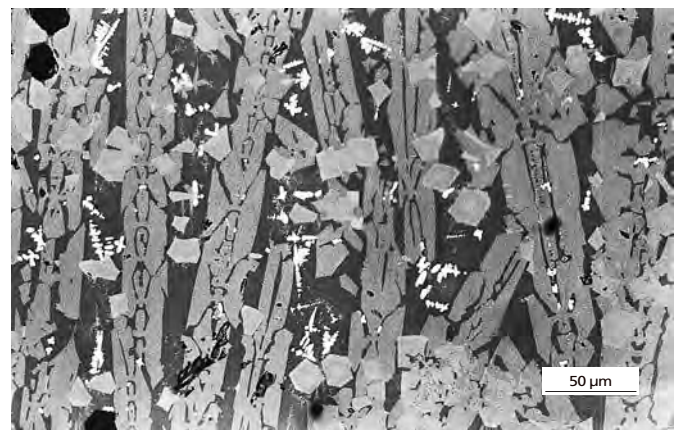


Fig. 91 Phases minérales des scories d'aspect coulé: dendrites de wustite et spinelles zonés (hercynite) sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse.

Inv.	Olivine	Wustite	Matrice	Spinnelle
	%	%	%	%
CTT994/58359TI	40	20	35	1-5
CTT994/58361TI	60	30	10	
CTT994/58357TI	40-50	3-7	40-50	3-7
CTT994/58362TI	60	5	25	10
CTT994/58354TI	60	20	20	

Fig. 92 Composition minéralogique de cinq scories d'aspect coulé (estimation visuelle).

Ces scories présentent, à une exception près, une composition chimique relativement homogène (fig. 90 et annexe 2; exception CTT003). Comme le montrent les figures 10 et 11, elles se sont formées à partir de scorie de réduction (teneurs accrues en Al_2O_3 , V et Cr), de cendre de charbon de bois (teneurs élevées en CaO et K_2O) et de métal oxydé (teneur en FeO identique ou légèrement plus élevée que celle du minerai). La paroi du bas foyer, qui a une teneur en baryum plus haute, ne joue probablement aucun rôle dans leur formation, bien que les deux présentent une teneur élevée en rubidium (chap. 3.4.4.1). Elles renferment nettement moins de Al_2O_3 que les scories de réduction (fig. 90). Cette différence peut s'expliquer par une nouvelle fusion partielle de la scorie de réduction contenue dans l'éponge.

Cinq autres scories d'aspect coulé ont été soumises à un examen minéralogique. Comme pour les calottes, la phase minérale dominante, en plus de la wustite, est la fayalite (fig. 91-92). La moitié des scories examinées contient des spinelles. La composition chimique du spinelle est proche de celle de l'hercynite (annexe 4). Celle des phases minérales diffère de la majorité des scories de réduction de Boécourt, Les Boulies (Eschenlohr et Sermeels 1991, p. 80-84) par la présence de wustite. L'absence de leucite ressort également dans les phases des scories d'aspect coulé, alors qu'elle est le plus souvent présente dans les calottes (cf. *supra*). La teneur en potassium de ces scories n'est cependant pas inférieure à celle des calottes (fig. 10c). Le potassium est ici lié dans la phase vitreuse (annexe 4) et la formation de leucite dépend donc encore d'autres facteurs que de la teneur en potassium de la scorie. La teneur élevée en rubidium des scories d'aspect coulé est d'origine inconnue et ne peut être mise en relation avec la teneur élevée en rubidium des parois sablo-argileuses (chap. 3.4.4).

De par leur composition chimique homogène, les scories d'aspect coulé sont les témoins d'une opération métallurgique bien précise et entreprise dans des conditions invariables. La participation de la scorie de réduction à leur formation, en plus de celle de sable et de cendre de charbon de bois, indique qu'il doit s'agir du raffinage d'éponges de fer, avant tout afin d'en éliminer la scorie.

Des scories de morphologie similaire, interprétées elles aussi comme scories de raffinage, ont été découvertes dans un atelier de forge du Bas Moyen Age à Wissenbach, en Allemagne (Kronz 1997, p. 191). Leur composition minéralogique (fayalite, spinelle, leucite, rhönite et matrice vitreuse) diffère toutefois fortement des éléments décrits ci-dessus.

3.4.3 Le minerai

À Develier-Courtételle, site exclusivement consacré à la post-réduction, où la réduction du minerai de fer n'a jamais été menée (chap. 2.1), le minerai ne joue donc qu'un rôle mineur du point de vue quantitatif.

Quelques pisolithes (fig. 93), totalisant un poids d'environ 1,1 kg, ont été retrouvées sur le site. Ces dernières ne semblent avoir subi aucun traitement thermique (grillage, réduction incomplète en association avec l'éponge de fer, etc.). 35 g ont été retrouvés dans une seule et unique structure – le foyer 27 – dont la fonction reste tout autant énigmatique que la présence du minerai (CAJ 13, chap. 8.5.3; CAJ 14, chap. 6).

L'utilisation de ce matériau en guise d'amulette, démontrée sur d'autres sites (Herdick 2001), ne peut être étayée ici. On connaît, au Haut Moyen Age, quelques exemples de pisolithes retrouvées en contexte funéraire, en tant qu'offrande (Stoll 1939).

Pour des époques plus anciennes, on peut également évoquer la présence, dans une urne funéraire de l'Age du Bronze retrouvée à Delémont, En La Pran (Pousaz et al. 2003, p. 10-11), de deux pisolithes d'un diamètre de 6 mm environ faisant partie du dépôt au même titre que d'autres offrandes d'objets en bronze ou de restes animaux. L'usage des pisolithes comme minerai n'étant à cette époque pas encore connu, on suppose que leur présence revêtait alors une toute autre signification.

Deux échantillons de minerai, formés exclusivement de pisolithes, ont été soumis à une analyse chimique. Leur composition correspond à la moyenne du minerai pisolithique jurassien mais présente toutefois des teneurs très élevées en chrome (Eschenlohr 2001, p. 27-34). Le rapport Si-Al peu élevé (0,8) est semblable à celui des minerais pisolithiques du bassin de Delémont, et leur forte teneur en arsenic et en nickel (As 0,05-0,1 % masse, Ni 0,04 % masse) est typique des minerais du Val Terbi et de Glovelier.

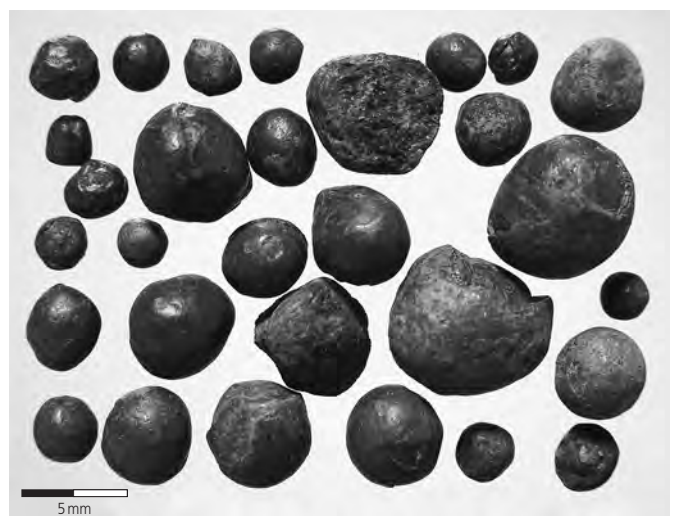


Fig. 93 Minerai pisolithique retrouvé à l'intérieur du foyer 27 de la zone d'activité 3.

3.4.4 Les éléments de construction

Sur les 22 648 fragments regroupés dans la catégorie des éléments de construction, on distingue 22 547 fragments de paroi et 101 fragments de tuile scorifiée. Leur poids total est de 221,5 kg (fig. 30).

3.4.4.1 Parois

Lorsque l'on parle de fragments de paroi (fig. 94), il s'agit d'éléments composés en majorité de matériau sablo-argileux provenant de la construction des bas foyers (CAJ 13, chap. 17.4). Ce matériau est généralement plus ou moins scorifié sur sa face exposée au feu. Celle-ci a fondu et présente un aspect vitreux, tandis que l'autre face a gardé un aspect granuleux. L'observation à l'œil nu indique la prédominance du sable. Cette composition est typique pour tous les éléments de paroi provenant des sites sidérurgiques jurassiens, à l'exception de certains sites localisés en Ajoie où la composante argileuse prédomine¹². Il a été démontré que cette composante majoritairement sableuse avait son rôle à jouer lors de l'opération de réduction, en compensation d'un minerai dont la gangue est plus argileuse (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 101). Il est donc fort probable que, dans le Jura, ce mélange éprouvé a également été appliqué dans le cas de la postréduction. Les données analytiques issues d'un contexte romain de postréduction (Lausanne, Vidy) et d'un site de réduction daté du Haut Moyen Age (Romainmôtier, Les Bellaires) dans le canton de Vaud confortent notre hypothèse de travail (fig. 95).

La couleur de ces fragments va du rose foncé au bleu gris, selon leur exposition à la chaleur. De faible poids, ce matériel est très fragmenté, et chaque pièce pèse en moyenne à peine 10 g. Les parois scorifiées totalisent 211 kg pour l'ensemble du site.

Bien qu'aucune structure liée au travail du fer n'ait été retrouvée intacte, on suppose que lors de la construction d'un bas foyer, on tapissait les bords avec un mélange de sable et d'argile qui se solidifiait ensuite avec la chaleur. Des traces de parois sablo-argileuses ayant subsisté sur un grand nombre de calottes (4158 fragments), le plus souvent sur un des côtés mais très rarement sur la face inférieure, renforcent cette hypothèse (chap. 3.2.1). Il est également probable qu'un petit rebord a été construit autour

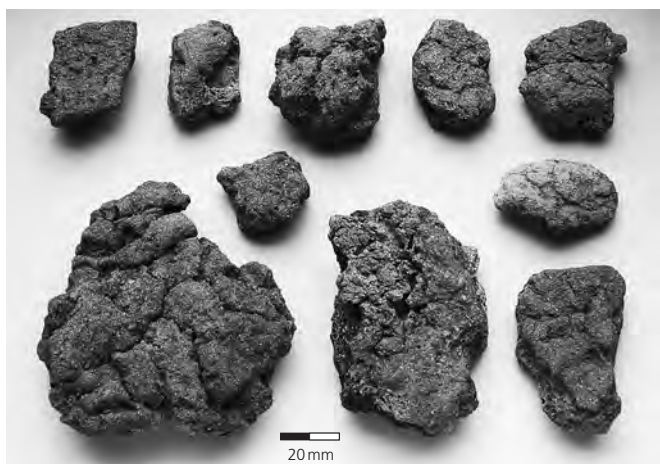


Fig. 94 Fragments de paroi de bas foyer, faces non exposées au feu.

Site	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Type	Bibliographie
Romainmôtier, Bellaires, bolus	22,7	10,6	formation naturelle, gangue du minerai	Serneels 1993
Romainmôtier, Bellaires, paroi	48,2	11,9	bas fourneau, Haut Moyen Age	Serneels 1993
Boécourt, Les Boulies, bolus	40,3	25,3	formation naturelle, gangue du minerai	Eschenlohr et Serneels 1991
Boécourt, Les Boulies, paroi	80,2	9,8	bas fourneau, Haut Moyen Age	
Develier-Courtételle, paroi	70,5	11,2	forge, Haut Moyen Age	Annexe 2
Lausanne, Vidy, paroi	36,9	6,0	forge, Epoque romaine	Serneels 1993
Liestal, Röserntal, paroi	70,6	10,2	bas fourneau ou forge, Haut Moyen Age	Serneels 1995
Zoug, ville, paroi	72,4	8,8	forge, Moyen Age?	Senn 1998

Fig. 95 Comparaison de la teneur moyenne en SiO₂ et en Al₂O₃ de bolus et de parois provenant de différents sites caractéristiques.

du foyer afin de se protéger de la chaleur. Parfois, on observe ce que l'on a appelé des « parois doubles » : il s'agit certainement de traces de rechapage du bas foyer.

On observe sur 74 fragments de paroi et sur une dizaine de calottes une trace arrondie aux bords légèrement scorifiés : il s'agit du trou par lequel on insufflait de l'air dans le bas foyer à l'aide du soufflet. Quarante-deux parois à trou de soufflet ont été enregistrées de façon individuelle. Elles totalisent 2075 g, ce qui représente une moyenne de 50 g par pièce. Comme la zone autour du trou de soufflet est en général particulièrement scorifiée, ces parois spécifiques présentent un meilleur état de conservation et leurs dimensions moyennes sont de ce fait plus élevées que celles du solde des fragments (< 10 g par pièce). Toutefois, aucun de ces trous n'est conservé dans son intégralité, leur conservation ne dépassant guère le quart du diamètre. L'estimation de ce dernier s'avère de ce fait difficile : sur les exemples présentés, il oscille entre 1 et 7 cm (fig. 96).

Des essais de remontage par structures ou par zones ont été effectués dans le but de reconstituer les superstructures des foyers. Ces essais se sont révélés trop fastidieux, la fragmentation extrême ainsi que l'érosion ayant rendu l'opération très difficile.

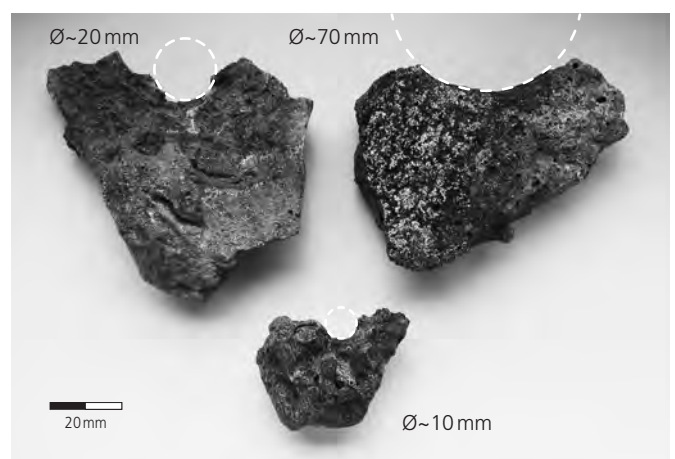


Fig. 96 Fragments de paroi avec amorce de trou de soufflet, faces exposées au feu.

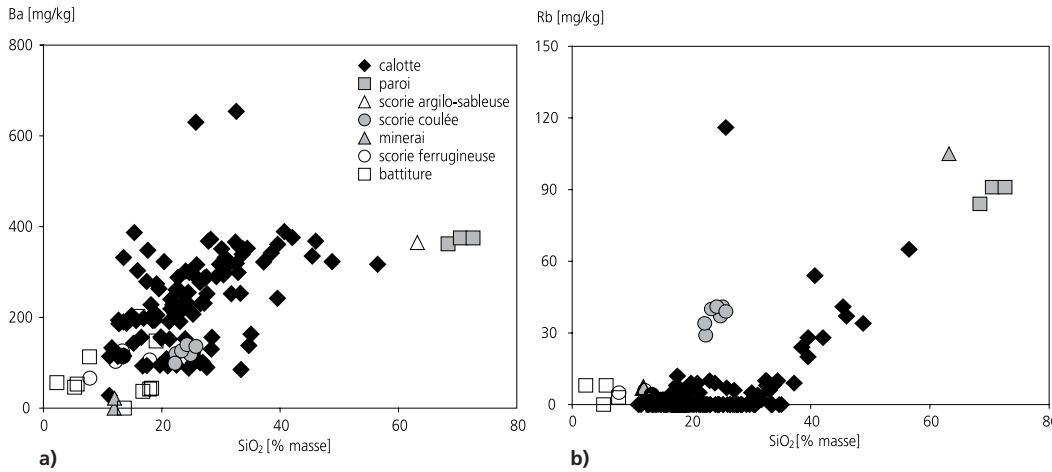


Fig. 97 Rapport entre deux éléments traces typiques des fragments de paroi de foyer (Ba et Rb) et l'élément majeur SiO₂.

La répartition spatiale devrait également apporter des informations quant à la présence éventuelle de zones de rejet de parois à proximité des aires de travail, témoins du nettoyage du bas foyer après son utilisation (chap. 6). On ignore toutefois la fréquence du nettoyage du foyer et de la rénovation de ses parois réfractaires. Seul le fond de ces structures a été conservé, aucune trace de paroi sablo-argileuse n'y a été observée. En général, le revêtement n'a dû être appliqué que sur la partie supérieure de la cuvette du bas foyer (fig. 32). Cette hypothèse est également appuyée par la présence de ce revêtement sur la partie proximale d'un certain nombre de calottes (chap. 3.2.1). Toutefois, la présence de ce revêtement sur la face inférieure de quelques rares calottes laisse entrevoir qu'il pouvait également être appliqué ponctuellement dans le fond des foyers.

Quatre fragments de paroi de foyer ont été analysés par WD-XRF (annexe 2). L'un d'eux était fortement scorifié et a ainsi été classé comme scorie argilo-sableuse (SAS) selon la nomenclature de V. Semeels (1993, p. 173; fig. 40).

Le baryum et le rubidium représentent les éléments traces typiques des fragments de paroi de foyer, dont la teneur élevée se retrouve également dans les strates SAS des calottes avec vitrification et des calottes avec bourrelet (fig. 64 et 97b).

Les fragments de paroi de foyer sont riches en SiO₂ (fig. 10a et 11a). Ils renferment des oxydes de fer, de l'aluminium ainsi que du potassium comme composants secondaires (fig. 40). Les éléments traces dominants diffèrent de ceux du minerai et des scories. Ainsi le rubidium, de même que le baryum, n'apparaissent qu'avec des teneurs extrêmement basses dans les scories (fig. 97), sauf dans les calottes avec vitrification et les calottes avec bourrelet où ils témoignent de l'influence de la paroi dans leur formation. Par contre, on retrouve dans les fragments de paroi des éléments traces typiques des scories tels que le vanadium, le chrome, le nickel et le cobalt. Le chrome y est toujours présent en concentrations plus élevées que le vanadium, alors que c'est le contraire pour le minerai et les scories de réduction du district métallurgique jurassien. Un exemplaire de SAS examiné présente, par rapport à la paroi, des teneurs plus riches en éléments typiques du charbon de bois (Ca, K et Sr) et moins riches en certains éléments traces typiques des scories (Cr et Co) (fig. 40).

3.4.4.2 Tuiles scorifiées

Les 101 fragments de tuile retrouvés sur le site et présentant des traces de scorification pèsent 10,5 kg. Il s'agit certainement d'une réutilisation de tuiles gallo-romaines récupérées sur le site voisin de la villa gallo-romaine de Delevier (CAJ 13, chap. 16). Le poids moyen d'un fragment de tuile équivaut à une centaine de grammes environ, nettement supérieur à celui d'un fragment de paroi scorifié. Les tuiles qui présentent des traces plus ou moins importantes de métal oxydé (27 pièces) se retrouvent toujours dans les zones d'activité liées au travail du fer. Il en va de même pour une large majorité de fragments de tuiles portant des traces de scorification mais sans présence évidente de restes métalliques (74 pièces). Dans le premier cas, certaines pièces sont couplées avec un fragment de calotte.

Une réutilisation de tuiles en tant qu'élément constructif intégré dans le revêtement d'une structure de combustion est par ailleurs bien connue, comme l'a démontrée, par exemple, l'étude de l'atelier de production de Boécourt, Les Boulies (Eschenlohr et Semeels 1991, p. 91; fig. 98).

Un certain nombre de tuiles sans traces de scorification ou de métal pourraient également avoir fait partie d'un muret de protection d'une structure de combustion. Comme ce genre de pièces se trouve toutefois également en contexte d'habitat et que la séparation n'est pas toujours évidente, l'attribution fonctionnelle de chaque fragment de tuile ne peut être faite de façon définitive (CAJ 13, chap. 16.2).



Fig. 98 Fragment de tuile prise dans la paroi sableuse (face inférieure d'une calotte).

3.5 Définition du métal local de Develier-Courtételle

Les 33 scories ferrugineuses et les 15 déchets de forge analysés renferment les matières premières à partir desquelles les produits locaux ont été fabriqués : ils peuvent donc servir à former un groupe de référence pour le site de Develier-Courtételle. Il faut toutefois vérifier si les déchets de forge sont bien formés du même matériau que les scories ferrugineuses, car il est possible que la composition chimique se modifie légèrement au cours de l'élaboration des objets, ou que parmi eux se trouvent des déchets de forge provenant de matériaux exogènes (échangés ou achetés) et donc de composition chimique différente. Quelques objets plus récents peuvent aussi avoir été assimilés aux pièces analysées. Ces problèmes concernent avant tout les déchets de récupération, qui ont donc été traités en tant que groupe particulier et non intégrés dans le groupe de référence.

Les données d'analyse chimique des deux groupes de matériau présentent une dispersion relativement élevée. Afin de pouvoir évaluer ces données selon des critères unitaires, celles-ci ont été soumises à une analyse statistique. Pour toutes les variables, auxquelles appartiennent aussi, aux côtés des éléments mesurés, la teneur en carbone et le rapport très constant nickel/cobalt, des graphiques « en boîte à moustaches » ont été établis, en indiquant également les valeurs aberrantes et les valeurs extrêmes (fig. 99). Le vanadium et le chrome n'ont pas été pris en considération car leurs teneurs sont souvent inférieures à la limite de détection. La scorie ferrugineuse cat. 57 a été exclue de cette analyse, à cause de sa teneur extrême en arsenic. Subsistent donc 32 scories ferrugineuses et 15 déchets de forge – équivalant à 50 analyses – comme base du groupe de référence.

L'analyse statistique exclut dix scories ferrugineuses (cat. 26, 33, 35, 37, 40, 42, 48, 57, 59 et 61) et cinq déchets de forge (cat. 81, 111, 135, 157 et 160). Ces objets ont soit une histoire thermique différente (par ex. fonte), soit une origine différente (par ex. cat. 35, chap. 3.5.1). Ce sont donc 34 analyses effectuées sur 33 pièces en fer ou comportant des strates de fer qui constituent au final le groupe de référence. Une exploitation statistique plus approfondie des données n'est pas possible, ces dernières variant

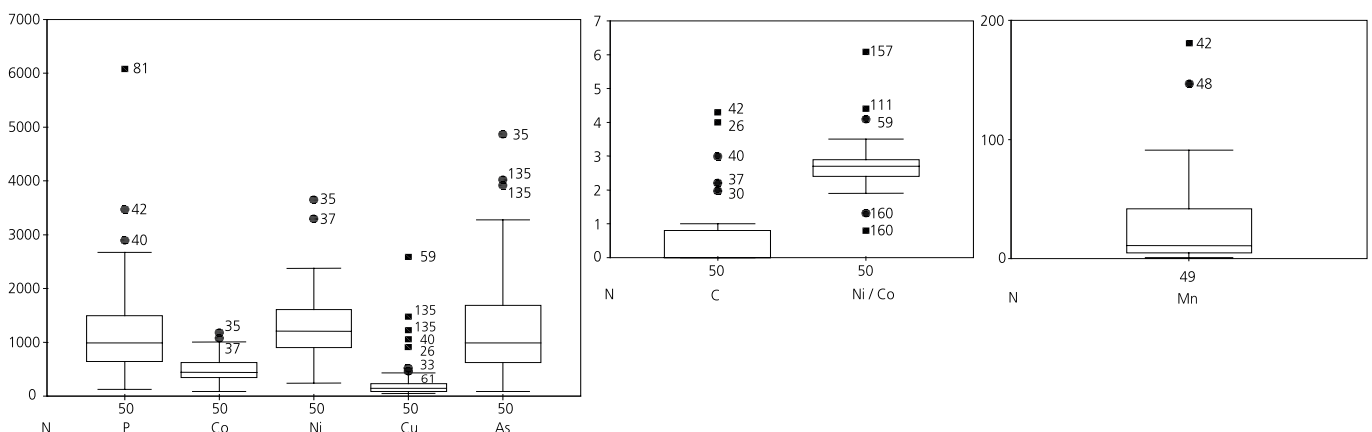


Fig. 99 Analyse statistique à l'aide d'une boîte à moustaches montrant les objets (scories ferrugineuses et déchets de forge) avec une composition chimique extrême ou déviante.

	Mn	P	Co	Ni	Cu	As	Ni/Co
Médiane (mg/kg)	20	1200	500	1300	140	1200	3
Ecart type (mg/kg)	25	659	213	517	94	571	0,3
Ecart type relatif (%)	110	55	42	40	66	48	13

Fig. 100 Composition moyenne du métal du groupe de référence Develier-Courtételle. Les écarts type et les écarts type relatifs définissent le cadre dans lequel la composition du métal typique local peut varier.

trop fortement (fig. 100). L'analyse des données concernant les déchets de récupération indique qu'aucun d'entre eux n'est de composition similaire au groupe de référence (chap. 3.3.1).

Le groupe de référence établi permet de définir une composition moyenne, ainsi qu'une étendue de la variation du métal élaboré à Develier-Courtételle (fig. 100). La valeur la plus constante est le rapport Ni/Co qui est proche de 3. La valeur du manganèse n'est pas utilisable, car elle varie trop fortement. Le métal qui a été travaillé préférentiellement à Develier-Courtételle est riche en phosphore, nickel et arsenic.

Il convient de relever le fait que la composition chimique du métal contenu dans les scories, notamment les calottes, ne correspond pas à celle du métal travaillé, c'est-à-dire des scories ferrugineuses ou des déchets métalliques. En effet, dans les scories le métal est plutôt pauvre en phosphore (fig. 101). Les autres différences sont non systématiques : il y a des valeurs trop basses et d'autres trop élevées. Un début d'explication peut être tenté, si l'on s'interroge sur ce qui se passe lorsqu'un morceau de métal tombe dans la scorie liquide située dans le foyer de forge :

- il est exposé à des conditions oxydantes qui peuvent aller jusqu'à celles connues lors de l'affinage ;
- lors de l'affinage, certains éléments sortent du métal : silice, carbone, manganèse, phosphore. Dans deux cas (cat. 9 et 17), c'est seulement la teneur en phosphore qui est plus basse que dans le métal dit d'origine locale : il est donc imaginable qu'un processus similaire à l'affinage se soit déroulé ;
- une surchauffe ou un recuit prolongé entraîne des changements dans la composition chimique ; tandis que la teneur en phosphore diminue, celle en arsenic, en cobalt et en nickel augmente, jusqu'à doubler (Senn 2005, p. 49). Le nickel s'enrichit d'avantage que le cobalt : le rapport Ni/Co s'accroît donc ; ceci pourrait éventuellement expliquer la composition des cat. 7, 8 et 20 ;

Type	N° d'analyse	Cat.	Mn ppm	P ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm	As ppm	Ni/Co ppm	C % est.
AP	DEV54641	1	14	192	96	495	131	1061	5,1	0,8
AP	DEV66a	7	7	115	1330	2811	284	2793	2,4	0,55
DP	DEV1190	8	5	1428	836	2275	450	4638	2,9	0,15
DP	DEV994/1525	9	10	35	965	1857	188	1232	1,9	0,7
DP	DEV700	10	6	225	434	918	107	2476	2,1	0,8
VI	DEV994-1197B	15	6	468	53	724	63	4903	13,4	0,1
BO	CTT52838	16	8	554	85	352	825	558	4,1	0,8
BO	DEV51B	17	4	1	609	1652	116	903	2,7	0,8
CI	DEV994/50337D	20	11	120	1109	3660	255	2121	3,4	0

Fig. 101 Teneurs en éléments traces, mesurées dans le métal contenu dans quelques calottes. En gris clair, les valeurs qui se différencient du métal dit d'origine locale. En gris foncé, la seule composition qui correspond au groupe local. La teneur en carbone est estimée au microscope.

– toutefois, les teneurs basses des cat. 1, 15 et 16, combinées avec un rapport élevé Ni/Co, restent inexplicables.

Il est à présent possible de comparer la composition chimique des objets en fer décrits dans le chapitre 4 avec celle du groupe de référence, ceci afin de déterminer avec certitude les produits issus de la production locale (Senn 2002).

3.5.1 Origine du métal travaillé à Develier-Courtételle

Afin de connaître l'origine d'un métal, il faut trouver un lien entre le métal et le minerai. On connaît encore peu de choses sur les modalités de l'enrichissement des éléments traces au cours de la transformation du minerai en métal. Au cours des opérations de réduction, les éléments arsenic, cuivre, plomb, nickel, cobalt, fer et phosphore sont réduits à des températures considérées comme basses ou moyennes; le manganèse, le vanadium et le chrome sont par contre réduits à des températures élevées. Pour tous les autres éléments, la réduction s'opère à des températures très élevées.

Comme la réduction directe a le plus souvent lieu à basse température, seuls les éléments dont la réduction s'effectue dans cette fourchette de température (T° max 1350 - 1400°C) participent à la formation du métal. On sait que cet enrichissement s'effectue de manière différentielle, car les éléments concernés – à savoir le phosphore, le cobalt, le nickel, le cuivre et l'arsenic – présentent des températures de réduction nettement différentes. En ce qui concerne le phosphore, mais également le fer, cet enrichissement se produit par une fraction entre la scorie et le métal, et s'opère, soit dans l'un, soit dans l'autre. Dans la littérature, les chiffres prouvant cet enrichissement n'existent guère.

Le site de Develier-Courtételle est localisé au centre du district sidérurgique jurassien, dont l'activité a débuté au cours du Haut Moyen Age (Eschenlohr 2001, p. 143, fig. 140). Le minerai traité était exclusivement pisolithique. On trouve dans les différentes régions du Jura central des ateliers de réduction dont on ignore s'ils livraient du fer uniquement à Develier-Courtételle ou également à d'autres ateliers de forge, encore peu ou pas connus. Une éponge de fer provenant de l'atelier de réduction de Boécourt, Les Boulies, contemporain du site de Develier-Courtételle, a été analysée. La composition du minerai est connue (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 32), de même que celle d'un acier produit avec ledit minerai (Eschenlohr 2001, p. 121). De par sa composition,

l'éponge de Boécourt pourrait presque se classer parmi les pièces du groupe de référence de Develier-Courtételle, mais sa teneur en phosphore est plus élevée que celle des pièces de ce groupe (0,3% masse)¹³. Dans cette éponge de fer, le phosphore se trouve aussi sous forme de phosphures de fer incluant des sulfures de fer, signe d'un défaut de production qui empêche la déformation plastique du métal. Il est donc probable que le métal utilisable produit à Boécourt présentait en règle générale des teneurs en phosphore plus basses.

La composition des scories ferrugineuses cat. 34 et 35, de la calotte aplatie cat. 3 (chap. 3.2.3) et de deux calottes fluides (chap. 3.2.5) apporte un indice supplémentaire sur l'origine possible du métal, qui ne pouvait jusqu'ici être mise en relation qu'avec les ateliers de réduction du Grand-Val. Même si ces quelques exemples ne suffisent pas à prouver indubitablement que le métal travaillé à Develier-Courtételle a été produit à Boécourt et dans le Grand-Val, ils fournissent toutefois de bons indices plaidant en faveur de cette origine.

Il est ainsi vraisemblable que différents ateliers de réduction du district métallurgique jurassien, et parmi eux les ateliers de réduction de Boécourt et du Grand-Val, aient approvisionné Develier-Courtételle en métal. La constance de la composition chimique et surtout celle du rapport nickel/cobalt à l'intérieur des différents groupes de scories ferrugineuses indiquent qu'il n'y a pas d'autres régions d'origine, comme par exemple les sites de réduction contemporains du Mont Chemin en Valais¹⁴. La comparaison avec d'autres groupes de métal n'aboutit pas non plus à des concordances (Senn 2005). Ainsi le fer obtenu de façon expérimentale à partir du minerai du Gonzen (SG) a une composition pauvre en éléments traces, similaire à celle rencontrée au Mont Chemin, tandis que le fer de la forge de La Tène finale de Rheinau (ZH) est riche en cobalt. Par ailleurs, on connaît des types de fer riches en phosphore mais également en cuivre, qui tous se distinguent du métal de Develier-Courtételle.

Dans l'ensemble, les analyses chimiques des scories et des déchets indiquent un développement de l'étape de raffinage vers l'étape de forge. Les scories de raffinage de Boécourt, Les Boulies et de Develier-Courtételle ont une composition chimique similaire (Eschenlohr et Serneels 1991, p. 113). Toutefois, on trouve sur ce dernier site de nombreuses scories dans lesquelles le charbon de bois, ainsi que parfois la paroi du bas foyer, sont des composants importants, ce qui est typique des scories de forge.

3.6 Synthèse sur les déchets du travail du fer

Les analyses sur les scories en forme de calotte, les scories ferrugineuses et les scories d'aspect coulé démontrent que dans les forges de Develier-Courtételle une grande quantité de métal peu travaillé se perd dans les déchets. Ce métal ne comporte qu'une faible part de scorie de réduction. La grande masse de calottes indique que la postréduction est l'activité métallurgique prédominante pratiquée dans le hameau. La moitié des scories peut être attribuée au raffinage, et l'autre au forgeage. La part de scories d'aspect coulé est cependant très faible. Parmi les déchets figurent aussi les battitures. L'étude a mis les battitures globulaires en relation avec le raffinage, tandis que les battitures lamellaires sont issues du forgeage du métal.

La matière première traitée à Develier-Courtételle est le produit plus ou moins brut issu de la réduction dans le bas fourneau. A ce stade de nos connaissances, il semble très probable que l'éponge, hétérogène à la sortie du fourneau, subit un dégrossissage sommaire déjà dans l'atelier de réduction. Des indices quant à cette manière de faire existent sur le site de Boécourt, Les Boulies (Eschenlohr et Serneels 1991). Le nombre d'ateliers de réduction

en fonction dans la vallée de Delémont et les vallons qui l'entourent est important durant le Haut Moyen Age, ce qui laisse supposer un approvisionnement aisé du hameau en métal à nettoyer et à forger (Eschenlohr 2001).

Les fragments de paroi et les fragments de tuile scorifiée témoignent d'installations dans les forges. Par ailleurs, de petits morceaux métalliques – les déchets de forge – constituent un autre résidu de ces ateliers. Leur nombre est plutôt faible (103 pièces) si on le compare avec la masse des objets en fer (2007 objets; chap. 4). Ceci est probablement lié à l'état de conservation mais aussi aux conditions d'études difficiles induites par les grandes quantités de scories. On peut exclure une raison technique. Toutefois, on a réussi à identifier quelques produits probables issus de ces ateliers : clous et garnitures de ceinture qui datent du premier tiers du 7^e siècle, des outils et des couteaux. De manière étonnante, on a également recyclé du métal. Une éventuelle contemporanéité de ce recyclage avec le raffinage et le forgeage sera discutée plus loin dans le chapitre 7. Dans tous les cas, il s'agit du recyclage et de la fabrication de tôles. Cette dernière nécessite des techniques de forgeage exigeantes dans un contexte de forge artisanale.

Notes

- ¹ Pour les pièces présentant un poids supérieur à 100 g, ce dernier a été mesuré sur une balance ayant une précision à dix grammes; en dessous de 100 g, la valeur a été indiquée à cinq grammes près.
- ² La fourchette de poids est toujours basée sur le poids estimé des pièces entières. Tenir compte de la valeur à l'état fragmentaire de la pièce reflète en effet une vision faussée de la réalité.
- ³ Dans les scories de réduction du Jura central suisse, le rapport Si/Al varie entre 0,5 et 3 (Eschenlohr 2001, p. 107-114).
- ⁴ Les numéros de catalogue (cat.) et les numéros d'inventaire cantonaux (inv.) se réfèrent aux pièces présentées dans le catalogue ou en annexes.
- ⁵ Cette pièce, ainsi que le cat. 5, ont toutefois été maintenus dans le catalogue dans le type des calottes aplaties.
- ⁶ Après une l'étape préliminaire qui a permis de déterminer l'attribution des calottes, aucune classification même partielle n'a été refaite. Ceci pour des raisons de cohérence et de volume du matériel à étudier.
- ⁷ Le bourrelet et la surface sablo-argileuse contiennent en moyenne 4,4 % masse de CaO.
- ⁸ D'une manière générale, une petite minorité des calottes particulièrement peu typées peut se retrouver dans la mauvaise catégorie. Faut d'une seconde classification, rendue impossible par le seul volume des objets à traiter, ces cas douteux sont maintenus dans leur attribution première.
- ⁹ Ces deux calottes n'ayant fait l'objet d'aucune analyse ne figurent pas dans le catalogue.
- ¹⁰ Les types avec quille et dense figurent à titre indicatif.
- ¹¹ En l'absence de toute analyse effectuée sur des calottes du type avec quille, cette catégorie n'y figure pas.
- ¹² Pour le moment, ceci ne peut être affirmé que sur la base d'observations personnelles, sans complément analytique. A l'exception du relais routier d'Alle, Noir-Bois (Demarez, Othenin-Girard et al. 1999), aucun autre site de postréduction localisé en Ajoie n'a en effet encore fait l'objet d'une étude détaillée.
- ¹³ Eschenlohr 2001, p. 121. Les parties de l'éponge de fer pauvres en carbone sont notablement plus riches en phosphore (jusqu'à plus de 1 % masse). Il est donc très difficile d'estimer la teneur moyenne en phosphore du fer ou de l'acier de Boécourt et encore plus le « facteur d'enrichissement ».
- ¹⁴ Au Mont Chemin, du fer a été produit à partir de magnétite depuis la fin du 6^e jusqu'au début du 7^e siècle (Serneels et Beck 1998). La composition du fer du Mont Chemin est connue par l'analyse d'un morceau de fer de l'atelier de réduction (Mn 0,004; P 0,05; Co 0,02; Ni 0,001; Cu 0,02 et As 0,008). Le rapport Ni/Co est ici de 0,06. Ce rapport et cette composition chimique ne présentent aucune similitude avec ceux des scories riches en fer de Develier-Courtételle (Senn 2005).

4

Le mobilier en fer

Vincent Friedli

avec des contributions analytiques de Marianne Senn

4.1 Introduction

Présentation générale

Chaque élément du riche mobilier métallique révélé par les fouilles archéologiques du hameau de Develier-Courtételle – qu'il s'agisse d'une pièce caractéristique ou d'un fragment informe – contribue lui aussi à rendre un peu plus vivante l'histoire de ce site. En relation avec les aires d'habitation ou simplement abandonné dans les niveaux d'occupation du Haut Moyen Age, il souligne de nombreuses facettes de la réalité quotidienne des femmes et des hommes de cette époque. Il permet de dresser les lignes de force de leurs activités quotidiennes et d'en mieux saisir les fluctuations spatiales et temporelles.

Les méthodes de fouille et d'étude mises en place ainsi que les caractéristiques propres au site de Develier-Courtételle peuvent expliquer, dans une certaine mesure, l'importance numérique de ce mobilier. Par exemple la possibilité qui fut offerte de procéder à des fouilles extensives, l'existence bien caractérisée d'unités d'habitat et de zones à vocation spécifique, sans oublier le caractère exhaustif du prélèvement et de la restauration des trouvailles métalliques. Tous ces faits ont contribué à renforcer quantitativement et qualitativement l'intérêt de cet ensemble mobilier. L'état peu remanié du hameau de Develier-Courtételle peut donc laisser espérer la restitution d'une image assez fidèle du matériel alors en usage.

Présentation du mobilier

Le mobilier métallique du site de Develier-Courtételle se trouvait, au moment de sa découverte, dans un état de conservation généralement médiocre. Si la situation était acceptable pour le mobilier en bronze, la plupart du mobilier en fer était à peine identifiable, tant la corrosion – pouvant atteindre un centimètre d'épaisseur – et les déformations masquaient les formes et les dimensions. Il était donc quasi impossible de différencier les objets proprement dits des fragments informes ou des déchets de forge, en particulier dans les zones de travail du fer. Le traitement du mobilier ne pouvant s'effectuer parallèlement aux campagnes de fouille, un emballage hermétique des pièces a été systématisé afin de freiner au maximum l'action destructrice des sels de corrosion. Pour les mêmes raisons, le stockage s'est fait dans un local à température et hygrométrie contrôlées. Le recours à la radiographie n'a été retenu qu'à de rares exceptions, cette méthode n'apportant pas d'informations significatives lorsque l'encroûtement dû à la corrosion est trop important et lorsque l'objet n'a pas de forme suffisamment évocatrice.



Fig. 102 La plaquette verticale cat. 238 a appartenu à une garniture de ceinture à éléments multiples. Vision avant et après nettoyage. Longueur 3,4 cm.

La première étape du travail de mise en valeur de ce corpus métallique a consisté en une couverture photographique intégrale des quelque 2400 objets et fragments métalliques inventoriés. La deuxième étape, la phase de restauration proprement dite, s'est effectuée par petits lots d'objets, chaque lot comprenant entre 150 et 200 pièces. Les objets ont tout d'abord subi un séchage dans un four afin d'évacuer le maximum d'eau et de sels de corrosion. La température maintenue pendant un à deux jours n'a pas excédé 80°C. Cette température suffisamment basse n'a pas modifié la structure métallique du mobilier et n'a pu en aucun cas gêner les analyses qui ont été entreprises ou qui pourraient l'être un jour. Le nettoyage du mobilier a consisté exclusivement en un travail mécanique réalisé à la micro-sableuse pulsant des particules d'oxyde d'alumine d'une taille de 50 µm. Une conservation provisoire et réversible a consisté en une application sous vide d'une solution d'acide tannique, complétée par une application de Paraloid B72. Ce travail minutieux effectué par le restaurateur Pierre Bigler, que nous remercions très amicalement ici, a confirmé le mauvais état général du mobilier de Develier-Courtételle : un nombre considérable d'éléments étaient en effet complètement éclatés en surface et le noyau métallique d'autres avait tout simplement disparu. Mais à l'inverse, ce travail a aussi permis de révéler de nombreux objets, totalement insoupçonnés sous la corrosion. Les exemples les plus remarquables sont ceux présentant un décor gravé ou damasquiné (fig. 102). La dernière étape a concerné le conditionnement du mobilier dans des boîtes en matière plastique à l'aide d'un enrobage de mousse chimiquement neutre. Le stockage se fait actuellement dans un local à l'abri de la lumière et dont la température et l'hygrométrie sont maintenues constantes.

Le décompte des objets métalliques (fig. 103), proposé ici sous forme d'un tableau synthétique, porte sur l'intégralité du mobilier métallique découvert lors des interventions archéologiques effectuées entre 1987 et 1996 sur le site de Develier-Courtételle. Il concerne de même tous les niveaux et tous les faits archéologiques rencontrés sur l'ensemble du site.

L'exploitation des données archéologiques a permis d'attribuer 2238 objets métalliques aux phases d'occupation du Haut Moyen Age. Rassemblés en treize catégories typologiques, ils constituent 92% du corpus métallique trouvé sur le site. D'autres données

Catégorie	Fer		Bronze		Plomb		Etain		Argent		Total		
	nb	poids (g)	nb	poids (g)	nb	poids (g)	nb	poids (g)	nb	poids (g)	nb	poids (g)	moyenne (g)
Déchet de forge	103	1072									103	1072	10,4
Déchet des alliages			21	62	1	15	1	10			23	87	3,8
Outillage	97	1638			1	20					98	1658	16,9
Agriculture / élevage	13	755	1	5							14	760	54,3
Usuel	118	768									118	768	6,5
Buffleterie	66	454	18	102							84	556	6,6
Parure	6	26	19	58							25	84	3,4
Armement / équestre	42	308	10	20							52	328	6,3
Cuisine	10	427	2	6							12	433	36,1
Quincaillerie	53	624	2	2							55	626	11,4
Clou	306	801									306	801	2,6
Objet non défini	149	958	11	29							160	987	6,2
Fragment	1147	2936	41	36							1188	2972	2,5
Sous-total HMA	2110	10767	125	320	2	35	1	10			2238	11132	5
Mobilier gallo-romain	17	35	13	49					1	3	31	87	2,8
Mobilier moderne	161	8214							1	1	162	8215	50,7
Total	2288	19016	138	369	2	35	1	10	2	4	2431	19434	8

Fig. 103 Présentation synthétique de l'intégralité du mobilier métallique mis au jour à Develier-Courtételle. Classification établie sur des bases typologiques et chronologiques, en fonction des matériaux, et avec indication du nombre d'individus et de leur poids. HMA : mobilier attribué aux phases d'occupation du Haut Moyen Âge.

archéologiques et des évidences typologiques ont isolé des composants gallo-romains (1,3 % en nombre) et modernes (6,7 % en nombre) qui seront présentés dans un autre volume de la série Develier-Courtételle (CAJ 17, chap. 16).

Cependant, la structure du présent ouvrage a impliqué une présentation étalée de ces 2238 objets sur les chapitres 3, 4 et 5. Ce fait respecte tout d'abord le cadre général de l'étude en partant du déchet pour aboutir à un véritable objet, en passant par le stade intermédiaire du produit semi-fini. Mais il est aussi et surtout conditionné par la volonté de bien marquer une continuité au sein de la métallurgie du fer, en la dissociant de celle des autres métaux ou alliages non ferreux.

L'effort principal de l'étude a porté sur l'identification et sur la mise en place d'un classement du mobilier. Une identification certaine n'est toutefois pas toujours assurée car les objets sont souvent fragmentés et incomplets; ils ne peuvent en outre être manipulés facilement. Leur classification est également rendue difficile dans la mesure où plusieurs fonctions peuvent être parfois envisagées. Les propositions retenues, pour lesquelles il a fallu opérer des choix qui peuvent être contestés, se conforment pourtant dans leurs grandes lignes à un cadre déjà largement codifié pour l'étude générale du matériel archéologique (par exemple GSAF 1997, p. 46-47).

Le classement hiérarchisé du mobilier métallique de Develier-Courtételle a été effectué sur plusieurs niveaux. Une réflexion sur la forme et la fonction des objets permet tout d'abord une attribution à l'une des catégories typologiques définies. Cette identification peut s'imposer d'elle-même tant l'objet est parlant; elle peut aussi être validée par des approches comparatives effectuées sur du mobilier du Haut Moyen Âge issu pour l'essentiel de contextes funéraires. Un deuxième niveau correspond à une distribution plus fine par types d'objets à l'intérieur de chaque catégorie. Le dernier niveau se concentre sur les aspects comparatifs, dans le but de mieux cerner les problèmes de chronologie et d'influences

culturelles. A été retenu, pour ces approches spécifiques, le grand découpage chronologique de l'époque mérovingienne développé par H. Ament (1977): la fin de la phase *Ältere Merowingerzeit* (AM III: 560/70 - 600 ap. J.-C.) et la phase *Jüngere Merowingerzeit* (JM I: 600 - 630/40, JM II: 630/40 - 670/80 et JM III: 670/80 - 720 ap. J.-C.) sont notablement attestées à Develier-Courtételle. En fonction de leur provenance géographique supposée mais aussi des résultats analytiques particuliers au site, les influences culturelles peuvent être qualifiées d'occidentale (territoires à l'ouest et au sud du Rhin, y compris la Suisse occidentale), d'orientale (sud-ouest de l'Allemagne, Bavière et Suisse septentrionale), de régionale (nord-ouest de la Suisse et contrées environnantes de Franche-Comté), voire de locale (Develier-Courtételle). Se reporter aussi aux figures 158, 188 et 251.

L'étude et le catalogue présentent de manière quasi exhaustive les objets identifiables dans leur forme et dans leur fonction. D'autres catégories typologiques, comme les objets non définis et les fragments notamment, ne justifient pas une présence intégrale dans le catalogue et font l'objet d'un commentaire beaucoup plus synthétique. La présentation du mobilier métallique s'articule en premier lieu sur les activités artisanales, agricoles et domestiques, dont les témoins, difficiles à interpréter avec précision, sont le plus souvent difficiles à dater. Les accessoires quotidiennement employés, les objets en lien avec le cadre de vie des habitants et enfin la masse des objets sans fonction déterminable poursuivent et achèvent cette présentation.

4.2 Les objets

4.2.1 L'outillage

L'identification des outils reste le plus souvent problématique en l'absence d'un contexte artisanal précis. A cette détermination fonctionnelle délicate se superpose le difficile exercice de la datation des objets. D'abord parce qu'un bon outil peut être conservé, utilisé et entretenu sur une très longue période. Mais surtout du fait que l'outillage est bien rarement déposé dans les tombes

du Haut Moyen Age, à l'inverse des accessoires vestimentaires ou des armes par exemple. L'approche de ce mobilier très spécifique s'est largement appuyée sur des travaux concernant l'outillage de l'Époque romaine. En particulier celui d'A. Duvauchelle (1990) consacré aux outils en fer du Musée romain d'Avenches et sur lequel s'appuie la terminologie descriptive adoptée ici.

Après identification, les 97 objets regroupés dans la catégorie typologique de l'outillage ont été classés dans trois sous-types en fonction de la matière travaillée en priorité par ces outils (fig. 104). Cette attribution ne doit pas masquer les incertitudes souvent posées par l'état de conservation et le caractère sans doute trop exclusif dans l'attribution de certains outils au travail d'une matière précise.

Outillage	Pièces nb	Poids g	Moyenne g
Travail du métal	39	1043	26,7
Travail du bois	8	296	37
Travail des matières organiques et plastiques	35	191	5,5
Travail et outil non définis	15	108	7,2
Total	97	1638	16,9

Fig. 104 Présentation synthétique de l'outillage en fer, avec indication du nombre d'individus et de leur poids. Les sous-types sont définis en fonction des matières travaillées.

4.2.1.1 L'outillage pour le travail du métal

L'outillage des artisans travaillant le fer n'a, a priori, d'indispensable que l'enclume, le marteau et la pince. Quelques publications ont cependant mis en lumière une relative diversité dans la panoplie des outils du Haut Moyen Age (Werner 1970; Koch 1984; Roth 1986; Henning 1991). La plupart de ces pièces aux formes variées ont dû être fabriquées par le forgeron au fur et à mesure de ses besoins. En relation avec la place importante occupée par le travail du fer à Develier-Courtételle, la mise en évidence de 39 outils dédiés à cette activité n'est pas surprenante en soi. Dans le détail, les objets découverts concernent deux enclumes à tige, deux pinces de forge, vingt ciseaux droits ou à pointe, cinq ciseaux, neuf poinçons et une lime.

Les enclumes à tige

La plupart des travaux de forge sont réalisés directement sur la table de l'enclume, sur les bords et les bigornes. Cependant, la taille et la forme des pièces à forger, la délicatesse de certains travaux de finition et des opérations particulières obligent à utiliser les accessoires de l'enclume. En général, ces outils s'ajustent sur un trou de l'enclume, aussi appelé œillet porte-outil, par l'intermédiaire d'un tenon qui prolonge l'outil à sa base. Si aujourd'hui ces accessoires sont fichés dans un trou carré, les enclumes antiques ne comportaient semble-t-il que des trous de forme circulaire (Duvauchelle et Agustoni 2002, p. 265, note 5).

De tels instruments passifs sont représentés à Develier-Courtételle par les deux petites enclumes à tige cat. 351 et 824 (fig. 105.1-2). La tige circulaire de la première s'évase progressivement pour former un corps pyramidal avec, à son sommet, une petite table rectangulaire plate de seulement 1,8 cm sur 0,8 cm. La seconde

est plus simple, avec une table, cette fois-ci circulaire, disposée au sommet d'une tige carrée massive aux angles chanfreinés. Si tout indique que le cat. 351 était utilisé pour des travaux de métallurgie fine ou de finition, il est par contre impossible de préciser l'emplacement où se logeaient ces deux éléments. Étaient-ils disposés dans l'œil d'une enclume à corps ou simplement fichés dans un billot de bois? Pour le cat. 824 du moins, la présence d'une tige carrée pourrait être un indice significatif en faveur de la seconde hypothèse.

Les pinces de forge

Les cat. 352 et 480 (fig. 105.3-4) sont interprétés comme deux gueules fragmentées de pinces de forge articulées, aussi appelées tenailles de forge. Cet instrument, incontournable dans un atelier de forge, permet au forgeron de placer ses pièces au feu ou sur l'enclume. La variété des formes en est considérable. Les pinces sont constituées de deux branches plus ou moins symétriques qui s'aplanissent et s'élargissent pour recevoir l'œil de l'articulation. L'ensemble placé au-delà de l'articulation constitue la gueule proprement dite de l'instrument: ses extrémités plus ou moins courbes et saillantes sont les mâchoires. Sur les deux exemplaires de Develier-Courtételle – le cat. 480 est légèrement vrillé – la mâchoire n'est que l'extrémité de l'arc de cercle dessiné par la gueule. Les proportions du premier autorisent à restituer une pince

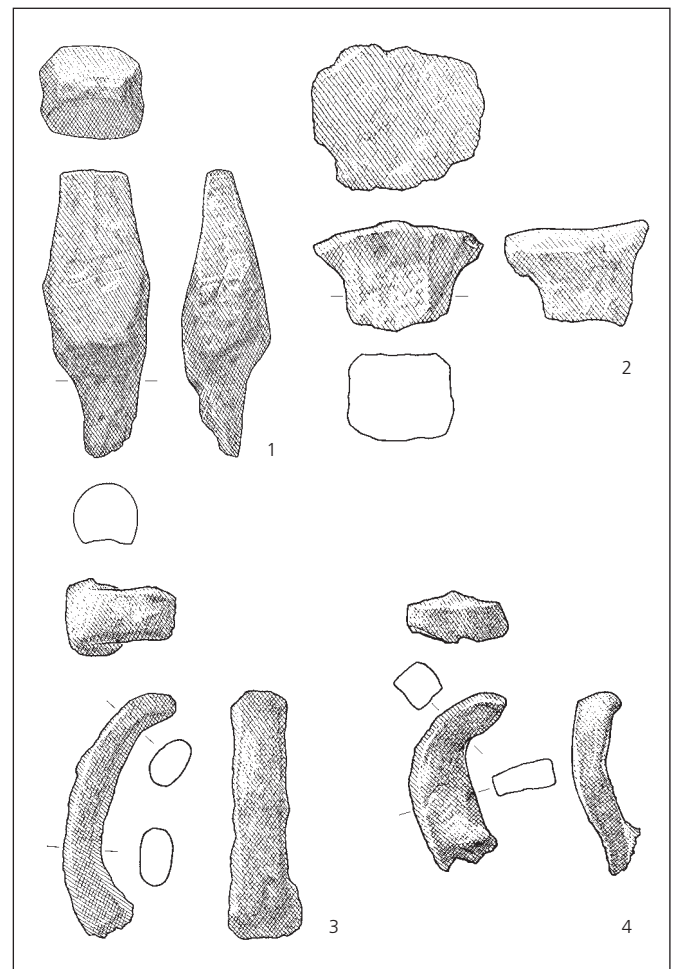


Fig. 105 L'outillage en fer pour le travail du métal. 1-2: enclumes à tige (cat. 351 et 824); 3-4: pinces de forge (cat. 352 et 480). Echelle 1:2.

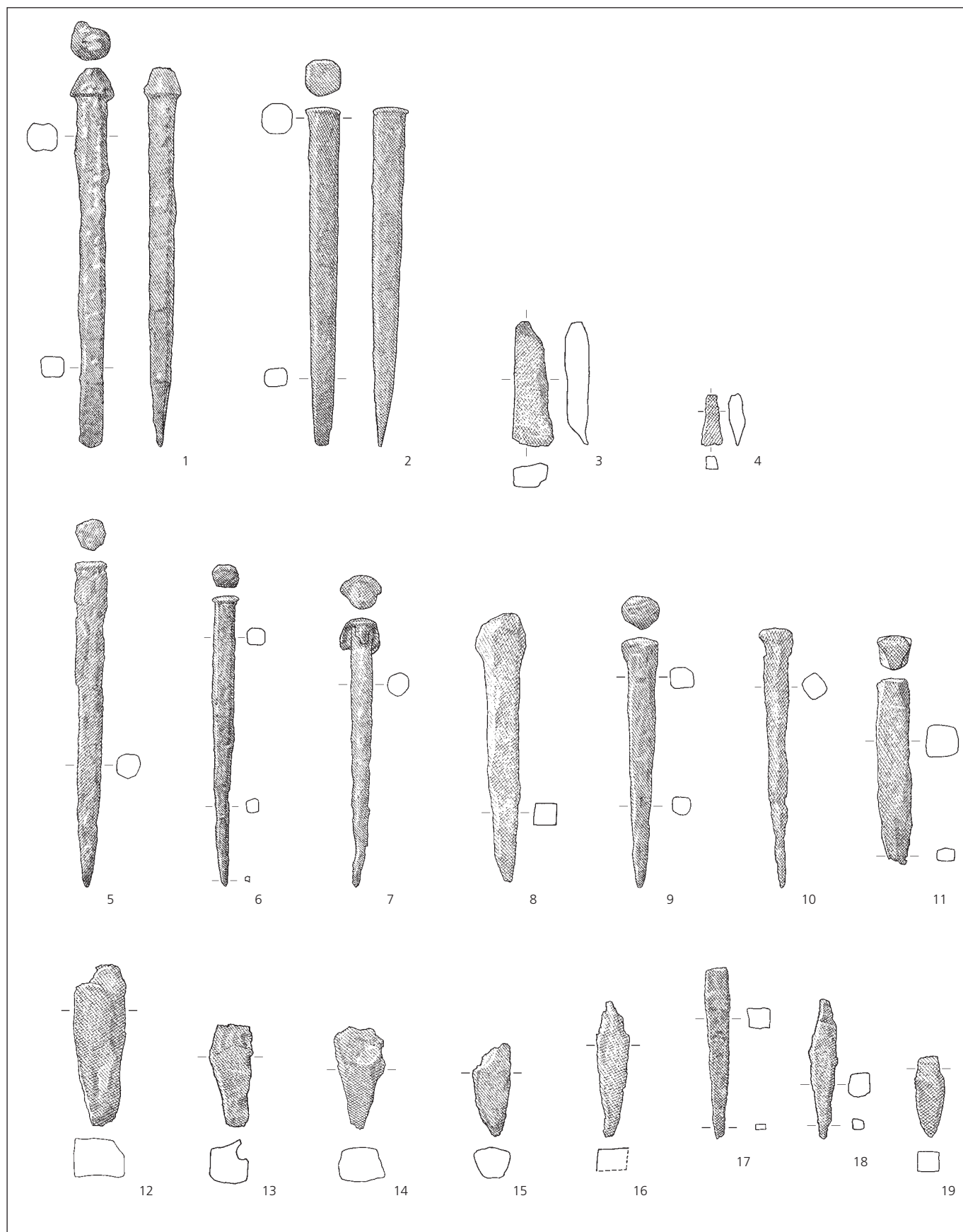


Fig. 106 L'outillage en fer pour le travail du métal. 1-4: ciseaux droits (cat. 589, 353, 190 et 648); 5-19: ciseaux à pointe (cat. 191, 174, 176, 825, 172, 354, 590, 357, 358, 356, 508, 498, 355, 525 et 497). Echelle 1:2.

longue d'au moins 20 cm et sans doute attribuable à un forgeron, les autres artisans du métal tels que les orfèvres utilisant des pinces plus courtes.

Les ciseaux

Le ciseau comporte une extrémité active formée soit d'un tranchant, soit d'une pointe, et prolongée par un manche dont l'importance varie selon que l'artisan travaille à froid ou à chaud dans le cas d'un outil de forge. Sa tête est légèrement bombée – et parfois couronnée par les déformations – pour mieux recevoir les coups dont la succession fait pénétrer l'extrémité tranchante en forme de coin dans le matériau en l'écartant. Le forgeron se sert d'un ciseau à main pour découper une tôle, marquer une coupe à froid sur la pièce, pratiquer des fentes et des dégrossissages, éliminer des imperfections ou exécuter des dessins ornementaux. Mais identifier avec certitude un métier à travers un tel outil tient de la gageure. Il est largement mis en œuvre pour façonner des matières aussi diverses que le métal, la pierre ou le bois. Les ciseaux employés par le forgeron et par le tailleur de pierre ont une morphologie particulièrement proche.

Quatre ciseaux droits ont cependant été associés au travail du métal sur le site de Develier-Courtételle (fig. 106.1-4). La longueur du manche des deux premiers évoque des ciseaux à chaud. Tous deux sont intacts avec un manche carré aux angles chanfreinés, se rétrécissant jusqu'au tranchant à deux biseaux. La tête est tronconique sur le premier, circulaire et légèrement bombée sur le second (fig. 107). Les cat. 190 et 648 (fig. 106.3-4) ont pu être eux aussi rapportés à des ciseaux droits, notamment grâce aux résultats fournis par l'analyse métallographique. Le cat. 648 est très endommagé et paraît de prime abord proche d'un ciselet.



Fig. 107 Vues de face et de profil du ciseau droit cat. 353. Longueur 12,7 cm.

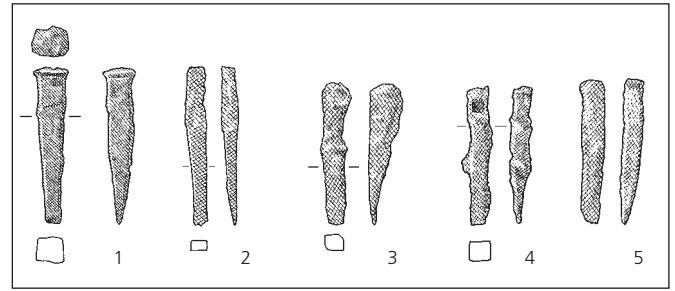


Fig. 108 L'outillage en fer pour le travail du métal. 1-5: ciselets (cat. 192, 591, 359, 479 et 637). Echelle 1:2.

Sa largeur de tranchant correspond cependant à celle des deux ciseaux intacts.

Hormis leur partie active, les quinze ciseaux à pointe de Develier-Courtételle (fig. 106.5-19) sont morphologiquement proches des ciseaux droits. Ils possèdent une section largement quadrangulaire, à l'exception notable de celle du cat. 176 qui est circulaire (fig. 106.7). Les très importantes traces d'écrasement sur la tête de cet outil prouvent cependant son utilisation sur une matière dure. Sept exemplaires sont à peu près intacts, les huit autres n'offrent plus que la partie travaillante, avec parfois un départ de la lame. Manifestement usés, ces huit outils ainsi que les deux ciseaux droits endommagés (fig. 106.3-4) ont dû casser dans les mains de l'artisan qui les employait. Cette proportion élevée est par ailleurs un bon indice de la mise en œuvre des ciseaux dans le travail d'une matière dure.

Les ciselets

Cinq pièces ont été assimilées à des ciselets en raison de leur forme gracile et de leur taille très restreinte (fig. 108.1-5). Tous ont un petit tranchant rectiligne comme extrémité travaillante, le cat. 192 évoquant tout particulièrement une miniature du grand ciseau droit de la figure 107. En raison d'un manche très court, ces outils ne peuvent pas être utilisés à chaud et semblent ainsi plutôt être destinés à un travail délicat et de précision, comme la ciselure, voire un travail d'orfèvrerie.

Les poinçons

Morphologiquement proche d'un ciseau à pointe, le poinçon s'en différencie cependant par un manche long et fin. Les objets de Develier-Courtételle proposés comme poinçons – l'absence de la tête de l'outil ne peut en effet garantir une identification certaine – se présentent sous une forme régulièrement élancée, à l'exception du poinçon à manche biconique surmonté d'une tête hémisphérique cat. 649 (fig. 109.1). Une certaine variabilité s'observe cependant au niveau de la section de ces outils. Circulaire à six reprises (fig. 109.1-6), elle peut être également quadrangulaire (fig. 109.9-10); les poinçons cat. 361 et 195 (fig. 109.7-8) forment un groupe intermédiaire avec le passage progressif d'une section circulaire à une section carrée à angles chanfreinés. Lorsqu'elle est conservée, la tête des poinçons porte de légères traces de martelage. De par leur finesse générale, ces poinçons ne devaient pas être utilisés sur une matière trop dure. On peut envisager un travail sur des pièces minces comme les tôles, très nombreuses sur le site.

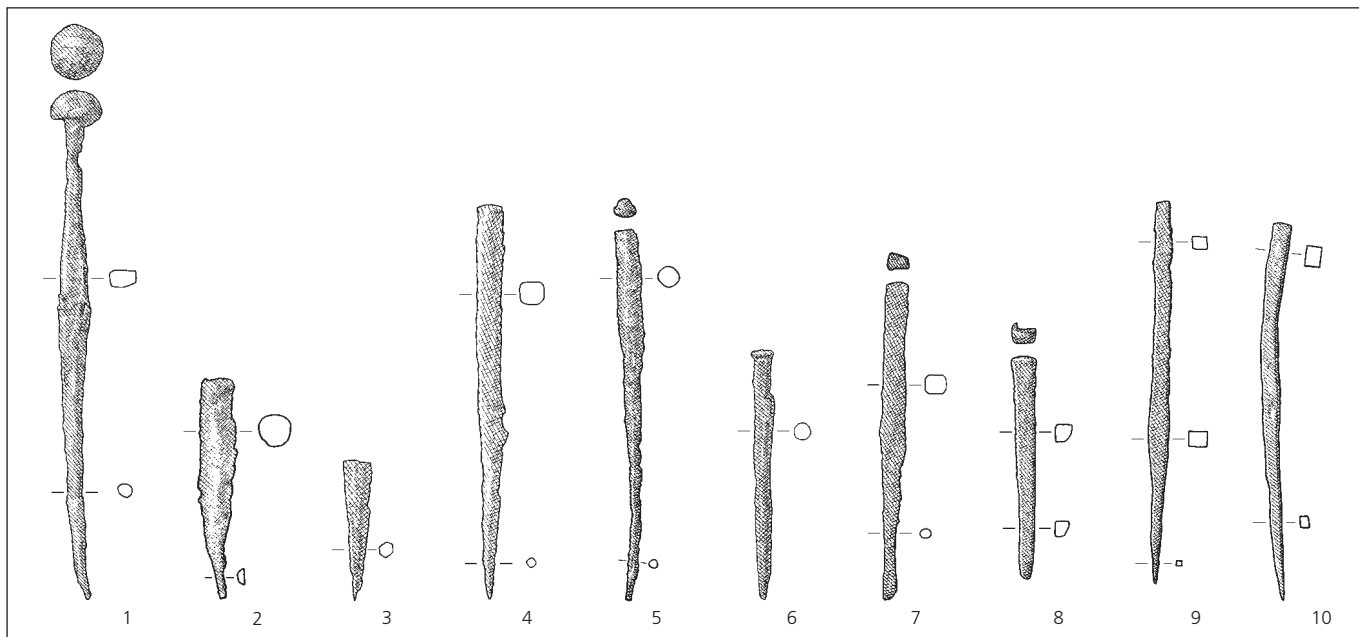


Fig. 109 L'outillage en fer pour le travail du métal. 1-10: poinçons (cat. 649, 826, 196, 360, 194, 193, 361, 195, 169 et 362). Echelle 1:2.

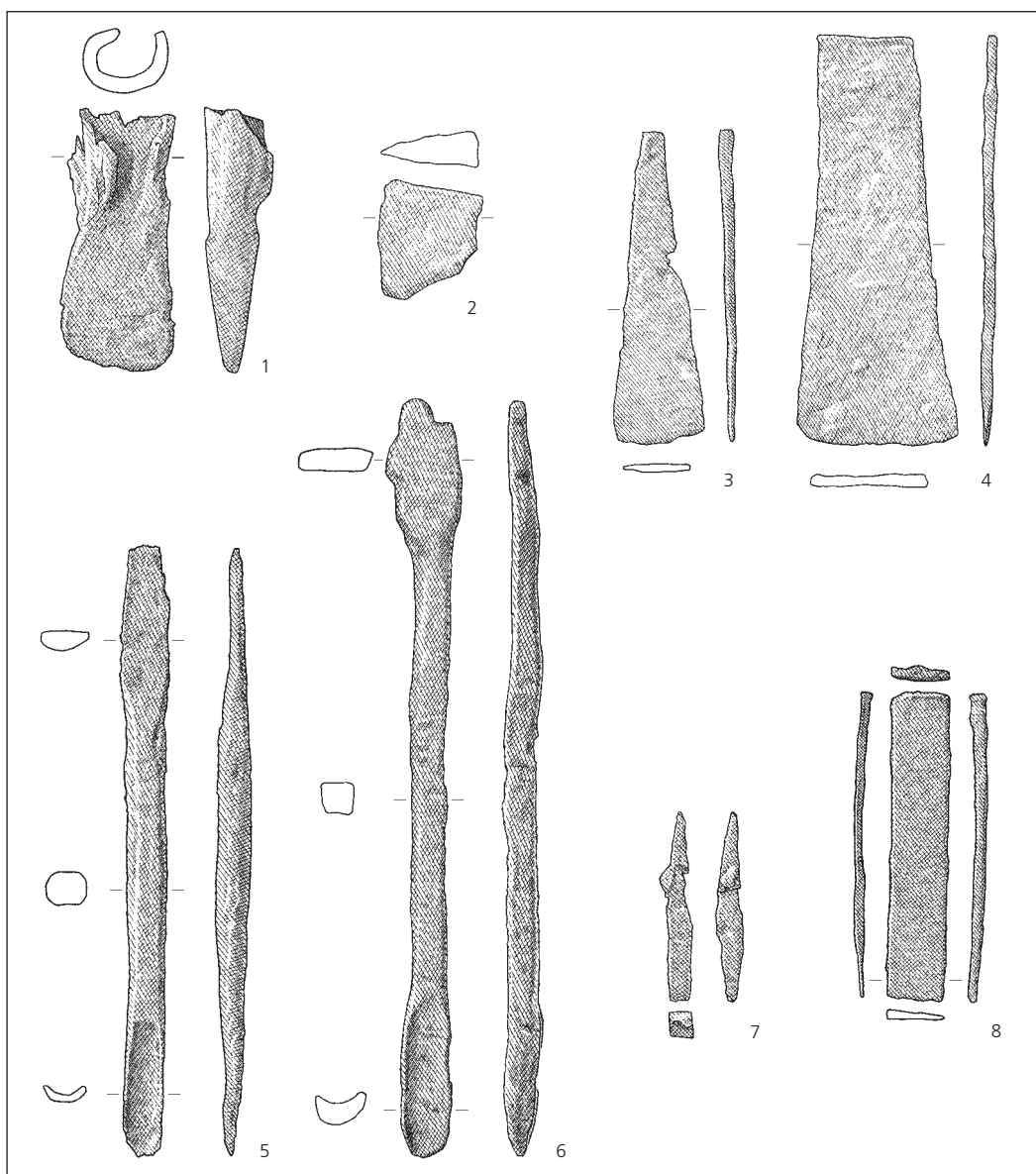


Fig. 110 L'outillage en fer pour le travail du bois. 1-2: haches (cat. 509 et 526); 3-4: ciseaux droits (cat. 651 et 652); 5-6: mèches à cuiller (cat. 197 et 363); 7: mèche hélicoïdale (cat. 653); 8: fer de rabot (cat. 316). Echelle 1:2.

La lime

Unique représentant de cette catégorie d'outil, la lime demi-ronde cat. 650 (fig. 111) possède un fin réseau de dents disposées obliquement sur ses deux faces : la taille, très fine, est estimée à plus de vingt dents par centimètre. Le départ d'une soie plate précise quelque peu le mode d'emmanchement. Cette lime diffère cependant de celles découvertes en contexte funéraire du Haut Moyen Age, comme la belle série de limes plates retrouvées à Weingarten (Kr. Ravensburg, D; Roth et Theune 1995, pl. 90g, 91B2a-c, 262 F2f et 294.45) ou celle de Elgg (ZH) (Windler 1994, fig. 109).

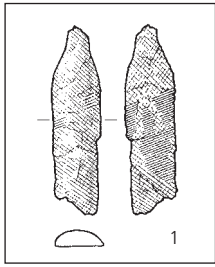


Fig. 111 L'outillage en fer pour le travail du métal.
1 : lime demi-ronde (cat. 650). Echelle 1 : 2.

4.2.1.2 L'outillage pour le travail du bois

Seuls huit outils (fig. 110) ont pu être mis en relation avec le travail du bois : cette faible représentativité peut étonner si l'on songe aux travaux nécessaires à la construction ou à l'entretien des nombreux bâtiments du hameau. On peut objecter à cela qu'un tel outillage est généralement soumis à des efforts moins importants que celui destiné au travail des matières dures ; il est donc aussi moins souvent remplacé. Mais il convient pourtant de noter l'absence surprenante à plus d'un titre de certains outils, tout particulièrement celle de la scie ou des outils indispensables à l'abattage et au débitage des arbres.

Les haches

Les deux objets identifiables comme tels ne peuvent en aucun cas illustrer la typologie de cet outil au Haut Moyen Age. Quelques outils de cette époque sont cependant attestés, par exemple dans la tombe 1 de Bâle, Gotterbarmweg (Moosbrugger-Leu 1982, p. 18) ou dans l'habitat de Villiers-le-Sec (Val-d'Oise, F; Cuisenier et Guadagnin 1988, p. 297). La hache à douille cat. 509 (fig. 110.1), retrouvée dans la couche d'occupation du Haut Moyen Age, doit être considérée comme un outil de récupération remontant à l'époque de La Tène. Un tel phénomène a été signalé parmi le mobilier de la nécropole mérovingienne de Delle (Ter. de Belfort, F; Colney 1982, fig. 2.3). Le tranchant très fragmenté cat. 526 (fig. 110.2) appartient lui aussi très certainement à une hache.

Les ciseaux droits

Les deux lames brisées cat. 651 et 652 (fig. 110.3-4) sont présentées avec prudence comme des ciseaux pour le travail du bois. Proportionnellement, la lame est assez longue dans les deux cas, très plate et s'évase progressivement jusqu'au tranchant. Celui-ci est légèrement concave et à deux biseaux, mais particulièrement développé sur le second exemplaire. L'emmanchement n'est pas conservé mais devait se faire à l'aide d'une soie.

Les mèches

Les deux mèches à cuiller cat. 197 et 363 (fig. 110.5-6) sont particulièrement destinées à enlever de la matière. Ces outils possèdent une soie aplatie et assez large pour que le manche fixé perpendiculairement puisse faire pivoter l'outil sur lui-même. La profondeur jusqu'à laquelle l'outil peut extraire de la matière dépend de la longueur de la tige. A cet égard le cat. 363 a pu être mis en œuvre sur des pièces de bois relativement importantes, des poutres de charpente par exemple. D'après la largeur de leur cuiller, ces deux outils pouvaient percer des trous d'un diamètre minimal de respectivement 1 et 1,5 cm. Mais on n'observe aucune torsion sur les cuillers pouvant renseigner sur le sens de rotation de l'outil. La tige plus étroite que la mèche est conçue pour faciliter l'évacuation des copeaux. Un exemplaire est signalé sur le site d'habitat du Haut Moyen Age de Villiers-le-Sec (Cuisenier et Guadagnin 1988, p. 298). Les exemplaires mis au jour sur le Runde Berg près d'Urach sont, eux, rapportés aux mèches à cuiller de tradition gallo-romaine (Koch 1984, p. 136-137). Le cat. 653 (fig. 110.7) présente encore l'amorce d'une partie travaillante disposée en spirale, rendant possible une identification comme mèche hélicoïdale.

Le fer de rabot

Probable fer de rabot, le cat. 316 (fig. 110.8) est constitué d'une lame fine et étroite, très légèrement courbée. Si le tranchant de l'outil est brisé, l'extrémité opposée montre des traces d'écrasement. Dans la tombe 702 de la nécropole de Straubing (Geisler 1998, pl. 249.8), un rabot en bois de cerf entièrement conservé, avec son fer, illustre de manière exceptionnelle l'agencement assez complexe d'un rabot au Haut Moyen Age. Deux fers de rabot ont également été identifiés sur le Runde Berg (Koch 1984, p. 137-138).

4.2.1.3 L'outillage pour le travail des matières organiques et plastiques

Les outils décrits dans ce paragraphe sont relativement nombreux mais sans grande variété formelle. Sont regroupés dans cette sous-catégorie 35 outils dont sept sont en rapport avec le travail des textiles, 22 avec le travail du cuir et six avec celui des matières plastiques.

Le travail des textiles

Seules une lame de tisserand (fig. 112.1) et six aiguilles fragmentées (fig. 112.2-7) sont associées au travail des textiles. Cette gamme très limitée est à relativiser si l'on prend en considération les outils réalisés en d'autres matières comme l'os, le bois, la terre cuite – ou même le plomb (chap. 5.3.4) – mis au jour sur le site. La forme courte de la lame de tisserand cat. 663 n'a comme équivalent que l'exemplaire de Riedisheim, Leibersheim (Haut-Rhin, F; Schweitzer 1984, pl. 75.1). Retrouvé dans la cabane en fosse 17 de cet habitat, un tel objet renforce les relations entretenues entre ce type de construction et le travail des textiles. Les aiguilles en fer, habituellement plus rares que celles en bronze ou en os, se présentent sous la forme d'une très fine tige. Tous les exemplaires étant brisés, la présence d'un chas n'est pas assurée. Une utilisation en lien avec d'autres matières, comme le cuir ou la paille, est également envisageable. Le cat. 827 (fig. 112.2) en particulier a pu servir à coudre le cuir en raison de la courbure (d'origine?) de sa tige.

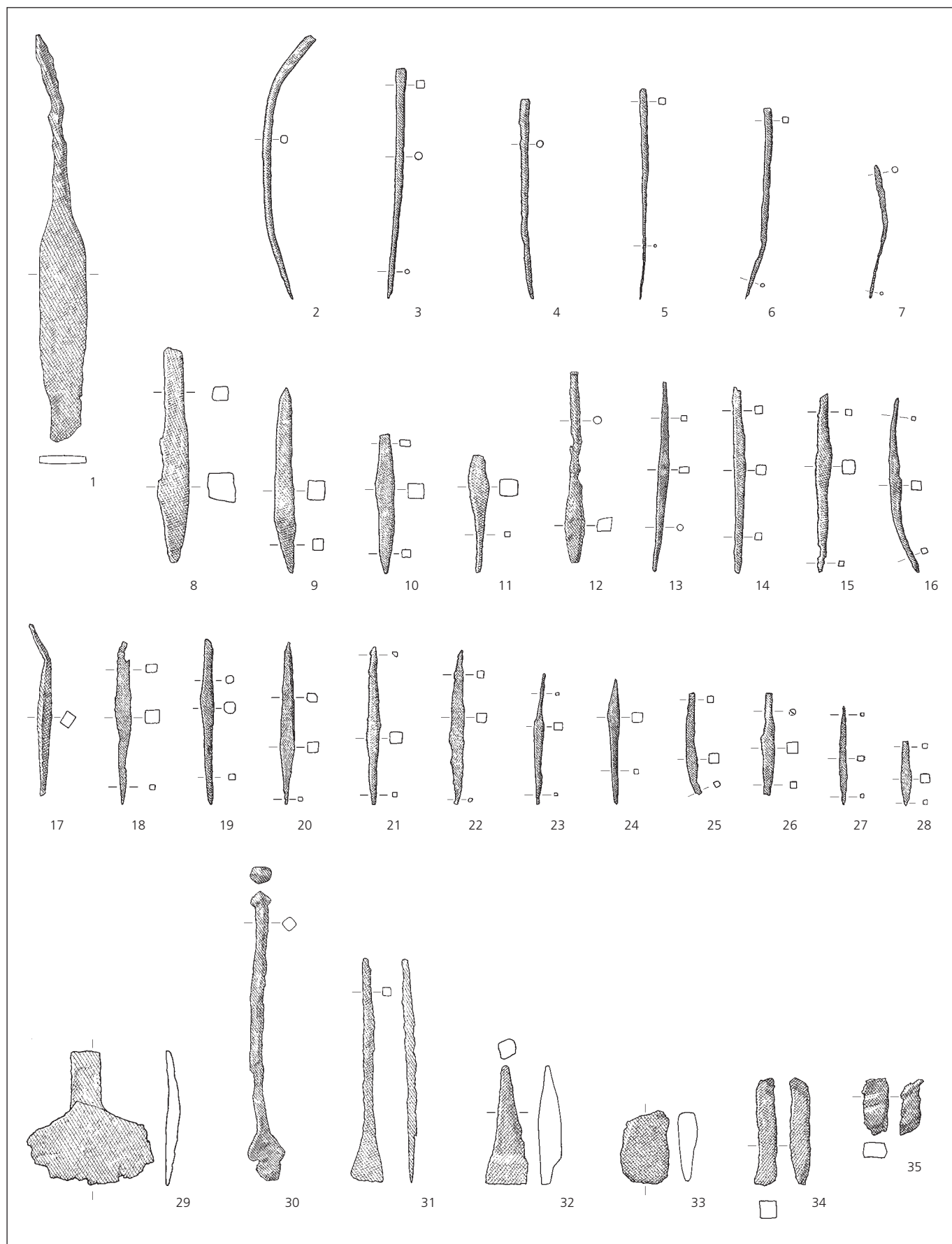


Fig. 112 L'outillage en fer pour le travail des matières organiques et plastiques. 1: lame de tisserand (cat. 663); 2-7: aiguilles (cat. 827, 198, 823, 364, 200 et 199); 8-28: alènes (cat. 654, 655, 481, 662, 658, 527, 656, 659, 344, 346, 366, 317, 365, 660, 657, 201, 644, 347, 828, 367 et 661); 29: couteau demi-lune (cat. 664); 30-35: spatules (cat. 202, 551, 369, 665, 666 et 592). Echelle 1:2.

Le travail du cuir

Les 21 alènes reconnues (fig. 112.8-28) constituent un corpus étoffé et bien homogène. Toutes conservent un profil bi-pyramidal fort simple et très effilé aux deux extrémités. Une des pointes pouvait servir de soie et l'autre de perçoir, une inversion étant toujours possible en cas de dégât sur la partie active. La section quadrangulaire est la seconde caractéristique commune à tous ces outils, mais cinq d'entre eux (fig. 112.8-12) se distinguent cependant par leurs dimensions plus conséquentes. Il faut y voir une simple adaptation au travail de l'artisan qui doit pouvoir réaliser des perforations de diamètres distincts. La virole présentée ci-dessous (fig. 113.2) pourrait contenir les reste d'une alène, renseignant ainsi sur la possibilité d'emmanchement de tels outils. Le couteau demi-lune cat. 664 (fig. 112.29) est constitué d'un fer plat pourvu d'un tranchant curviligne et d'un manche disposé dans le même plan. Cette forme toute spécifique convient particulièrement bien à la découpe des peaux. Mais une utilisation comme paroir, autre outil à parer les cuirs et à amincir les peaux, peut également être envisagée.

Le travail des matières plastiques

La spatule est un outil avec lequel l'artisan peut mettre en forme, modeler et lisser différentes matières plastiques comme le mortier, la cire et surtout l'argile. Les deux exemplaires les mieux conservés (fig. 112.30-31) sont constitués d'une petite lame triangulaire et d'une tige élancée. Le second pourrait même, par sa qualité, être assimilé à un stylet. Les analyses métallographiques ont contribué à identifier quatre autres fragments de spatule, dont deux fragments de manches (fig. 112.34-35), mais avec toutefois d'importantes réserves à propos du cat. 665 (chap. 4.2.1.5).

4.2.1.4 L'outillage non défini ou fragmenté

Hormis la virole cat. 203 (fig. 113.2) déjà évoquée ci-dessus et le cat. 667 (fig. 113.1) à manche torsadé terminé par une bélière et qui offre un petit tranchant à sa base, tous les autres éléments sont des outils fragmentés. On y reconnaît des têtes d'outil, des parties de manche et de lame ainsi que deux tranchants massifs.

4.2.1.5 Aspects analytiques de l'outillage

Les 21 objets examinés comprennent trois ciseaux droits, cinq ciseaux à pointe, un poinçon, deux alènes, quatre spatules et six fragments d'outils. La moitié de ces outils a été fabriquée avec du métal d'origine locale, l'autre moitié avec du métal d'origine inconnue (fig. 114). Ces outils n'ont pas été produits exclusivement avec de l'acier trempable mais pour 60% à partir d'un matériau ductile (fer, acier non trempable) et pour 40% en métal dur (fer riche en phosphore, acier trempable). Deux tiers des pièces sont formées d'un seul matériau, le tiers restant étant formé d'un composite de fer et d'acier trempable. Quatre de ces outils présentent la structure feuilletée d'un damas en bandes ou en couches. Trois d'entre eux ont été fabriqués avec du matériau local et sont donc des produits issus de l'atelier de forge du hameau de Develier-Courtételle.

Les ciseaux droits ont été en majeure partie fabriqués avec du métal de provenance étrangère. Ils diffèrent entre eux par leur technique de fabrication. Le cat. 190 a été réalisé par la technique du damas, par soudage de couches d'acier non trempable et d'acier trempable, alors que la tête du cat. 353 a été obtenue par soudage de plusieurs couches d'acier non trempable. La lame du petit ciseau droit cat. 648 est formée d'un tranchant dur inséré dans un acier doux non trempable. La qualité du travail de ces trois pièces peut être qualifiée de bonne à très bonne. La pièce la mieux travaillée – le ciseau droit cat. 190 – est de production locale.

Les ciseaux à pointe étudiés, plus nombreux, ont été produits selon des procédés très divers. Les outils fabriqués à partir de métal local dominant légèrement. Le ciseau à pointe cat. 172, réalisé en acier non trempable par la technique du damas en couches et en bandes présente une qualité exceptionnelle. Il s'agit d'un produit local. Tous les autres ciseaux ont été fabriqués à l'aide de techniques plus simples. Ils sont constitués d'un seul matériau (cat. 356 et 498) et dans deux cas (cat. 357 et 590) réalisés par soudage de plusieurs couches. Seuls deux (cat. 356 et 590) sont formés d'un matériau dur, soit de l'acier trempable, soit du fer riche en phosphore; le ciseau à pointe cat. 356 est même entièrement trempé.

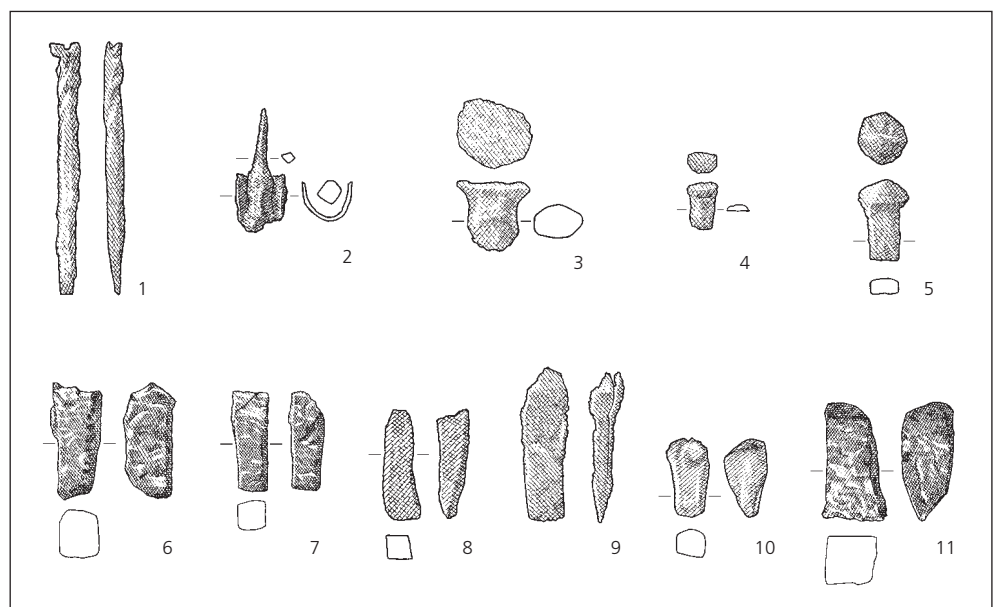


Fig. 113 L'outillage en fer non défini ou fragmenté. 1-2 : outils non définis (cat. 667 et 203); 3-5 : têtes d'outil (cat. 668, 593 et 510); 6-7 : manches d'outil (cat. 669 et 670); 8-9 : lames d'outil (cat. 671 et 499); 10-11 : tranchants d'outil (cat. 370 et 672). Echelle 1:2.

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau					Technique d'élaboration	Origine	
			Fer		Acier (%masse C)				locale	externe
			fer	fer phosphorique	0,1-0,3	0,4-0,8	0,9-1,8			
Ciseau à pointe	172	1			x			damas	x	
	356	1					x	trempe	x	
	357	1			x			soudé	x	
	498	1	x						x	
	590	1		x				soudé	x	
Ciseau droit	190	2			x	x		damas	x	
	353	1			x			soudé	x	
	648	2			x	x		composite	x	
Poinçon	196	1	x					soudé	x	
Alêne	346	1			x			damas	x	
	644	1			x				x	
Spatule	369	1	x					soudé	x	
	592	1		x				soudé	x	
	665	1			x			damas	x	
	666	1		x				soudé	x	
Fragment d'outil	340	1			x			soudé	x	
	511	2		x		x		composite	x	
	669	2	x			x		composite	x	
	670	3	x		x	x		composite	x	
	671	1	x					soudé	x	
	672	2		x		x		composite	x	
Total	21	28	6	5	10	6	1		11	
Outillage, externe	10	14	5	1	4	3	1			
Outillage, local	11	14	1	4	6	3				

Fig. 114 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de l'outillage.

Le poinçon cat. 196, de fabrication simple, est en fer riche en arsenic de provenance étrangère. Ce matériau présente des caractéristiques semblables à celles du fer riche en phosphore et peut être qualifié de plutôt dur. Du fait du matériau utilisé et de la fragmentation de cet objet, sa fonction en tant que poinçon demeure incertaine.

Les alènes ont elles aussi été réalisées selon différentes techniques. Le cat. 346 a été obtenu par celle du damas en couches à partir d'acier non trempable, ainsi que le cat. 644 qui ne montre pas de soudures. Ce dernier, de fabrication simple, a été forgé à partir d'un matériau local, alors que celui de l'outil de fabrication complexe est de provenance étrangère.

Les outils désignés comme spatules forment un groupe très hétérogène. Le fragment d'outil cat. 665 en damas en couches, qui n'est vraisemblablement pas une spatule mais plutôt une lame de ciseau, est formé par soudage d'acier pauvre en carbone d'origine locale. Le fer d'origine locale de la pièce cat. 369 est trop ductile pour une lame de ciseau droit. Il doit plutôt s'agir d'un outil destiné au raclage, ce qui correspond à la fonction d'une spatule. Le fer riche en phosphore des outils cat. 592 et 666 est plus dur. La forte fragmentation de ces pièces ne permet toutefois plus guère de déterminer l'usage auquel elles étaient destinées.

Les fragments d'outils examinés ont eux aussi été fabriqués selon différentes techniques. La moitié d'entre eux sont réalisés en métal local et l'autre en métal de provenance étrangère. Les deux tiers des pièces ont été forgées par corroyage d'acier trempable avec du fer. Deux de ces pièces sont de fabrication locale (cat. 511 et 672) : le cat. 672 présente un tranchant dur et plat avec, par endroits, un

noyau ductile. Sa forme et sa structure indiquent qu'il pourrait s'agir d'un tranchant de ciseau droit. Le cat. 511, dont la surface est un acier trempable obtenu par cémentation est lui aussi probablement un ciseau droit. Il n'a pas été possible même avec un examen métallographique d'attribuer une fonction déterminée aux autres fragments d'outils.

4.2.2 Les ustensiles de l'agriculture et de l'élevage

Treize objets ont été identifiés comme étant liés aux activités agropastorales du site de Develier-Courtételle. Les éléments en relation étroite avec l'agriculture sont singulièrement peu nombreux et fort peu typés, puisqu'il s'agit de couteaux agricoles et d'un élément bien incertain. Rapprochés des nécessités de l'élevage, les sonnailles et les battants constituent proportionnellement la série la plus importante de ce petit corpus. Mais de grandes incertitudes entourent l'identification et plus encore la datation de ces objets. Leur positionnement dans les niveaux d'occupation du Haut Moyen Age est cependant établie. De même que leur provenance exclusive à l'intérieur des zones dédiées à l'habitat.

4.2.2.1 Les couteaux agricoles et la dent de râteau

Le fragment de lame cat. 204 et la serpette pratiquement entière cat. 673 (fig. 115.1-2) sont les deux premiers objets se rapportant aux couteaux agricoles, utilisés pour couper diverses matières végétales. Une petite serpette proche de l'exemplaire de Develier-Courtételle a été signalée anciennement dans une sépulture d'Yverdon, Pré de la Cure (Rochat 1862, pl. 3.19). L'interprétation actuellement proposée du cat. 553 (fig. 115.3) est celle d'un émondoir, autre forme de couteau agricole destiné à ébrancher les arbres ou les arbustes. Cette identification convient mieux que celle de serpe en raison des dimensions de l'objet et de sa

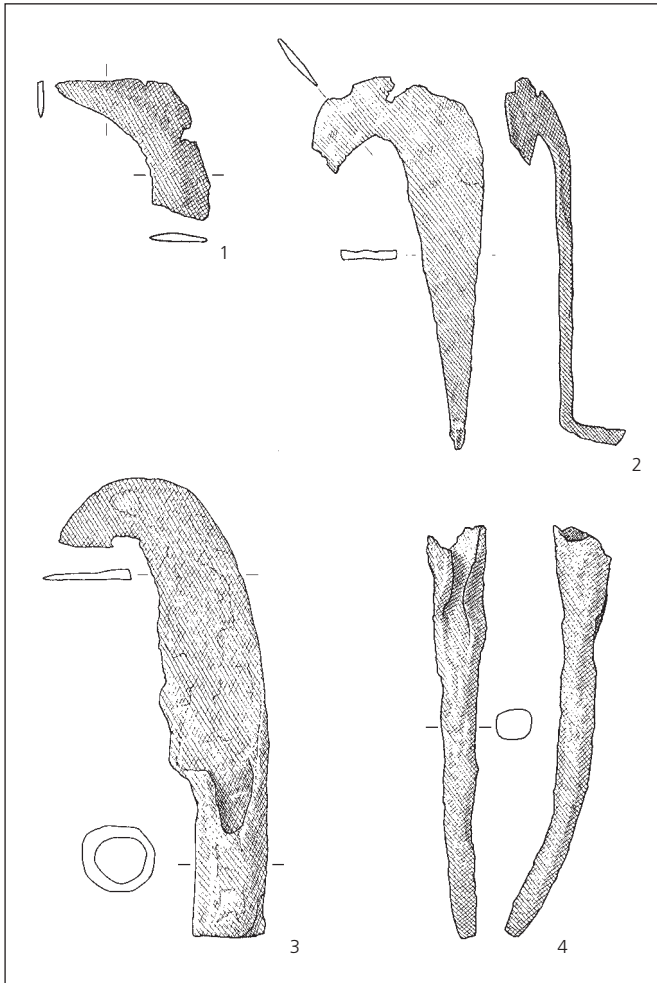


Fig. 115 Les ustensiles agricoles en fer. 1-2: serpettes (cat. 204 et 673); 3: émondoir (cat. 553); 4: dent de râteau (?) (cat. 829). Echelle 1:2 (sauf 3, 1:4).

longue lame droite, brutalement recourbée à son extrémité. L'emmanchement était assuré par une courte douille circulaire bien que ce type d'outil nécessite certainement un manche assez long permettant d'atteindre les branchages élevés. Ce type d'objet destiné à ébrancher les arbres trouve ses équivalents depuis l'époque romaine jusqu'à nos jours. Nous excluons en tout cas d'assimiler cet objet à une arme attestée à l'époque mérovingienne mais très rare, le fauchard.

Le cat. 829 (fig. 115.4) est proposé ici, sous toute réserve, comme une dent de râteau en raison de son profil courbé et d'une pointe émoussée.

Ces quatre objets sont difficiles à interpréter car endommagés ou sans caractéristiques notables et donc peu susceptibles d'offrir des arguments fonctionnels ou chronologiques. Ils marquent surtout un grave déficit en objets liés aux activités agricoles sur le site de Develier-Courtételle. Les instruments aratoires font tout spécialement défaut. Une possible explication pourrait être un éloignement trop important des espaces dévolus aux travaux des champs par rapport aux zones d'habitat, interdisant du coup la découverte de tels objets. La taille généralement importante de ces instruments rend par ailleurs peu probable une perte accidentelle.

4.2.2.2 Les sonnailles et les battants

Ces neuf objets traduisent à leur manière une certaine importance de l'élevage, la consommation des ruminants – bovidés et caprinés en particulier – étant concrètement attestée par l'étude de la faune (CAJ 16, chap. 7). L'élevage de ces animaux devait nécessiter des zones de pacage assez vastes à proximité des habitations. Les déplacements même limités des troupeaux pourraient justifier le port de sonnailles, au moins par quelques-unes des bêtes. Certains articles de loi de l'époque mérovingienne sont d'ailleurs explicites à ce sujet, cet ustensile pouvant également être attaché au cou des porcs (*Pactus Legis Salicae* XXVII.1-2).

Au moins six sonnailles, entières ou fragmentées, ont été reconnues à Develier-Courtételle. Les exemplaires plus ou moins intacts indiquent le même principe de fabrication, à savoir une tôle de fer découpée de manière à former les deux faces de l'objet, puis repliée et soudée par brasure au cuivre; quant aux oreilles de la partie supérieure, elles sont simplement rabattues latéralement et soudées. A noter que le rivetage n'est pas du tout employé. L'anse est réalisée à partir d'une languette courbée et se prolonge à l'intérieur de la sonnaille pour former l'anneau sur lequel se fixe le battant. L'intégralité des surfaces est en règle générale recouverte d'un placage à base de cuivre, moins par souci esthétique que pour apporter, semble-t-il, une meilleure sonorité à l'objet (Démians d'Archimbaud 1980, p. 454).

Deux formes distinctes ont été reconnues. La première rassemble des exemplaires trapézoïdaux plus ou moins évasés avec une ouverture rectangulaire: les cat. 165 et 206 (fig. 116.1-2) et les trois fragments isolés (fig. 116.4-6). La seconde forme, plus bombée et avec une ouverture ovale, ne concerne que le cat. 372 (fig. 116.3). Les sonnailles étant typiquement des objets dont la forme de base n'a guère évolué de l'époque romaine à nos jours, les variations morphologiques observées ici ne sont pas d'un grand secours pour les problèmes de datation. Il faut cependant relever que les sonnailles comme celles de Develier-Courtételle, insérées dans les niveaux du Haut Moyen Age, ne sont pas exceptionnelles en contexte d'habitat pour cette période. En France notamment, des exemplaires tout à fait comparables ont été mis au jour lors de fouilles d'habitats tels celui de Villiers-le-Sec (Cuisenier et Guadagnin 1988, p. 239), avec une datation des objets fin 7^e - début du 8^e siècle, et celui de Goudelancourt (Aisne, F; Nice 1994, fig. 37.B1). Quant à l'exemplaire avec ouverture ovale cat. 372, la meilleure comparaison reste encore la cloche dite «de saint Gall» assemblée, elle, par rivetage et que la tradition attribue à l'époque de la fondation du couvent du même nom (Moosbrugger 1971, p. 72).

Trois battants en fer, auxquels s'ajoute un exemplaire en bronze (chap. 5.3.4), offrent des analogies formelles assez évidentes (fig. 116.7-9) et correspondent à des formes et à une fonction reconnues sur des sites d'habitat du Haut Moyen Age (Schweitzer 1984, pl. 75.5); le bois ou l'os auraient pu aussi être employés pour la réalisation de tels objets. Pourtant, ces battants isolés ne paraissent pas en relation avec les sonnailles présentées ci-dessus. La distribution de ces dernières, retrouvées exclusivement dans la partie occidentale du site (fermes 1 et 2), ne coïncide en effet

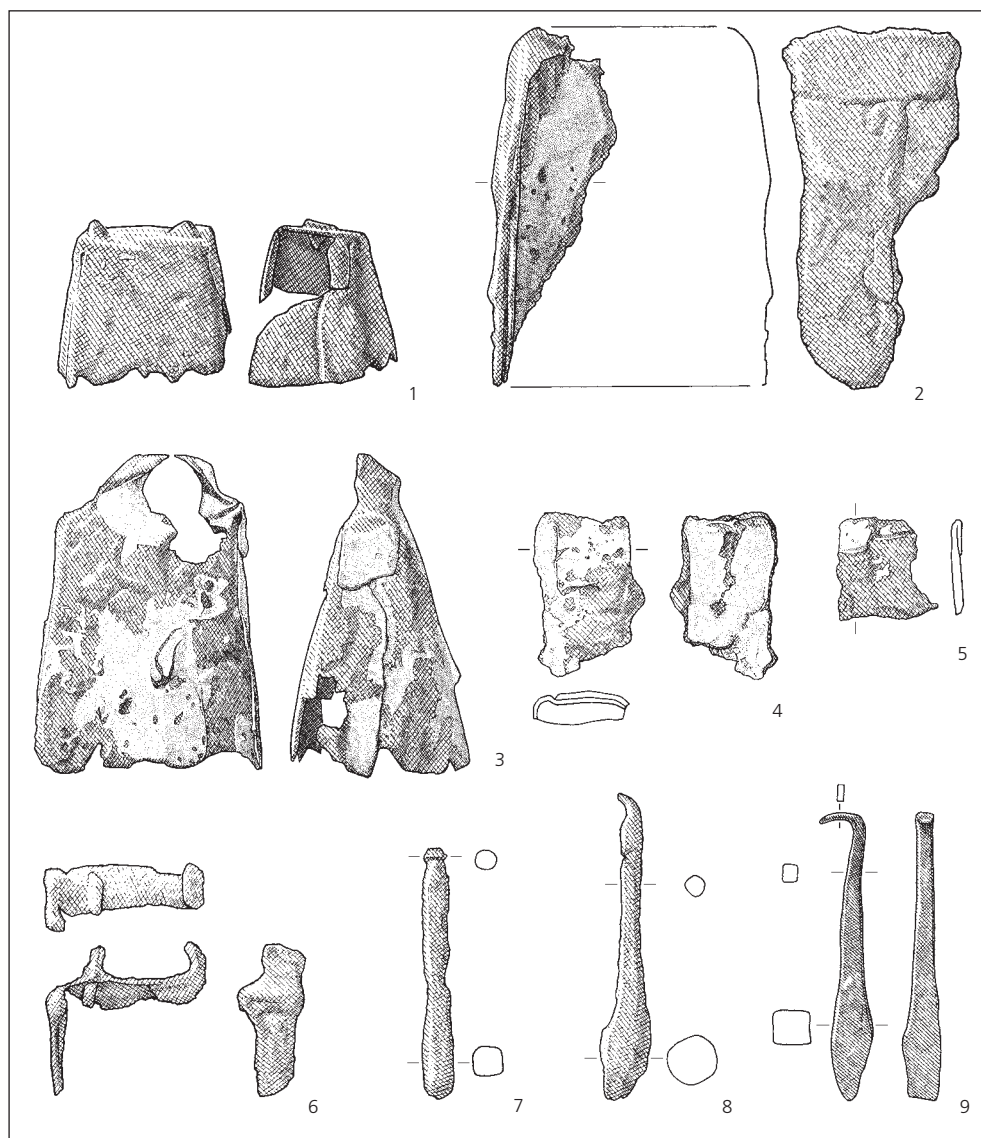


Fig. 116 Les ustensiles d'élevage en fer. 1-3: sonnailles à ouverture rectangulaire (cat. 165 et 206) ou ovale (cat. 372); 4-6: fragments de sonnaille (cat. 205, 207 et 371); 7-9: battants de sonnaille (cat. 208, 674 et 675). Echelle 1:2.

pas, à une exception près, à celle des battants retrouvés eux dans la ferme 5. Cette distorsion ne trouve pas de véritable explication, même en prenant en considération le fait que les battants peuvent se perdre plus facilement que les sonnailles. Les conditions de conservation ou la fragmentation de ces dernières ne sont même pas un facteur explicatif puisque les tôles plaquées d'un alliage cuivreux, éventuels fragments de sonnailles, sont elles aussi sous-représentées dans la ferme 5 (chap. 4.3.3).

4.2.2.3 Aspects analytiques des ustensiles de l'agriculture et de l'élevage

Deux fragments de tôle en fer avec un revêtement cuivreux ont été examinés. Sur la pièce cat. 205, ce revêtement de métal cuivreux est un bronze riche en plomb et sur la pièce cat. 207 un bronze ordinaire. La découverte de nombreux moules de sonnailles de ce type a permis d'élucider le procédé d'application du revêtement sur ces sonnailles (Chardron-Picaut et Pernot 1999, p. 185-188). Les sonnailles en fer pliées sont recouvertes de déchets de métal cuivreux (tôles, fils). L'objet est ensuite entouré d'un manteau d'argile, en veillant à ce qu'il n'y ait aucun contact entre l'argile et la sonnaille. Ceci s'obtient en intercalant une couche de matériau organique (cendre, huile, aujourd'hui papier). Après chauffage

durant plusieurs heures à 1000°C, le métal cuivreux devient liquide et enrobe complètement l'intérieur et l'extérieur de la sonnaille de fer.

Il est peu probable que ces sonnailles soient issues d'une production locale puisque l'analyse de leur fer ne montre aucune concordance avec le métal local et que l'on n'a pas non plus trouvé de vestiges pouvant être mis en relation avec ce processus de production.

4.2.3 Les objets usuels

Les objets usuels se rencontrent très fréquemment dans les ensembles funéraires du Haut Moyen Âge, accompagnant le défunt dans la mort en tant que véritables composants de son costume. Souvent associés les uns aux autres, leur position dans la tombe peut être un critère de différenciation sexuelle selon qu'ils sont retrouvés au niveau de la ceinture en tant que contenu d'une aumônière masculine ou le long des membres en tant qu'élément suspendu à une châtelaine féminine. Le couteau constitue cependant un cas particulier, pouvant être assimilé à une arme lorsqu'il est déposé, dans des tombes d'hommes, à côté du scramasaxe ou sur celui-ci. En contexte d'habitat, ces objets de la vie de tous les

Usuel	Pièces	Poids	Moyenne
	nb	g	g
Couteau	77	576	7,5
Forces	13	87	6,7
Fiche à bélière	24	83	3,5
Briquet	1	10	10
Pince à épiler	3	12	4
Total	118	768	6,5

Fig. 117 Présentation synthétique des objets usuels en fer, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

jours devaient se voir attribuer des emplois très diversifiés comme matériel aussi bien domestique qu'artisanal. Cinq types d'objets (fig. 117) ont été regroupés en une catégorie typologique parmi les plus importantes au sein du mobilier clairement identifiable de Develier-Courtételle.

4.2.3.1 Les couteaux

Si le couteau est l'objet le plus largement représenté parmi les objets usuels, sa présentation souffre pourtant d'un état de conservation particulièrement médiocre et d'une fragmentation conséquente.

Couteau	Pièces	Poids	Moyenne
	nb	g	g
Couteau intact	25	368	14,7
Lame de couteau	39	176	4,5
Pointe de couteau	11	25	2,3
Soie de couteau	2	7	3,5
Total	77	576	7,5

Fig. 118 Présentation des couteaux en fer selon leur état de fragmentation, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

En effet sur 77 individus, seuls 25 couteaux sont à peu près intacts, offrant un profil lisible avec les trois éléments constitutifs d'un couteau, à savoir une pointe, une lame et une soie. Les autres pièces sont incomplètes, ne présentant plus, d'habitude, que deux éléments constitutifs dans le cas d'une « lame » - lame/soie ou lame/pointe - voire un seul élément dans le cas d'une « pointe » ou d'une « soie » (fig. 118). L'usure des tranchants n'est pas toujours visible, leur finesse les rendant très sensibles à la corrosion. Elle s'observe pourtant sur un grand nombre de lames et se caractérise par une concavité irrégulière, parfois très marquée, de la ligne du tranchant.



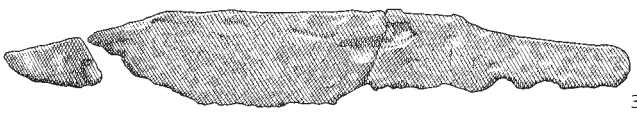
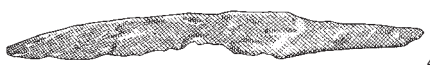

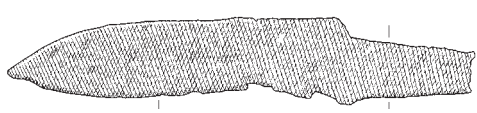
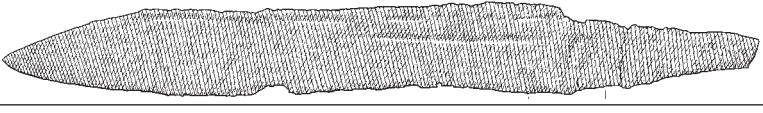
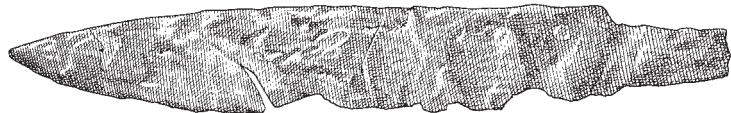
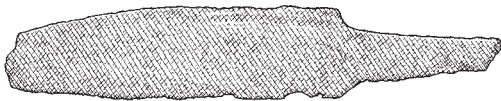
		Longueur	Largeur	Indice
Forme 1A		9,3	1,6	17
		9,5	1,3	14
		12,2	2,5	20
Forme 1B		7,6	1,3	17
		8,8	1,5	17
		8,9	2,3	26
		14,8	2,3	16
		15,9	2,8	18
		min. 8,9	2,4	min. 27

Fig. 119 Couteaux de la forme 1A. 1 : cat. 678; 2 : cat. 373; 3 : cat. 374. Couteaux de la forme 1B. 4 : cat. 467; 5 : cat. 528; 6 : cat. 375; 7 : cat. 175; 8 : cat. 209; 9 : cat. 554. Longueur = longueur de la lame (cm); Largeur = largeur de la lame (cm); Indice = largeur de la lame x 100 / longueur de la lame. Echelle 1:2.

L'analyse formelle des 25 exemplaires intacts n'a été basée que sur l'organisation générale de la lame qui offre déjà une assez grande variété. Elle a permis de mettre en évidence trois formes principales, avec une subdivision interne pour deux d'entre elles. La prise de mesures, possible sur 22 des 25 exemplaires, s'est limitée à la longueur et à la largeur de la lame. Sur la base de ces deux critères, un indice a été calculé selon une méthode déjà appliquée aux scramasaxes (Marti 2000, fig. 64).

La forme 1

Onze couteaux présentent un aspect allongé et symétrique. La lame offre un dos et un tranchant parallèles sur une grande partie de sa longueur. Pointe et soie sont d'ordinaire placées sur un même axe. La soie est en règle générale bien détachée du dos et du tranchant de la lame. Deux variantes ont été distinguées (fig. 119):

- *forme 1A*: à l'approche de la pointe, le dos est coudé à angle et le tranchant se relève;
- *forme 1B*: à l'approche de la pointe, le dos se courbe progressivement et le tranchant se relève.

Considérée dans son ensemble, la *forme 1* révèle une autre catégorisation si l'on tient compte cette fois de la largeur des lames. La première correspond à des exemplaires larges de 1,3 à 1,6 cm, avec un indice compris entre 14 et 17. Les lames plus conséquentes sont larges de 2,3 à 2,8 cm, avec ici un indice a priori moins harmonieux compris entre 16 et 26. Mais en ne tenant pas compte du cat. 375 (fig. 119.6), très usé et visiblement retaillé, l'indice n'oscille plus qu'entre 16 et 20. L'image fournie par ces onze couteaux paraît dès lors très cohérente.

La forme 2

Quatre couteaux présentent un aspect allongé et symétrique. La lame triangulaire se compose d'un dos et d'un tranchant droits et

convergens en direction de la pointe. La position de la soie adoptée par contre une certaine variabilité, de même que le mode d'emmanchement qui comprend ici l'unique exemple de couteau à manche riveté (fig. 120.3). Les indices n'indiquent rien de concret en raison du caractère incomplet des objets. Toutefois l'insertion stratigraphique de trois de ces quatre couteaux - incertaine (cat. 468) ou en limite supérieure de l'horizon archéologique (cat. 211 et 212) - n'autorise pas une attribution inconditionnelle aux phases d'occupation du Haut Moyen Âge.

La forme 3

Dix couteaux présentent un aspect allongé mais cette fois-ci asymétrique. La soie est moins régulièrement détachée du dos et du tranchant de la lame. Deux variantes ont été distinguées (fig. 121):

- *forme 3A*: le tranchant est rectiligne et le dos se coude ou se courbe à l'approche de la pointe.
- *forme 3B*: le dos est rectiligne et le tranchant se relève à l'approche de la pointe.

L'aspect visuel de ces dix couteaux paraît très hétérogène. Pourtant, quatre exemplaires dont la lame est large de 1,5 à 2 cm (fig. 121.1-3,9) forment un petit ensemble assez cohérent avec un indice compris entre 18 et 23. L'indice anormalement élevé constaté pour les cinq autres exemplaires (fig. 121.4-8), étalé entre 27 et 40, s'explique par le fait qu'il s'agissait à l'origine de grandes lames mais qui ont été retaillées par suite d'usure ou de cassure. La forme 3A semble donc être la forme préférentielle donnée aux exemplaires réaménagés. Une autre forme d'usure peut être évoquée ici avec quelques objets qui ont été pliés, comme le couteau cat. 210 ou les lames fragmentées cat. 318, 380 et 512. La forme 3B n'est reconnue que par le cat. 677 (fig. 121.9) dont le dos ne nous paraît pas suffisamment relevé à l'approche de la pointe pour y voir un couteau à barbe ou rasoir (Schneider 1983).


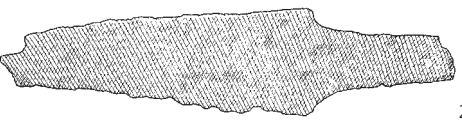
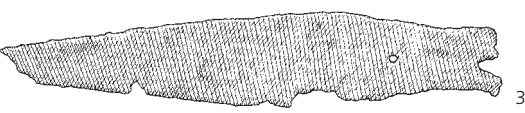
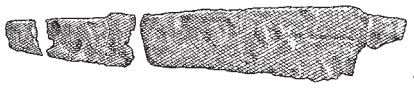
		Longueur	Largeur	Indice
Forme 2		7	1	14
		min. 8,1	2,8	min. 35
		min. 9,2	2,5	min. 27
		min. 9,5	2	min. 21

Fig. 120 Couteaux de la forme 2. 1 : cat. 468; 2 : cat. 212; 3 : cat. 211; 4 : (cat. 679. Longueur = longueur de la lame (cm); Largeur = largeur de la lame (cm); Indice = largeur de la lame x 100 / longueur de la lame. Echelle 1:2.










		Longueur	Largeur	Indice
Forme 3A	 1	6,5	1,5	23
	 2	10,1	1,8	18
	 3	10,3	2	19
	 4	min. 5,2	2	min. 38
	 5	min. 5,7	1,7	min. 30
	 6	min. 5,8	2,3	min. 40
	 7	min. 6,1	2	min. 33
	 8	min. 8,1	2,2	min. 27
Forme 3B	 9	7,3	1,7	23

Fig. 121 Couteaux de la forme 3A. 1: cat. 345; 2: cat. 676; 3: cat. 376; 4: cat. 215; 5: cat. 213; 6: cat. 214; 7: cat. 315; 8: cat. 529. Couteau de la forme 3B. 9: cat. 677. Longueur = longueur de la lame (cm); Largeur = largeur de la lame (cm); Indice = largeur de la lame x 100 / longueur de la lame. Echelle 1:2.

Pour l'ensemble des couteaux, une ornementation n'est présente qu'à cinq reprises. Elle se limite à une ou plusieurs rainures courant le long du dos de la lame: sur les deux faces pour quatre couteaux entiers (fig. 119.7,9; fig. 121.3-4), sur une seule face pour la lame fragmentée cat. 482. Pour conclure, et malgré l'approche formelle et métrologique, les couteaux de Develier-Courtételle sont peu marqués typologiquement et seules les dimensions les distinguent notablement. Mais il n'est pas possible de préciser si cette différenciation pourrait correspondre, par exemple, à des utilisations distinctes. La longueur des lames constitue le seul indice chronologique pertinent, avec une tendance à l'allongement au cours du temps (Marti 2000, p. 125).

Aspects analytiques des couteaux

Tous les couteaux ont été fabriqués avec des matériaux correspondant à leur fonction (fig. 122). Alors que le dos des lames est réalisé

avec des matériaux plutôt ductiles (fer, acier non trempable), les tranchants sont, eux, en acier trempable. Deux couteaux sont formés de deux matériaux soudés à l'aide de la technique du damas en couches, à savoir un matériau ductile (fer, acier non trempable) et un matériau dur (acier trempable). Pour le premier cas, il s'agit d'un couteau de la forme 3A (cat. 345) et pour le second d'un couteau de la forme 1B (cat. 375), certainement de fabrication locale. Les trois autres parties de couteau examinées sont de fabrication plus simple. Sur la pièce cat. 377, la pointe est en acier de production locale; sur la pièce cat. 319, la soie est un fer riche en phosphore d'une dureté égale à celle de l'acier. Le fragment de couteau cat. 175 présente lui un tranchant rapporté en acier.

Tous les couteaux examinés peuvent être qualifiés de produits de qualité et même, pour les pièces cat. 345 et 375, de produits de qualité exceptionnelle.

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau				Technique d'élaboration	Origine	
			Fer		Acier (%masse C)			locale	externe
			fer	fer phosphorique	0,1-0,3	0,4-0,8			
Forme 1B	175	2	x			x	soudé	x	
	319	1		x			soudé	x	
Forme 3A	345	2		x		x	damas	x	
Forme 1B	375	2			x	x	damas	x	
Forme 1A	377	1				x		x	
Total	5	8	1	2	1	4		2 3	
Couteau, externe	3	5	1	2		2			
Couteau, local	2	3			1	2			

Fig. 122 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des couteaux.

4.2.3.2 Les forces

Les treize exemplaires fragmentés de Develier-Courtételle (fig. 123) appartiennent au type des forces en une pièce, avec une « poignée » formant ressort en forme de U et des lames se superposant. Cet usuel, fort répandu en Europe dès l'époque de La Tène, se retrouve au Haut Moyen Age dans de très nombreux ensembles funéraires aussi bien masculins que féminins. Leur emplacement dans la sépulture a abondamment nourri la discussion quant à leur fonction. Alors que dans les ensembles masculins les forces sont décrites comme servant au soin de la chevelure ou de la barbe, pour les trouvailles féminines, et sur la base de la manière de les porter à la ceinture ou à une suspension quelconque, un aspect symbolique a souvent été mis en avant. En tant que trouvailles en contexte d'habitat, une utilisation parallèle comme « outil » a souvent été proposée en rapport avec la tonte des moutons ou la découpe des tissus, par exemple.

Les lames de forces identifiées à Develier-Courtételle se distinguent des couteaux par le départ du ressort, plus petit qu'une soie et placé d'ordinaire dans le prolongement du dos de la lame. Elles sont regroupées ici en fonction de la forme des dos : convexe (fig. 123.1-4), concave (fig. 123.5-6) ou rectiligne (fig. 123.7-12). Mais ce critère n'est pas déterminant, ni pour la typologie, ni pour la chronologie. On observe tout au plus que la forme concave n'est attestée que dans la partie orientale du site. Il semble que le seul critère déterminant soit la longueur de l'objet, pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres à l'époque romaine.

A cet égard, les treize forces de Develier-Courtételle ne dépassent pas la dizaine de centimètres, avec des lames toujours étroites. Ce simple constat renforce leur caractère exclusivement domestique.

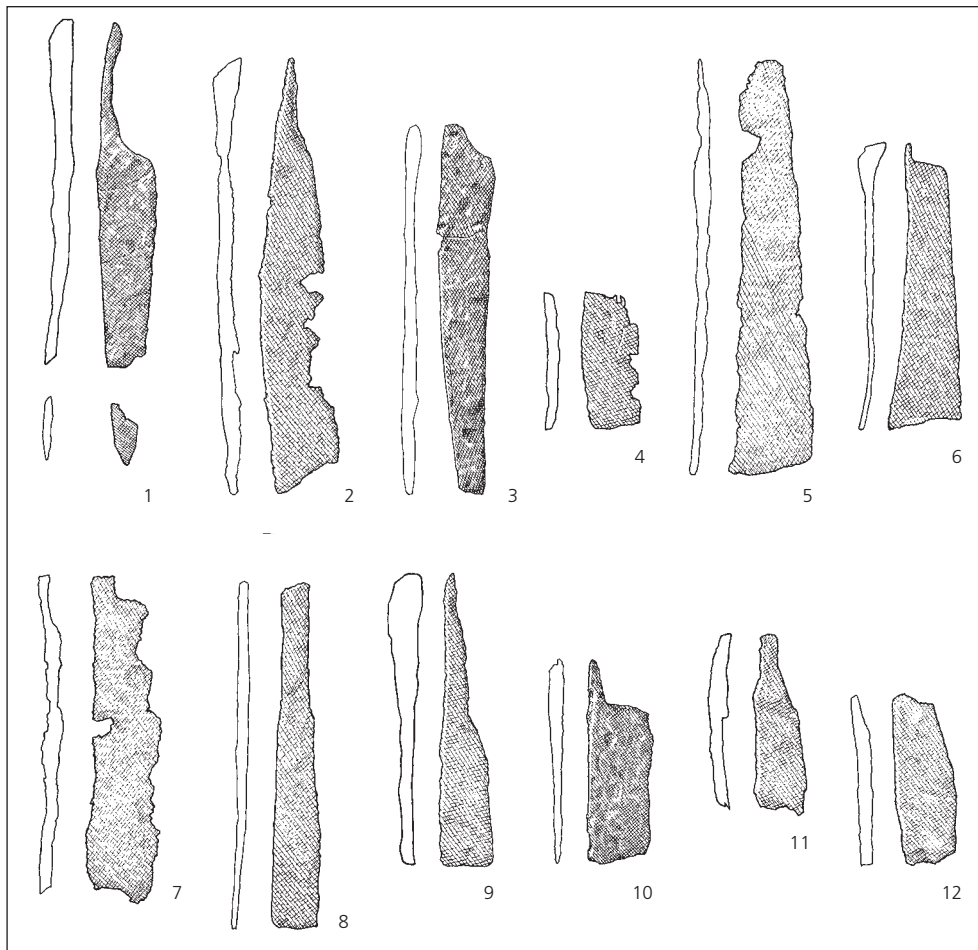


Fig. 123 Forces en fer. 1-4 : lames à dos convexe (cat. 689, 560, 690 et 532); 5-6 : lames à dos concave (cat. 228 et 626); 7-12 : lames à dos rectiligne (cat. 389, 390, 183, 691, 692 et 391). Echelle 1 : 2.



Fig. 124 Sélection de fiches à bélière en fer, présentées en fonction de la longueur conservée. 1-8: exemplaires à tige torsadée (cat. 533, 393, 698, 646, 693, 694, 469 et 394); 9-16: exemplaires à tige lisse (cat. 598, 697, 230, 696, 180, 695, 392 et 229). Echelle 1:2.

4.2.3.3 Les fiches à bélière

Appliqué aux 24 exemplaires en fer de Develier-Courtételle, le terme de fiche à bélière est le plus communément employé en français mais reste peu explicite (fig. 124). De nombreuses hypothèses ont déjà été formulées quant à son usage mais sans réellement convaincre: outil de vannier ou de damasquiner, poinçon à perfore les matières souples, instrument chirurgical réservé au bétail ou encore précurseur de la fourchette. Une poignée transversale en bois devant être engagée dans l'œil de l'instrument (Thouvenin 1977), il apparaît que le terme de poinçon (« Pfriem »), largement adopté par les auteurs allemands, soit finalement mieux adapté. Au-delà de son caractère énigmatique, la fiche à bélière constitue un objet de la vie quotidienne aussi commun que le couteau. Ces deux objets sont d'ailleurs en association très fréquente dans les tombes masculines du Haut Moyen Age, généralement comme contenu d'une aumônière accrochée à la ceinture.

Toutes les fiches à bélière ont une facture similaire, avec quelques variantes de détail qui se combinent sans pour autant constituer des types distinctifs. Endommagées pour la plupart, elles ne devaient pas dépasser, à une exception près (cat. 394), 10 cm de longueur. La tige élancée et pointue est de section carrée, exceptionnellement circulaire (cat. 180, 231 et 393). Quatorze exemplaires offrent une tige torsadée dans sa partie haute et dix une tige lisse; la torsade répond peut-être à la recherche d'une plus grande résistance mécanique ou à une simple ornementation. La tête aplatie

est toujours forgée en anneau ouvert: elle est prolongée sur six des neuf exemplaires encore intacts par une petite volute, que la tige soit torsadée ou lisse. Quelques contextes de découverte privilégiés marquent particulièrement le 7^e siècle: empierrement 210 de la ferme 1 avec les cat. 179 et 180 associés à la contre-plaque de ceinture cat. 181 (chap. 4.2.4.2), bassins de la zone d'activité 4 (phase D-IX) avec les cat. 500 et 501 associés au ferret en bronze cat. 502 (chap. 5.3.1.4) ou encore bâtiment A et empierrement 71 de la ferme 5 avec les cat. 598 et 646. Mais la diversité fonctionnelle de ces structures ainsi que des associations non significatives de mobilier n'autorisent aucune hypothèse nouvelle sur l'usage des fiches à bélière retrouvées à Develier-Courtételle.

4.2.3.4 Le briquet et les pinces à épiler

La forme des objets regroupés dans ce paragraphe permet de penser qu'il s'agit d'un briquet et de trois pinces à épiler, objets assez courants en contexte funéraire mais aussi parfois sur des sites d'habitat comme sur le Runde Berg près d'Urach (Koch 1984, p. 114 sqq.). La lame du briquet cat. 331 (fig. 125.1) est triangulaire avec des extrémités recourbées; cette forme classique pour les briquets en fer du Haut Moyen Age, se rencontre sans grand changement au moins entre le 6^e siècle et la première moitié du 7^e siècle (Windler 1994, p. 79). Sa présence dans le remplissage R134-2 de la cabane en fosse S de la ferme 2 (CAJ 13, chap. 6.3.4) évoque ici une datation dans le 7^e siècle.

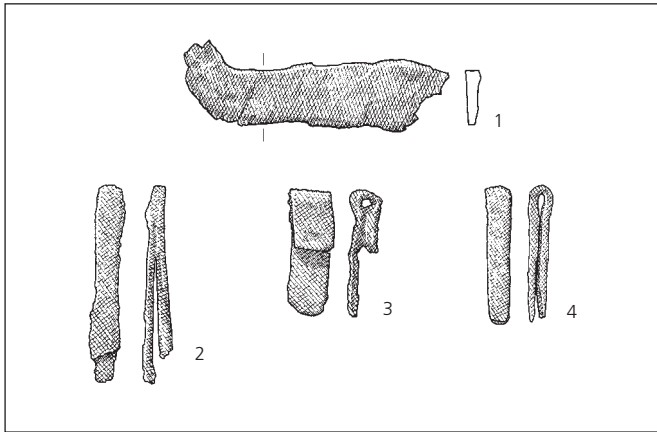


Fig. 125 Objets usuels en fer. 1: briquet (cat. 331); 2-4: pincettes à épiler (cat. 232, 396 et 831). Echelle 1:2.

La pince à épiler est considérée comme un instrument masculin dédié aux soins corporels. Traditionnellement mise en relation avec l'entretien de la barbe, elle sera remplacée dès la fin du 7^e siècle par des rasoirs en fer (Koch 1984, p. 114). Ce type d'objet, souvent en bronze, peut offrir des dimensions et une ornementation parfois développées mais les formes simples, en fer, sont aussi reconnues par exemple à Kaiseraugst (AG) (Martin 1976b, pl. 73.B5) ou à Kirchheim am Ries (Ostalbkreis; Neuffer-Müller 1983, pl. 93.F3). Le contexte de découverte des trois éventuelles pincettes de Develier-Courtételle (fig. 125.2-4) autorise leur attribution au Haut Moyen Age.

4.2.4 Les objets de buffleterie

Si nous avons opté pour le terme « buffleterie », terme peu explicite a priori, c'est que nous avons été confrontés, avec les 66 pièces regroupées au sein de cette catégorie typologique liée au costume, à d'importants problèmes d'identification. Non pas tant sur la terminologie descriptive de ces objets mais plutôt sur leur fonctionnalité. Mis au jour en contexte funéraire, de tels éléments sont en théorie intelligibles en fonction de leur emplacement dans la sépulture. Il est donc plus commode de distinguer les éléments attribuables à des garnitures de ceinture, de chaussure ou de jambière, à des baudriers ou à toute autre composante de l'équipement personnel du défunt. Tel n'est malheureusement plus le cas pour les objets retrouvés en contexte d'habitat. Ils ne forment plus d'ensembles cohérents puisque isolés en règle générale dans les niveaux archéologiques : une fonctionnalité évidente ne peut plus dès lors leur être attribuée. Le terme « objet de buffleterie » s'applique donc ici aux éléments métalliques de Develier-Courtételle qui furent fixés sur une quelconque lanière en rapport avec le costume. Leur présentation s'effectue en distinguant tout d'abord les éléments de ceinture, l'un des dépôts les plus couramment représentés dans les tombes du Haut Moyen Age et capital pour les approches chronologiques, puis les éléments du costume placés au niveau des jambes et enfin les éléments pour lesquels l'incertitude ne pourra jamais être levée.

Avec le décor, la forme des éléments de buffleterie constitue le paramètre descriptif le plus important. Même si les pièces sont uniques, chacune étant forgée et non pas moulée par les artisans,

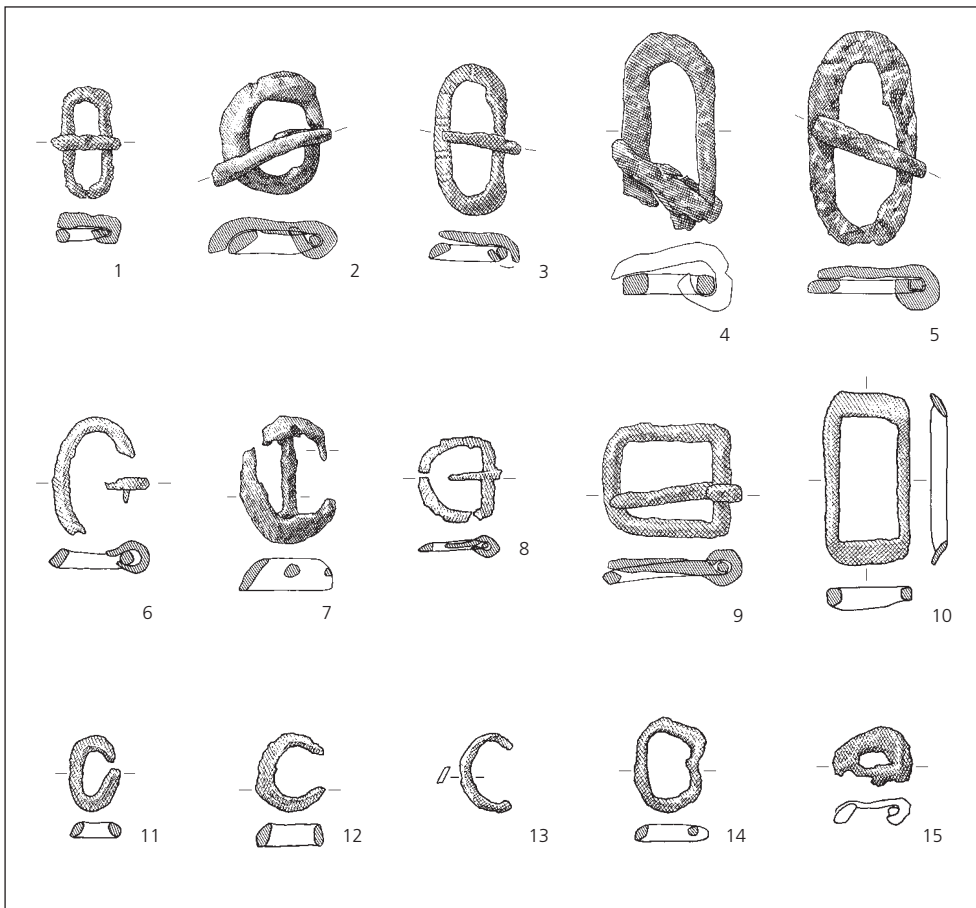


Fig. 126 Les boucles et les bouclettes simples en fer. 1-6: boucles ovales (cat. 234, 321, 832, 703, 704 et 705); 7: boucle ovale à traverse centrale (cat. 706); 8-9: boucles en forme de D (cat. 235 et 236); 10: boucle rectangulaire (cat. 833); 11-15: bouclettes (cat. 700, 701, 638, 599 et 702). Echelle 1:2.

les accessoires de buffleterie, et tout particulièrement ceux de ceinture, sont étudiés depuis fort longtemps et déjà rassemblés en différents groupes. Ce classement est d'ailleurs largement repris par la plupart des auteurs, avec les adaptations nécessaires en fonction de spécificités plus régionales. Nous retiendrons tout particulièrement les publications de M. Martin (1986 et 1991) et de R. Marti (2000).

4.2.4.1 Les boucles simples et les bouclettes

A côté de la forme ovale, majoritaire, on trouve parmi les quinze boucles simples et bouclettes de Develier-Courtételle d'autres formes particulières : à traverse centrale, en forme de D ou rectangulaire (fig. 126). La moitié d'entre elles possède encore tout ou partie de l'ardillon. Un seul exemplaire est décoré. L'état de conservation est très variable mais rend parfois très délicate l'identification précise de la section de l'anneau : les sections ovales disposées obliquement sont les plus fréquentes, mais les sections circulaires et quadrangulaires légèrement facettées sont attestées. Le grand point d'interrogation est leur attribution à un type précis de courroie : les éléments pouvant se rapporter de manière incontestable à la ceinture ne sont pas très nombreux. On ne peut évidemment rien conclure de leur appartenance à l'un ou l'autre sexe. Leur datation reste également très problématique. Les découvertes en contexte funéraire n'étant pas d'une grande aide, soit par manque de typologie fine, soit que les boucles simples constituent un dépôt unique. Pour les nécropoles de Kaiseraugst et de Elgg (ZH) une tendance se dessine vers une augmentation progressive de la largeur des boucles simples en fer (Martin 1991, p. 88-90; Windler 1994, p. 95). La mesure de la largeur interne des boucles et des caractéristiques formelles sont les critères de différenciation retenus ici et permettent un classement en quatre groupes.

Les boucles ovales de largeur moyenne

Cet ensemble comporte sept pièces morphologiquement peu homogènes mais caractérisées par une largeur interne comprise entre 2 et 4,3 cm (fig. 126.1-7). Les anneaux ovales sont de section circulaire (1x), oblique (4x) ou quadrangulaire plus ou moins aplatie (2x). Les formes sont basses et les traverses sont nettement amincies sauf sur les deux exemplaires à section quadrangulaire. Les ardillons conservés sont une simple tige de largeur constante et repliée sur la traverse.

Le cat. 234 (fig. 126.1) est la plus petite boucle reconnue. Elle est aussi la seule à s'inscrire dans la forme 2A de la typologie de R. Marti, forme regroupant les plus anciens exemplaires de boucles en fer non décorées (Marti 2000, p. 82-83).

Les six autres exemplaires peuvent être associés à la forme 2B du même auteur. La boucle cat. 321 (fig. 126.2) est par exemple proche de celle de la tombe 14 de Aesch, Steinacker (*ibid.*, pl. 7.14.1) et daterait plutôt du début du 7^e siècle en raison de ses dimensions encore restreintes. La forme déjà plus haute du corps de la boucle cat. 706 (fig. 126.7) est un argument pour une datation plus récente, vers le milieu du 7^e siècle, et une possible appartenance à une garniture de ceinture à plusieurs éléments. La traverse centrale – soudée au cuivre – de cette boucle ne doit cependant pas faire illusion : elle témoigne d'une réparation assez

maladroite mais surtout d'une utilisation sans doute prolongée. Le cat. 832 (fig. 126.3) est l'unique boucle décorée. Des incisions regroupées deux à deux sur l'anneau rappellent le décor figurant sur les exemplaires en bronze plus massifs du 6^e siècle mais aussi sur ceux en fer du début du 7^e siècle. Enfin, celles de plus grandes dimensions cat. 703 et 704 (fig. 126.4-5) illustrent la tendance à l'agrandissement des boucles au cours du 7^e siècle et un retour à des formes simples ne devant pas être visibles car recouvertes par les vêtements.

Les boucles en forme de D

Attestée par les cat. 235 et 236 (fig. 126.8-9), cette forme particulière se rapporte aux boucles les plus tardives, dépassant peut-être même l'époque mérovingienne (Marti 2000, p. 83, note 303). Une appartenance au 8^e siècle doit en tout cas être retenue pour le cat. 235 ; cependant la situation du cat. 236 est malheureusement moins claire.

La boucle rectangulaire

Le boucle rectangulaire cat. 833 (fig. 126.10) a pu être comparée avec une boucle tout à fait identique dans la tombe 82 de Lausanne, Bel-Air (VD) (Leitz 2002, pl. 38). Placé dans la partie médiane de la phase 3 (570/80 - 630/40) de la nécropole vaudoise, cet objet est le seul argument pour dater le cat. 833 du début du 7^e siècle.

Les bouclettes ovales étroites

Ces cinq pièces sont caractérisées par leurs dimensions restreintes qui indiquent l'utilisation de lanières d'une largeur comprise entre 1,2 et 2 cm (fig. 126.11-15). Les anneaux sont ovales et de section toujours oblique. Lorsqu'elle est conservée, la traverse est circulaire (2x) ou identique à la section de l'anneau, à peine amincie (2x). Un seul exemplaire a conservé partiellement son ardillon. Toutes ces pièces, impossibles à dater, ont comme caractéristique de former un ensemble cohérent limité à la ferme 5. Une utilisation sur des aumônières ou des petites trousses est la plus probable.

4.2.4.2 Les garnitures de ceinture bi- ou tripartites

Dès la fin du 6^e siècle, les éléments métalliques de la ceinture prennent de l'importance et forment de plus en plus souvent des garnitures en deux ou trois parties, avec plaque-boucle, contre-plaque, souvent accompagnées d'une plaque dorsale (phase 2; Martin 1986). En fonction de nos connaissances typologiques, les pièces présentées ici ont certainement appartenu à de telles garnitures (fig. 127). Il s'agit de deux plaques-boucles, de deux contre-plaques et d'une plaque dorsale ; deux boucles, un ardillon et une plaquette à œillet ont également dû être associés à des types précis de garnitures de ceinture à deux ou trois éléments. Seuls deux éléments sont décorés.

La plaque-boucle cat. 708 (fig. 127.1) est très endommagée mais elle correspond au type des garnitures de ceinture tripartites larges, encore datables dans le premier tiers du 7^e siècle. Trois autres pièces (fig. 127.2-4) marquent l'évolution de la ceinture au cours du 7^e siècle, avec le passage à des plaques de plus en plus étroites. Les exemplaires les plus récents et sans décor devaient probablement être portés de manière non visible. Les bords très profilés et

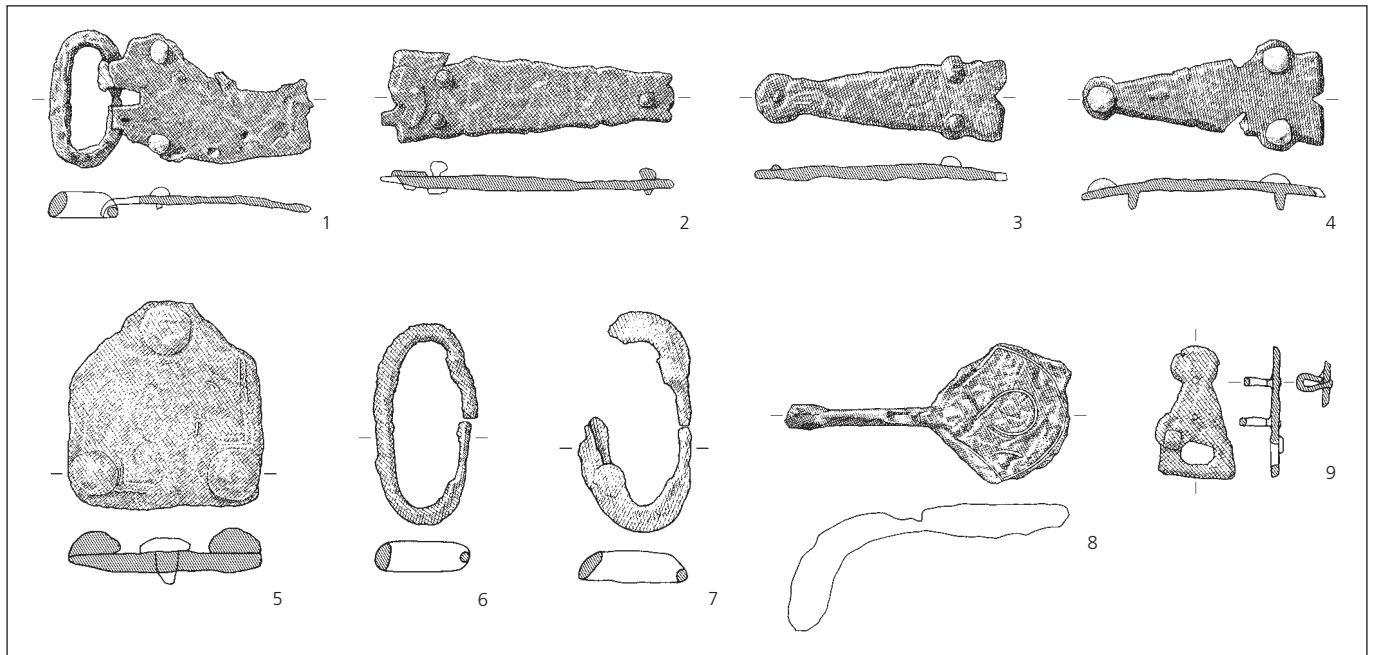


Fig. 127 Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture bi- ou tripartites. 1-2: plaques-boucles (cat. 708 et 707); 3-4: contre-plaques (cat. 181 et 709); 5: plaque dorsale (cat. 237); 6-7: boucles (cat. 397 et 398); 8: ardillon (cat. 239); 9: plaquette à œillet (cat. 712). Echelle 1:2.

l'extrémité en queue d'aronde rapprochent le cat. 707 (fig. 127.2) de la forme 7B de la typologie de R. Marti. Mais par sa largeur de seulement 2,6 cm et la forme haute de ses petits rivets, nous estimons qu'elle constitue un exemplaire très tardif à dater de la fin du 7^e siècle et déjà dans la phase JM III (Marti 2000, p. 92-93 et 105). Une tendance identique s'exprime sur les cat. 181 et 709 (fig. 127.3-4) : avec une largeur de 2,2 et respectivement 3 cm, ces deux contre-plaques triangulaires à bords biseautés illustrent elles aussi le passage à des ceintures de plus en plus étroites. Rapportées à la forme typologique 6C (Marti 2000, p. 105), elles soulignent ici encore des exemplaires tardifs et le passage à la phase chronologique JM III.

La plaque dorsale cat. 237 (fig. 127.5) porte encore les traces d'un fin décor damasquiné d'argent duquel n'apparaît plus qu'une frise périphérique de zig-zag. Large de 5,6 cm, cette plaque est très représentative des garnitures tripartites dites de type C, variante Bülach largement attestées dans les nécropoles des régions occidentales et très caractéristiques des trois ou quatre premières décennies du 7^e siècle. La forme pentagonale de la plaque de Develier-Courtételle est toutefois particulière, un module carré étant la règle. Une telle variation morphologique s'observe parfois sur des exemplaires découverts dans des régions plus orientales (Theune 1999, pl. 17.55.1c; Bertschinger et al. 1990, pl. 46.3).

Les deux boucles sans décor cat. 397 et 398 (fig. 127.6-7) doivent se rapporter, par leurs dimensions, à des ceintures larges à deux ou trois éléments de la première moitié du 7^e siècle. Dans le cas du cat. 398, une attribution plus spécifique à une garniture dite de type B doit même être envisagée.

La forme et les dimensions de l'ardillon cat. 239 (fig. 127.8) rendent probables son appartenance à une garniture dite de type B, considérée comme typique du costume féminin du domaine

romano-burgonde dès le début du 7^e siècle. Ce constat sort renforcé par l'analyse du décor conservé. Le motif du brin ouvert traçant une boucle, déjà présent sur des garnitures de type B précoces à décor géométrique comme celle de la tombe 76 de Vuippens, La Palaz (FR) (Schwab et al. 1997, fig. 126.1), est aussi attesté sur des exemplaires à décor bichrome et placage dominant. C'est notamment le cas de la garniture de la tombe 303 de Curtil-sous-Burnand (Saône-et-Loire, F; Ajot 1986, fig. 112) et probablement aussi d'un ardillon isolé dans la tombe 66 de Soyria à Clairvaux-les-Lacs (Jura, F; Cheval et Lambert 1983, p. 30). La pointe fortement recourbée impliquant une boucle de forme haute, les dimensions ainsi que le décor bichrome à placage dominant du cat. 239 incitent à voir ici un exemplaire tardif, guère envisageable avant le milieu du 7^e siècle.

La plaquette triangulaire à un seul œillet cat. 712 (fig. 127.9) devait permettre la fixation sur la ceinture d'une aumônière ou d'un scramasaxe. Ces petits éléments en fer font leur apparition sur des garnitures de ceinture à plaques circulaires (Martin 1991, p. 123; Windler 1994, p. 68); elles peuvent encore figurer en association avec une plaque dorsale carrée sur des garnitures tripartites du premiers tiers du 7^e siècle (Bertschinger et al. 1990, pl. 44 et 45).

4.2.4.3 Les garnitures de ceinture à plusieurs éléments

Dans les régions occidentales, le deuxième tiers du 7^e siècle marque l'apparition de garnitures de ceinture à plaques plus étroites et plus allongées (phase 3; Martin 1986). Dites de type C, forme Berne-Soleure, ces garnitures sont caractérisées par la disparition des plaques dorsales carrées, remplacées désormais par plusieurs plaquettes verticales disposées le long du ceinturon. Une boucle et deux plaquettes verticales de Develier-Courtételle peuvent se rapporter aux garnitures de cette phase. Toutes trois sont décorées.

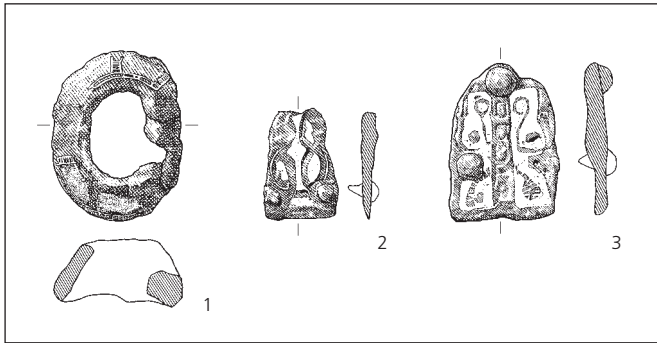


Fig. 128 Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à plusieurs éléments. 1 : boucle (cat. 233); 2-3 : plaquettes verticales (cat. 710 et 483). Echelle 1 : 2.

La boucle cat. 233 (fig. 128.1) a conservé les restes d'un décor particulier dont nous n'avons pas retrouvé d'équivalent. Des frises d'échelles d'argent encadrent, de part et d'autre du repos de l'ardillon, quatre compartiments trapézoïdaux. Deux d'entre eux conservent encore une feuille en alliage cuivreux estampée, mais sans motifs décoratifs apparents. La forme tronconique haute de cette boucle doit indiquer un exemplaire tardif, vers la fin du deuxième tiers du 7^e siècle.

Les deux plaquettes verticales cat. 710 et 483 (fig. 128.2-3) sont largement plaquées d'argent, avec incrustations de laiton pour la première. Par son décor, le cat. 710 trouve de bons parallèles à Rufenach (AG) sur une garniture associant trois plaquettes identiques (Holliger 1984, fig. 74) et sur plusieurs garnitures du groupe G. 4A de la nécropole de Doubs (Doubs, F; Urlacher et al. 1998, fig. 131). Le cat. 483 offre comme motif particulier un bandeau axial orné de motifs losangiques gravés en relief et probablement lui aussi plaqué d'argent ou de laiton à l'origine. Cet élément particulier évoque un grand nombre de garnitures, essentiellement féminines (type A et type B en particulier) de Suisse occidentale mais aussi de Franche-Comté et de Bourgogne. Des plaquettes verticales analogues sont ainsi présentes à Doubs sur une garniture du groupe G. 5A datée entre 640 et 670/80 (Urlacher et al. 1998, fig. 134 S. 289-289A).

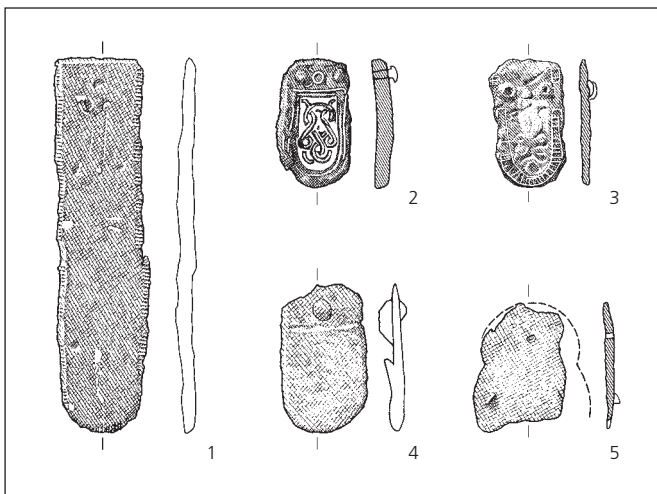


Fig. 129 Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à éléments multiples. 1-4 : terminaisons de lanière (cat. 403, 238, 402 et 628); 5 : plaquette verticale (cat. 711). Echelle 1 : 2.

4.2.4.4 Les garnitures de ceinture à éléments multiples

Le deuxième tiers du 7^e siècle voit également, mais cette fois-ci dans les régions orientales, l'apparition de garnitures à éléments multiples (phase 3; Martin 1986, fig. 23.25). Leur caractéristique est la présence de petites lanières secondaires suspendues au revers de la courroie principale, fixées par des petites plaquettes verticales et terminées par d'autres, souvent plus allongées que les précédentes. Nous proposons ici quatre terminaisons de lanière et une plaquette verticale. Trois éléments sont décorés.

La fonction du cat. 403 (fig. 129.1) est délicate à préciser. Un tel objet trouve de nombreux équivalents dans la réalisation de ceintures à éléments multiples du secteur alaman mais aussi dans celle de baudriers d'épée. Sa fonction même au sein d'une garniture n'est pas claire: s'agit-il d'une terminaison de lanière secondaire ou plutôt du ferret principal de la garniture? Nous retenons plutôt l'hypothèse d'une terminaison de lanière sur la base de la tombe 30 de Bourogne (Ter. de Belfort, F; Scheurer et Lablotier 1914, p. 64 et fig. 29; Salin 1953, fig. 5b). À l'intérieur de cette même tombe ont été retrouvées deux terminaisons de lanière – il ne peut donc pas s'agir de deux ferrets principaux – avec des dimensions rigoureusement identiques à celles de l'exemplaire de Develier-Courtételle. La tombe 293 de Doubs souligne aussi qu'un ferret principal peut offrir des dimensions encore plus importantes (Urlacher et al. 1998, fig. 57). L'ornementation pratiquement détruite du cat. 403 empêche tout rapprochement avec la sériation des décors développée par R. Marti dans sa publication de la tombe 4 de Altdorf (UR) (Marti 1995, p. 109 sqq.). Seule la radiographie (fig. 130) révèle la présence d'un décor organisé symétriquement le long d'un bandeau axial et celle d'un



Fig. 130 La radiographie a mis en évidence certains détails cachés du décor de la terminaison de lanière cat. 403. La présence d'argent ou d'un alliage cuivreux à l'intérieur des petites cavités circulaires (en blanc sur la radiographie) rend possible la présence de grenats ou de verroteries, fixés à l'origine sur cet objet. Longueur 10 cm (radiographie Empa).

motif central formé de cinq cavités disposées en croix. Il n'est pas impossible que ces petites cavités aient contenu des incrustations de grenats ou de verroteries (comme sur la fibule ansée symétrique cat. 724 et la boucle d'oreille cat. 836; chap. 5).

Les cartes de distribution indiquent une concentration très marquée de ce type de garnitures de ceinture ou de baudrier dans le sud-ouest de l'Allemagne et jusque dans le nord de la Suisse (Marti 1995, fig. 32; Urlacher et al. 1998, fig. 59). L'exemplaire de Develier-Courtételle contribue lui aussi à renforcer la limite au sud-ouest de cette aire de diffusion. En relation avec les études déjà citées, une datation vers 660/680 ap. J.-C., proche de la fin de l'horizon des garnitures à éléments multiples, peut être proposée.

La terminaison de lanière cat. 238 (fig. 129.2) est plus petite que la précédente mais pose la même problématique, à savoir son appartenance à une ceinture ou à un baudrier d'épée. Avec une qualité d'exécution particulièrement remarquable, cet objet est dans tous les cas assimilable à une garniture de type Civezzano. Pour un examen plus détaillé, nous renvoyons aux commentaires relatifs à la plaque losangique de baudrier d'épée cat. 733 (chap. 4.2.6.1).

Par sa forme et ses dimensions, le cat. 402 (fig. 129.3) est assimilé de manière plus incertaine à une terminaison de lanière. Mais une fonction comme véritable ferret reste possible. Il se caractérise par son ornementation centrale réalisée sur une feuille de bronze travaillée au repoussé ou plaquée sur un décor préalablement gravé en relief (fig. 131). La composition de ce décor n'est plus déchiffrable mais pourrait comporter des motifs stylisés d'inspiration florale. Nous n'avons guère trouvé de parallèles pertinents pour ce décor, sinon celui d'une garniture en bronze de la tombe 147/2 de Lausanne, Bel-Air qui donne une idée de ce type de décor (Leitz 2002, pl. 38). Placée dans la phase 4 (630/40 - 680) de cette nécropole, celle-ci fournit une première approche chronologique. On pourrait également citer les motifs estampés sur des garnitures tardives de type A ou d'autres types de garnitures tardives (par ex. Marti 1995, fig. 35). Une datation au-delà de la première moitié du 7^e siècle ne paraît pourtant guère pouvoir être appliquée au cat. 402 de Develier-Courtételle en raison de la frise d'échelles du décor périphérique, trait caractéristique des damasquinures du début du 7^e siècle.



Fig. 131 Vue de détail de la terminaison de lanière cat. 402. Longueur 3,4 cm.

La terminaison de lanière cat. 628 et la plaquette verticale cat. 711 (fig. 129.4-5) sont sans caractéristiques particulières bien que la forme de la seconde soit plutôt insolite. De tels éléments sans décor, en fer ou en bronze, sont largement attribués au 7^e siècle.

4.2.4.5 Les garnitures de ceinture à plaque repliée

Les quatre garnitures de ceinture à plaque repliée retrouvées sur le site de Develier-Courtételle (fig. 132) appartiennent – dans la classification du mobilier funéraire – à la dernière phase du développement des garnitures de ceinture (phase 4; Martin 1986). On voit alors réapparaître des boucles simples sans plaque ainsi que ce type de petites plaques-boucles plutôt attribuables au costume masculin. La plaque, généralement rectangulaire et plus étroite que la boucle, est repliée sur l'axe de cette dernière. Elle était fixée au ceinturon par un ou deux petits rivets disposés à l'arrière. Le cat. 400 (fig. 132.2) possède encore un passant rectangulaire en position fonctionnelle. Tous ces exemplaires peuvent être datés entre la fin du 7^e siècle et les premières décennies du 8^e siècle.

4.2.4.6 Les garnitures de chaussure ou de jambière

Par leur forme et leurs dimensions restreintes, mais aussi par quelques comparaisons avec du mobilier déjà publié, quatre plaques-boucles et deux contre-plaques ont été reconnues comme des accessoires vestimentaires portés au niveau du pied ou de la jambe (fig. 133). Ce type de garniture, portée par paire, est normalement constituée d'une plaque-boucle, d'une contre-plaque et d'un ferret. Les éléments disparates de Develier-Courtételle sont

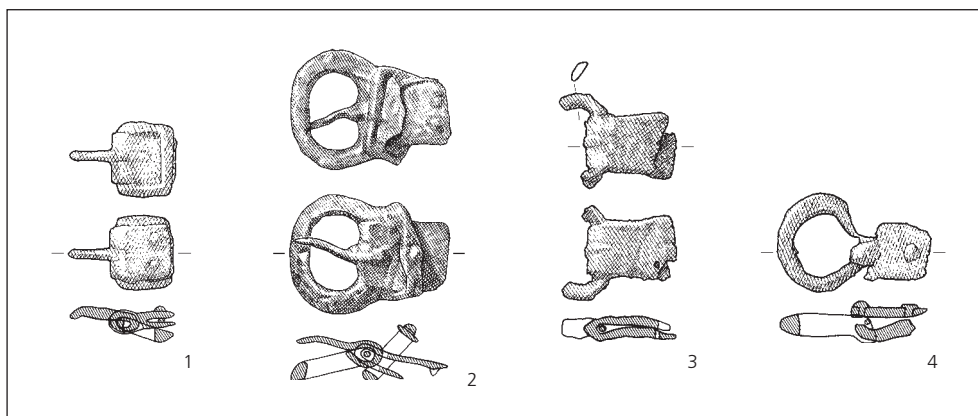


Fig. 132 Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à plaque repliée. 1-4: plaques-boucles (cat. 401, 400, 561 et 600). Echelle 1:2.

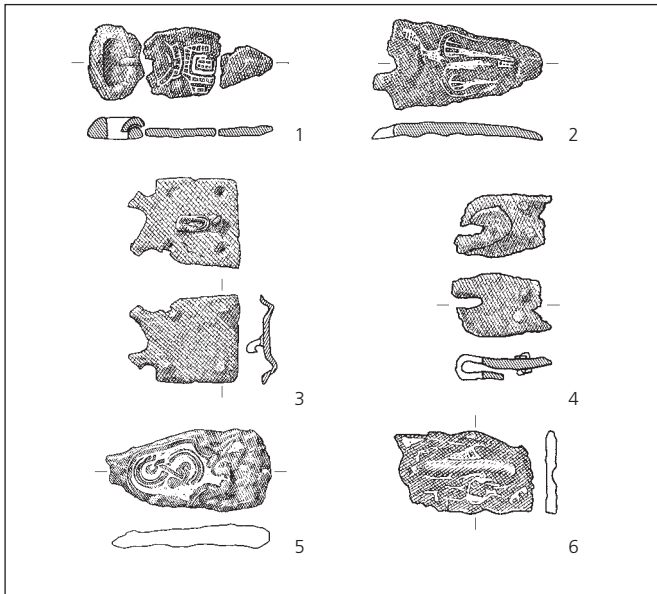


Fig. 133 Les éléments en fer attribuables à des garnitures de chaussure ou de jambière. 1-4: plaques-boucles (cat. 534, 476, 713 et 714); 5-6: contre-plates (cat. 563 et 715). Echelle 1:2.

de la sorte le reflet de six garnitures bien distinctes. Trois d'entre eux sont damasquinés uniquement d'argent, un quatrième d'argent et de laiton.

Les deux plaques-boucles triangulaires cat. 534 et 476 (fig. 133.1-2) sont très abîmées et sans parallèles précis. Mais leur décor autorise une approche chronologique par comparaison avec les garnitures de ceinture. Les frises, encore très géométriques, d'échelles et de nids d'abeilles, figurant sur la première, assurent une datation dans le premier tiers du 7^e siècle. La seconde plaque-boucle, par son décor malheureusement très effacé mais largement plaqué d'argent, doit être située déjà dans le deuxième tiers du 7^e siècle. La plaque-boucle cat. 713 (fig. 133.3) possède comme particularité quatre faux rivets sur la plaque – la fixation étant assurée au revers par deux œilletons soudés – mais surtout le fait d'être forgée en une seule pièce. Cette dernière caractéristique, fréquemment reconnue à travers le mobilier en bronze, nous incite à l'identifier en tant que garniture de jambière. La comparaison peut aussi s'établir avec des exemplaires articulés, en bronze comme ceux de Paris (Périn 1985, fig. 346-348) ou en fer comme celui de la tombe 50 de Therwil (BL) (Marti 2000, fig. 61.1) daté, lui, de la fin du 7^e siècle. La plaque-boucle cat. 714 (fig. 133.4) est surtout rattachée à ce petit ensemble en raison de ses faibles dimensions.

Les contre-plates de chaussure cat. 563 et 715 (fig. 133.5-6) sont toutes deux plaquées d'argent. La première, ornée d'un motif traité en style animalier II, trouve un bel équivalent avec la garniture de la tombe 89 de Güttingen (Kr. Konstanz, D; Fingerlin 1971, pl. 43.7) attribuée à la phase 3 de ce cimetière, soit approximativement le deuxième tiers du 7^e siècle. La seconde contre-plate de Develier-Courtételle présente une extrémité en queue d'aronde ainsi qu'une profonde gorge disposée dans l'axe longitudinal. Le décor très effacé révèle encore les traces d'un placage d'argent et des incrustations de laiton, autorisant ici aussi une datation large dès le deuxième tiers du 7^e siècle.

4.2.4.7 Les éléments isolés

Sont regroupées dans ce paragraphe les 24 pièces de buffleterie qui, faute de caractéristiques particulières ou en raison de leur état de conservation, ne peuvent être attribuées à un quelconque élément du costume (fig. 134). Ont été comptabilisés trois ardillons, neuf rivets dont trois sont trop fragmentés pour figurer au catalogue, dix ferrets et deux éléments particuliers.

Les ardillons

Les trois ardillons cat. 240, 405 et 716 (fig. 134.1-3) sont sans caractéristique particulière ni décor. La base triangulaire des deux premiers est une forme commune à une grande variété de garnitures de ceinture entre la fin du 6^e siècle et pratiquement tout le 7^e siècle. De la boucle du cat. 716 ne subsiste qu'un ardillon droit, replié en crochet sur la traverse.

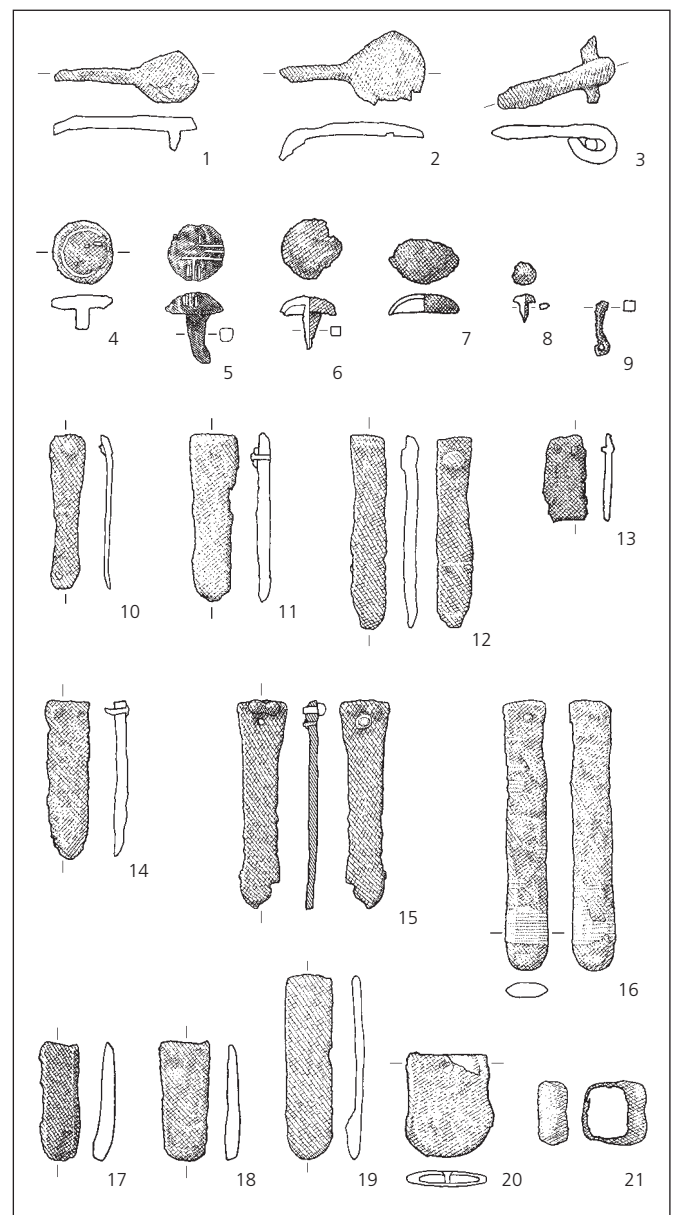


Fig. 134 Les éléments de buffleterie en fer isolés. 1-3: ardillons (cat. 240, 405 et 716); 4-9: rivets et tige de rivet (cat. 406, 717, 185, 186, 718 et 630); 10-19: ferrets (cat. 242, 720, 721, 407, 485, 409, 408, 171, 565 et 470); 20: terminaison de lanière (?) (cat. 601); 21: passant de lanière (?) (cat. 410). Echelle 1:2.

Les rivets

Sur les neufs rivets ou fragments de rivets reconnus, deux présentent un décor damasquiné de laiton (fig. 134.4-5). La forme plate et l'ornementation du cat. 406 (fig. 134.4) sont particulièrement originales et plaident pour un éventuel rivet de fourreau de scramasaxe. Quatre autres rivets (fig. 134.5-8) et les trois fragments ne figurant pas au catalogue possèdent des têtes hémisphériques mais sans rebord à leur base. De tels rivets peuvent accompagner une variété de garnitures de ceinture entre le dernier tiers du 6^e siècle et au moins les deux premiers tiers du 7^e siècle (Martin 1991, fig. 53b). Le cat. 717 (fig. 134.5) est daté plus précisément, vers 600 ap. J.-C., en raison de son décor cruciforme spécifique (Windler 1992); le petit rivet cat. 718 (fig. 134.8) pourrait, lui, convenir à des garnitures à plaques étroites, plus tardives (fig. 127.2-3). Il convient toutefois de relever l'absence de rivets de forme haute, caractéristiques des garnitures les plus tardives.

Les ferrets

Dix ferrets, entiers ou fragmentés, ne peuvent être rapportés à un élément particulier du costume. Les ferrets, dont la fonction est de faciliter le passage de l'extrémité de la lanière à travers une boucle, se rencontrent de manière générale partout où une courroie est nécessaire. Ils sont en fait assez rares avec les garnitures de ceinture, déjà plus fréquents avec les garnitures d'éperon ou avec les aumônières. Mais leur utilisation la plus courante concerne les accessoires du costume portés au niveau des jambes, telles que les garnitures de chaussure ou de jambière (Moosbrugger-Leu 1971, p. 177 sqq.).

Hormis la présence ou l'absence de décors, on distingue principalement les ferrets à extrémité arrondie (fig. 134.10-12,14,16-19) et ceux à extrémité pointue (ici, fig. 134.15) caractéristiques des phases tardives du mobilier de l'époque mérovingienne. Le nombre des rivets de fixation peut également apporter des indices d'ordre chronologique: les quelques ferrets du 5^e siècle ont le plus souvent un seul rivet, ceux du 6^e siècle un ou deux rivets; les ferrets à trois rivets ne se rencontrant qu'au 7^e siècle voire encore éventuellement dans le 6^e siècle tardif. Ce cadre très général n'exclut cependant pas la présence de ferrets à un ou deux rivets de fixation dans le 7^e siècle mais rend à l'inverse impossible l'existence au 5^e siècle et durant la première moitié du 6^e siècle de ferrets à trois rivets.

Les ferrets à un ou deux rivets (fig. 134.10-14) peuvent donc occuper un espace chronologique assez étendu sur les 6^e et 7^e siècles. Le cat. 242 (fig. 134.10) est comme « taillé dans une tôle » vu sa très faible épaisseur, caractéristique des ferrets les plus anciens (Moosbrugger-Leu 1971, p. 178).

En plus de la disposition échelonnée des trois rivets de fixation, le ferret cat. 409 (fig. 134.15) possédait une extrémité pointue et le ferret décoré cat. 408 (fig. 134.16) des bords biseautés, deux caractéristiques qui se retrouvent sur les exemplaires tardifs et rend probable leur datation dans la seconde moitié du 7^e siècle. Significativement, ces deux exemplaires sont aussi les plus longs parmi l'ensemble considéré.

Eléments particuliers

Le cat. 601 (fig. 134.20) est assez singulier. Assimilable dans sa fonction à un ferret, il en diffère cependant par sa forme. Le corps creux permet d'insérer une lanière large d'au moins 1 cm, maintenue en place à l'aide d'un petit rivet centré. Des formes similaires sont pourtant attestées, par exemple dans la tombe 449 de Kirchheim am Ries (Ostalbkreis; Neuffer-Müller 1983, pl. 93.C3-5).

Le cat. 410 (fig. 134.21) est considéré comme un passant de buffleterie à l'image des exemplaires en bronze présentés dans le chapitre 5.3.1.6. La comparaison avec un objet similaire de Nordheim (Kr. Heilbronn, D; Koch 1984, fig. 3) laisse pourtant ouverte la possibilité d'un élément en lien avec une garniture d'éperon.

4.2.4.8 Aspects analytiques des objets de buffleterie

Les éléments de buffleterie sont formés soit de fer soit d'acier à faible teneur en carbone et le plus souvent réalisés par soudage de plusieurs couches entre elles (fig. 135). Tous sont fabriqués en métal de provenance étrangère. On relèvera la trempe superficielle que présente l'objet cat. 403. Il est probable qu'elle a été produite par inadvertance ou secondairement, car elle n'est pas justifiée pour un élément d'une garniture de ceinture.

La composition chimique des damasquinures des éléments de ceinture cat. 238, 239 et 403 a été analysée (annexe 5). Alors que sur la pièce cat. 238 l'analyse révèle qu'elles ont été réalisées aussi bien avec du laiton qu'avec de l'argent, on ne décèle sur la pièce cat. 403 que des incrustations d'argent. Sur la pièce cat. 239, seule l'incrustation de laiton a pu être étudiée. Il est admis qu'avec la méthode de production du laiton par fusion du cuivre avec de la calamine (minerai de zinc) alors utilisée, la teneur maximale en zinc de l'alliage se situe aux environs de 28% (Riederer 1994, p.34-36). Ce n'est qu'au 18^e siècle de notre ère que l'on est parvenu à obtenir du zinc métallique par distillation, ce qui a permis de produire des laitons avec des teneurs en zinc supérieures à 30% masse. Les teneurs en zinc d'environ 30%, observées ici pour les fils de laiton, témoignent d'une maîtrise parfaite de son art par le fabricant du laiton comme l'a justement fait remarquer P. Northover (University of Oxford).

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau				Technique d'élaboration	Origine	
			Fer		Acier (%masse C)			locale	externe
			fer	fer phosphorique	0,1-0,3	0,4-0,8			
Terminaison de lanière	238	1		x			soudé	x	
Ardillon	239	2	x		x		soudé	x	
Boucle	321	1	x					x	
Terminaison de lanière	403	1				x	trempe	x	
Boucle	832	2	x		x		soudé	x	
Total	5	7	3	1	2	1		5	

Fig. 135 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des objets de buffleterie.

4.2.5 Les objets de parure

Les objets de parure constituent l'unique catégorie de mobilier à l'intérieur de laquelle les éléments en fer sont minoritaires face à ceux en bronze. Au nombre de six, ils sont représentés par deux objets uniques sur le site et par quatre épingles. Tous ont été retrouvés dans les couches d'occupation du Haut Moyen Âge, à l'exception du bracelet cat. 322 issu du remplissage d'une cabane en fosse.

4.2.5.1 La fibule en oméga

L'identification du cat. 348 (fig. 136.1) a été établie par comparaison avec la fibule en oméga de tradition gallo-romaine de la tombe 40 de Aesch, Steinacker (BL) (Marti 2000, fig. 24.12). D'autres ensembles funéraires suggèrent pourtant que ce type de fibules est encore, au Haut Moyen Âge, une composante du costume des populations romanes aussi bien au nord qu'au sud des Alpes. Les deux fibules en oméga de Develier-Courtételle et d'Aesch ont comme particularités d'être en fer, plus petites et plus sobres dans leur composition que les fibules en oméga classiques de l'Époque romaine. L'exemplaire bâlois a été retrouvé en réemploi, comme élément suspendu, dans un contexte de la fin du 7^e siècle ou vers 700 ap. J.-C.

4.2.5.2 Le bracelet

Les bracelets métalliques du Haut Moyen Âge constituent une catégorie d'objets de parure qui, de manière générale, n'est pas très courante et dont il est souvent difficile de tirer profit du point de vue chronologique. Pris dans leur ensemble, il s'agit d'éléments essentiellement féminins, portés au poignet ou à l'avant-bras gauche, mais il semble pourtant que les exemplaires en fer se rencontrent plus fréquemment dans les tombes masculines que les exemplaires en bronze ou en métal précieux (Wührer 2000, p. 71 sq.). Pour l'époque mérovingienne, les bracelets en fer sont typiques du costume romain et reconnus au moins pour les 6^e et 7^e siècles (Martin 1991, p. 65). Dans le canton du Jura, la présence de bracelets métalliques n'est assurée à ce jour qu'avec les découvertes anciennes de Bonfol, Cras Chalet (Schifferdecker 1987, fig. 3.3) et celles inédites de Bassecourt, Saint-Hubert.

Le cat. 322 (fig. 136.2) est l'unique exemplaire retrouvé à Develier-Courtételle. De forme ovale ouverte, il possède des dimensions réduites qui font supposer un bracelet d'enfant. Il apparaît que de tels objets étaient spécialement fabriqués et adaptés à l'âge et à la taille des enfants qui les portaient (Wührer 2000, p. 105-106). Si aucun parallèle exact n'a été trouvé, certains exemplaires en bronze offrent de bonnes similitudes quant à la forme et à l'ornementation. Signalons celui de la tombe 4 de Köniz, Buchsi (BE) (Bertschinger et al. 1990, pl. 43.1) ainsi qu'une découverte ancienne de Rorschach (SG) (Reich 1996, fig. 5). Ces deux bracelets ont été datés entre le deuxième tiers et la fin du 7^e siècle, voire le début du 8^e siècle. Un dernier rapprochement significatif est donné par la tombe 95 retrouvée sous la cathédrale de Francfort et attribuée à la phase JM III (Wührer 2000, p. 25-26). Le bracelet en argent de cette sépulture d'une fillette de 4-5 ans est lui aussi morphologiquement très proche. Une datation à partir de la seconde moitié du 7^e siècle peut être proposée pour le cat. 322 de Develier-Courtételle. Issu d'un niveau mal identifié (R117-7 à 2) du comblement primaire de la cabane en fosse R de

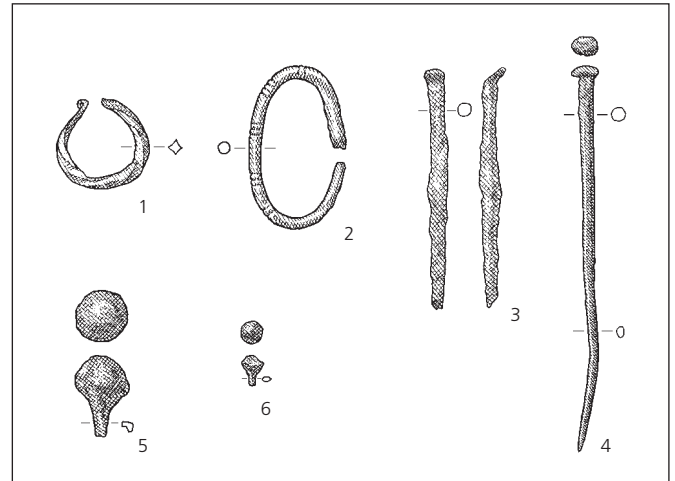


Fig. 136 Les objets de parure en fer. 1 : fibule en oméga (cat. 348) ; 2 : bracelet (cat. 322) ; 3-6 : épingles (cat. 726, 411, 245 et 728). Echelle 1 : 2.

la ferme 2 (CAJ 13, chap. 6.3.4), cet objet pourrait être tenu pour une pièce résiduelle, l'abandon de la structure étant placé dans la première moitié du 8^e siècle d'après l'analyse de la céramique (CAJ 15, chap. 5).

Aspects analytiques du bracelet cat. 322

Le bracelet cat. 322 a probablement été confectionné par torsion de métal, ce qui expliquerait ainsi le nombre et la disposition des nombreux vides dans ce dernier. Celui utilisé pour sa fabrication est de provenance externe.

4.2.5.3 Les épingles

Les quatre épingles en fer sont mal conservées et sans caractéristiques notables, rendant leur identification d'autant plus délicate. Par leurs dimensions, les deux premières se rapprochent des exemplaires portés au niveau de la poitrine ou des épaules ; les deux dernières correspondraient mieux à des épingles portées au niveau de la tête. Nous renvoyons au chap. 5.3.2.4 pour des considérations plus détaillées.

Les épingles à extrémité spatulée en fer tel le cat. 726 (fig. 136.3) sont beaucoup moins fréquentes que celles en bronze et ne sont en règle générale pas ornées. Des exemplaires en contexte d'habitat sont parfois signalés comme à Lausen, Bettenach (BL) (Marti 2000, p. 69). L'épingle à tête circulaire légèrement bombée cat. 411 (fig. 136.4) trouve elle aussi des équivalents en bronze, par exemple à Kaiseraugst (Martin 1991, fig. 39.5). De tels objets, mal datés, se rencontrent d'ordinaire dans les tombes féminines des 6^e et 7^e siècles.

L'identification des cat. 245 et 728 (fig. 136.5-6) en tant qu'épingles est délicate. Elle s'appuie principalement sur les exemplaires en bronze à tête pleine, sphérique ou biconique, présentés au chap. 5.3.2.4. Pour la première d'entre elles, cette incertitude est renforcée puisque la littérature peut présenter des objets tout à fait similaires comme des têtes de clous ou de rivets (Leitz 2002, pl. 67.1). Sans plus de précision, nous proposons cependant de maintenir l'identification de ces deux objets comme des épingles pouvant appartenir largement aux 6^e et 7^e siècles.

4.2.6 L'armement et l'équipement équestre

Les 42 objets présentés ici sont attribués à deux catégories de mobilier largement attestées dans la littérature à propos de trouvailles funéraires. Dans le contexte de Develier-Courtételle leur attribution, probable pour certains, est pourtant loin d'être toujours assurée.

Les 23 éléments en lien avec la typologie de l'armement ont été distingués des 19 objets assimilables à des équipements équestres.

4.2.6.1 Les éléments liés à l'armement

Aucune grande arme offensive ou défensive de l'époque mérovingienne n'a pu être mise en évidence à Develier-Courtételle. Ce constat n'est toutefois guère surprenant puisque de tels objets sont relativement rares et chargés d'une symbolique qui devait rendre leurs propriétaires particulièrement soigneux. Fort logiquement, les pièces d'armement considérées ici sont donc peu abondantes. Mais leur détermination, parfois malaisée, a néanmoins permis de mettre en évidence la présence du scramasaxe et de son fourreau. Celle de l'épée longue n'est suggérée que par un unique élément de son baudrier. Quant au modeste ensemble de pointes de flèche, il est certainement plus lié à la chasse qu'à une activité purement guerrière.

Les éléments de scramasaxe

Seuls deux fragments de lame et une garde sont attribuables au scramasaxe. Cet objet caractéristique de l'époque mérovingienne est habituellement assimilé à une arme mais son emploi en tant qu'instrument domestique est tout autant envisageable. Son étude

a déjà largement démontré que les variations dans la largeur et la longueur des lames constituaient un critère chronologique décisif : une tendance très nette se dessine dans le sens d'un allongement progressif des scramasaxes à partir des formes courtes et étroites jusqu'aux formes les plus allongées et les plus larges. L'unique prise de mesure rendue possible par l'état de conservation des deux lames fragmentées cat. 350 et 415 (fig. 137.1-2) est celle de la largeur. Avec respectivement 3 et 3,2 cm de large, ces deux lames pourraient se rapprocher des scramasaxes légers – courts (Kurzsaaxe) ou étroits (Schmalsaaxe) – relevant encore d'une phase chronologique ancienne, fin 6^e siècle ou début 7^e siècle.

Ces deux objets ont fait l'objet d'analyses métallographiques. C'est à cette occasion que le cat. 415 a pu être identifié comme tel, par comparaison des coupes effectuées sur les deux objets ainsi qu'en raison de méthodes de fabrication identiques (chap. 4.2.6.3). Le cat. 415 était en effet jusqu'alors inidentifiable sous une gangue de corrosion particulièrement épaisse. Quant au cat. 350, il avait été brisé avant son dépôt comme l'atteste l'oxydation de la cassure ; pourtant le tranchant encore vif indique qu'il ne devait pas s'agir d'un scramasaxe usé par une utilisation prolongée. Cette cassure pourrait résulter d'une faiblesse structurelle de la lame dont on observe la très faible épaisseur du dos, de l'ordre de 0,3 cm, inhabituelle même sur les scramasaxes les plus légers. Cette morphologie particulière oblige au moins à s'interroger sur l'appartenance effective de cette lame à un scramasaxe plutôt qu'à un très grand couteau.

Par sa forme et ses dimensions, la garde cat. 731 (fig. 137.3) pourrait également se rapporter à un scramasaxe léger par comparaison avec celle présente sur un scramasaxe étroit provenant de la nécropole de Bassecourt, Saint-Hubert (JU) (Office de la culture, Porrentruy, Inv. 21'504. Inédit).

Les éléments de fourreau et de baudrier

Les cinq barrettes de suspension en fer (fig. 138.1-5) se fixaient sur des fourreaux en bois et/ou en cuir. En autorisant le passage d'une courroie, elles assuraient ainsi le maintien et facilitaient le port des scramasaxes. A l'exception du cat. 166 (fig.138.1), le corps de toutes ces barrettes est bien arqué et prolongé par deux extrémités plates et arrondies. Se faisant encore discrète, la présence des barrettes de suspension est déjà attestée à partir du début de l'époque mérovingienne récente. Mais leur véritable émergence s'impose à partir du deuxième tiers du 7^e siècle en réponse à l'apparition de scramasaxes de plus en plus lourds.

Par comparaison avec quelques mobiliers funéraires, trois petits objets en fer sont proposés ici comme des rivets de fourreaux de scramasaxe bien que ce type d'objet soit habituellement en bronze. La forme tronconique du premier (fig. 138.6) est identique à celle de rivets encore en place sur le cuir d'un fourreau découvert à Guttet-Feschel (VS) (Sauter 1946, fig. 4-5). Un certain souci esthétique a dû être porté à cet objet : complétant les incrustations de laiton du pourtour, le placage de cuivre sur le replat sommital révèle l'existence originelle d'une ornementation soudée. Deux exemplaires en or de Kaiseraugst présentent ce type de décor rapporté (Moosbrugger-Leu 1971, pl. 11.24), indice du caractère

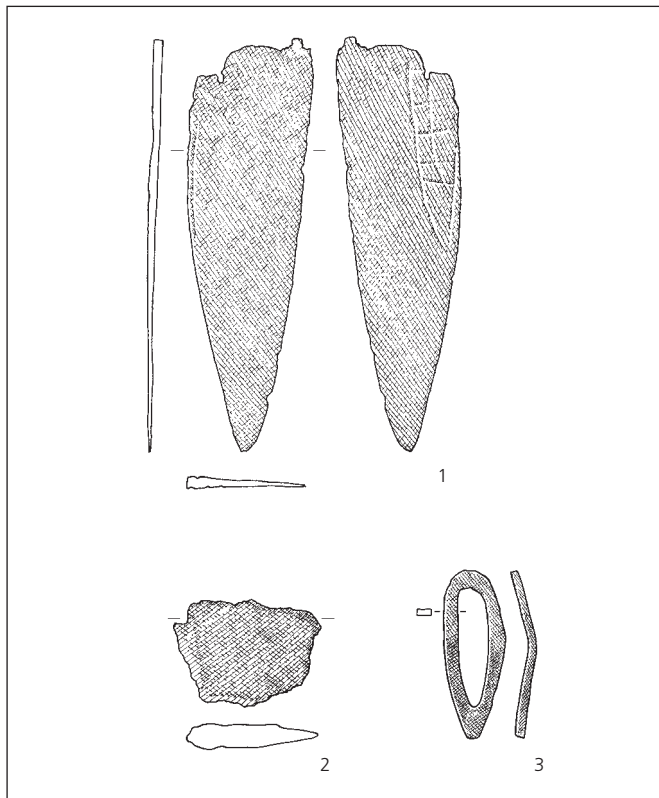


Fig. 137 Les éléments en fer liés à l'armement. 1-2: fragments de lame de scramasaxe (cat. 350 et 415); 3: garde de scramasaxe (cat. 731). Echelle 1:2.

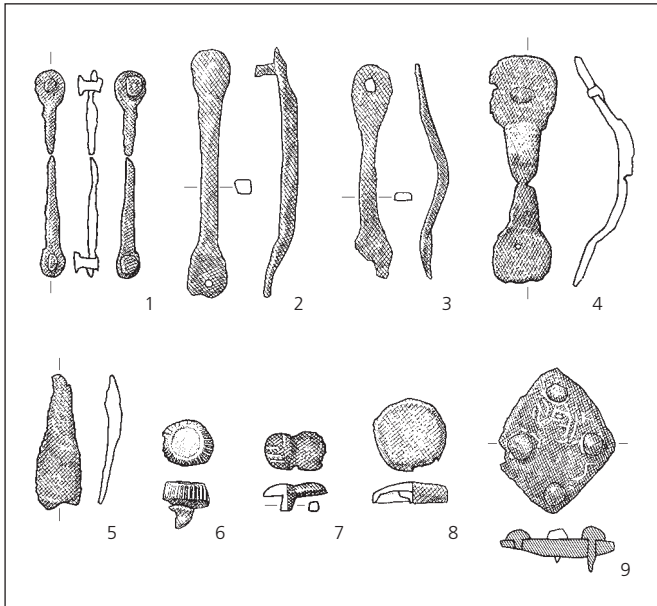


Fig. 138 Les éléments en fer liés à l'armement. 1-5: barrettes de suspension de fourreau de scramasaxe (cat. 166, 535, 624, 641 et 416); 6-8: rivets de fourreau de scramasaxe (cat. 246, 247 et 737); 9: plaque losangique de baudrier d'épée (cat. 733). Echelle 1:2.

plus ou moins prestigieux de certains rivets de fourreau. La forme haute de la tête indique une datation avancée dans le 7^e siècle ou même plus récente. Le cat. 247 (fig. 138.7) est caractérisé par une tête double et un décor damasquiné d'argent très effacé. De nombreuses attestations confirment l'appartenance de ce type de petits rivets en barrette ou en grappe à des fourreaux de scramasaxe. Des exemples à Flurlingen (ZH) (Bader et al. 2002, pl. 3.1c) ou à Kirchheim am Ries (Ostalbkreis; Neuffer-Müller 1983, pl. 54.10) soulignent leur utilisation au 7^e siècle. Le cat. 737 (fig. 138.8) possède les mêmes caractéristiques que les exemplaires profilés en bronze, couramment attestés dès le deuxième tiers du 7^e siècle (chap. 5.3.3.1).

La plaque trapézoïdale cat. 733 (fig. 138.9) à décor bichrome est clairement identifiée comme un élément de baudrier d'épée. Sa présence permettait de fixer la lanière de réglage rattachée au bas du fourreau sur la courroie principale du baudrier portée, elle, comme un ceinturon ou passée sur l'épaule. Cette pièce isolée est caractéristique des garnitures d'épée de type Civezzano damasquinées d'argent et de laiton. Leur décor typique est une composition de motifs géométriques et animaliers, malheureusement illisibles sur l'exemplaire de Develier-Courtételle. L'origine des garnitures de type Civezzano a été abondamment discutée en raison de leur large répartition depuis le centre de l'Italie jusqu'en Allemagne du sud, les quelques attestations en territoire franc à l'ouest du Rhin étant considérées comme des pièces isolées ou des imitations. Si l'origine générale de ce type de garniture doit être fixée en Italie lombarde, sa présence est très marquée dans des tombes situées entre le Main et le Rhin supérieur. Mais des coutumes funéraires spécifiques au secteur alaman et bavarois influencent certainement cette distribution; l'existence de plusieurs centres de production situés dans ces régions a pourtant déjà été avancée (Grünwald 1988, fig. 17). A l'exception du cat. 733 (fig. 139), tous les exemplaires comparables découverts au sud du Rhin



Fig. 139 Vue de détail de la plaque losangique de baudrier d'épée cat. 733. Longueur 3,9 cm.

proviennent de dépôts funéraires. Ils signalent – avant tout dans la partie nord de la Suisse – la diffusion de cette coutume du dépôt de garnitures d'épées de type Civezzano. Les trouvailles de Develier-Courtételle, Gümligen et Fétigny marquent une limite au sud-ouest dans cette aire de diffusion (fig. 140). La grande partie de cette production stylistique peut être placée dans le deuxième tiers du 7^e siècle.

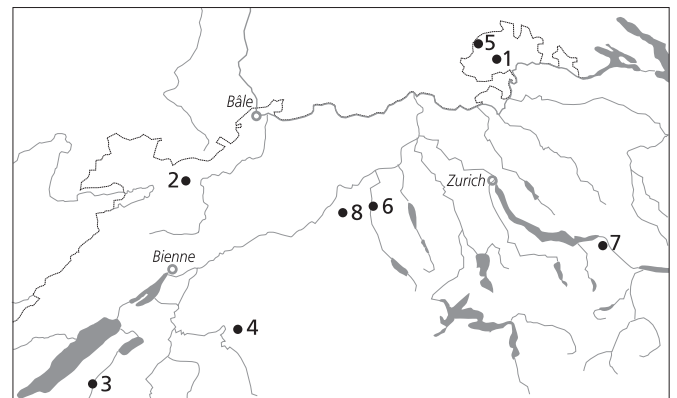


Fig. 140 Plaques losangiques en fer à damasquinure bichrome appartenant à des garnitures d'épée de type Civezzano. Carte de répartition des exemplaires situés au sud du Rhin supérieur et comparables au cat. 733. A l'exception de celui de Develier-Courtételle, tous ces objets proviennent de dépôts funéraires.

- 1 Beringen (SH), tombe 27: Viollier 1911, pl. 2.5
- 2 Develier-Courtételle (JU): cat. 733
- 3 Fétigny (FR): Besson 1909, fig. 51
- 4 Gümligen (BE), tombe 1: Tschumi 1953, fig. 58
- 5 Schleithem-Kirche (SH), tombe 21: Burzler et al. 2002, pl. 110.21.4
- 6 Schöftland (AG), tombe 23: Martin et al. 1980, fig. 11c
- 7 Tuggen (SZ), tombe 1: Drack et Moosbrugger-Leu 1960, pl. 90.108
- 8 Zofingen (AG), tombe 81: Hartmann 1981, fig. 10c

Les pointes de flèche

Onze pointes métalliques appartiennent à ce type de projectiles certainement plus en lien avec les activités de chasse qu'avec de véritables armes offensives. Assurant la fixation sur un fût en bois, le système de monture préférentiel est une douille de section circulaire, habituellement ouverte ou au moins fendue. Un seul exemplaire paraît posséder une monture à soie. Les perforations pour une fixation par clous ainsi que d'éventuelles ligatures métalliques ou organiques ne sont pas attestées. Malgré un état de conservation très médiocre, quatre formes ont été distinguées.

La très grande majorité comporte une flamme plus ou moins losangique, plate et sans nervure centrale (fig. 141.1-8). Les exemplaires les mieux conservés indiquent une longueur inférieure

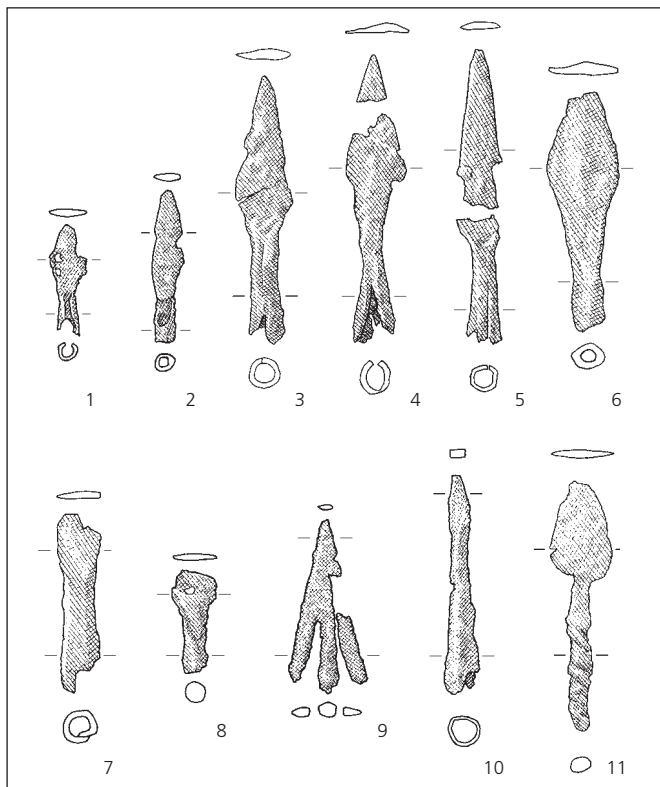


Fig. 141 Les éléments en fer liés à l'armement. 1-8: pointes de flèche losangiques (cat. 250, 249, 251, 734, 735, 566, 417 et 253); 9: pointe de flèche triangulaire à deux barbelures (cat. 252); 10: pointe de flèche pyramidale effilée (cat. 640); 11: pointe de flèche en feuille de laurier (cat. 736). Echelle 1:2.

à 8 cm, deux d'entre eux atteignant à peine 4 cm (fig. 141.1-2). Les approches chronologiques sont délicates à opérer. Avec une flamme relativement large et trapue, le cat. 566 (fig. 141.6) paraît cependant caractériser le premier tiers du 7^e siècle; les autres exemplaires identifiables (fig. 141.3-5), plus étroits et plus élancés, doivent marquer de manière plus spécifique la seconde moitié du 7^e siècle (Marti 2000, p. 122). La forme triangulaire à deux

barbelures n'est attestée qu'à une reprise, sur un exemplaire dont la hampe brisée devait cependant se prolonger par une douille circulaire (fig. 141.9). Ici encore, ce type est difficile à situer chronologiquement. Il est toutefois présent dans quelques ensembles funéraires bien datés du 7^e siècle, par exemple – en association avec un carquois et un arc en if – dans la riche tombe 4 de Altdorf aménagée aux environs de 660/680 ap. J.-C. (Marti 1995, fig. 19) ou dans la tombe 293 de Doubs (Urlacher et al. 1998, pl. 33). La troisième forme est une pyramide très effilée dont l'efficacité ne découle plus d'un tranchant mais de sa grande force d'impact (fig. 141.10). Pas attestées semble-t-il avant le milieu du 7^e siècle, de telles pointes de flèche conviendraient tout particulièrement à la chasse au gros gibier (Marti 2000, p. 122). Une dernière pointe en « feuille de laurier » est l'unique objet dont la monture s'effectue à l'aide d'une soie, torsadée ici (fig. 141.11).

4.2.6.2 Les éléments liés à l'équipement équestre

Parmi les dix-neuf objets reconnus en relation avec l'équipement du cavalier et du cheval, huit éperons soulignent la présence de cavaliers à Develier-Courtételle. Les onze autres objets sont associés, avec plus d'incertitude, au harnachement du cheval. Mais certains sont peut-être plus en relation avec la traction animale, utile à l'agriculture (chap. 4.2.2), qu'avec un équipement d'équitation à vocation purement militaire.

Les éperons

L'éperon est habituellement porté à un seul exemplaire et au pied gauche. Son usage est cependant assez rare et il n'apparaît dans les tombes de nos régions que vers 600 ap. J.-C. Les huit éperons de Develier-Courtételle (fig. 142) ont des branches étroites de section semi-circulaires ou quadrangulaires. Les formes sont plutôt graciles et sans ornementation, exceptées les cannelures sur la pointe du cat. 418 (fig. 142.3). Seuls trois éperons sont suffisamment bien conservés pour être mis en parallèle avec deux types courants au 7^e et dans la première moitié du 8^e siècle.

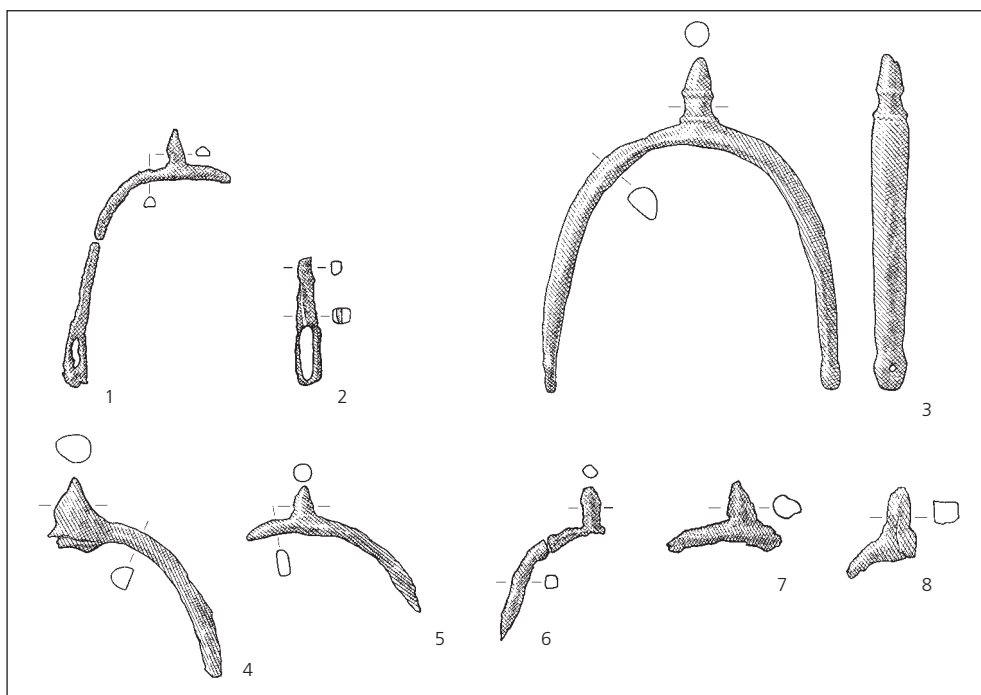


Fig. 142 Les équipements équestres en fer. 1-2: éperons à passants (cat. 839 et 255); 3: éperon à rivets (cat. 418); 4-8: éperons fragmentés (cat. 343, 254, 419, 256 et 257). Echelle 1:2.

Les deux éperons à passants (fig. 142.1-2) appartiennent à la forme la plus répandue au 7^e siècle. Des exemplaires très similaires issus des tombes 226 de Elgg (Windler 1994, pl. 64.2) et 373 de Doubs (Urlacher et al. 1998, pl. 45.2) montrent que leur datation n'est guère possible avant le deuxième tiers du 7^e siècle. Les exemplaires du sud-ouest de l'Allemagne seraient, eux, plutôt datés dans la seconde moitié de ce siècle (Koch 1984, p. 85). Le type d'éperon à fixation par rivet n'est attesté que par le cat. 418 (fig. 142.3) dont les extrémités aplaties sont mal conservées mais laissent entrevoir la présence d'un seul rivet par branche. Faute de comparaisons strictes, on relèvera que ce type se rencontre dans des contextes tardifs à partir de la fin du 7^e siècle. U. Koch estime même qu'il ne devient habituel qu'à partir des environs de 700 ap. J.-C. (Koch 1984, p. 86). Une datation large entre la fin du 7^e siècle et la première moitié du 8^e siècle est donc proposée pour l'éperon à rivets de Develier-Courtételle. Les cinq autres éperons fragmentés (fig. 142.4-8) doivent selon toute vraisemblance appartenir à l'un de ces deux types.

Les mors

Cinq mors fragmentés et une branche de mors sont attribués sous réserve au harnachement du cheval. Le mors le plus simple et le plus fréquemment retrouvé dans les fouilles archéologiques est le mors de filet. Il est constitué d'un canon brisé, soit un axe articulé en deux parties portant à leurs extrémités un anneau sur lequel se fixent les rênes. A Develier-Courtételle, l'exemplaire le plus probant est le cat. 862 (fig. 143.1), malheureusement issu d'un contexte incertain. L'élément conservé formait l'une des deux parties d'un canon articulé, composé d'un axe massif de seulement 6 cm de longueur et recourbé en crochets à chaque extrémité; un fragment d'anneau d'environ 5 cm de diamètre est aussi conservé. Attesté par exemple dans la nécropole de Bâle, Bernerring, le mors de filet devient, dans les domaines franc et alaman, la forme préférentielle à partir de la seconde moitié du 6^e siècle (Martin 1976a, p. 56). Les quatre éléments isolés cat. 258, 259, 420 et 738 sont considérés, avec prudence, comme des éléments de mors malgré

leur faibles dimensions et leur aspect gracile. Des formes simples, à l'image du cat. 738 (fig. 143.2), sont toutefois signalées en Belgique à Arlon, Vieux-Cimetière (Roosens et Alénus-Lecerf 1965, fig. 37.8) ou en Allemagne sur le site d'habitat du Runde Berg près d'Urach (Koch 1984, pl. 12.7-9).

La branche de mors cat. 260 (fig. 143.3) devait appartenir à un autre type, le mors de bride. Reliée au canon par l'intermédiaire des œilletons pratiqués à mi-hauteur, elle est légèrement arquée et terminée par deux boutons hémisphériques. Des éléments comparables ont aussi été retrouvés sur le Runde Berg (Koch 1984, pl. 12.10 et 14).

Les éléments de harnais

Le harnais est composé à la base par le mors, les rênes, la têtière et le frontal. A cet ensemble, pouvaient s'ajouter plusieurs lanières de cuir qui avaient surtout un rôle esthétique. Le harnachement des chevaux pouvait encore comporter de nombreux objets métalliques garnissant les courroies. Si certains ont un rôle proprement fonctionnel leur permettant de relier plusieurs courroies, d'autres sont présents uniquement à titre décoratif.

Les cat. 739, 741 et 740 (fig. 144.1-3) appartiennent à la première classe. La boucle rectangulaire cat. 739 est considérée comme telle en raison de ses dimensions importantes et de sa forme particulière. Les cat. 740 et 741 doivent aussi être envisagés comme des éléments de harnais, probablement des attaches de brides. Toutefois – et particulièrement pour le cat. 740 – d'autres attributions sont envisageables: garniture d'éperon comme dans la tombe 77 de Curtil-sous-Burnand (Ajot 1986, fig. 88) ou encore garniture de baudrier d'épée comme dans la tombe 4 de Altdorf (Marti 1995, fig. 7).

Sans doute faut-il rapporter aux éléments décoratifs de la seconde classe les appliques cat. 261 et 421 (fig. 144.4-5). De telles appliques de harnais peuvent revêtir des formes variées et

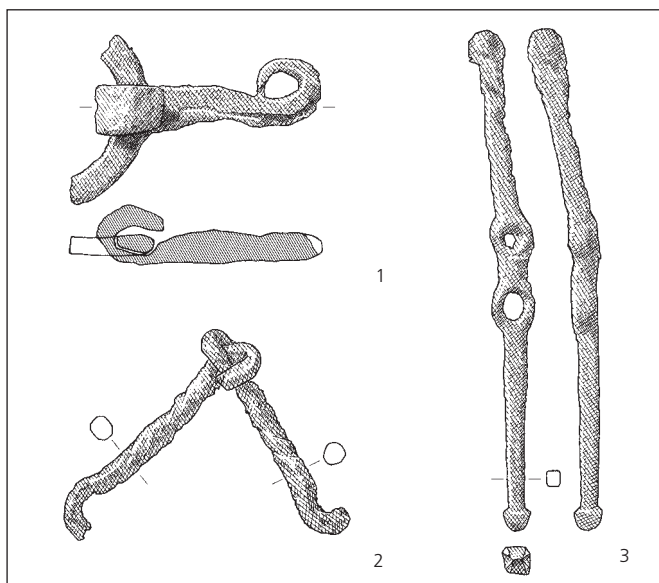


Fig. 143 Les équipements équestres en fer. 1-2: mors (cat. 862 et 738); 3: branche de mors (cat. 260). Echelle 1:2.

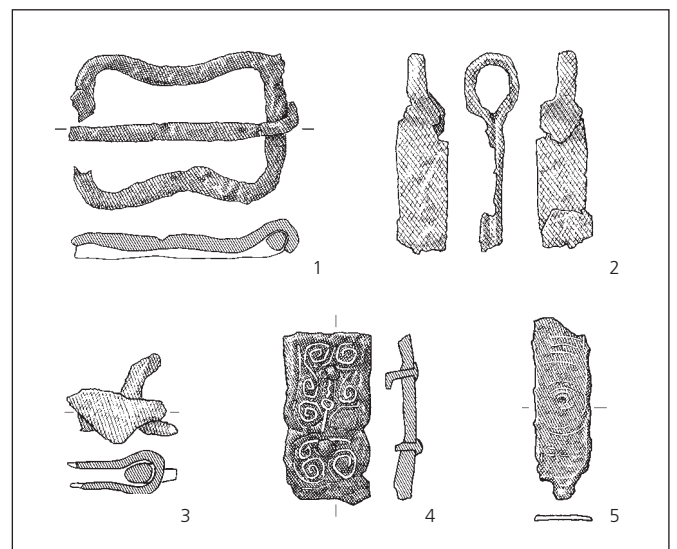


Fig. 144 Les équipements équestres en fer. 1: boucle de harnais (cat. 739); 2-3: éléments de harnais (cat. 741 et 740); 4-5: appliques de harnais (cat. 261 et 421). Echelle 1:2.

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau		Technique d'élaboration	Origine	
			Acier (%masse C)			locale	externe
			0,1-0,3	0,4-0,8			
Lame de scramasaxe	350	2	1	1	damas	x	
Lame de scramasaxe	415	2	1	1	damas	x	x
Élément de harnais	261	1	1		soudé		x
Total	3	5	3	2		2	2

Fig. 145 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de l'armement et de l'équipement équestre.

comporter des motifs damasquinés lorsqu'ils sont en fer, incisés lorsqu'ils sont en bronze. L'ornementation de petites volutes du cat. 261, traitée assez maladroitement par incrustation de fils d'argent et de laiton, trouve ses équivalents sur de nombreuses pièces de harnachement – mais aussi sur des garnitures de ceintures à éléments multiples – découvertes dans le sud-ouest de l'Allemagne (notamment Oexle 1992). Pour le cat. 421, une bonne comparaison formelle peut s'établir avec une applique de Giengen an der Brenz (Kreis Heidenheim; Paulsen et Schach-Dörge 1978, pl. 26.19). La présence des décors damasquinés autorise à situer largement ces deux appliques dans le 7^e siècle.

4.2.6.3 Aspects analytiques de l'armement et de l'équipement équestre

L'examen de la lame de scramasaxe cat. 350 permet de supposer que la pièce cat. 415 est également un fragment d'un objet de même type car ces deux pièces sont de fabrication similaire. Ces deux lames ont été réalisées avec la technique du damas en couches (fig. 145). Celles-ci, nombreuses, contiennent un acier avec une teneur en carbone de 0,3% masse. Le tranchant de la lame de scramasaxe cat. 415 présente toutefois, lui, une teneur en carbone plus élevée. La composition chimique des différentes couches de ces deux pièces correspond à celle du métal local,

à l'exception de la couche moyenne plus riche en carbone de l'objet cat. 415 qui renferme davantage de nickel et d'arsenic que le métal local et qui est donc de provenance étrangère.

L'élément de harnais cat. 261 est damasquiné d'argent et de laiton (annexe 5). Le laiton de ces incrustations présente une teneur en zinc plus basse que celle des éléments de buffleterie (chap. 4.2.4.8). Cet élément de harnais est formé de plusieurs couches d'acier soudées entre elles. Sa composition chimique pauvre en nickel exclut une production à partir de matières premières locales.

4.2.7 Les ustensiles de cuisine

Les découvertes liées à ces éléments de la vie quotidienne sont peu conséquentes comparées aux séries précédentes (fig. 146). Elles témoignent du moins de l'existence de composantes métalliques au sein de ce matériel domestique dont l'essentiel devait être en bois. Ces éléments, rattachés plutôt à la préparation des aliments, sont issus des niveaux d'occupation du Haut Moyen Age, à l'exception de deux d'entre eux en relation avec des structures. Tous proviennent d'ensembles dédiés à l'habitat, les zones d'activité à vocation spécifique n'étant pas concernées par cette catégorie de mobilier.

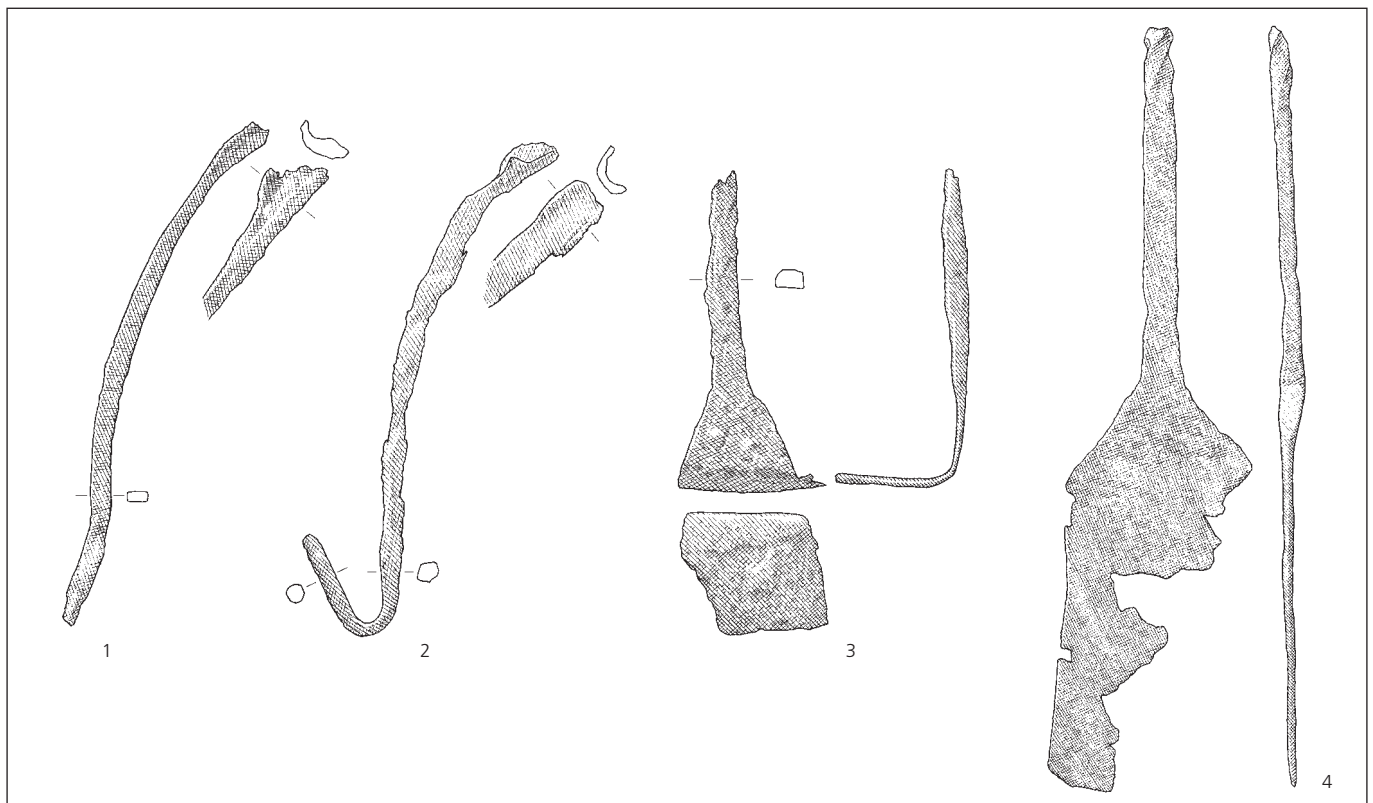


Fig. 146 Sélection d'ustensiles de cuisine en fer. 1-2: anses de seau (cat. 422 et 742); 3: raclette (cat. 632); 4: pelle à feu (cat. 647). Echelle 1:2 (sauf 4, 1:4).

4.2.7.1 Les anses de seau

Trois pièces fragmentées (cat. 422, 537 et 742) ont été clairement identifiées comme des anses de seau, deux autres étant plus incertaines (cat. 263 et 840). Les trois premières sont similaires, avec une partie médiane de préhension aplatie à profil en U. L'extrémité conservée est plus ou moins recourbée en crochet selon l'état de conservation. La section de l'anse est soit rectangulaire (fig. 146.1), soit arrondie, mais seule celle du cat. 742 (fig. 146.2) est torsadée. Lorsque l'anse est entière, sa courbure et la distance entre les deux crochets de fixation donnent le diamètre du bord supérieur du seau.

Nous ignorons évidemment tout des récipients correspondant à ces anses métalliques, à l'exception d'un fragment de douelle présenté comme probable élément de seau (CAJ 15, chap. 11.4.1). Les données de comparaison mettent surtout en évidence des seaux en bois – très souvent de l'if – de forme cylindrique un peu plus large à la base que du côté de l'anse. Leur cuve est alors un assemblage de plusieurs douelles et d'un fond, maintenus en place par des cerclages organiques ou métalliques. La présence de tels récipients, tout en restant très rare, est cependant signalée en milieu funéraire tout au long de l'époque mérovingienne. Avec par exemple pour le 6^e siècle, les luxueux exemplaires de Bâle, Bernerring (Martin 1976a, p. 121 sqq.) et, pour le 7^e siècle, celui de Obrigheim en Rhénanie-Palatinat (Polenz 1988, pl. 125.7). Dans l'impossibilité d'interpréter plus avant ces trouvailles de Develier-Courtételle, nous retiendrons leur utilisation très large en lien avec le transport et la conservation d'aliments ou de liquides.

4.2.7.2 Les raclettes

Quatre objets présentent une forme générale identique (cat. 264, 265, 632 et 744). Deux sont complets. Ils se composent d'une lame rectangulaire, prolongée perpendiculairement par un manche et une étroite soie (fig. 146.3). La lame dont la partie active est légèrement tranchante, n'excède pas 5 cm de largeur sur tous les exemplaires. La fonction de ces quatre éléments paraît assez énigmatique, d'autant que nous n'avons trouvé aucun parallèle daté du Haut Moyen Âge. Des attestations pour les époques gallo-romaine ou médiévale assurent cependant une identification comme ustensiles de cuisine. Interprétés tantôt comme raclettes à pétrin utilisées pour ratisser la pâte qui s'attache au pétrin (Hoffmann 1985, pl. 9.14,17), tantôt pour étaler des farines ou pour confectionner des galettes de céréales sur des pierres plates préalablement chauffées (Colardelle et Verdel 1993, p. 245), de tels ustensiles paraissent à chaque fois en rapport étroit avec la préparation des aliments. La fonction de raclette à pétrin – aussi appelé ratissoire – aurait cependant notre préférence par analogie avec des formes actuelles.

4.2.7.3 La pelle de foyer

Le cat. 647 (fig. 146.4) est le plus grand objet en fer mis au jour à Develier-Courtételle bien qu'il soit incomplet: son manche brisé devait comporter un dispositif de suspension à son extrémité. La lame très plate s'achève en une extrémité rectiligne, légèrement biseautée. Si la fonction première d'un tel ustensile est de ramasser les braises et de nettoyer un foyer ou un four,

nous envisageons aussi d'autres usages. Notamment une utilisation plus spécifique dédiée à la cuisson des aliments, en facilitant leur enfournement dans une structure de chauffe. La présence de cette pelle de foyer dans le contexte de la ferme 5 ne doit d'ailleurs pas être l'effet du hasard: cette unité d'habitat, avec la zone de cuisine et tout particulièrement le four 36, est en effet la mieux équipée en structures de ce type (CAJ 13, chap. 13.5.1). La pelle de foyer fut retrouvée une vingtaine de mètres à l'est de ces installations.

4.2.8 Les objets de quincaillerie

Le terme de quincaillerie a été appliqué ici à un ensemble hétérogène de 53 objets isolés dont la fonction précise nous échappe (fig. 147). Ils ont certainement dû être en relation avec d'autres éléments – majoritairement des matières périssables – aujourd'hui disparus ou avoir formé entre eux des ensembles plus complexes. Tous sont cependant mis en rapport avec la construction et l'aménagement des bâtiments ou comme pièces constitutives de meubles en bois.

4.2.8.1 Les anneaux et les maillons

En contexte funéraire du Haut Moyen Âge, anneaux ou maillons sont couramment retrouvés à la hauteur de la ceinture mais surtout le long des membres inférieurs, témoins alors des éléments de la châtelaine suspendue sur le côté du costume féminin. Mais en contexte d'habitat, leur champ d'utilisation s'élargit notablement: chaînes ou crémaillères, pièces de construction ou de meubles, de harnachement. Des éléments non reconnus de parure ou de buffleterie ne peuvent être totalement écartés. La figure 148 recense les variantes attestées à Develier-Courtételle.

Sur dix-huit anneaux, dix sont de section circulaire et huit de section quadrangulaire. Dans le premier cas, les diamètres sont compris entre 2,4 et 4,6 cm; l'unique exemplaire complet est un anneau fermé. Le diamètre des anneaux de section quadrangulaire varie, lui, entre 1,6 et 4,8 cm; sur les cinq exemplaires intacts, deux sont fermés et trois ouverts. Deux exemplaires particuliers, l'un torsadé et l'autre plaqué d'un alliage cuivreux, soulignent la plus grande diversité des anneaux de section quadrangulaire.

Quincaillerie	Objet	Pièces	Poids	Moyenne
		nb	g	g
Anneau et maillon		23	134	5,8
	crampon	6	18	3
Élément de construction	ferrure	8	152	19
	crochet	3	10	3,3
	rivet	2	7	3,5
	gâche	3	32	10,7
Élément d'huissierie et de serrurerie	paumelle	1	11	11
	charnière	1	11	11
	clé	3	16	5,3
Élément de meuble	pêne	1	210	210
	poignée	1	16	16
	applique	1	7	7
Total		53	624	11,8

Fig. 147 Présentation synthétique des objets de quincaillerie en fer, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

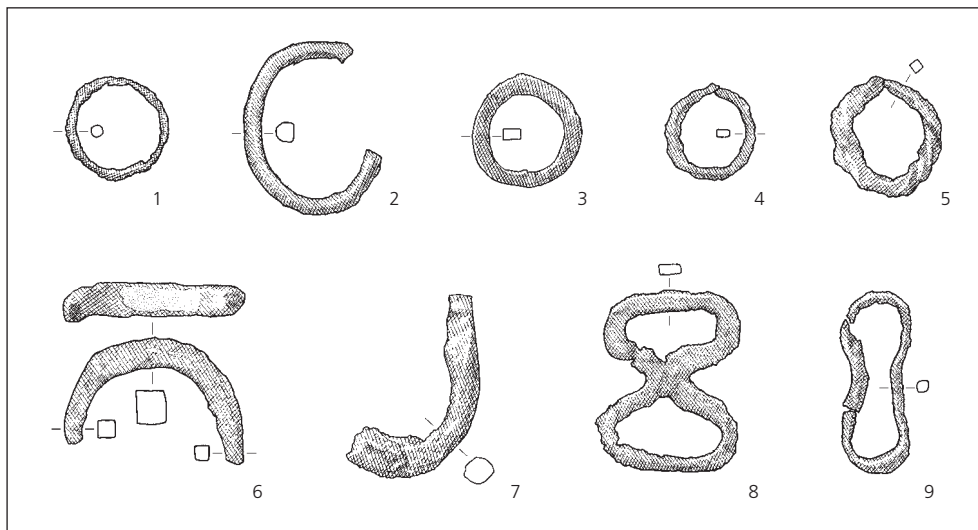


Fig. 148 Sélection des différentes formes d'anneaux et de maillons en fer. 1: anneau fermé de section circulaire (cat. 538); 2: anneau brisé de section circulaire (cat. 568); 3: anneau fermé de section quadrangulaire (cat. 607); 4: anneau ouvert de section quadrangulaire (cat. 266); 5-6: anneaux de section quadrangulaire à corps torsadé ou plaqué d'un alliage cuivreux (cat. 170 et 569); 7: maillon simple (cat. 267); 8-9: maillons en 8 (cat. 178 et 539). Echelle 1:2.

Les maillons sont caractérisés par une forme ovale, convenant peut-être mieux à la formation d'une chaîne ou d'une crémaillère. Aux côtés de la forme simple de section circulaire, deux variantes assez distinctes de maillon en huit sont également représentées.

4.2.8.2 Les éléments de fixation

Par leurs dimensions modestes, les six crampons reconnus sont à considérer comme des crampons de menuiserie plutôt que de construction (fig. 149.1-6): ils conviendraient par exemple très bien au maintien de deux éléments d'un meuble en bois. Ils sont constitués d'un plat plus large qu'épais, coudé en deux branches pointues. Dans le cas du cat. 841 (fig. 149.6), le crampon a dû s'adapter à des bois épais de moins de 1,5 cm d'après l'espace laissé par les pointes recourbées.

Les ferrures trouvent un emploi fonctionnel ou plus ornemental dans la construction et l'aménagement domestique. Les indices de fixation par clous sur au moins cinq des six ferrures font envisager une utilisation sur des pièces de bois (fig. 149.7-12).

Le cat. 752 interprété comme un rivet massif (fig. 149.13), a pu intervenir dans l'assemblage de pièces plus conséquentes.

Trois crochets recourbés en pointe pouvaient être directement enfoncés dans le bois (fig. 149.14-15) ou appendu à un élément quelconque dans le cas du crochet mobile cat. 842 (fig. 149.16). Leur usage peut se justifier aussi bien en contexte domestique qu'artisanal.

4.2.8.3 Les éléments d' huisserie et de serrurerie

Les trois gâches en crochet étaient destinées à recevoir la partie mobile d'un verrou ou d'un loquet (fig. 150.1-3). Elles sont constituées d'un fer plat avec décrochement oblique et d'une tige allongée permettant leur fixation sur le dormant de la porte. Ce système de fermeture léger, sans serrure, peut convenir aussi bien à une barrière qu'à la porte d'une construction telle qu'une grange ou une étable. La paumelle cat. 427 (fig. 150.4) est également un élément dormant destiné à être fiché dans une boiserie ou une maçonnerie. En complément avec le gond, elle assure la rotation d'une porte ou de tout autre organe de fermeture d'un bâtiment,

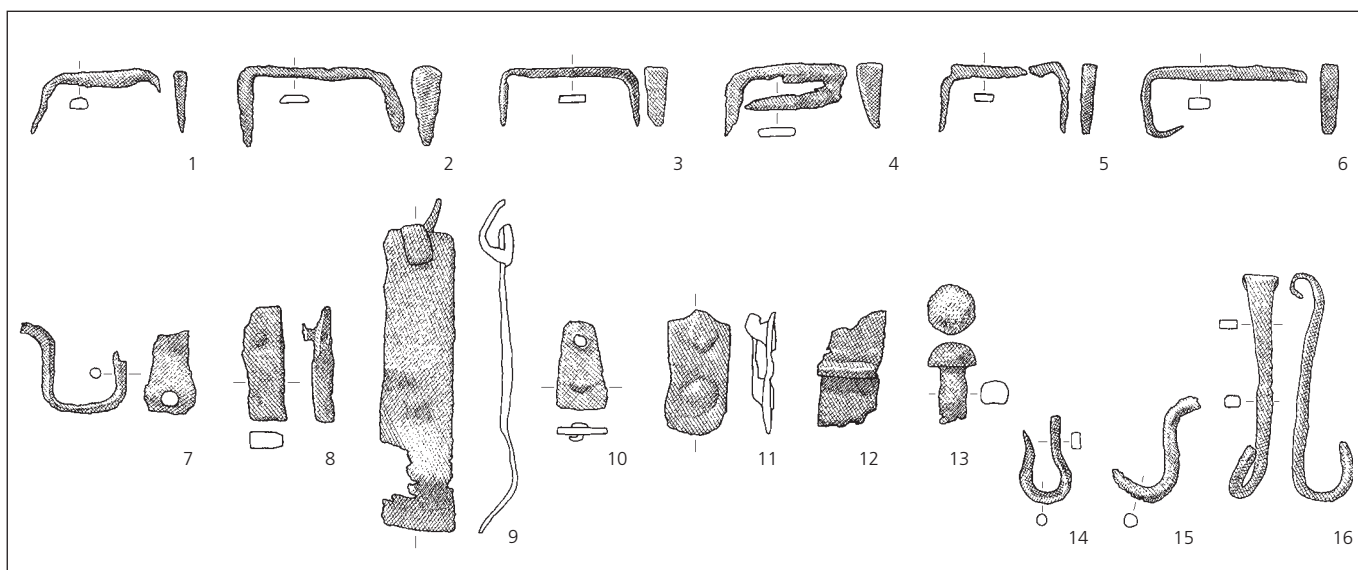


Fig. 149 Les éléments de fixation en fer. 1-6: crampons (cat. 571, 572, 609, 750, 751 et 841); 7-12: ferrures (cat. 270, 271, 324, 754, 755 et 573); 13: rivet (cat. 752); 14-16: crochets (cat. 268, 269 et 842). Echelle 1:2.

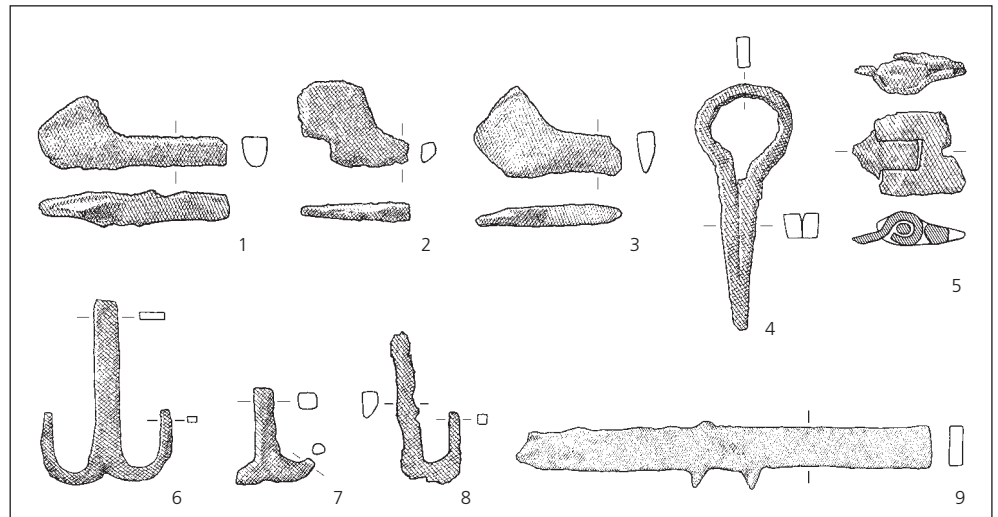


Fig. 150 Les éléments d'huissierie et de serrurerie en fer. 1-3: gâches de verrou (cat. 333, 574 et 575); 4: paumelle (cat. 427); 5: charnière (cat. 753); 6-8 clés (cat. 273, 426 et 540); 9: pêne (cat. 274). Echelle 1:2 (sauf 9, 1:4).

comme d'ailleurs la charnière brisée cat. 753 (fig. 150.5). Mais l'insertion stratigraphique mal assurée de ces deux derniers objets n'autorise malheureusement pas leur attribution inconditionnelle aux phases d'occupation du Haut Moyen Age.

Les trois clés fragmentaires identifiées à Develier-Courtételle ont une forme symétrique commune, à savoir une tige terminée par un panneton en T à deux dents tournées vers le haut (fig. 150.6-8). En actionnant un mécanisme à translation très simple, elles permettaient de déplacer le pêne d'une serrure. Par leurs dimensions restreintes, ces clés peuvent être attribuées à des serrures de coffrets. De tels objets en fer ou en bronze, hérités de l'Antiquité, se rencontrent encore couramment au Haut Moyen Age, en particulier dans des tombes féminines où on les retrouve généralement comme éléments suspendus à la châtelaine. Le pêne cat. 274 (fig. 150.9) est à deux barbes pointues servant de points d'appui à la clé pour glisser le pêne hors de la serrure. En raison de ses dimensions, il était destiné à une serrure de grande taille. Mais son insertion stratigraphique assure mal une attribution aux phases d'occupation du Haut Moyen Age de Develier-Courtételle. Si de tels éléments se retrouvent de l'Époque romaine (Tschumi 1953, fig. 27) à nos jours, il existe des exemplaires de comparaison plus précis, par exemple ceux retrouvés sur le Runde Berg près d'Urach mais datés des 9^e-10^e siècles (Koch 1984, pl. 45.4-6 et 46.1).

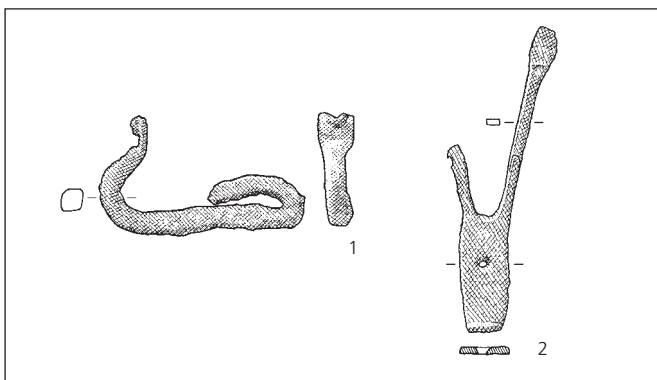


Fig. 151 Les éléments de meuble en fer. 1: poignée de coffret (cat. 425); 2: applique de coffret (cat. 272). Echelle 1:2.

4.2.8.4 Les éléments de meuble

Avec les crampons et les clés évoqués ci-dessus, deux autres objets pourraient nous renseigner de manière très discrète sur la question de l'ameublement des habitats. Une poignée à branches latérales terminées par des pattes de fixation perforées (fig. 151.1) et une ferrure d'angle (fig. 151.2) peuvent être proposées ici comme des garnitures de coffrets en bois. Le second élément en particulier trouve de bons rapprochements avec des ferrures de plus grandes dimensions ornant par exemple des coffres funéraires (Salin 1952, fig. 68 et 113).

4.2.9 Les clous

Les clous en fer retrouvés à Develier-Courtételle ne sont évoqués que sous la forme d'une présentation d'ensemble (fig. 152). Nous avons en effet renoncé aux considérations de détail faute de données pertinentes: l'identification des formes est la plupart du temps délicate en raison de la fragmentation et l'étude de répartition spatiale s'est avérée sans signification. La forme de clou la plus répandue comporte une tête de section circulaire plate – d'un diamètre entre 1 et 1,5 cm – centrée sur une tige de section carrée de 0,4 cm de côté; retrouvés intacts, ces exemplaires ne mesurent habituellement pas plus de 10 cm. Mais leur insertion dans la couche archéologique n'assure pas à elle seule une appartenance de ces objets très communs à l'horizon archéologique du Haut Moyen Age. Preuve en est les deux exemplaires cat. 863 et 864 dont l'analyse a démontré un procédé de fabrication moderne.

Aspects analytiques des clous

Les clous ont été produits de manière préférentielle à partir de fer riche en phosphore et d'acier non trempable (fig. 153). Deux des clous (cat. 863 et 864), du fait de la qualité du métal très riche en inclusions, de la composition chimique de ces inclusions (oxydes de fer et de phosphore) et de celle du métal (riche en phosphore)

Clou	Pièces nb	Poids g	Moyenne g
Clou entier	263	706	2,7
Tête de clou	17	23	1,4
Tige de clou	26	72	2,8
Total	306	801	2,7

Fig. 152 Présentation synthétique des clous en fer, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau			Technique d'élaboration	Origine	
			Fer		Acier (%masse C) 0,1-0,3		locale	externe
			fer	fer phosphorique				
Clou	275	1		x		soudé		x
	428	1		x		soudé		x
	429	1	x			soudé	x	
	763	1			x		x	
	767	1			x	soudé		x
	844	1			x			x
	863	1		x		laminage		x
Clou moderne	864	1		x		laminage		x
Total	8	8	1	4	3		2	6
Clou, externe	4	4		2	2			
Clou, local	2	2	1		1			
Clou, moderne	2	2		2				

Fig. 153 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des clous.

ainsi que de la régularité de la déformation des inclusions devant provenir d'un laminage, sont clairement d'origine moderne (Senn 2002, p. 124). Ces caractéristiques indiquent qu'il s'agit là d'un fer puddlé. Au contraire des indications déjà fournies (Senn 2002), l'évaluation statistique à l'aide de boxplots indique que deux des clous sont issus d'une production locale.

4.2.10 Les objets non définis

Il existe des objets, souvent fragmentaires, dans un état de conservation satisfaisant, mais dont l'usage – et plus encore la dénomination – restent énigmatiques malgré les recherches comparatives. S'il peut s'agir parfois de fragments d'objets usés, ce sont le plus souvent de véritables objets, offrant une mise en forme évidente mais auxquels il n'est actuellement pas possible d'attribuer une fonction déterminée. Une sélection d'objets non définis est donnée au catalogue à titre documentaire.

Bien que retrouvés dans les niveaux archéologique du Haut Moyen Age, il n'est évidemment pas possible de certifier leur datation dans cette période d'occupation du site. Ils représentent, en nombre d'individus, 6,5% de l'intégralité du mobilier en fer de Develier-Courtételle ou 7% en se limitant au seul mobilier attribuable au Haut Moyen Age. Cette proportion est acceptable et reste en deçà des 10% considérés par certains auteurs comme une limite qui ne devrait pas être franchie (Guillaumet 2003, p. 58).

Aspects analytiques des objets non définis

La majorité de ces objets est formée d'un seul matériau qui est, soit du fer, soit de l'acier (fig. 154). Seuls deux objets (cat. 336 et 431), qui pourraient être des tranchants de lames, sont formés d'un assemblage des deux matériaux. Dans un cas, il s'agit d'un assemblage d'acier non trempable et d'acier trempable, et dans l'autre, d'un assemblage de fer et d'acier non trempable.

Seuls deux des objets non définis, dont l'un des deux en forme de tranchant, ont été fabriqués avec du métal local (cat. 336 et 432). Pour les autres, l'origine du matériau est inconnue car on a renoncé à effectuer une analyse du métal (cat. 431, 513 et 773).

4.3 Les fragments

Les pièces mises au jour à Develier-Courtételle et regroupées dans la catégorie typologique des fragments est considérable. Au nombre de 1147, elles correspondent à 51% de l'ensemble des objets en fer attribués – avec les réserves déjà évoquées au paragraphe précédent – aux phases d'occupation du Haut Moyen Age. Ces fragments sont considérés comme des parties d'objets fracturés, endommagés ou simplement usagés, et ne remplissaient certainement déjà plus leur fonction originelle au moment de leur dépôt. Ils sont donc tenus pour un mobilier sans caractéristiques morphologiques. On ne peut cependant totalement écarter

Objet	Cat.	Couches nb	Matériau			Technique d'élaboration	Origine		
			Fer		Acier (%masse C) 0,1-0,3		0,4-0,8	locale	externe
			fer	0,1-0,3					
Objet non défini	336	2		x	x	soudé	x		
	431	2	x	x		soudé			
	432	1	x			soudé	x		
	434	1		x		soudé		x	
	513	1	x			soudé			
	612	1			x	soudé		x	
	772	1			x	soudé, trempe		x	
	773	1		x		soudé			
Total	8	10	3	4	3		2	3	
Objet, externe	3	3		1	2				
Objet, local	2	3	1	1	1				
Objet, non déterminé	3	4	2	2					

Fig. 154 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des objets non définis.

Fragment	Pièces	Poids	Moyenne
	nb	g	g
Bande	206	608	3
Barre	325	618	1,9
Tôle	236	843	3,6
Tige et fil	63	144	2,3
Tube	6	21	3,5
Informe	311	702	2,3
Total	1147	2936	2,6

Fig. 155 Classification des fragments en fer selon des modules formels, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

l'hypothèse de certaines pièces en cours de façonnage, non reconnues comme déchets de forge car exemptes de toute trace de travail. L'éventualité d'un matériel de recyclage doit quant à elle être écartée, ces fragments n'ayant jamais été retrouvés en amas sur le site.

Le classement des fragments est structuré en six parties sur la base de modules formels, la section des objets étant le critère essentiel pris en compte (fig. 155). Parmi les modules « organisés », on observe une prédominance des formes linéaires de section carrée ou rectangulaire; les formes minces et plates constituent également une variante largement attestée.

4.3.1 Les fragments en forme de bande

Sous cette appellation sont regroupés 206 fragments de section rectangulaire généralement peu épaisse. Souvent allongés, ils ne dépassent toutefois pas 10 cm en longueur, à une exception près. Ils offrent en règle générale deux bords parallèles, quelques pièces pouvant présenter des bords légèrement divergents. En ce qui concerne la section des pièces, aucun module évident ne se démarque. Sa largeur est comprise entre 0,1 et 0,4 cm dans l'immense majorité des cas (92%) et ne va pas au-delà de 0,7 cm. Moins homogène, la longueur de la section peut atteindre 2,9 cm tout en restant inférieure à 1 cm dans 60% des cas. Douze bandes se démarquent par la présence d'une perforation circulaire ou carrée. Elles donnent la nette impression d'avoir été utilisées, très certainement comme ferrures.

Aspects analytiques des fragments en forme de bande

Les fragments en forme de bande sont constitués de matériaux tendres tels que du fer et de l'acier non trempable (fig. 156). Sur les cinq fragments de bandes examinés, quatre sont forgés d'un seul matériau et un autre, le fragment cat. 861, d'un assemblage de fer riche en phosphore et d'acier non trempable. Le fragment cat. 329 appartient aux produits locaux car seule sa teneur en cuivre est légèrement plus élevée que celle du matériau de départ.

Le fragment de bande torsadée cat. 793 est composé de fer riche en phosphore; il est, lui aussi, un produit d'origine locale. Les trois autres fragments de bandes ne sont pas forgés à partir d'un matériau d'origine locale.

4.3.2 Les fragments en forme de barre

Sous cette appellation sont regroupés les 325 fragments de section carrée, avec des bords parallèles. D'apparence peu variée, les bandes sont en règle générale allongées mais aucune ne dépasse ici non plus 10 cm de longueur. Seule particularité notable, une torsade plus ou moins serrée n'est attestée que sur six d'entre elles. Si la section des barres est toujours carrée et ne dépasse pas 1 cm de côté, elle est cependant décroissante sur 120 pièces et peut même se terminer en pointe dans de nombreux cas. Il faut donc se demander s'il ne s'agit pas de tiges et de pointes de clous brisés. Cette supposition est confortée par le fait que pour l'ensemble des barres les sections les plus courantes sont comprises entre 0,3x0,3 et 0,5x0,5 cm (78%), ce qui correspond au module le plus souvent rencontré sur les clous du site.

4.3.3 Les fragments en forme de tôle

Sous cette appellation sont regroupés les 236 fragments plats et minces d'apparence très diverse, sans bords marqués ni forme organisée. Ils sont aussi très fragmentaires, 85% d'entre eux ne pesant pas plus de 7 g. Aucune tôle n'a plus de 0,6 cm d'épaisseur, celle-ci étant en réalité comprise entre 0,1 et 0,4 cm dans la quasi totalité des cas (97%). Au-delà de 0,6 cm, il conviendrait en réalité de parler de fragments en forme de plaque. Les restes d'un placage en alliage cuivreux sont encore visibles sur 22 d'entre elles. Cette particularité technique est en lien étroit avec les sonnaillies et laisse supposer l'existence de quelques exemplaires en plus de ceux déjà identifiés (chap. 4.2.2.2).

Aspects analytiques des fragments en forme de tôle

Les tôles ont été produites principalement à partir de matériaux ductiles tels que le fer et l'acier non trempable (fig. 157). Toutes les tôles examinées comportent plusieurs couches. Cependant seules les pièces cat. 443 et 456 ont été réalisées avec certitude par assemblage. Ces deux tôles ont été produites à partir de matériaux locaux. Le matériau des deux autres objets n'est pas d'origine locale. Pour les tôles cat. 454 et 455, les variations de teneur en carbone entre les couches pourraient aussi être la conséquence du travail de la pièce et ne sont pas forcément dues à un assemblage de différents matériaux. Seule la pièce cat. 457 a certainement été produite par soudage d'un seul matériau.

Fig. 156 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de différents types de fragments (le cat. 524 a été reclassé par la suite comme un fragment en forme de barre).

Objet	Cat.	Couches	Matériau				Technique d'élaboration	Origine	
			Fer		Acier (%masse C)			locale	externe
			nb	fer	fer phosphorique	0,1-0,3			
Bande	329	1			x		soudé	x	
Bande	524	1				x		x	
Bande	793	1	x				torsadé	x	
Bande	854	1			x			x	
Informe	861	2		x	x		soudé	x	
Total	5	6	1	1	3	1		2 3	
Fragment, externe	3	4		1	2	1			
Fragment, local	2	2	1		1				

Objet	Cat.	Couches	Matériau			Technique d'élaboration	Origine		
			nb	Fer			Acier (%masse C) 0,1-0,3	locale	externe
				fer	fer phosphorique				
Tôle	443	2		x	x	soudé	x		
	454	2	x		x	soudé			
	455	1	x			soudé		x	
	456	2		x	x	soudé	x		
	457	1	x			soudé		x	
Total	5	8	3	2	3		2	2	
Tôle, externe	2	2	2						
Tôle, local	2	4		2	2				
Tôle, non déterminé	1	2	1		1				

Fig. 157 Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des fragments en forme de tôle.

4.3.4 Les tiges et les fils

Sous cette appellation sont regroupés les 63 fragments allongés de section circulaire, éventuellement ovale. Parmi ceux-ci, sept fils ont été individualisés en raison de leur section inférieure ou égale à 0,2 cm de diamètre et de leur poids n'excédant pas un demi-gramme. Le diamètre des tiges est quant à lui toujours inférieur à 1 cm ; leur longueur conservée peut aller jusqu'à 12 cm mais plus des trois quarts ne mesurent pas plus de 6 cm. Une portion des vingt tiges possédant une extrémité pointue pourrait éventuellement être attribuée à des aiguilles ou à des épingles.

4.3.5 Les tubes

Six tubes constituent une forme particulière de tiges, leur section étant cette fois creuse avec un diamètre externe compris entre 0,2 et 0,9 cm. Ils sont eux aussi allongés. Ces pièces proviennent, selon toute vraisemblance, d'un système d'emmanchement par douille.

4.3.6 Les fragments informes

Cette dernière sous-catégorie rassemble 311 pièces dont l'apparence extérieure est totalement désorganisée et sans rapport avec les critères géométriques retenus ci-dessus. Ils constituent de la sorte un ensemble particulièrement hétérogène mais ceci est pour une large part la conséquence de leur mauvais état de conservation et de leur fragmentation souvent poussée. Ce constat est renforcé par le poids moyen des fragments qui ne dépasse pas 6 g dans 93 % des cas.

4.4 Synthèse

4.4.1 Synthèse archéologique

A Develier-Courtételle, le mobilier métallique attribué au Haut Moyen Age fait ressortir la suprématie du fer (94,3 %) sur les autres métaux ou alliages. Le faible représentativité du bronze (5,6 %) doit cependant être nuancée si l'on tient compte de la qualité évidente mais aussi de l'éventail typologique restreint des objets réalisés en cet alliage (chap. 5). La présence du plomb et de l'étain est insignifiante (0,1 %), celle de l'or et de l'argent est carrément ignorée. L'effort principal de l'étude archéologique a porté sur l'identification des objets, entiers ou fragmentés, et sur leur classement hiérarchisé. Cette présentation permet une première approche d'ensemble d'un habitat rural du Haut Moyen Age en cette région de Suisse occidentale. Elle souligne les caractéristiques et les variations du mobilier métallique à vocation économique

ou domestique, des accessoires de la vie quotidienne des habitants et de ceux en lien avec leur cadre de vie. Quelques catégories typologiques, en particulier les plus usuelles, sont représentées par un nombre élevé d'objets similaires. Nous admettons aussi que la plupart des activités possibles sont représentées sur le site, à l'exception notable du domaine commercial qui n'a pas laissé de témoignages directs sous la forme d'un monnayage.

Qu'il s'agisse d'outillage ou de coutellerie, d'objets vestimentaires et de parure, d'éléments en lien avec l'armement ou encore de pièces de quincaillerie, les études archéologiques et analytiques mettent en évidence la diversité ainsi que la qualité souvent réelle du mobilier métallique découvert sur le site. Une autre caractéristique, qui doit déjà être évoquée ici, concerne la fabrication. Celle-ci témoigne d'une excellente maîtrise technique et du souci de s'adapter aux nécessités fonctionnelles imposées par tel ou tel objet. Ce constat est très net à travers l'outillage ou les objets de taillanderie, où les outils et les lames ordinaires sont en fer peu ou pas carburé. D'autres pièces apparemment plus spécifiques, réalisées dans un métal fortement carburé, font appel en particulier à des techniques d'assemblage nécessitant une grande précision dans l'exécution.

Les variations quantitatives, typologiques et fonctionnelles observées, associées aux indices de chronologie relative, précisent l'histoire de la vie quotidienne de cet habitat rural, aux diverses phases de son occupation (fig. 158).

Les meilleures indications sont fournies par les objets de buffleterie et de parure ainsi que par ceux en lien avec l'armement et l'équipement équestre (chap. 4.2.4-6). Mais ce résultat ne peut servir qu'à donner une vue d'ensemble et à mettre en évidence certains aspects ponctuels. Les conditions d'application d'une sériation n'étaient en effet pas réunies étant donné l'absence d'ensembles clos et la difficulté à opérer des différenciations stratigraphiques. Il ressort cependant que le mobilier métallique porteur d'informations chronologiques se rattache pour l'essentiel au 7^e siècle. Les éléments caractéristiques plus anciens sont très rares, comme les deux objets de buffleterie (cat. 234 et 242) de la fin du 6^e siècle. Une autre datation ancienne, vers 600 ap. J.-C. ou peu avant, a été proposée pour les fragments de scramasaxes (cat. 350 et 415) qui sont, eux, des productions locales. Ce manque de vestiges des débuts de l'occupation pourrait s'expliquer par la fragmentation des éléments anciens, en tout cas dans les zones

	Buffleterie Parure	Armement Equestre
AM III (560/70 - 600)	234 242	
JM I (600 - 630/40)	237 321 534 708 712 832 833 717	566 350 415
JM II (630/40 - 670/80)	233 397 476 563 703 704 710 715 239 398 483 238 402 403 628 711	166 251 255 535 624 641 734 735 737 839 733
JM III (670/80 - 720)	181 235 236 322 400 401 408 409 561 600 707 709	246 418

Fig. 158 Les objets en fer caractéristiques de Develier-Courtételle et leur représentation dans l'analyse chronologique. Les influences culturelles marquées sont signalées par un complément graphique : occidentale (□), orientale (◻), régionale ou locale (◼), sans précision (◻). Voir aussi les figures 188 et 251.

du site les plus longtemps occupées. Les phases tardives, entre la fin du 7^e et la première moitié du 8^e siècle, sont par contre mieux représentées, confirmant ainsi la longue durée d'occupation de certaines zones du site. Les trouvailles représentatives sont alors des garnitures de ceinture à plaque rectangulaire repliée (cat. 400, 401, 561 et 600) ou un éperon à rivet (cat. 418). Les boucles simples à anneau plat en forme de D (cat. 235 et 236) caractérisent nettement le 8^e siècle.

Les données pour les trois premiers quarts du 7^e siècle, correspondant aux phases JM I et JM II du découpage chronologique retenu, sont les plus nombreuses et livrent l'essentiel des informations sur les composantes culturelles détectées à Develier-Courtételle. Si les accessoires vestimentaires restent l'indicateur chronologique essentiel, les éléments en relation avec l'armement et l'équipement équestre livrent des indications tout aussi significatives : en particulier à travers une série de pointes de flèche (fig. 141), de plusieurs éperons (fig. 142) et de barrettes de suspension de fourreaux de scramasaxe (fig. 138) dont la datation ne peut guère intervenir avant le deuxième tiers du 7^e siècle. La présence d'une plaque damasquinée d'un baudrier d'épée de type Civezano (cat. 733) est à remarquer. Elle met en évidence la diffusion d'une coutume funéraire orientale pour le dépôt de ce type d'armement, tout en renforçant la limite au sud-ouest dans son aire de répartition.

Les éléments de buffleterie constituent une autre base très solide pour l'analyse chronologique et culturelle, en s'appuyant sur des systèmes déjà établis. Le premier tiers du 7^e siècle est représenté par quelques petites boucles simples mais surtout par des garnitures de ceinture bi- ou tripartites largement répandues à l'ouest comme à l'est. Avec le deuxième tiers ou le troisième quart du 7^e siècle se dessinent deux orientations bien marquées.

Les ceintures à plusieurs éléments trouvent de bons parallèles à l'ouest, en Suisse occidentale et en Franche-Comté notamment (par ex. cat. 483) ; il en va de même pour quelques pièces isolées attribuées à des garnitures féminines dites de type B (cat. 239 et 398). Les ceintures à éléments multiples (fig. 129) caractérisent les coutumes vestimentaires rencontrées à l'est, en particulier avec des terminaisons de lanière (cat. 238 et 403) qui appartiennent à une période déjà avancée de la phase JM II. Les garnitures à plaques très étroites, peut-être portées de manière non visible selon une mode plus orientale, sont typiques de la fin du 7^e siècle, de même que les éléments à plaque repliée et les boucles simples en forme de D évoquées ci-dessus. La datation de ces deux derniers types peut déborder assez largement sur le 8^e siècle.

Les influences culturelles identifiées mettent en relief deux grands « espaces » auxquels se rattachent les éléments caractéristiques de l'abondant mobilier en fer de Develier-Courtételle : romano-franc à l'ouest, avec les régions occidentales du royaume mérovingien et en particulier la Bourgogne, et alaman à l'est, centré en priorité sur la rive droite du Rhin. Ces composantes culturelles sont une base pour établir l'histoire du peuplement de l'extrême nord-ouest de la Suisse. Elles soulignent que les régions jurassiennes sont bel et bien une zone frontalière ouverte à de nombreuses influences, à une époque où les délimitations entre les populations romanisées et germaniques se mettent peu à peu en place.

4.4.2 Synthèse analytique

Au total, 63 objets en fer ont été examinés (fig. 159). Un tiers d'entre eux sont des outils, le reste se répartissant dans les autres catégories typologiques. Ces pièces en fer ont été produites de manière préférentielle avec de l'acier non trempable. Près des 60 % du métal utilisé pour leur production est un matériau ductile (fer, acier non trempable), les 40 % restant un métal dur (fer riche en phosphore, acier trempable).

Si 23 objets ont été forgés à partir d'un métal offrant une composition chimique similaire à celle définie pour une production locale (chap. 3.5), 33 objets ont été forgés à partir d'un métal avec une composition chimique externe ; celle de six pièces reste indéterminée et deux objets sont modernes (clous cat. 863 et 864). Les matériaux dont se composent ces objets produits dans les forges de Develier-Courtételle, contiennent 10 % de fer en moins (fig. 160). Ils contiennent moins de matériau ductile (55 % de fer et d'acier non trempable) et un peu plus de matériau dur (43 % ; fer riche en phosphore, acier trempable) que l'ensemble des objets étudiés. Parmi la production locale ne figurent aucun élément de buffleterie ou de parure et aucune sonnaile. De ce fait, il faut exclure la réalisation, à Develier-Courtételle, de damasquinures ou de sonnailes plaquées d'alliage cuivreux.

La faible proportion de produits locaux (40 %) dans le matériel analysé est surprenante. Comme la répartition spatiale le montre (chap. 6), il existe une relation entre répartition et origine locale ou externe des objets. Il est probable qu'un nombre indéfini d'objets en fer ne sont pas contemporains des phases de fonctionnement des forges de Develier-Courtételle et sont donc importés. L'analyse des calottes et des scories ferrugineuses (chap. 3.5.1)

Catégorie	Cat.	Matériau						
		Pièces nb	Couches nb	Fer		Acier (%masse C)		
				fer	fer phosphorique	0,1-0,3	0,4-0,8	0,9-1,8
Outillage	172, 190, 196, 340, 346, 353, 356, 357, 369, 498, 511, 590, 592, 644, 648, 665, 666, 669, 670, 671, 672	21	28	6	5	10	6	1
Agriculture / élevage	205, 207	2	2	2				
Usuel	175, 319, 345, 375, 377	5	8	1	2	1	4	
Buffleterie	238, 239, 321, 403, 832	5	7	3	1	2	1	
Parure	322	1	1	1				
Armement / équestre	261, 350, 415	3	5			3	2	
Clou	275, 428, 429, 763, 767, 844, 863, 864	8	8	1	4	3		
Objet non défini	336, 431, 432, 434, 513, 612, 772, 773	8	10	3		4	3	
Fragment	329, 524, 793, 854, 861	5	6	1	1	3	1	
Fragment - tôle	443, 454, 455, 456, 457	5	8	3	2	3		
Total		63	83	21	15	29	17	1
%				25	18	35	20	2

Fig. 159 Teneurs en carbone et en phosphore des objets en fer étudiés.

a livré des indices permettant de déduire l'emploi de métaux d'autres provenances dans les forges locales: un extraordinaire exemple est fourni par la lame de scramasaxe cat. 415 composée de deux métaux dont l'origine est une fois locale et une fois exogène. L'importance de ce recours à d'autres approvisionnements en métal semble toutefois mineure: le fait de ne pas avoir pu définir un second groupe de métal basé sur la composition chimique – ni pour les objets, ni pour les déchets métalliques – vient en appui de cette évaluation. En effet, la composition d'un seul objet (tôle cat. 457) parmi ceux d'origine externe correspond à celle de la couche riche en cobalt, nickel et arsenic du scramasaxe cat. 415. Ces deux objets se distinguent du fragment d'éponge cat. 35 supposé provenir du Grand-Val uniquement par une teneur nettement plus faible en phosphore. Cette teneur étant soumise à de fortes fluctuations en cours d'élaboration, on peut admettre que ces trois pièces constituent un groupe dont l'origine est à rechercher dans le Grand-Val.

Sur les 23 objets forgés avec un métal local, dix-neuf comportent plusieurs couches soudées dont six avec emploi de la technique du damas en couches. Cette technique, courante au nord des Alpes dès l'époque de La Tène moyenne, convient particulièrement bien à la fabrication des épées. Les objets sont fabriqués à partir de paquets comportant plusieurs couches et pliés une ou plusieurs fois après soudage: ils sont constitués de façon symétrique dans le cas où ils ne sont pliés qu'une fois. Il est généralement

admis que deux ou plusieurs matériaux différents – fer et acier – constituent le paquet de départ. Il existe toutefois régulièrement des exemples de cette technique de fabrication où l'on constate l'utilisation d'un seul matériau. Ceci peut être également dû au fait que la teneur en carbone des différentes couches s'équilibre par diffusion lors du soudage.

Parmi les six objets analysés de Develier-Courtételle attestant l'emploi du damas en couches, le ciseau cat. 190 révèle ainsi de grandes variations de la teneur en carbone, très faibles par contre pour le ciseau cat. 172. Ces variations sont également marquées dans le cas de la lame de scramasaxe cat. 350, mais les couches riches en carbone sont toutefois difficilement différenciables de celles pauvres en carbone. A propos de l'autre fragment de scramasaxe cat. 415, cette teneur ne varie guère bien que la matière composant le tranchant, de par sa fonction, soit riche en carbone. De plus grandes variations s'observent sur le dos du couteau cat. 375, mais sont limitées à la surface décarburée de l'outil cat. 665.

Pour les objets comportant plusieurs couches soudées, trois sont composés d'un seul matériau organisé symétriquement en deux ou trois couches (cat. 329, 357 et 432). Pour l'objet cat. 336 fabriqué en cinq couches symétriques et composé de fer et d'acier, la répartition du carbone ne suit pas l'axe de symétrie. Se pose dans ce cas précis la question d'une fabrication par damas en bandes ou en couches.

Catégorie	Cat.	Matériau						
		Pièces nb	Couches nb	Fer		Acier (%masse C)		
				fer	fer phosphorique	0,1-0,3	0,4-0,8	
Outillage	172, 190, 340, 357, 369, 511, 590, 644, 665, 666, 672	11	14	1	4	6	3	
Usuel	375, 377	2	3			1	2	
Armement / équestre	350, 415	2	3			2	1	
Clou	429, 763	2	2	1		1		
Objet non défini	336, 432	2	3	1		1	1	
Fragment - bande	329, 793	2	2	1		1		
Fragment - tôle	443, 456	2	4		2	2		
Total		23	31	4	6	14	7	
%				13	19	45	23	

Fig. 160 Teneurs en carbone et en phosphore des objets en fer étudiés, produits à partir des matériaux locaux.

Neuf des 33 objets élaborés à partir de matériaux externes présentent plusieurs couches symétriques : la proportion (27 %) est ici nettement inférieure à celle des objets forgés avec un métal local (83 %). Seuls deux d'entre eux attestent à coup sûr de la technique du damas en couches (cat. 345 et 346). Le ciseau à huit couches cat. 353 pourrait éventuellement lui aussi en attester. Les six objets restant comportent entre deux et six couches (cat. 434, 612, 648, 669, 670 et 671).

La proportion d'objets forgés en damas en couches est inférieure dans le cas des objets externes (environ 8%), à celle des objets

locaux (26%). La présence de plusieurs couches symétriques dans les produits est donc une caractéristique propre au site de Develier-Courtételle. Carburation et décarburation superficielles ne jouent qu'un rôle secondaire : aucun objet d'origine locale n'atteste l'emploi de la trempe.

La fabrication par soudage et par la technique du damas peut être considérée comme une technique de forge de haute qualité. Ceci peut être interprété comme l'indice d'une spécialisation des forgerons de Develier-Courtételle dans la production d'outils, de couteaux et d'armes (scramasaxes) haut de gamme.

5

Le mobilier en bronze

Vincent Friedli

avec une contribution analytique de Marianne Senn

5.1 Introduction

Le mobilier en bronze et les très rares métaux associés sont intentionnellement présentés dans un chapitre distinct. Les raisons qui ont présidé à ce choix sont multiples. Il y a d'abord la volonté d'assurer une unité et une continuité dans l'étude de la métallurgie du fer; les moyens analytiques appliqués sur un échantillonnage restreint d'objets en bronze – ainsi que leurs résultats – diffèrent d'ailleurs de ceux pratiqués en sidérurgie. Il y a ensuite la nature des objets. Malgré leur nombre réduit parmi le mobilier métallique de Develier-Courtételle, ils sont en règle générale mieux conservés et souvent de belle qualité. Les recherches comparatives sont plus aisées, les objets moulés pouvant être fabriqués en série, multipliant du coup les chances d'attestation dans la littérature. Ces recherches ont donc été poussées à leur maximum en s'appuyant, ici encore, sur des trouvailles funéraires qui peuvent parfois refléter des coutumes spécifiques à certaines aires géographiques; elles contribuent parfois à mieux cerner les problèmes de typologie et de datation ainsi qu'à mettre en perspective, lorsque cela est possible, d'éventuelles influences culturelles.

5.2 La métallurgie des alliages à base de cuivre

A Develier-Courtételle, les témoignages du travail des métaux coulés indiquent une métallurgie essentiellement à base de cuivre et d'étain, axée sur la réalisation d'objets en bronze. Ce terme – précis pour un métallurgiste – désigne pour un archéologue, et par commodité, n'importe quel alliage dans lequel le cuivre est majoritaire mais avec de fortes variations en fonction de la teneur d'autres composants. Ces différents alliages ne possèdent donc ni les mêmes caractéristiques physiques, ni la même couleur. Ce dernier aspect n'est pas à négliger puisqu'en ajoutant progressivement de l'étain, l'alliage devient de plus en plus jaune puis vire progressivement au blanc, tout en devenant également plus fragile. Il faut donc tenir compte, au-delà des caractéristiques techniques des alliages, d'un possible souci esthétique. Selon les objets à réaliser ou la matière première à disposition, les variations observées dans le métal employé peuvent aller d'un cuivre non allié à des alliages ternaires qui seront discutés ci-après (chap. 5.2.2). Ces alliages font en règle générale l'objet d'un recyclage, ce qui

Déchet des alliages	Pièces nb	Poids g	Moyenne g
Déchet	14	33	2,4
Objet brut de coulée	2	15	7,5
Matière de récupération	7	39	5,6
Total	23	87	3,8

Fig. 161 Classification des déchets métalliques issus du travail des alliages non ferreux en fonction de leur morphologie, avec indication du poids.

pourrait expliquer leur présence discrète à Develier-Courtételle, les rares éléments recueillis pouvant être considérés comme des objets perdus ou oubliés.

5.2.1 Le mobilier

Le mobilier archéologique attribué au travail des alliages se répartit en deux ensembles distincts. D'une part, au moins cinq creusets, entiers ou fragmentés, et modelés en terre réfractaire. Bien qu'ils ne constituent pas à proprement parler des déchets, les creusets n'en demeurent pas moins des accessoires indispensables à la fonte des alliages non ferreux. D'autre part, les résidus métalliques de ce travail, reconnus et classés en différentes catégories de déchets, objets bruts de coulée et matière de récupération (fig. 161). Pris dans son ensemble, ce mobilier atteste de la mise en œuvre, sur place, de techniques de fonderie des alliages: le moulage y est particulièrement bien identifié. A l'inverse, des techniques de production par déformation plastique, comme le martelage, n'ont pu être mises en évidence.

Les vestiges d'ateliers de fondeurs de l'époque mérovingienne sont malheureusement rares. Hormis quelques attestations de tombes d'orfèvre (Werner 1970), cette activité artisanale se signale essentiellement par la découverte de creusets et de moules en terre cuite ou en pierre, plus rarement encore de modèles d'objets essentiellement en plomb (Roth 1986, p. 40 sq.). Dans le canton du Jura, les trouvailles de Develier-Courtételle ne sont cependant pas la seule attestation d'un petit artisanat du bronze pour la période du Haut Moyen Age. Il convient de signaler ici le modèle fragmenté, en plomb, d'une fibule discoïde retrouvé sur le célèbre site de hauteur du Mont Terri à Cornol (Helmig 1984, p. 110) et les quelques témoignages mis au jour sur un autre site d'habitat, celui de Courtedoux, Creugenat en cours d'étude (Deslex Sheikh 2002, p. 52).

Les creusets

Sur les cinq exemplaires assurés, un seul est intégralement conservé. Ces petits creusets en forme de tonneau à base arrondie et profil épais sont modelés en terre réfractaire, sans traces notables de vitrification. Leurs dimensions sont faibles avec une hauteur ne dépassant pas 5 cm et une contenance restreinte. Mesurable pour le seul cat. 90, elle n'est que de 7 ml (fig. 162). Tous ces exemplaires présentent encore de petits résidus de métal, sur la paroi interne lorsque l'objet est intact ou sur la tranche lorsqu'il est brisé, preuve que beaucoup de creusets se sont fissurés ou ont éclaté au contact de la matière en fusion. Cette fragilité relative suggère une utilisation limitée à un nombre restreint de coulées. Les creusets cat. 90 et 113 proviennent du remplissage de deux structures des fermes 1 et 2, respectivement le bâtiment Q et la cabane en fosse V (CAJ 13, chap. 5.3.3 et 6.3.4). Pourtant, dans les deux cas, aucun autre indice relatif au travail des alliages n'a été repéré aux alentours immédiats de ces structures, ni ailleurs dans les deux fermes en question.

Quelques creusets similaires ont été découverts à l'occasion de fouilles archéologiques en contexte artisanal. Notamment en Belgique, avec des exemplaires à Huy (Dandoy et al 1995, fig. 11.83) et à Namur (Plumier 1996, p. 92), ainsi qu'en Allemagne



Fig. 162 Creuset en terre réfractaire cat. 90 destiné à fondre les alliages à base de cuivre. Deux gouttelettes de métal sont encore visibles sur le rebord interne de l'embouchure. Hauteur 3,7 cm.

(Roth 1986, fig. 20). Une autre trouvaille allemande, effectuée à Warburg-Ossendorf en Rhénanie du Nord-Westphalie, démontre par ailleurs l'existence d'un outillage spécifique à la métallurgie des alliages. Il s'agit dans le cas présent d'une pince à feu destinée à manipuler les creusets (Best 1997, fig. 11.7). De tels accessoires font totalement défaut à Develier-Courtételle.

Les déchets

Trois formes de déchets ont été observées : les masselottes, les résidus de métal en forme de gouttes ainsi qu'un objet probablement raté.

Les masselottes cat. 146 et 162 sont des portions de métal en excédent qui adhéraient à l'objet coulé. La première montre clairement une dissymétrie et des « coutures » résultant de l'utilisation d'un moule bivalve. Il s'agit peut-être ici d'un évent destiné à laisser échapper les gaz brûlants lors de la coulée du métal en fusion. La seconde est fragmentaire mais très caractéristique d'un canal en forme d'entonnoir, aménagé dans la partie supérieure d'un moule pour la coulée du métal.

Onze fragments informes, dont les cat. 147 et 148, sont considérés comme des coulures ou gouttes de coulée. La classification de ces résidus métallurgiques est délicate à assurer et repose beaucoup sur leur aspect extérieur fortement scorifié, en opposition avec l'aspect beaucoup plus lisse des autres fragments informés retrouvés sur le site. Tous présentent une face inférieure aplatie formée par contact du métal en fusion avec une surface plane. Le cat. 149 est l'unique objet considéré comme un raté de travail, en raison d'une probable brasure à l'étain mal réalisée.

Les objets bruts de coulée

Les objets cat. 145 et 163 se présentent tels qu'ils sont sortis du moule. Ils n'ont pas encore subi certains travaux de finition comme l'ébarbage, le polissage des surfaces ou une éventuelle ornementation. Les surfaces sont encore brutes de fonderie, l'aspect est scorifié. On observe tout particulièrement sur le second objet des traces de « coutures » qui démontrent l'utilisation d'un moule bivalve.



Fig. 163 Vue de détail de l'avant et du revers de l'objet brut de coulée cat. 163. Têtes de rivets hémisphériques coulés en grappe. Longueur 4,8 cm.

L'applique rectangulaire cat. 145, probable élément de buffleterie, possède au revers deux languettes de fixation mal dégagées et pas encore perforées. Le cat. 163 est tout à fait particulier puisqu'il a été identifié comme des rivets à têtes hémisphériques coulés en grappe (fig. 163). Cette réalisation souligne un certain degré de complexité puisque les tiges des rivets, en fer mais très mal conservées, ont été insérées au préalable sur l'une des deux parties du moule. Têtes et tiges furent donc solidarisées en une seule opération, lors de la coulée du métal en fusion. Ce procédé de moulage en grappe n'est pas inconnu. Il est, par exemple, employé pour la réalisation de petites perles métalliques, comme le démontre un exceptionnel moule en pierre du Haut Moyen Âge, conservé au Cabinet des Médailles à Paris mais découvert à Guelma en Algérie (Roth 1986, fig. 19b). Une trouvaille similaire à celle de Develier-Courtételle a été repérée en Meurthe-et-Moselle dans une tombe du cimetière mérovingien de Royaumeix (Liéger et Marguet 1992, fig. 3). De tels rivets à base légèrement aplatie sont associés à des garnitures de ceinture, depuis la fin du 6^e siècle et au moins jusqu'au milieu du 7^e siècle.

La matière de récupération

La métallurgie des alliages non ferreux se prêtant particulièrement bien au recyclage, il n'est pas étonnant de constater sur le site la présence de certains fragments de métal destinés à être refondus. Cinq d'entre eux sont en bronze et présentent une morphologie identique : des bandes de métal brisées avec une largeur étonnamment uniforme, comprise entre 1 et 1,1 cm. Il y a certainement là un indice que le métal récupéré a déjà été débité en petits morceaux pour faciliter la fusion. Le cat. 150 est enroulé sur lui-même et le cat. 164 est replié longitudinalement, avec deux perforations qui ne sont plus en regard l'une de l'autre. Ces manipulations intentionnelles sur des objets rendus inutilisables garantissent leur réemploi comme matière de récupération.

Deux autres éléments, une tôle de plomb partiellement repliée sur elle-même et la barre en étain cat. 115, ont également été retenus comme de probables éléments de recyclage. La barre en étain pourrait être considérée à la rigueur comme un « lingot » semi-ouvré – il ne s'agit plus tout à fait d'un matériau brut – car sa qualité d'objet est difficilement envisageable étant donné la rareté extrême d'objets manufacturés en étain au Haut Moyen Age, de rares garnitures de ceinture étant toutefois attestées.

5.2.2 Les aspects techniques

Dix témoignages de cette métallurgie des alliages à base de cuivre, principalement des restes de la coulure du métal et des traces de métal sur des creusets, ainsi que deux objets archéologiques ont été soumis à une analyse chimique (annexe 5). Comme les objets en alliages cuivreux en relation avec l'atelier de bronzier étaient en partie fortement corrodés ou, comme pour les damasquinures (chap. 4.2.4.8), ne permettaient que le prélèvement d'échantillons minuscules, l'analyse quantitative de ces échantillons n'a pu être effectuée qu'avec la microsonde électronique. Le prélèvement des échantillons a été effectué par sciage de petits fragments ou par prélèvement de copeaux par perçage. L'analyse des échantillons d'alliages cuivreux et de métaux précieux (chap. 4.2.4.8) a été confiée à P. Northover du Department of Materials à Oxford (GB) qui est spécialisé dans l'analyse à la microsonde de tels matériaux (pour le principe de la méthode, King et Northover 1993, p. 101).

Les commentaires de l'analyse des métaux cuivreux sont extraits d'un rapport de Walter Fasnacht. Cinq de ces objets sont en bronze, six en laiton, et dans un alliage l'étain domine (fig. 164). Les deux alliages mentionnés ont été coulés dans les ateliers de Develier-Courtételle ainsi que le montrent les restes de métaux dans les creusets, les coulures et les objets à l'état brut de coulée. Le laiton utilisé pour les objets se distingue par sa faible teneur en zinc et par ses autres éléments d'alliage du laiton utilisé comme matériau pour les damasquinures. Les alliages de métaux cuivreux utilisés dans le hameau de Develier-Courtételle ne présentent pas de caractéristiques de qualité particulières. Il s'agit là probablement d'alliages obtenus par recyclage de vieux métaux. Par contre, le laiton des damasquinures est un alliage produit spécialement pour une application bien particulière ; il s'agit d'un produit d'importation de haute qualité.

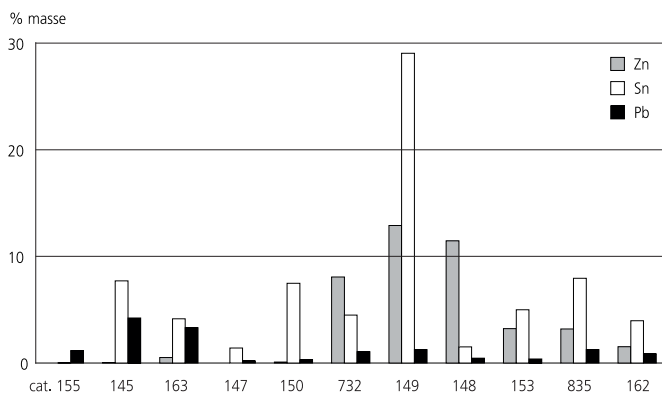


Fig. 164 Éléments majeurs de la composition chimique des objets non ferreux étudiés. Les cat. 155 à 150 sont des alliages de bronze et les cat. 732 à 162, des alliages cuivreux riches en zinc.

Alliages de bronze :

- creuset avec gouttelettes de métal cat. 155
- applique brute de coulée cat. 145
- rivets bruts de coulée cat. 163
- goutte de coulée cat. 147
- matière de récupération cat. 150

La teneur en plomb des restes de métal présents sur les bords du petit creuset cat. 155 est tellement faible (env. 1 % masse) que ce métal peut être considéré comme du cuivre pur contenant des impuretés. La présence de ces restes de métal indique ici que le cuivre a été fondu à l'état non allié et que l'adjonction d'étain pour la fabrication du bronze n'a été effectuée que juste avant la coulée. Le plomb décelé peut provenir soit d'une adjonction volontaire soit d'une paragenèse de plomb du minerai de cuivre.

Tout comme la tôle interprétée comme de la matière de récupération cat. 150, la goutte de coulée cat. 147 et les produits bruts de coulée (cat. 145 et 163) renferment encore de l'étain à côté du plomb et du cuivre.

Alliages cuivreux renfermant du zinc :

- ferret cat. 732
- raté cat. 149
- goutte de coulée cat. 148
- creuset avec gouttelettes de métal cat. 153
- rivet cat. 835
- masselotte cat. 162

Par leur composition, les alliages cuivreux renfermant du zinc diffèrent notablement du laiton utilisé pour les damasquinures (chap. 4.2.4.8) qui, lui, présente des teneurs en zinc de 20 à 30 % masse. Les alliages ternaires et quaternaires discutés ici, présentent des teneurs en zinc notablement plus basses (fig. 164). Les autres éléments d'alliage sont l'étain et le plomb.

Les laitons utilisés peuvent encore se différencier en laitons à teneur moyenne en zinc (cat. 149, 148 et 732) et en laiton à faible teneur en zinc. Certains laitons à teneur en zinc diffèrent des bronzes par leurs teneurs en éléments traces : ils contiennent davantage de fer et de nickel (fig. 165). La teneur en arsenic

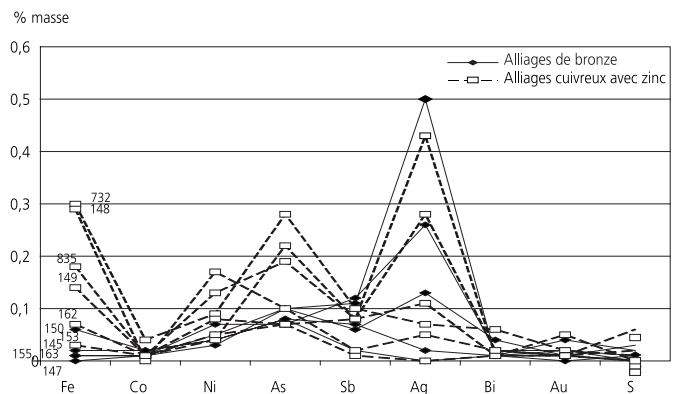


Fig. 165 Les éléments traces différents entre les alliages de bronze et les alliages cuivreux avec zinc : les alliages avec zinc sont en général plus riches en Fe, en Ni et en As.

des alliages cuivreux renfermant du zinc est aussi sensiblement plus élevée. Le fer et le nickel parviennent ainsi avec le zinc dans l'alliage.

Alliages riches en étain :

- masselotte cat. 146

Parmi les pièces en alliage riche en étain, la masselotte cat. 146 mais aussi le raté cat. 149 déjà mentionné sous les laitons retiennent particulièrement l'attention. Bien que la composition chimique de la pièce cat. 146 soit fortement influencée par les produits d'oxydation, il est malgré tout possible de l'interpréter (elle n'est cependant pas prise en compte sur les figures 164 et 165, car la somme des éléments analysés n'atteint qu'environ 50% du fait de l'impossibilité pour la microsonde de mesurer la teneur en oxygène). Ces deux objets renferment plus de 30% masse d'étain et environ 10% masse de zinc et de plomb. De tels alliages ne peuvent pas se déformer plastiquement et ne sont donc pas forgeables. La pièce cat. 149 pourrait aussi comporter une brasure à l'étain.

5.3 Les objets

Les objets présentés sont, à une exception près, en bronze. La trop faible importance numérique de certains types d'objets a conduit à simplifier le cadre typologique retenu pour la présentation générale du mobilier métallique (fig. 103). Quatre catégories d'objets sont ainsi particulièrement mises en évidence, reflétant pour l'essentiel des aspects de la vie quotidienne : les accessoires vestimentaires et ceux de parure, les éléments liés à l'armement ou encore à la vie domestique. Dans bien des cas cependant, l'attribution de pièces à telle ou telle catégorie n'a été rendue possible que par comparaison avec du mobilier issu d'ensembles funéraires du Haut Moyen Age.

5.3.1 Les objets de buffleterie

La présentation des éléments de buffleterie se veut, comme celle de ses équivalents en fer, plus formelle que fonctionnelle. L'appartenance de ces éléments à un type précis de courroies ou de lanières ne peut pas toujours être déterminée avec assurance. Cependant pour l'essentiel des dix-huit objets identifiés, les ceintures, les jambières et les chaussures constituent les supports préférentiels (fig. 166).

5.3.1.1 La boucle

Les deux tenons perforés de fixation sont la preuve que la boucle sans ardillon cat. 399 (fig. 166.1) était initialement rattachée à une plaque-boucle de ceinture. En association avec une contre-plaque et une plaque dorsale carrée, cet ensemble a dû composer une garniture tripartite. Peut-être aussi une garniture à plusieurs éléments dans le cas de la présence complémentaire de petites plaquettes verticales ou de plaquettes à œilletons. De telles garnitures sont liées à un type très répandu au 7^e siècle, comportant de multiples variantes, et couramment décoré en style animalier II. Elles sont attestées de façon soutenue dans les régions orientales du royaume franc et en Bourgogne septentrionale (Leitz 2002, note 116). Des regroupements significatifs ont déjà permis de suggérer plusieurs lieux de réalisation possibles, centrés par exemple sur la Trouée de Belfort et la région bâloise ainsi que sur le Plateau suisse (Martin 1991, p. 122).

Pour la boucle isolée de Develier-Courtételle, très aplatie et au décor sommaire (fig. 167), certaines comparaisons font regarder tout particulièrement vers la Bourgogne : en Saône-et-Loire, avec les exemplaires de Saint-Clément-sur-Guye (Gaillard de Sémainville 1980, pl. 56B) et de Curtil-sous-Burnand (Ajot 1986, p. 48) et en Côte-d'Or, avec celui de Verdonnet (Bertheliet-Ajot 1991, n° 88.6610.1). Le rapprochement formel avec des garnitures tripartites ou à plusieurs éléments permet d'insérer cet objet dans la

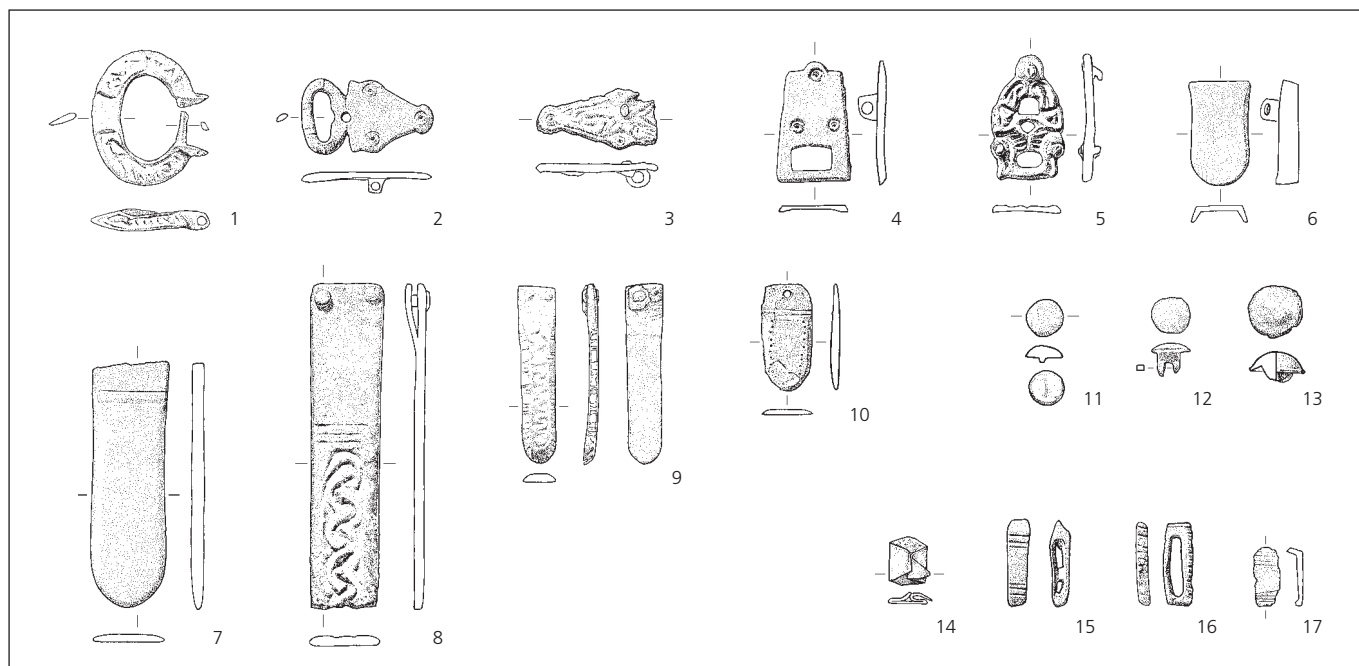


Fig. 166 Les éléments de buffleterie en bronze. 1 : boucle de ceinture décorée (cat. 399) ; 2 : plaque-boucle de jambière (cat. 834) ; 3 : contre-plaque de chaussure (cat. 404) ; 4-6 : plaquettes dorsales de ceinture (cat. 484, 562 et 189) ; 7-10 : ferrets (cat. 241, 502, 503 et 564) ; 11-13 : rivets (cat. 629, 719 et 835) ; 14-17 : passants (cat. 486, 602, 722 et 723). Echelle 1:2.



Fig. 167 Vue de détail de la boucle de ceinture à tenons cat. 399. Longueur 3,1 cm.



Fig. 168 Vue de détail de la plaquette à œillets décorée cat. 562. Longueur 3,3 cm.

première moitié ou le milieu du 7^e siècle. Mais un tel objet isolé a très bien pu être réutilisé par la suite, comme l'exemplaire de la tombe 4 de Oberdorf (SO) (Motschi 1993, p. 82), selon la mode des dernières décennies du 7^e siècle qui voit réapparaître des ceintures formées de boucles simples, sans plaques ni garnitures.

5.3.1.2 Les plaques

Deux plaques ont été identifiées comme des garnitures métalliques appliquées au niveau de la jambe ou du pied; elles sont malheureusement dépourvues de contexte stratigraphique. La plaque-boucle en une seule pièce cat. 834 (fig. 166.2) a dû appartenir préférentiellement à une garniture de jambière. Apparues au 6^e siècle déjà et utilisées durant tout le 7^e siècle, de telles plaques-boucles ne peuvent être placées que dans une fourchette de datations très large. Leur présence est signalée dans la plupart des cimetières importants du monde mérovingien.

La contre-plaque triangulaire cat. 404 (fig. 166.3) est plus assurée comme garniture de chaussure. Même si son décor d'entrelacs (animalier?) est illisible, nous proposons d'opérer une comparaison avec un petit ensemble déjà étudié (Marti 2000, p. 81). La répartition de ces garnitures de chaussure concerne tout particulièrement le sud du Rhin supérieur, avec une datation centrée sur le milieu et le troisième quart du 7^e siècle. Mais l'exemplaire de Develier-Courtételle, fortement usé et réparé, témoigne d'une utilisation prolongée.

5.3.1.3 Les plaquettes dorsales

Les éléments en bronze attachés initialement à l'arrière de certaines ceintures sont au nombre de trois. Il s'agit de deux plaquettes à œillets (fig. 166.4-5) et d'une plaquette verticale (fig. 166.6). La fonction des deux premières était de permettre la fixation à la ceinture, au moyen de petites lanières en cuir passant à travers les œillets, d'un scramasaxe et/ou d'une aumônière. Cet emploi, attesté par de nombreux parallèles funéraire, s'observe tout particulièrement en association avec des garnitures tripartites attribuables dans leur majorité au premier tiers du 7^e siècle. Pour l'essentiel en bronze, leur nombre est de deux à quatre exemplaires par ceinture.

Si le cat. 484 (fig. 166.4) est d'un modèle couramment attesté, avec de multiples variantes formelles et décoratives, le cat. 562 (fig. 168) est en revanche caractérisé par son décor. L'ornementation de la face visible est une composition symétrique de deux têtes d'oiseaux de proie aux mandibules recourbées; les têtes triangulaires et les yeux sont encore figurés alors qu'un groupement d'incisions schématisent, entre deux œillets, les corps entremêlés des animaux. Tous ces éléments sont représentatifs du style animalier II (Moosbrugger-Leu 1971, fig. 56). Par sa forme et son décor, le cat. 562 de Develier-Courtételle est comparable à un ensemble restreint de plaquettes à trois œillets tout à fait similaires (fig. 169). Mais à l'exception des exemplaires retrouvés à double ou à triple dans un même ensemble funéraire (fig. 169.5-6,9,13), ces plaquettes ne sont pas rigoureusement identiques et ne proviennent donc pas d'un même moule. Leur répartition fournit cependant une indication sur un possible lieu de réalisation. Cette production stylistique affecte une aire bien délimitée dans le sud-ouest de l'Allemagne et dans le nord de la Suisse avec une concentration remarquable, à l'ouest du lac de Constance, de part et d'autre du Rhin supérieur. Les exemplaires de Develier-Courtételle et de Fondremant sont les parallèles les plus occidentaux. L'association avec des garnitures de ceinture tripartites complètes est reconnue tout particulièrement à Bülach et à Güttingen (fig. 169.2,5). De tels ensembles, comme la grande majorité des garnitures de type Bülach à damasquinure monochrome, peuvent être datées encore dans le premier tiers du 7^e siècle (Windler 1994, p. 59-60). Mais une utilisation prolongée dans le deuxième tiers du 7^e siècle est reconnue, comme dans le cas de la tombe 75 de Munzingen qui pourrait être encore placée peu avant le milieu de ce siècle (Groove 2001, p. 107).

La plaquette verticale cat. 189 (fig. 166.6) entrait certainement dans la composition d'une garniture à éléments multiples en bronze du 7^e siècle avancé, mais nous n'avons trouvé aucun parallèle convaincant. Ses caractéristiques – face interne en creux et bords biseautés – pourraient aussi bien se rapporter à des garnitures du nord de l'Italie (par ex. von Hessen 1983, pl. 8-13) qu'à des garnitures des régions du Rhin moyen et du Neckar (par ex. R. Koch 1967, pl. 90/carte 12).

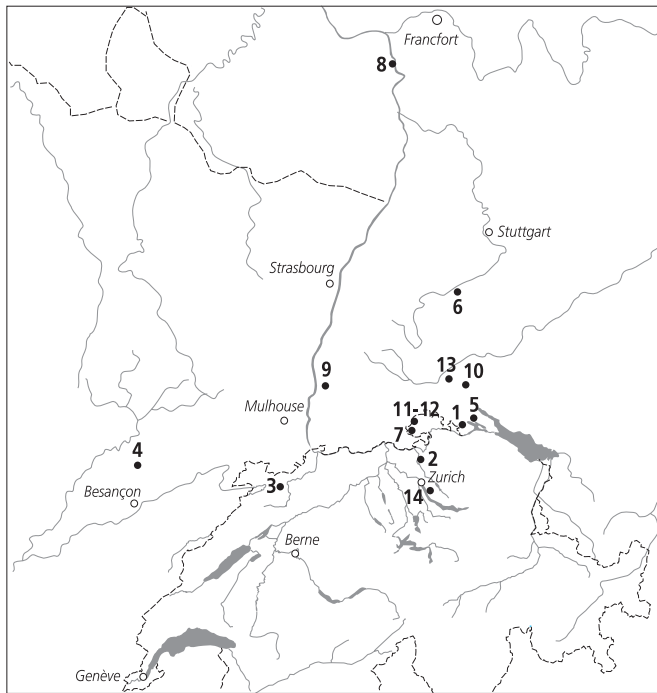


Fig. 169 Carte de répartition des plaquettes à œillets décorées comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 562.

- 1 Böhligen (Kr. Konstanz, D) Baugrube: Theune 1999, pl. 30.22
- 2 Bülach (ZH) tombe 87 (2x): Werner 1953, pl. 22.1d-e
- 3 Develier-Courtételle (JU): cat. 562
- 4 Fondremant (Haute-Saône, F): Thévenin 1968, pl. 7.8
- 5 Güttingen (Kr. Konstanz, D) tombe 60 (3x): Fingerlin 1971, pl. 32.7-9
- 6 Hailfingen (Kr. Tübingen, D) tombe 79b (2x): Stoll 1939, pl. 24.5a-b
- 7 Hallau (SH) trouvaille isolée: Hasenfratz et Banteli 1986, pl. 23.2
- 8 Lörzweiler (Kr. Main-Bingen, D) tombe 13: Stümpel 1974, fig. 22.13.5
- 9 Munzingen (Stadt Freiburg, D) tombe 75 (2x): Groove 2001, pl. 18.75.3-4
- 10 Neuhausen ob Eck (Kr. Tuttlingen, D): Paret 1932, pl. 17.1
- 11 Schleithem (SH) tombe 24 et pièce isolée: Guyan 1965, pl. 5.24a et pl. 20i
- 12 Schleithem (SH) tombe 325: Burzler et al. 2002, pl. 20.7
- 13 Wurmlingen (Kr. Tuttlingen, D) (2x): Veeck 1931, pl. L.7a-b
- 14 Zumikon (ZH): Meyer von Knonau 1873, pl. 2.9

5.3.1.4 Les ferrets

La dimension des quatre ferrets en bronze de Develier-Courtételle déterminent deux usages distincts. Si les deux premiers peuvent se rapporter à des garnitures de ceinture (fig. 166.7-8), éventuellement de baudrier d'armement, il doit s'agir dans les deux autres cas (fig. 166.9-10) de ferrets appliqués au niveau de la jambe ou du pied. Tous comportent un décor plus ou moins élaboré.



Fig. 170 Vue de détail des ferrets cat. 502 et 503 retrouvés dans les bassins de la zone d'activité 4. Longueur 8,7 et 4,7 cm.

Les ferrets cat. 502 et 503 (fig. 170) ont en commun une découpe en contexte stratifié dans les bassins de la zone d'activité 4. Dans les deux cas le décor principal, un motif ondé, pourrait être une représentation dégénérée d'un thème animalier fréquent, celui du serpent. Le ferret cat. 503 est encore caractérisé par une face visible plaquée d'argent. Ses bords biseautés décorés d'incisions groupées font tout particulièrement envisager un rapprochement avec les innombrables garnitures de chaussure en fer, à décor damasquiné, attestées entre la fin du 6^e siècle et le milieu du 7^e siècle. Cette proposition trouve une confirmation avec la position stratigraphique de ce ferret dans la phase D-VII des bassins. Correspondant à une destruction de l'aménagement, cette phase a été calée en chronologie relative dans la première moitié du 7^e siècle (CAJ 13, chap. 9.4). Le ferret cat. 502 à deux rivets de fixation est brisé, ce qui empêche d'identifier la forme de son extrémité. Mais avec une longueur conservée de 8,7 cm, il illustre déjà la tendance au développement en longueur des ferrets. Cette évolution caractérise les phases tardives du mobilier de l'époque mérovingienne (Moosbrugger-Leu 1971, p. 177-180). Ceci n'entre pas en contradiction avec son insertion stratigraphique dans la phase D-IX qui le place vers le milieu du 7^e siècle environ, entre la phase D-VII illustrée par le précédent ferret cat. 503 et la phase D-XI qui s'achève, vers 670 ap. J.-C., avec l'abandon de cette zone (CAJ 13, chap. 9.4).

Les points précis de comparaison font défaut pour le ferret cat. 241 (fig. 166.7) qui présente un léger resserrement central et des bords biseautés. A titre d'hypothèse, nous proposons toutefois un rapprochement avec les ferrets des garnitures à plusieurs éléments d'Yverdon (VD), tombe 34 (Steiner et Menna 2000, pl. 6.1) et d'Oberdorf (SO), tombe 17 (Motschi 1993, pl. 4.17). De telles garnitures, attestées aussi bien au sud qu'au nord des Alpes, font leur apparition dans le courant du deuxième tiers du 7^e siècle mais sont encore portées par la suite. En raison de sa forme très plate donnant l'impression d'avoir été découpée dans une tôle et une fixation assurée par un seul rivet, le ferret cat. 564 (fig. 166.10) pourrait encore être daté dans le 6^e siècle.

5.3.1.5 Les rivets

L'espace restreint entre la base de la tête et la perforation de la languette de fixation suppose une association des deux rivets cat. 629 et 719 (fig. 166.11-12) avec des éléments de buffleterie peu épais. Une application directe sur le cuir d'une lanière peut aussi être avancée. Deux têtes de rivet hémisphériques à base légèrement aplatie, dont le cat. 835 (fig. 166.13), sont à mettre en relation avec les rivets bruts de coulée cat. 163 (chap. 5.2). Attestés dès le dernier tiers du 6^e siècle, en association privilégiée avec des garnitures de ceinture à plaques circulaires, les rivets de ce type perdurent au moins dans les deux premiers tiers du 7^e siècle sur d'autres types de garnitures (Martin 1991, fig. 53b).

5.3.1.6 Les passants

Les quatre passants en bronze reconnus facilitaient le maintien de minces lanières dont la largeur était comprise, ici, entre 1 et 1,5 cm. Ils illustrent deux principes d'utilisation différents. Le passant cat. 486 (fig. 166.14) devait fixer la lanière par pincement, mais une utilisation plus indirecte a également été proposée pour des

reconstitutions de jambières (Claus 1976, fig. 4-5). La fixation est alors permanente, non plus sur la lanière, mais directement sur le tissu, probablement par couture.

Les trois autres exemplaires (fig. 166.15-17) devaient offrir une mobilité et des possibilités d'ajustement plus grandes mais leur fonction est délicate à préciser. Une appartenance au système de fixation des éperons est souvent mise en avant. Mais le contexte de découverte de ces trois passants, limité à la ferme 5, n'est pas très favorable à une telle identification: les éperons n'y sont pas attestés bien qu'il s'agisse de l'ensemble le plus riche en mobilier métallique du site. De nombreux petits éléments de buffleterie, notamment des bouclettes (chap. 4.2.4), pourraient associer de tels passants dans leur composition.

5.3.2 Les objets de parure

La présence d'éléments de parure, compléments directs de l'habillement, est bien sûr à mettre en regard des autres types d'objets du site de Develier-Courtételle. Cette présence toute relative s'exprime cependant de belle manière avec les dix-neuf objets de parure en bronze (fig. 171). Plusieurs d'entre eux, par leur facture et leur ornementation, sont d'une réelle qualité et soulignent une relative aisance.

5.3.2.1 Les fibules

Trois des quatre fibules en bronze ont été récoltées dans le niveau d'occupation du Haut Moyen Âge; une seule est issue d'une structure (fig. 171.2). L'état des objets est assez variable. Plus ou moins bien conservé, le système de fixation et d'articulation de l'ardillon

– qui étant en fer ne s'est jamais conservé – est soudé au revers. Si les deux tenons plats servant à l'articulation sont partout présents, la gouttière dans laquelle se logeait la pointe de l'ardillon ne figure plus que sur deux exemplaires. Deux fibules sont décorées.

Les fibules ansées symétriques

Parmi les trois fibules ansées symétriques, seul l'exemplaire cat. 724 (fig. 171.3) est orné. Ces trois fibules sont morphologiquement assez homogènes avec, comme caractéristique principale, des pieds scutiformes (en forme de bouclier). Ces pieds présentent des échancrures plus ou moins marquées pratiquées au départ de l'anse et sont arrondis à leur extrémité. Ceci permet de les rattacher clairement aux classifications existantes pour les fibules ansées symétrique du Haut Moyen Âge (Hübener 1972, groupe 2; Thörle 2001, groupe I) dont l'origine est à rechercher dans le monde méditerranéen. En Italie notamment, où elles se rencontrent dans des sépultures masculines de la seconde moitié du 6^e siècle. Mais un changement radical se produit au 7^e siècle avec l'apparition dans les régions occidentales du royaume franc de ces éléments de parure qui deviennent alors typiques du costume féminin, mais pas de manière exclusive (Schulze-Dörrlamm 2003). Ce changement devient très visible à l'époque mérovingienne récente à partir de 630/640, soit avec le début de la phase JM II de H. Ament.

Les fibules cat. 243 et 504 (fig. 171.1-2) se rapportent aux exemplaires non décorés à pieds scutiformes (groupe I A1) de S. Thörle. L'aire de répartition de ces fibules est très clairement centrée sur le nord-est du royaume franc, en Rhénanie et dans l'espace correspondant au cours moyen de la Moselle et de la Meuse

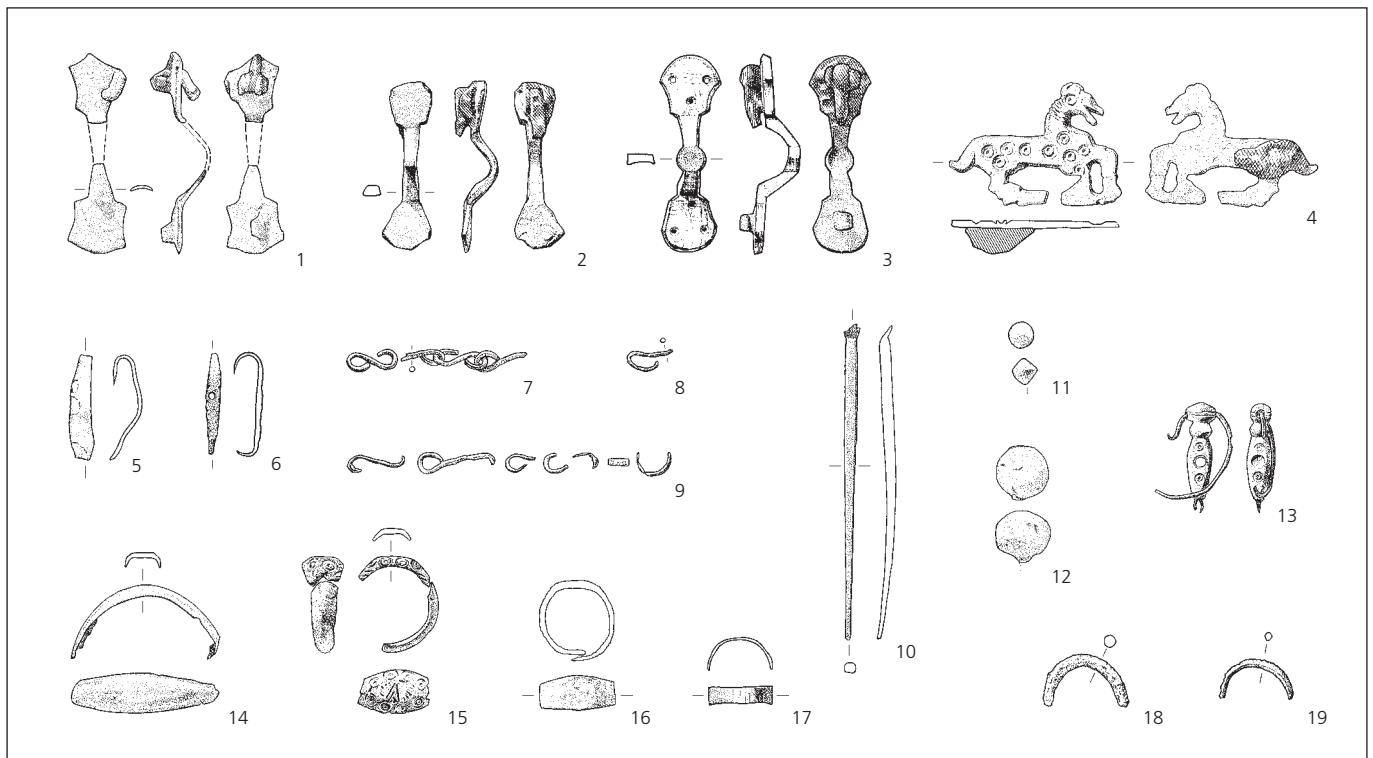


Fig. 171 Les éléments de parure en bronze. 1-3: fibules ansées symétriques (cat. 243, 504 et 724); 4: fibule zoomorphe (cat. 244); 5-6: agrafes à double crochet (cat. 603 et 725); 7-9: éléments de chainettes (cat. 332, 639 et 837); 10-12: épingles (cat. 838, 604 et 727); 13: boucle d'oreille (cat. 836); 14-17: bagues (cat. 412, 729, 413 et 730); 18-19: anneaux (cat. 414 et 605). Echelle 1:2.



Fig. 172 Vue de détail de la fibule ansée symétrique en bronze cat. 724 à pieds scutiformes incrustés de pastilles de verre rouge et petit médaillon circulaire disposé au sommet de l'anse. Longueur 5,2 cm.

(Thörle 2001, carte 2). D'autres exemplaires, en nombre beaucoup plus restreint, s'échelonnent de la Normandie à la Bourgogne. La fibule de la tombe 266 de Doubs (Urlacher et al. 1998, pl. 23.6), qui est aussi la plus rapprochée géographiquement des exemplaires de Develier-Courtételle, souligne la limite sud-est de cette aire de diffusion. Des exemplaires proches de celui de Doubs et du cat. 504 se rencontrent fréquemment au cours de la seconde moitié du 7^e siècle, datation resserrée sur le dernier quart du 7^e siècle

à Doubs par la présence dans la tombe d'une garniture du groupe G. 6B (Urlacher et al. 1998, p. 126 et 206). Pour la fibule cat. 504 de Develier-Courtételle, issue des bassins de la zone d'activité 4, une datation un peu plus ancienne doit être retenue. Son insertion stratigraphique dans la phase D-XI correspond en effet à la phase ultime d'utilisation de la zone comme dépotoir, juste avant l'abandon de l'aménagement (CAJ 13, chap. 9.4). Cet abandon, vers 670 ap. J.-C., autorise à situer la fibule ansée symétrique cat. 504 dans le troisième quart du 7^e siècle.

La fibule cat. 724 (fig. 172) possède une série de particularités qui en font un exemplaire tout à fait singulier, par son décor d'abord. L'objet est plaqué d'argent sur sa face visible et les pieds comportent chacun trois petites incrustations de verre rouge disposées en triangle. Mais sa caractéristique principale est le petit médaillon circulaire disposé au sommet de l'anse, ce qui donne à celle-ci un profil brisé. Cette caractéristique permet de rattacher la fibule de Develier-Courtételle à un sous-ensemble particulier (groupe I C) de la typologie de S. Thörle. La distribution de la douzaine d'exemplaires recensés (fig. 173) indique un regroupement dans le nord de la France et une dispersion le long du Rhin en direction de la Suisse occidentale. Avec la fibule de Berne-Bümpliz, celle de Develier-Courtételle marque ici encore la limite méridionale d'une aire de diffusion. La comparaison établie avec la fibule niellée et sertie de véritables grenats de la

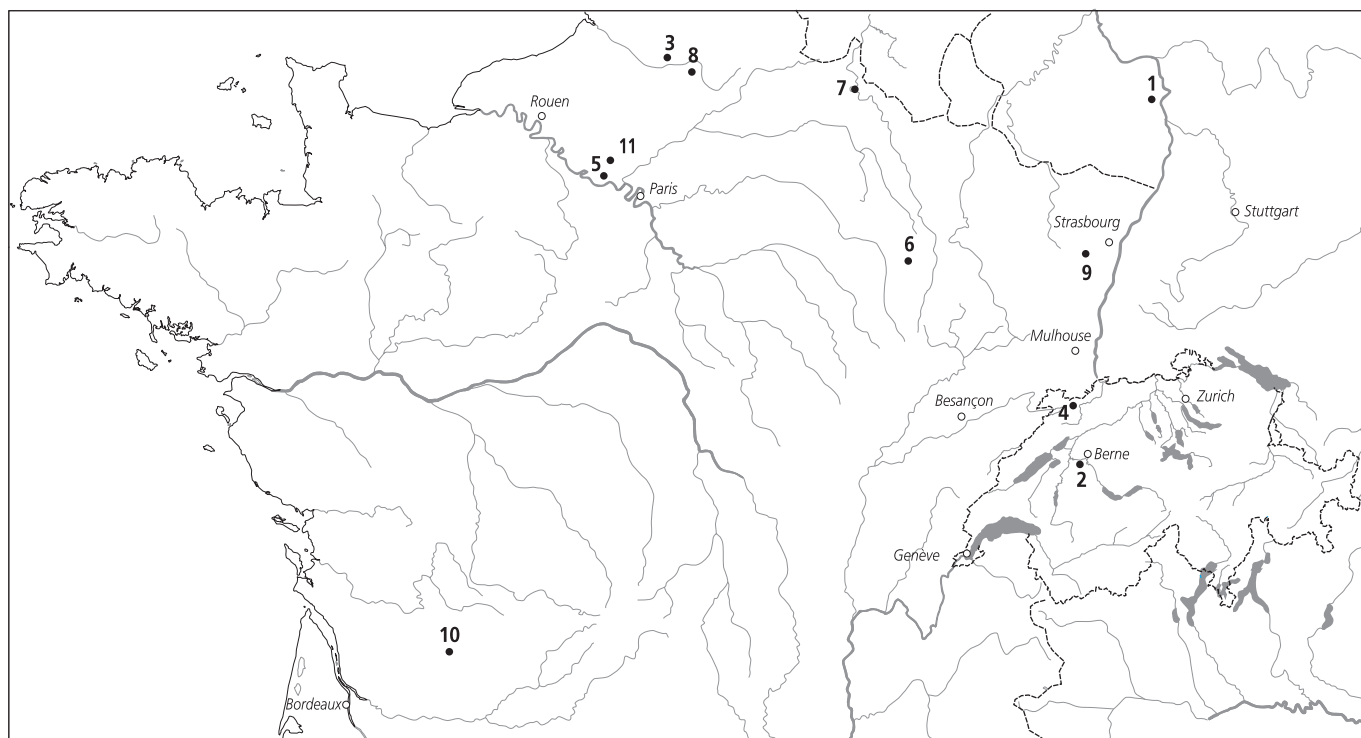


Fig. 173 Carte de répartition des fibules ansées symétriques comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 724 (complétée d'après Thörle 2001, carte 6).

- 1 Bernersheim vor der Höhe (Kr. Alzey-Worms, D) tombe 1 : Behrens 1937, fig. 1.4
- 2 Bern-Bümpliz (BE) tombe 169 : Tschumi 1940, fig. 7.169
- 3 Corbie (Somme, F) : Hübener 1972, fig. 4.12
- 4 Develier-Courtételle (JU) : cat. 724
- 5 Gaillon-sur-Montcient (Yvelines, F) tombe 74 : Regnard 2002, p. 56
- 6 Lezéville (Haute-Marne, F) tombe 216 : Salin 1922, pl. 7.7
- 7 Lumes (Ardennes, F) tombe 59 : Servat 1973, fig. 4.3

- 8 Marchépot (Somme, F) : Boulanger 1909, pl. 39.8
- 9 Ottrott, Mont Sainte-Odile (Bas-Rhin, F) tumulus IV : Thörle 2001, pl. 9.11
- 10 Paussac-Saint-Vivien (Dordogne, F) : Coupry 1967, fig. 40b
- 11 Santeuil (Val-d'Oise, F) tombe 130 (2x) : Petit et Depraetère-Dargery 1993, p. 220

Non cartographié. Origine inconnue (Römisch-germanisches Museum Köln : Werner 1961, pl. 47.295)

tombe 1 de Bermersheim (Kr. Alzey-Worms, D) est très importante pour la chronologie. Cet ensemble funéraire fondamental est daté par une trouvaille monétaire, avec un *terminus post quem* de 660, et a servi à marquer la fin de la phase JM II, vers 680 (Ament 1976, p. 323 et 332). La tombe-référence de Bermersheim datable de 660/680 permet ainsi de mieux situer la fibule cat. 724. La présence des incrustations de verre, à l'image des petits grenats appliqués sur des éléments de garnitures de ceinture tardives, renforce l'idée d'une datation raisonnablement axée sur le troisième quart du 7^e siècle.

La fibule zoomorphe

La fibule cat. 244 (fig. 174) est la représentation stylisée d'un cheval au galop, vu de profil et tourné à droite. La barrette qui relie les membres matérialise le niveau du sol. Les détails anatomiques, notamment la tête du cheval, sont bien marqués. Cette fibule est extrêmement proche de celles découvertes à Seewen (SO) et à Fétigny (FR) (fig. 175), deux trouvailles funéraires déjà anciennes (Moosbrugger-Leu 1971, pl. 49). A propos de l'exemplaire fribourgeois, la première publication consacrée au site de Fétigny recèle une indication tout à fait précieuse : « Le Musée de Fribourg a reçu ces jours-ci (...) la reproduction en plâtre d'une agrafe semblable en forme de cheval, trouvée dans le Jura bernois par M. le Dr Boéchat » (Kirsch 1899, p. 497). Or le docteur Pierre-Auguste Boéchat, médecin à Bonfol, n'est pas un inconnu dans ce qui est devenu depuis lors le canton du Jura : il est en effet l'explorateur, vers 1885, de la nécropole mérovingienne de Bonfol, Cras Chalet (Schifferdecker 1987). L'existence d'une quatrième fibule de ce type est ainsi hautement probable, les deux exemplaires jurassiens doublant du coup le corpus connu jusqu'alors.

L'exemplaire de la tombe 32 de Seewen a déjà fait l'objet d'une étude détaillée (Motschi 1991, p. 37-38). Il en ressort que ces fibules en forme de petit cheval se situent dans la longue tradition gallo-romaine des fibules animalières. Aux 5^e et 6^e siècles, cette tradition se perpétue au nord des Alpes avec des petites fibules en forme de cheval plus stylisées, mais souvent en argent et



Fig. 174 Vue de détail de la fibule zoomorphe cat. 244. Longueur 4,6 cm.

portées par paires. Pour les 6^e et 7^e siècles, on retrouve des fibules en forme de cheval dans des ensembles funéraires situés aussi bien au nord qu'au sud des Alpes. D'après leur contexte de découverte ces fibules ne sont portées qu'à un seul exemplaire au niveau de la poitrine – la fibule de la tombe 1 de Fétigny constituant une exception car certainement associée, par l'intermédiaire d'une chaînette, à une fibule quadrilobée à décor de filigranes (Schwab 1988, fig. 3) – et clairement destinées à fermer un manteau. Les similitudes entre les exemplaires de Seewen et Fétigny ont permis d'exclure une origine méditerranéenne et de postuler, au contraire, une fabrication quelque part en Suisse occidentale, dans un territoire occupé par des populations romanes indigènes. La fibule de Develier-Courtételle et l'autre éventuel exemplaire jurassien renforcent considérablement cette hypothèse (fig. 176), avec une localisation peut-être encore plus centrée sur le nord-ouest : les similitudes morphologiques et stylistiques entre les exemplaires de Develier-Courtételle et de Seewen sont en tout cas frappantes. Le contexte archéologique de cette dernière est l'un des plus récents parmi les ensembles funéraires datables contenant de petites

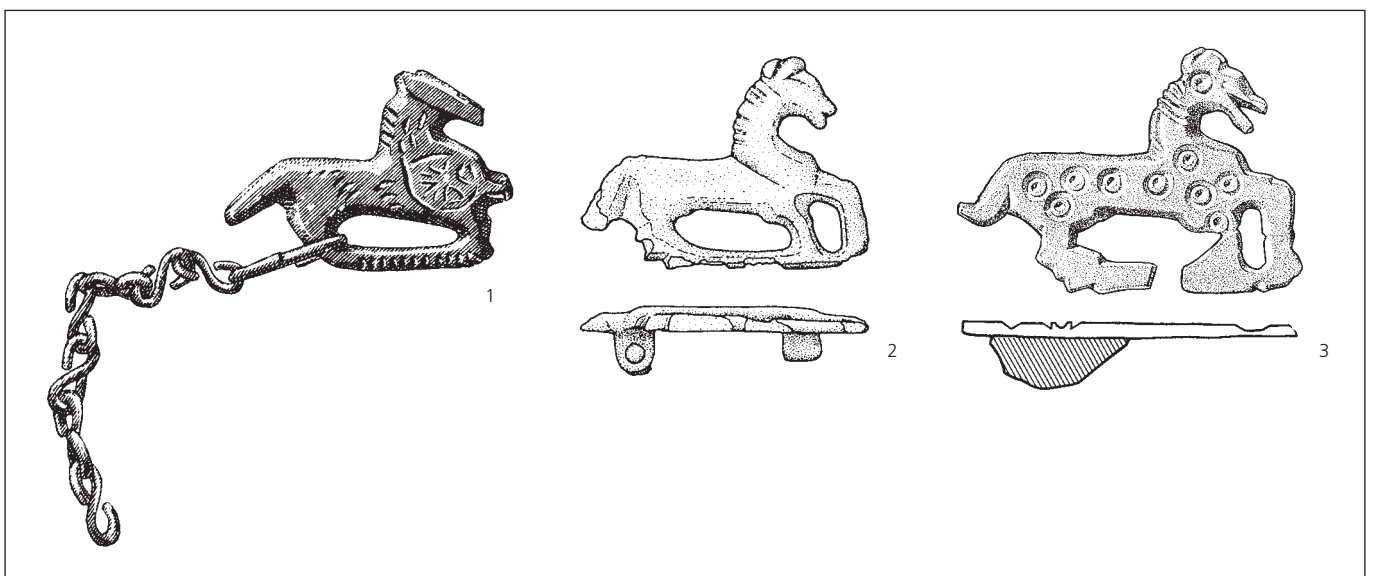


Fig. 175 Les fibules en forme de cheval de Fétigny (1), Seewen (2) et Develier-Courtételle (3). D'après Schwab 1988 et Motschi 1991. Echelle 1 : 1.

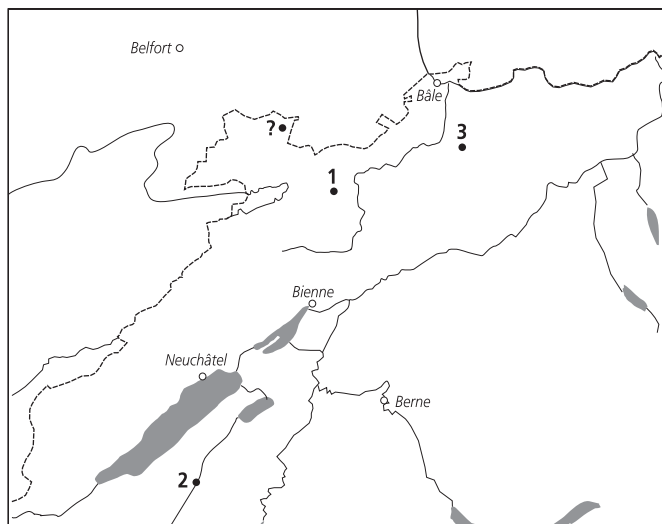


Fig. 176 Carte de répartition des petites fibules zoomorphes en bronze comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 244.

- 1 Develier-Courtételle (JU) : cat. 244
- 2 Fétigny (FR) tombe 1 : Schwab 1988, fig. 3.1
- 3 Seewen (SO) tombe 32 : Motschi 1991, pl. 5.32.3
- ? Bonfol (JU) : Kirsch 1899, p. 497

fibules en forme de cheval. La tombe 32 est en effet placée dans la phase ultime de la nécropole de Seewen (phase 4), soit au-delà de 670/80 ap. J.-C. A Fétigny, l'association avec une fibule quadrilobée proche d'exemplaires estampés, parle en faveur d'une datation dans le 3^e quart du 7^e siècle (Graenert et Rast-Eicher 2003, p. 163). Un positionnement dans la seconde moitié du 7^e siècle semble donc assuré pour la fibule cat. 244.

5.3.2.2 Les agrafes à double crochet

Les agrafes à double crochet sont des accessoires vestimentaires essentiellement féminins qui devaient être portées au niveau de la poitrine ou des épaules et destinées à fermer un manteau ou une cape. La simplicité des deux agrafes à double crochet cat. 603 et 725 (fig. 171.5-6) retrouvées à Develier-Courtételle empêche une détermination trop précise. Toutes deux ont un corps plat en bandeau et prolongé par deux pointes effilées. Le corps de l'agrafe cat. 725 est légèrement festonné et perforé. Ces perforations devaient permettre de relier une agrafe à double crochet, par l'intermédiaire d'un lien métallique ou organique, à une seconde agrafe ou à différents types de fibules. Mais l'absence de perforation, comme dans le cas du second exemplaire cat. 603, n'implique pas qu'une agrafe était portée isolée : la tombe 47 de Vuippens, La Palaz (FR) a ainsi livré une paire d'agrafes non perforées, reliées à une chaînette par enroulement d'un fil de bronze autour de la partie centrale du corps (Schwab et al. 1997, fig. 132).

L'immense majorité des agrafes à double crochet du Haut Moyen Age provenant de tombes, on s'est longtemps demandé si ces objets n'avaient qu'une fonction funéraire, servant notamment à fermer le linceul. Mais les trouvailles en contexte d'habitat se font de plus en plus nombreuses et soulignent une utilisation dans la vie quotidienne. Pour se limiter au canton du Jura, il convient de signaler les exemplaires du site d'habitat de Courtedoux, Creugenat (Deslex Sheikh 2002, fig. 27; Deslex Sheikh 2003, fig. 47) et

la trouvaille ancienne faite sur le site de hauteur du Mont-Terri en contexte imprécis mais qui n'est certainement pas funéraire (Rilliot 1966, fig. 5.8).

La répartition des agrafes à double crochet concerne essentiellement la partie occidentale du monde mérovingien et la Bourgondie. En Suisse, les exemplaires recensés se concentrent dans la partie occidentale du Plateau et de la chaîne du Jura : ceux de Lausen (BL) (Marti 2000, p. 67), Oberdorf (SO), Bettlach (SO) et Laupersdorf (SO) (Motschi 1993, p. 80) sont les trouvailles situées le plus à l'est. Les deux découvertes de Develier-Courtételle contribuent elles aussi à mieux définir les limites orientales de cette aire de diffusion. Sur la base des découvertes funéraires, l'émergence des agrafes à double crochet est située dans le deuxième tiers du 7^e siècle. Elles restent attestées au moins jusqu'à la fin du 7^e siècle, par exemple à Doubs (Urlacher et al. 1998, p. 127). Mais R. Marti doute que ces accessoires vestimentaires perdurent trop longtemps, en tout cas pas durant plusieurs siècles.

5.3.2.3 Les chaînettes

Deux fragments de chaînettes et un maillon isolé sont formés à partir d'une tige de section circulaire (fig. 171.7-8) ou rectangulaire (fig. 171.9) ; les extrémités courbées en S sont dans un même plan. Les chaînettes sont essentiellement utilisées en association avec des agrafes à double crochet mais aussi des fibules ansées symétriques ou discoïdes en une variété de combinaisons possibles. Leur fonction est donc de faciliter le maintien, au niveau des épaules ou de la poitrine, d'un manteau ou d'une cape. Des chaînettes identiques ont été mises au jour au 19^e siècle dans le contexte de la nécropole voisine de Develier, La Communance (Tschumi 1945, pl. 16.3-4).

5.3.2.4 Les épingles

La tête de l'épingle cat. 838 (fig. 171.10) est constituée d'une petite spatule ovale ; la tige, courte et légèrement facettée, n'est pas décorée. Ces épingles à extrémité spatulée, typiques du costume féminin, sont largement répandues en Bourgondie ainsi que dans le nord de la Gaule. En contexte funéraire, elles se retrouvent habituellement au niveau de la poitrine ou des épaules, ce qui indique une fonction de maintien d'un vêtement, une cape ou un voile par exemple (Marti 1990, p. 66-67). Les dimensions et la décoration semblent avoir une incidence sur leur datation, la tendance générale étant à l'allongement et au développement de l'ornementation avec le temps (Martin 1991, p. 71). L'absence de décor et les dimensions réduites de l'exemplaire de Develier-Courtételle sont des arguments pour une datation entre la fin du 6^e et le début du 7^e siècle. Une bonne comparaison en contexte d'habitat est fournie par l'exemplaire de la cabane en fosse 56 de Lausen, Bettenach (BL) (Marti 2000, p. 69).

Les têtes d'épingle brisées cat. 604 et 727 (fig. 171.11-12) sont identifiées comme telles en raison de l'amorce d'une tige de section circulaire. A la différence de la précédente, ces deux épingles doivent correspondre à des exemplaires courts portés au niveau de la tête, soit directement dans la coiffure, soit en aidant au maintien d'un voile ou de tout autre type de coiffe. Il s'agit là d'une mode vestimentaire d'origine méditerranéenne remontant

à l'Antiquité tardive, diffusée au nord des Alpes et en Gaule par l'intermédiaire de l'Italie lombarde puis de l'Allemagne du sud. Les épingles à tête sphérique massive comme le cat. 727 sont attestées au moins jusqu'au 7^e siècle (Beck et al. 1992, p. 102). Malgré sa forme biconique très ramassée, le cat. 604 pourrait être rapproché de l'épingle mise au jour dans la tombe 28 de l'église de Sissach (BL) qui trouve les meilleures comparaisons avec des ensembles funéraires de la phase JM II, soit vers 630/40 – 670/80 (Burnell 1998, p. 111).

5.3.2.5 La boucle d'oreille

Dans les ensembles funéraires de l'époque mérovingienne récente, les boucles d'oreille comptent parmi les objets de parure les plus fréquemment attestés et sont pratiquement toujours portées par paires. Et pourtant la boucle d'oreille cat. 836 (fig. 177) est l'unique exemplaire recensé sur l'ensemble du site. Il s'agit ici d'un objet très particulier et de belle qualité, malheureusement sans parallèles directs.



Fig. 177 Vue de détail de la boucle d'oreille incrustée de pastilles de verre rouge cat. 836. Longueur du pendant 2,8 cm.

Pour mieux cerner les questions de datation et d'influence culturelle soulevées par cet objet de Develier-Courtételle, nous pensons pouvoir établir une comparaison avec l'exceptionnelle boucle d'oreille mise au jour dans la tombe I/3 de l'église Saint-Martin de Gruiingen (Lkr. Göppingen, D). La forme pleine du pendant octaédrique, la partie intermédiaire d'articulation avec l'anneau et la présence d'un petit pendentif inférieur sont des critères communs à ces deux parures. D'autres exemplaires ont encore été mis au jour au nord des Alpes et particulièrement dans l'est de la Bavière, mais avec des variantes par rapport à l'exemplaire de Gruiingen (Quast 1996, fig. 7). Si l'origine générale de ce type est à rechercher dans le monde méditerranéen, des rapprochements stylistiques et décoratifs font penser, dans le cas de Gruiingen, à une réalisation du domaine culturel roman, quelque part en Bourgogne ou dans le sud de la France, avec une datation de la fin du 7^e siècle ou vers 700 ap. J.-C. (Quast 1996, p. 552). Ces considérations sont d'une grande importance pour le cat. 836 de Develier-Courtételle. L'idée d'une réalisation « romano-burgonde » – en tant que transposition d'un modèle d'origine méditerranéenne – est appuyée ici par l'ornementation et certaines

particularités morphologiques. Notamment les extrémités en crochets ou en œillets de l'anneau qui constituent le système de fermeture prédominant sur les boucles d'oreille découvertes au nord des Alpes. La présence d'incrustations de verre rouge à imitation de grenats trouve elle aussi de nombreuses correspondances dans le mobilier funéraire de Suisse occidentale et de France voisine, particulièrement sur des garnitures de ceinture tardives (Marti 1995, p. 113). La fibule cat. 724 et la boucle d'oreille cat. 836 sont les seuls objets du site à présenter ce mode décoratif caractéristique des phases tardives JM II/III. Ceci autorise à situer la boucle d'oreille cat. 836 dans un contexte chronologique recouvrant au moins la seconde moitié du 7^e siècle.

5.3.2.6 Les bagues

Les quatre bagues identifiées sur le site sont en bronze et toutes sont issues de la couche d'occupation du Haut Moyen Age. Deux bagues sont décorées (fig. 171.14-15) dont le cat. 412 orné d'un motif incisé très effacé : une croix à branches inégales (fig. 178). Ce signe discret pourrait constituer la seule attestation d'un message religieux à Develier-Courtételle mais son évaluation reste extrêmement délicate à entreprendre. Cette interprétation n'aurait pourtant rien de très surprenant. Il convient simplement d'évoquer ici les témoignages incontestables de la présence du christianisme dans le Jura à l'époque mérovingienne, témoignages observés sur des objets issus pour la plupart de contextes funéraires du 7^e siècle (Friedli 2000). Et tout particulièrement une bague ornée elle aussi d'une petite croix, issue de la nécropole de Bonfol, Cras Chalet (JU) (Schifferdecker 1987, fig. 3.1).

La bague cat. 729 est formée par un jonc dont l'élargissement progressif aménage un petit chaton ovale; le motif d'incisions en chevrons entouré d'ocelles est très effacé (fig. 179). La forme compacte de l'objet, mais surtout la section en bandeau « enveloppant » du jonc, sont des caractéristiques figurant sur un ensemble restreint de bagues découvertes dans des contextes funéraires du



Fig. 178 Vue de détail du motif cruciforme incisé sur la bague cat. 412. Largeur du chaton 1 cm.



Fig. 179 Vue de détail du décor incisé, mais très effacé, de la bague cat. 729. Largeur du chaton 1,1 cm.

Haut Moyen Age (fig. 180). Et tout particulièrement sur les exemplaires jurassiens de Saint-Ursanne et Bonfol. Sans prétendre à l'exhaustivité, la distribution géographique indique cependant une tendance orientée sur la partie occidentale du Plateau suisse et de la chaîne du Jura. Elle souligne en tout cas le rattachement, souvent commenté, de ces objets de parure aux populations de tradition romane. Les ensembles funéraires de Fétigny (chap. 5.3.2.1) et de Bourogne, tombe 64 – une fibule ansée symétrique et une petite boucle d'oreille simple datant l'ensemble encore dans la phase JM II plutôt que dans la phase JM III (Thörle 2001, p. 43) – permettent de proposer un contexte chronologique entre le milieu et le troisième quart du 7^e siècle pour la bague cat. 729 de Develier-Courtételle.

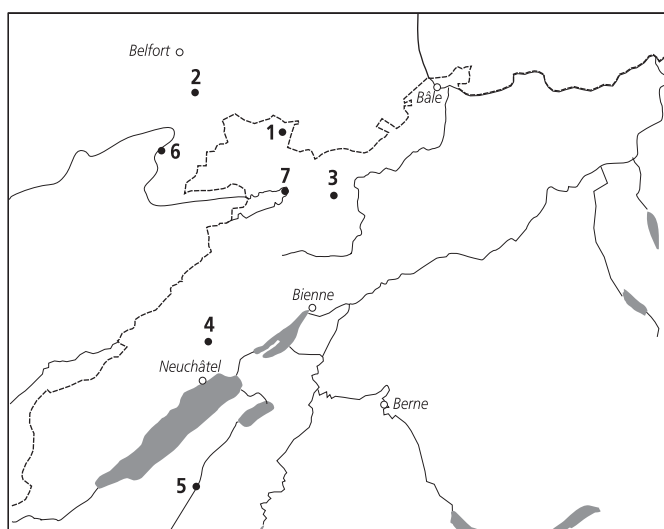


Fig. 180 Carte de répartition des bagues comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 729.

- 1 Bonfol (JU) : Schifferdecker 1987, fig. 3.1
- 2 Bourogne (Ter. de Belfort, F) tombe 29, 64 et 212 : Scheurer et Lablotier 1914, pl. 17A, 33E et 19E
- 3 Develier-Courtételle (JU) : cat. 729
- 4 Dombresson (NE) tombe 56 : Bujard 1999, p. 53
- 5 Fétigny (FR) tombe 1 : Schwab 1988, fig. 3.2
- 6 Mandeuve (Doubs, F) : fouilles inédites par G. Kühnle (communication orale de J.-P. Mazimann)
- 7 Saint-Ursanne (JU) sarcophage 47 (argent) : Sennhauser 1987, fig. 7

Les deux exemplaires sans décor cat. 413 et 730 (fig. 171.16-17) ont une forme simple et relativement courante, sans caractéristique particulière, hormis le jonc ouvert du premier.

5.3.2.7 Les anneaux

Les deux anneaux fragmentés cat. 414 et 605 (fig. 171.18-19) sont formés d'un simple jonc de section circulaire, sans décor. Leur fonction en tant que parure de doigt ne peut être assurée, d'autres utilisations étant par ailleurs envisageables. Par exemple comme élément de collier ou en tant qu'élément composite de châtelaine. Ces anneaux, de par leur simplicité, ne peuvent guère être datés que par le contexte de leur découverte. Ils ne possèdent donc aucune signification chronologique propre et sont présents aussi bien dans des ensembles funéraires anciens que récents (Moosbrugger-Leu 1971, p. 214).

5.3.3 Les objets liés à l'armement

Sur les dix objets en bronze liés à l'armement (fig. 181), neuf entrent dans la composition de fourreaux de scramasaxe. Mais il ne s'agit que de petits éléments isolés, destinés à renforcer les coutures latérales du fourreau en cuir. Le dernier élément se rapporte à un baudrier d'épée. Pour ce cas particulier, seule la recherche comparative a permis de déterminer la fonction précise de ce ferret.

5.3.3.1 Les éléments de fourreau

Les rivets de fourreau du scramasaxe sont pour l'essentiel représentatifs du 7^e siècle. Les exemplaires les plus anciens se caractérisent par une tête circulaire plate et, en règle générale, par l'absence de décor. Rattaché à ce type, le cat. 464 (fig. 181.4) manque pourtant de points de comparaison pour assurer son identification comme rivet de fourreau.

Les exemplaires plus récents sont plus fortement profilés, avec une tête plus « haute » en caisson; les décors y sont beaucoup plus fréquents. Les trois rivets de ce type ont une tête plate dont le pourtour biseauté fait saillie au revers (fig. 181.1-3). Les rivets identiques cat. 477 et 487 n'offrent pas de caractéristiques marquées, mais le premier est issu du remplissage sommital de la cabane en fosse B de la zone d'activité 3. Il y est associé avec la plaque-boucle de chaussure cat. 476 à plaquage d'argent datable dans le deuxième tiers du 7^e siècle (chap. 4.2.4). Le cat. 248 est

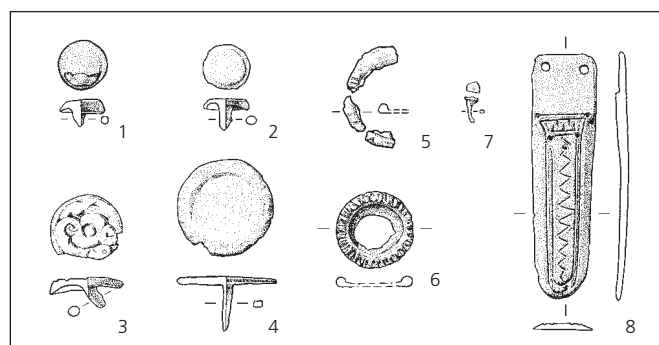


Fig. 181 Les éléments en bronze liés à l'armement. 1-4 : rivets de fourreau (cat. 477, 487, 248 et 464); 5-6 : collerettes de rivets de fourreau (cat. 323 et 631); 7 : clou de fourreau (cat. 536); 8 : ferret de baudrier (cat. 732). Echelle 1:2.



Fig. 182 Vue de détail du décor incisé du rivet de fourreau de scramasaxe cat. 248. Diamètre 1,9 cm.

beaucoup plus typé notamment par son décor incisé, organisé autour d'un rond central (fig. 182). Un petit groupe d'une dizaine d'ensembles funéraires contenant des rivets décorés identiques a déjà été identifié, avec notamment la tombe 81 de Elgg (ZH) (Windler 1994, p. 40 sqq.) et la tombe 48 de Munzingen (Stadt Freiburg; Groove 2001, p. 79 sqq.). Traité en style animalier II, souvent dégénéré, ce décor représente des animaux fantastiques – la gueule ouverte dirigée sur le rond placé au centre du rivet – qui se confondent dans un enchevêtrement de corps sinueux. La répartition de ces parallèles a mis en évidence une distribution limitée à la vallée du Rhin supérieur et centrée avant tout sur le lac de Constance (Groove 2001, pl. 152.1). Le mobilier en association dans ces tombes permet de retenir une datation entre le milieu et le troisième quart du 7^e siècle.

Par analogie avec les rivets à base perlée tardifs, les collerettes hachurées cat. 323 et 631 (fig. 181.5-6) sont considérées ici comme appartenant à des rivets de fourreau plutôt qu'à des garnitures



Fig. 183 Vue de détail du ferret de baudrier d'épée cat. 732. Longueur 6,5 cm.

de ceinture. En association avec une tête creuse plate ou hémisphérique, la forme « haute » de l'ensemble parle aussi pour une datation avancée dans le 7^e siècle.

Enfin, trois petits clous à tête plate dont le cat. 536 (fig. 181.7) sont couramment utilisés en complément des rivets pour le renforcement des coutures. Leur nombre par fourreau est très variable, approchant parfois la centaine.

5.3.3.2 Le ferret de baudrier

La fonction particulière du ferret cat. 732 (fig. 183) a pu être établie par comparaison avec des ensembles funéraires déjà publiés. Le recensement de ces parallèles s'est appuyé sur des critères stylistiques, à savoir l'existence d'un décor de frises de motifs géométriques proches de ceux du cat. 732 (fig. 184). A l'exception de celui de Doubs qui est une pièce rapportée, il s'est avéré que ces ferrets ont tous été découverts dans des tombes contenant une épée longue (*spatha*) et des éléments métalliques de son baudrier. L'identification du ferret de Develier-Courtételle comme un élément dépareillé d'un baudrier d'épée paraît donc assurée. A l'exception de celui de Donzdorf, la répartition des parallèles recensés se concentre sur le Rhin supérieur, entre Bâle et le lac de Constance, avec une petite extension en direction de la chaîne du Jura. Si une datation précoce dans le premier quart du 7^e siècle a été avancée pour la tombe 7 de Villigen (AG) (Reich 1996b, p. 74-75), les autres ensembles sont plus tardifs. Dans son étude consacrée aux épées du Haut Moyen Age, W. Menghin place la tombe 80 de Donzdorf dans la phase chronologique F, soit entre 650 et 680 ap. J.-C.

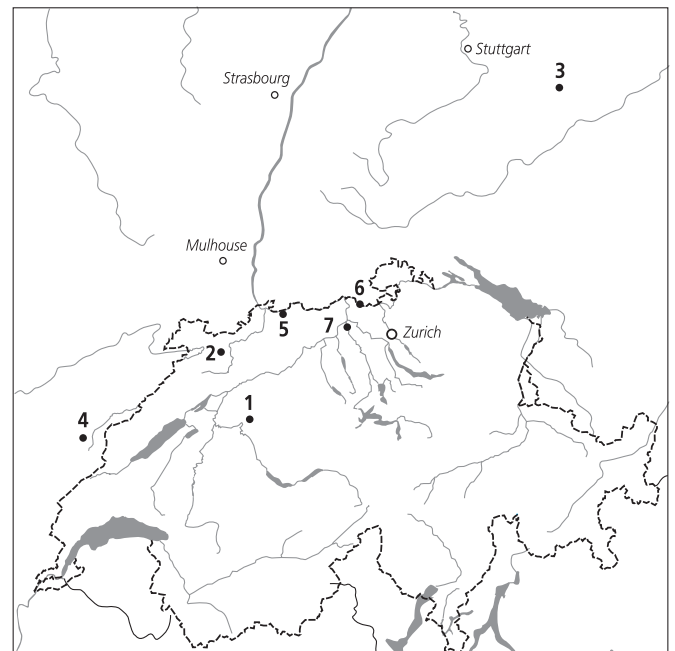


Fig. 184 Carte de répartition des ferrets de baudrier d'épée comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 732.

- 1 Bolligen (BE) tombe 24 (2x): Moosbrugger-Leu 1971, pl. 45.6-7
- 2 Develier-Courtételle (JU): cat. 732
- 3 Donzdorf (Kr. Göppingen, D) tombe 80: Neuffer 1972, pl. 26.7
- 4 Doubs (Doubs, F) tombe 28: Urlacher et al. 1998, pl. 2.28.1
- 5 Herten (Kr. Lörrach, D) tombe 129 (2x): Garscha 1970, pl. 24.4c et 6c
- 6 Rheinhelm (Kr. Waldshut, D) tombe 1/1902: Garscha 1970, pl. 23.4c
- 7 Villigen (AG) tombe 7: Reich 1996b, pl. 3.C5

(Menghin 1983, n° 139 et p. 51-52). La garniture de baudrier en bronze à plusieurs éléments et les passants pyramidaux de cette tombe-référence sont présents de la même manière dans les ensembles de Bolligen, Herten et Rheinheim. Ceci autorise pour le ferret cat. 732 une datation ouverte à partir du milieu du 7^e siècle.

5.3.4 Les objets isolés et les objets non définis

Six objets isolés et une sélection opérée parmi les onze objets non définis sont regroupés dans le présent paragraphe (fig. 185). Quelques-unes des catégories typologiques du mobilier métallique de Develier-Courtételle ne sont en effet représentées que par un seul objet non ferreux.

La nature exacte des deux premiers n'est pas claire. L'unique objet mobilier en plomb du site serait en relation avec le travail du textile, et plutôt comme fusaïole car sans doute trop léger pour servir de peson (fig. 185.1). Il n'a malheureusement pu faire l'objet d'aucune comparaison, ce type d'ustensile étant réalisé pour l'essentiel en terre cuite ou en os; sa position stratigraphique dans les niveaux du Haut Moyen Age est cependant assurée. Cette problématique se retrouve avec l'objet présenté comme un battant de sonnaille (fig. 185.2), son contexte de découverte dans le bâtiment A de la ferme 5 l'éloignant encore plus de sa possible fonction originelle.

Les activités domestiques peuvent être illustrées par des ustensiles de table et de cuisine. Elles se limitent à peu de chose: une petite cuillère fragmentée (fig. 185.3) et une attache d'anse d'un bassin en bronze (fig. 185.4). Il est très difficile d'évaluer si la cuillère cat. 262 n'est qu'un mobilier résiduel d'époque gallo-romaine ou s'il s'agit d'un objet dont la permanence en fait un objet encore en usage au Haut Moyen Age. Le peu d'exemplaires de comparaison de ce type en contexte funéraire - par exemple une cuillère en bronze à Donaueschingen (Schwarzwald-Baar Kr., D; Buchta-Hohm 1996, pl. 46.A26) ou un autre exemplaire en os dans

des fouilles anciennes à Yverdon (VD) (Steiner et Menna 2000, fig. 298.E1) - ferait retenir de préférence la première hypothèse. Un objet non défini (fig. 185.7) pourrait constituer à la rigueur un autre élément de cuillère, plus exactement le raccord entre le cuilleron et le manche. L'attache d'anse d'un bassin en tôle de bronze cat. 743 (fig. 185.4) est un objet peu spectaculaire en soi mais qui possède pourtant une connotation qualitative particulière. Que ce soit en contexte funéraire et plus encore en contexte d'habitat, la vaisselle en bronze est rare, ce qui conduit à penser que de tels d'objets présentaient un caractère de luxe et étaient peu fréquents dans la vie quotidienne. En contexte funéraire, elle caractérise plus spécifiquement les ensembles de l'horizon social le plus élevé, en particulier le «Qualitätsgruppe C» défini par Rainer Christlein. C'est ce que suggère aussi l'utilisation des bassins circulaires à anses comme vaisselle destinée au lavage des mains, fonction plus rituelle qu'utilitaire (Windler 1994, p. 111). Leur présence sur des sites d'habitat peut être évoquée de manière indirecte par deux éléments isolés signalés à Lausen, Bettenach (BL): une anse et une attache d'anse en contexte stratifié à l'intérieur des cabanes en fosse 50 et 114 (Marti 2000, pl. 160.2 et 173.11). L'attache d'anse cat. 743 ne peut pas être mise en relation avec un type précis de bassins dont la coutume comme dépôt funéraire concerne largement les régions comprises entre la Seine et le Rhin et jusque dans le sud-ouest de l'Allemagne; ils sont en revanche rarement attestés au sud de la vallée du Rhin supérieur. Leur datation marque particulièrement les deux premiers tiers du 7^e siècle mais l'usure de la perforation de l'exemplaire de Develier-Courtételle peut suggérer une utilisation prolongée. Un réemploi est aussi envisageable, à l'image d'une attache d'anse suspendue à une châtelaine dans la tombe 43 de Beggingen (SH) (Moosbrugger-Leu 1971, pl. 58g). Pour terminer, il n'est pas exclu que certains objets non définis (fig. 185.8) ou tôles fragmentées (fig. 186) constituent eux aussi des fragments de vaisselle en bronze dont la présence sur le site pourrait s'expliquer comme métal de recyclage.

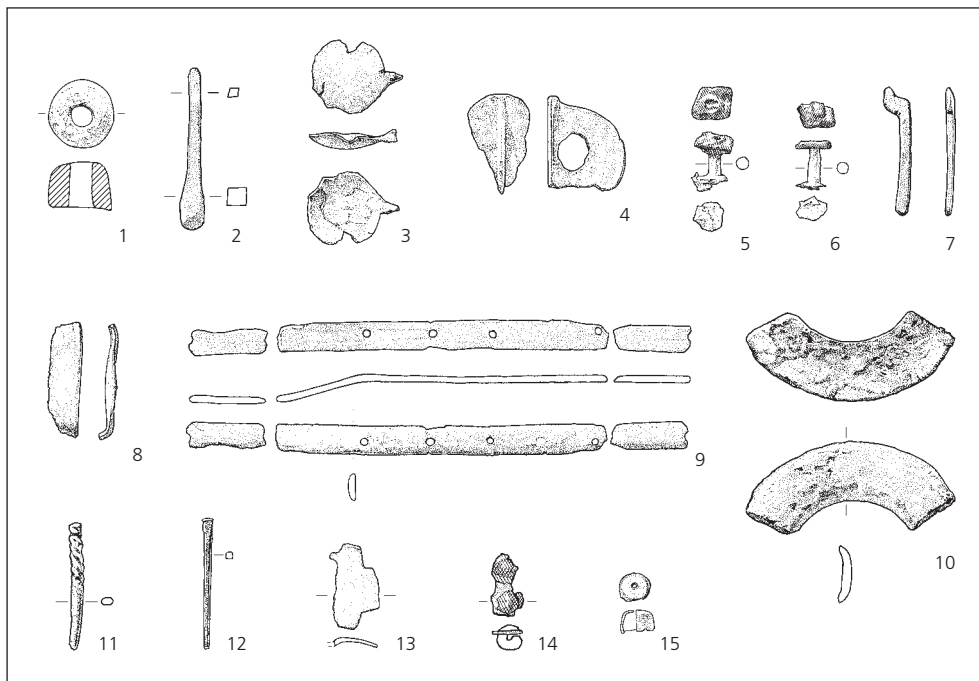


Fig. 185 Objets isolés et sélection d'objets non définis, en plomb (1) et en bronze (2-15). 1: fusaïole (?) (cat. 368); 2: battant de sonnaille (cat. 594); 3: cuillère (cat. 262); 4: attache d'anse de bassin (cat. 743); 5-6: rivets (cat. 610 et 611); 7-15: objets non définis (cat. 291, 789, 290, 327, 292, 788, 627, 523 et 289). Echelle 1:2.

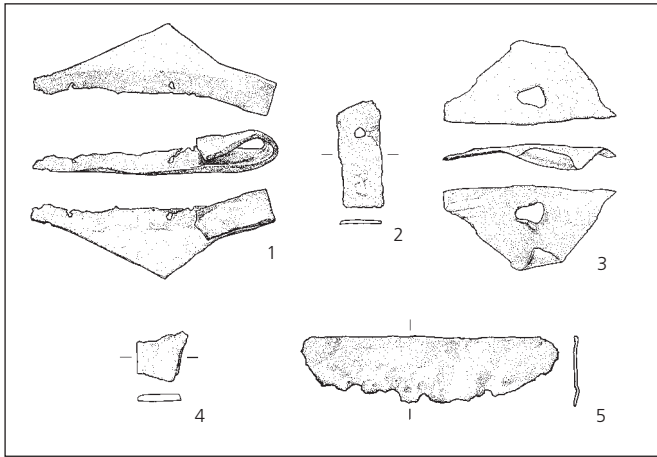


Fig. 186 Sélection de fragments en bronze. 1-5: tôles (cat. 465, 622, 814, 815 et 816). Echelle 1:2.

Les petits rivets à contre-plaque en fer cat. 610 et 611 (fig. 185.5-6) sont assimilés ici à des petits éléments de quincaillerie ou de ferrures, utilisés pour l'assemblage de pièces de bois ou de métal.

Les objets non définis n'ont pas de caractéristiques suffisantes pour assurer une identification, à l'exception de ceux pour lesquels une proposition très hypothétique a été émise ci-dessus.

5.4 Les fragments

Les 42 fragments recensés sont tous en bronze (fig. 187). Parmi les formes encore identifiables, les tôles forment la catégorie de loin la mieux représentée, aussi bien en nombre qu'en poids. Certaines sont perforées. L'épaisseur de ces fragments aplatis n'excède cependant jamais 0,2 cm. Le solde de ce matériel n'appelle aucun autre commentaire particulier.

Fragment	Pièces	Poids	Moyenne
	nb	g	g
Bande	3	3	1
Tôle	17	21	1,2
Tige et fil	2	1	0,5
Informe	19	11	0,6
Total	41	36	0,9

Fig. 187 Classification des fragments en bronze selon leur morphologie, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.

5.5 Synthèse

5.5.1 La métallurgie des alliages à base de cuivre

Le nombre d'artefacts liés au travail des alliages à base de cuivre est restreint. Mais cette faiblesse quantitative n'occulte heureusement pas l'existence d'un autre volet de l'activité métallurgique pratiquée sur le site de Develier-Courtételle: la réalisation d'objets en « bronze ». Même si la panoplie des témoignages n'est pas complète – manque flagrant de moules ou de modèles notamment – la présence d'éléments diversifiés tels que des creusets, des déchets ou encore de la matière de récupération rend incontestable la réalité d'un tel travail sur le site. Malheureusement les témoins conservés ne mettent pas clairement en évidence une aire d'activité (chap. 6.3): leur dispersion est trop prononcée et aucune structure associée à ce travail métallurgique n'a pu être identifiée.

Si cette activité reste peu perceptible dans sa localisation et encore moins dans son organisation, certains traits de la production peuvent cependant être esquissés. Il faut tout d'abord constater que ce travail des alliages à base de cuivre devait avoir un caractère accessoire et non essentiel au fonctionnement domestique et artisanal du hameau. Il faut ensuite envisager une production rattachée à des objets de petites dimensions en regard des ustensiles mis en œuvre comme les creusets de contenance très modeste. Les deux éléments clairement identifiés comme objets en cours de fabrication sont d'ailleurs des composants de taille limitée. Dans le cas des têtes de rivets cat. 163, il s'agit même d'un élément secondaire entrant dans la composition d'un objet plus conséquent, ici une plaque de ceinture selon toute vraisemblance. L'impression générale qui se dessine dès lors est celle d'une petite métallurgie de réparation, mise en œuvre ponctuellement au gré des besoins, ne nécessitant pas obligatoirement des compétences poussées. De bons indices vont d'ailleurs dans ce sens: l'utilisation d'objets de récupération et l'extrême variabilité dans la composition des matériaux analysés.

5.5.2 Le mobilier

L'étude des objets en bronze a mis en perspective la place privilégiée occupée par certaines catégories de ce mobilier. Du double point de vue de la chronologie et des influences culturelles, les données pertinentes sont en effet livrées par les objets en lien avec le costume et la parure ainsi que, dans une moindre mesure, par de rares éléments se rattachant à l'armement (fig. 188).

Même si l'absence de contextes bien stratifiés rend difficile ce genre d'interprétation, nous avons tenté de donner une approximation chronologique suffisante à ce mobilier. Il est ainsi apparu que les objets susceptibles de fournir des arguments de datation sont attribuables pour l'essentiel au 7^e siècle. De très rares éléments, comme le ferret cat. 564 et l'épingle à extrémité spatulée cat. 838,

	Bufleterie Parure	Armement Equestre
AM III (560/70 - 600)	564 838	
JM I (600 - 630/40)	484 503 834 562	464
JM II (630/40 - 670/80)	189 241 502 243 399 504 603 724 725 836 404 244 729	477 487 248 732
JM III (670/80 - 720)		

Fig. 188 Les objets en bronze caractéristiques de Develier-Courtételle et leur représentation dans l'analyse chronologique. Les influences culturelles marquées sont signalées par un complément graphique: occidentale (◻), orientale (◻), régionale ou locale (◻), sans précision (◻). Voir aussi les figures 158 et 251.

pouvant encore être datés dans le 6^e siècle ou vers 600 ap. J.-C. Ces données mettent aussi en évidence la complexité des interactions culturelles présentes à Develier-Courtételle, plusieurs objets étant plutôt inhabituels dans le contexte régional. Dans l'impossibilité de déterminer si la présence de tels objets découle de réseaux d'échanges ou de déplacements individuels, ils relèvent dans tous les cas de la diffusion de modes qualifiées de germaniques, franques ou alamanes, parmi la population locale. Il y a d'abord des objets de parure comme les fibules ansées symétriques et l'épingle à extrémité spatulée, probablement originaires d'ateliers du nord de la Gaule, ou les agrafes à double crochet, largement répandues dans les parties occidentales du royaume mérovingien et tout spécialement en Bourgogne. A chaque fois, ces objets rencontrés à Develier-Courtételle renforcent la limite au sud-est ou à l'est dans les aires de diffusion. Ils sont les témoins de contacts directs avec les parties occidentales du royaume mérovingien.

D'autres contacts sont orientés vers les régions situées de part et d'autre de la vallée du Rhin supérieur, en relation étroite avec les coutumes funéraires pratiquées dans le domaine germanique alaman. Ce sont avant tout quelques pièces liées à l'armement et dont la présence sur un site archéologique est souvent interprétée comme le reflet d'une influence étrangère; le ferret cat. 732 ou le rivet cat. 248 sont particulièrement révélateurs à cet égard, de même que les pièces de buffleterie cat. 404 et 562. Ces objets de

Develier-Courtételle marquent à chaque fois la limite sud-ouest sur les cartes de répartition.

Enfin, un nombre significatif d'objets reflète une culture matérielle plus rattachée aux populations romanes indigènes et particulièrement décelable dans la partie nord de la Bourgogne, entre Bourgogne, Franche-Comté et Suisse occidentale. La cartographie de ces découvertes caractéristiques souligne l'importance de l'héritage gallo-romain à Develier-Courtételle. Hormis la boucle de ceinture cat. 399, se distinguent en priorité des objets de parure. La fibule zoomorphe cat. 244 et la bague cat. 729 suggèrent même un lieu de réalisation situé quelque part dans le nord-ouest de la Suisse.

Pour terminer, il convient de revenir un instant sur le très discret motif en forme de croix de la bague cat. 412. La signification et le rôle de symboles similaires ayant été maintes fois commentés dans la littérature, il en ressort que leur appartenance à l'iconographie chrétienne est largement admise. En revanche, leur compréhension par les possesseurs des objets demeure plus incertaine. Qu'importe finalement puisque, comme l'a écrit Edouard Salin « conçue pour traduire la foi, l'image, ici, n'est plus seulement visuelle, elle est un symbole et un enseignement qui finiront, avec le temps, par s'imposer au plus profond des cœurs » (Salin 1959, p. 349).

6

Répartition spatiale des déchets métallurgiques et des objets métalliques

Ludwig Eschenlohr
Vincent Friedli

avec la collaboration de Marianne Senn et de
Céline Robert-Charrue Linder

Les structures et le mobilier découverts dans le hameau de Develier-Courtételle sont attribués à six fermes (F1 à F6) et à quatre zones d'activité (Z1 à Z4) (chap. 1). Les zones d'activité 1 et 4, de même que la ferme 6, comportent des vestiges assurément liés à la métallurgie du fer et des quantités considérables de déchets associés (fig. 189-190, annexe 6).

L'étude de répartition spatiale tente de mieux cerner l'activité métallurgique pratiquée dans ces ensembles. Il s'agit :

- de quantifier le volume de déchets et d'objets, en détaillant les types, pour chacun des dix ensembles ;
- d'analyser les aires de travail/ateliers, en décrivant les structures relatives à la métallurgie et leur lien spatial avec les zones de rejet ;
- de classifier d'un point de vue technologique les déchets associés à chaque atelier, afin d'interpréter le travail spécifique qui a pu s'y dérouler.

Le but principal de cette étude reste la détermination de la spécificité de chaque zone métallurgique, sous l'angle du déroulement du travail et de celui de la caractérisation des produits qui en résultent.

D'un point de vue méthodologique, l'étude de répartition spatiale se fonde sur une analyse visuelle – complétée par de simples décomptes par attribut ou par zone – effectuée à l'aide de l'application

Ensemble	Déchets scorifiés				surface m ²	densité kg/m ²
	faible (<1%) poids (kg) %		moyen (1-5%) poids (kg) %			
Z4					1720	1,56
Z1				2685,1 64,9	5695	0,16
F6				221,1 5,3	1790	0,12
F5			120,8 3,0		3265	0,04
F2			93 2,2		(avec Z1)	
Z3			78,8 1,9		1196	0,07
F1	33 0,8				6247	0,005
T1	21,7 0,5				67	0,33
F4	17,5 0,4				2236	0,008
Z2	15,9 0,4				2015	0,008
F3	9,9 0,2				1508	0,007
Sous-total	98 2,4	292,6 7,1	3744,1 90,5			
Total		4134,7 kg (100%)			25739	0,16

(3,6 kg non localisés)

moyenne sans Z4 : 0,08

Ensemble	Mobilier et déchets métalliques				surface m ²	densité nb/m ²
	faible (<5%) nb %		moyen (5-10%) nb %			
F5					3265	0,26
F2 / Z1				834 37,3	5695	0,08
F1				482 21,6	6247	0,06
F4			147 6,6	373 16,7	2236	0,07
Z4			134 6,0		1720	0,08
F6	91 4,1				1790	0,05
Z3	80 3,6				1196	0,07
F3	61 2,7				1508	0,04
Z2	31 1,4				2015	0,02
T1	0 0,0				67	0,00
Sous-total	263 11,8	281 12,6	1689 75,6			
Total		2233 pièces (100%)			25739	0,09

(5 pièces non localisées)

Fig. 190 Quantification des déchets scorifiés (en poids), du mobilier et des déchets métalliques (en nombre) par ensemble.

ESRI ArcView (CAJ 17, chap. 4.2). Cette répartition des déchets et des objets a tout d'abord été étudiée au niveau de chaque ensemble, à savoir par ferme ou par zone d'activité. Pour des raisons de lisibilité, les différentes catégories de déchets – scories en forme de calotte, déchets de forge, scories ferrugineuses, scories d'aspect



Fig. 189 Densité des déchets scorifiés, du mobilier et des déchets métalliques par ensemble.

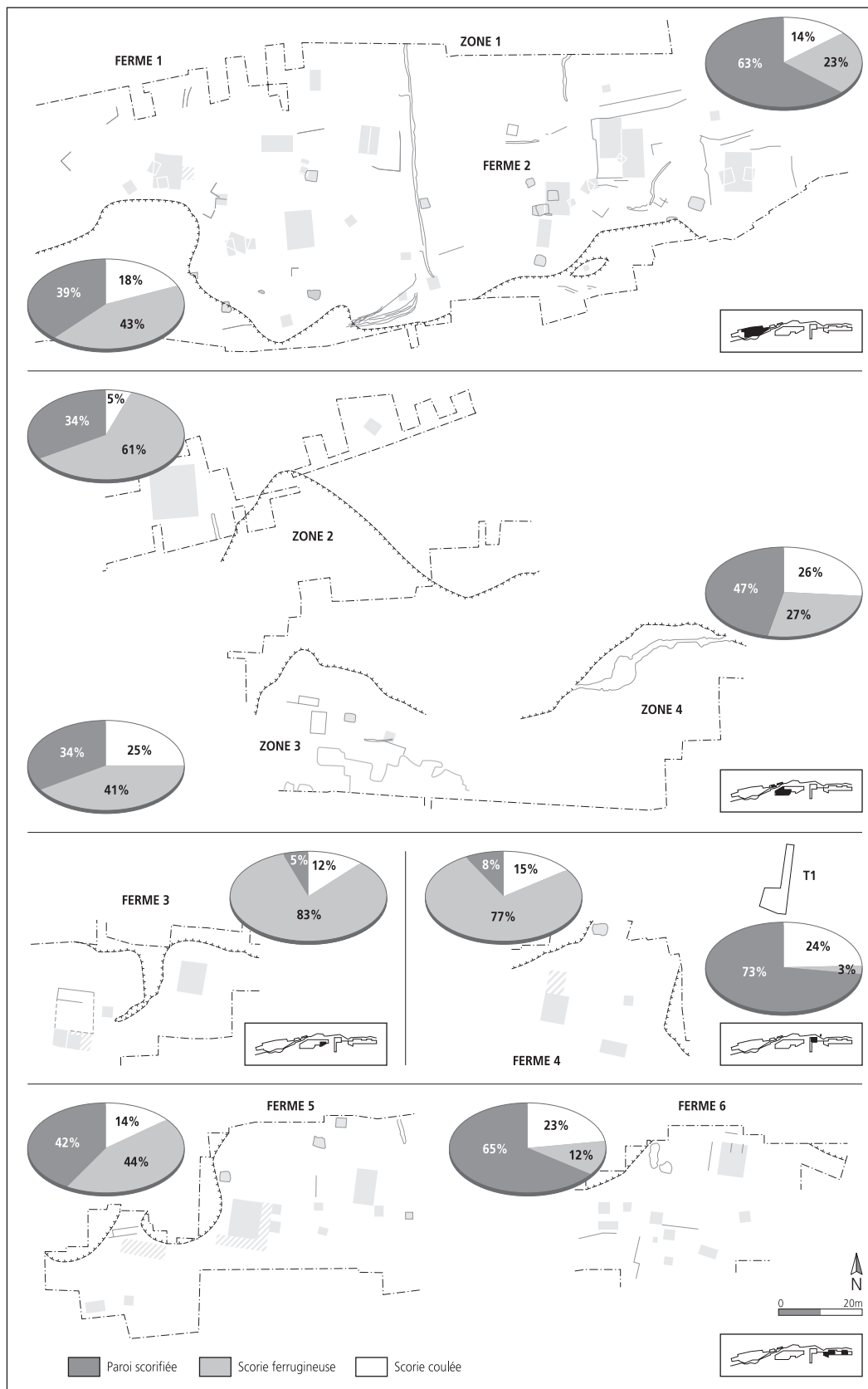


Fig. 191 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par ensemble. Pour la numérotation des bâtiments, se reporter à l'annexe 9, page 201.

coulé, parois scorifiées et scories indéterminées – ainsi que les objets sont présentés sur des cartes successives (fig. 193-198). Pour chaque ensemble, le pourcentage des déchets scorifiés est détaillé en fonction du poids de trois des quatre catégories les plus représentatives : les scories d'aspect coulé, les scories ferrugineuses et

les parois scorifiées (fig. 191). La quatrième catégorie – celle des scories en forme de calotte qui prédomine dans presque tous les ensembles – a été exclue de ces représentations graphiques, afin de mieux faire ressortir les variations moins prononcées des trois autres types (fig. 191, 204 et 216).

Les pièces attribuées aux catégories battitures et éponges n'ont pas été échantillonnées d'une manière représentative. Les battitures n'apparaissent que dans le remplissage des structures où du sédiment a été prélevé en vue d'un tamisage; leur manifestation en cours de fouille a été tout à fait exceptionnelle. Quant aux éponges, elles n'ont pu être définies qu'en laboratoire sur la base de quelques pièces coupées.

Dans quatre des dix ensembles du site (F2/Z1, Z4, F5 et F6), la quantité de calottes classées selon les dix types retenus est suffisante – entre 44 et 739 exemplaires par ensemble – pour permettre des comparaisons (chap. 6.2). Ces quatre importants ensembles totalisent à eux seuls 97% des calottes classifiées (fig. 192). Le solde de 3% (entre 0 et 14 calottes pour les ensembles F1, Z2, Z3, F3, F4 et T1) est trop faible pour une quelconque interprétation spatiale.

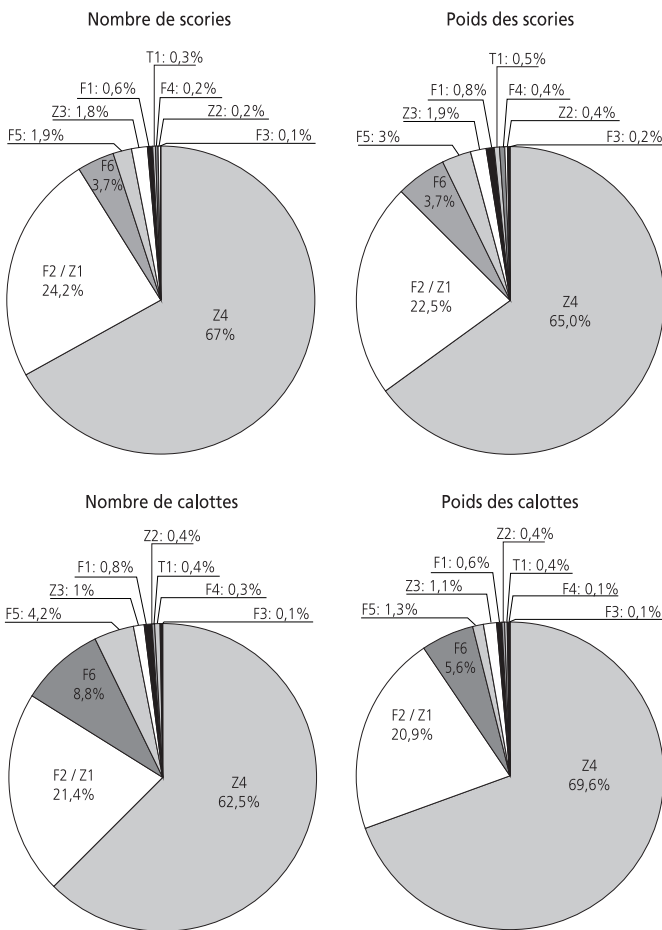


Fig. 192 Proportion des déchets scorifiés et des calottes en nombre et en poids par ensemble.

À l'intérieur des deux ensembles les plus riches, à savoir les zones d'activité 1 et 4, avec respectivement 22,5 et 65% du total des déchets, la représentation tient compte aussi bien des structures en lien plus ou moins direct avec l'activité métallurgique que de plusieurs zones de rejet distinctes (fig. 193-194). Ces dernières correspondent à des concentrations de matériel scorifié situées à une certaine distance des structures métallurgiques.

Il est important de signaler que les différences notables entre la répartition des déchets scorifiés ou des déchets métallurgiques et celle du mobilier ne permettent pas toujours l'exploitation croisée des données. On ne retrouve que très peu d'objets dans les zones de rejet métallurgiques; par contre les déchets de forge et surtout les objets métalliques se concentrent dans les fermes 1, 2 (ici sans Z1) et 5 qui ne comportent pas de structures métallurgiques évidentes, ni de très grandes quantités de déchets scorifiés. À l'opposé, le sondage T1 n'a livré aucune trace de déchet ou d'objet métallique.

La répartition des déchets de forge est donc particulière et n'est que très partiellement en adéquation avec celle des déchets scorifiés (chap. 6.1). Il convient cependant de distinguer les ensembles dans lesquels ont été mis au jour des structures assurément liées à la métallurgie (F2/Z1, Z4 et F6) et ceux qui en sont dépourvus (F1, F4 et F5). Les structures liées à la métallurgie, ainsi que les déchets et le mobilier associés seront décrits de façon plus détaillée (chap. 6.2), tandis que le mobilier métallique dans son ensemble sera examiné par regroupement catégoriel (chap. 6.3).

6.1 Répartition spatiale des déchets métallurgiques et des objets métalliques par ensemble

Les zones d'activité 1 et 4 ainsi que la ferme 6 renferment un peu plus de 90% des déchets découverts à Develier-Courtételle (fig. 190). C'est aussi dans ces mêmes zones que se trouvent presque tous les bas foyers du site, soit une douzaine, dont deux potentiels. L'étude est consacrée toutefois aux ensembles en respectant la progression d'ouest en est, définie dans le CAJ 13.

Globalement, dans les trois zones précitées, le pourcentage des parois scorifiées en tant qu'éléments de construction des bas foyers prédomine nettement sur celui des scories ferrugineuses et des scories coulées (la catégorie prédominante, celle des calottes, est bien entendu toujours exclue; fig. 191). À l'opposé, le pourcentage des scories ferrugineuses est nettement supérieur dans tous les autres ensembles, à l'exception du petit sondage non représentatif T1 (trois quarts de parois scorifiées).

6.1.1 La ferme 1

La ferme 1 est située à l'extrémité occidentale du hameau de Develier-Courtételle; on peut donc supposer que les déchets métallurgiques découverts ont été produits soit sur place, soit dans la zone orientale voisine (F2/Z1), très riche en restes (fig. 191 et 193). Malgré la présence de quelques concentrations de déchets et la faible présence de battitures dans un bas foyer potentiel (structure 253, chap. 6.2.1), les indices quant à l'existence d'un atelier de transformation et de travail du fer dans cette ferme restent trop ténus.

Outre des quantités très faibles, la répartition des différents types de déchets va dans le même sens, puisqu'elle est similaire à celle de toutes les autres unités dépourvues de structures métallurgiques (fig. 192). Seule l'hypothèse d'une érosion par le ruisseau tout proche autoriserait d'envisager l'existence ancienne d'une zone liée à la métallurgie dans la ferme 1.



Fig. 193 Répartition des déchets et du mobilier dans les fermes 1 et 2 et la zone d'activité 1.



Fig. 193 (suite) Répartition des déchets et du mobilier dans les fermes 1 et 2 et la zone d'activité 1.

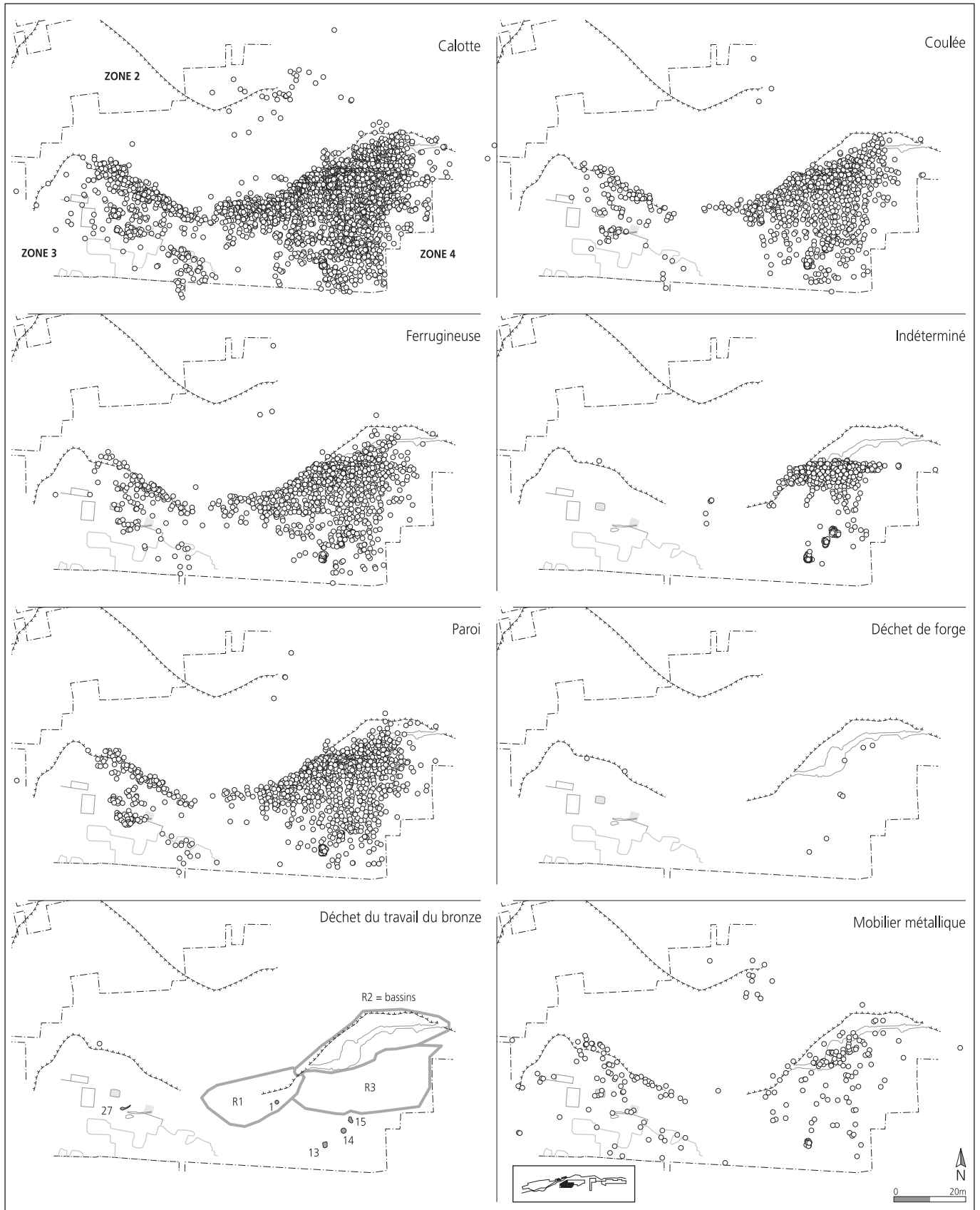


Fig. 194 Répartition des déchets et du mobilier dans les zones d'activité 2, 3 et 4.

Vu l'absence apparente – lors de la fouille et en début d'étude – de toute structure liée à la métallurgie et compte tenu de la petite quantité de déchets scorifiés, aucune scorie provenant de la ferme 1 n'a été analysée.

Il faut toutefois ajouter qu'un cinquième du total des déchets de forge se retrouve dans la ferme 1 ; la proportion est à peine plus faible pour le corpus des objets métalliques (fig. 233). Pour ces déchets élaborés et ces objets métalliques, douze pièces ont été analysées en détail. Elles sont majoritairement constituées de métal d'origine externe.

6.1.2 La ferme 2 et la zone d'activité 1

Dans la partie occidentale du site (F1, F2/Z1 et Z2), 95 % des déchets se concentrent dans la ferme 2 et la zone d'activité 1, ce qui représente un cinquième de la totalité des déchets métallurgiques du site (fig. 190, 191 et 193). La superposition ou la juxtaposition des structures successives appartenant soit à la ferme 2, soit à la zone d'activité 1, rend difficile l'attribution du mobilier à l'une ou l'autre entité (CAJ 13, chap. 6).

La zone d'activité 1 ayant été définie en raison de la présence massive de déchets scorifiés dans la partie septentrionale de la ferme 2, la majorité de ces déchets lui est donc attribuée (fig. 190).

En l'absence de toute stratigraphie verticale ou horizontale significative concernant les déchets scorifiés, on ne peut exclure, à ce stade, que les trois voire quatre zones de travail de la zone d'activité 1, qui comportent des déchets associés, forment une unité qui s'échelonne dans le temps et dans l'espace.

Les cinq zones de rejet identifiées dans la ferme 2 et la zone d'activité 1 renferment les trois quarts des déchets de cet ensemble (chap. 6.2.2 et annexe 7). De plus, ces cinq zones de rejet sont, à une exception près, en relation directe avec un ou plusieurs bas foyers. Au nombre de huit en zone d'activité 1, dont un potentiel, ces foyers possèdent en moyenne chacun 9,2 kg de fragments de paroi scorifiée.

Cet ensemble a aussi livré la plus grande part des déchets de forge identifiés : plus d'un sur trois y a été en effet découvert. Le corpus de mobilier est lui aussi très important, sa part dépassant légèrement 20 % des objets mis au jour sur le site. Les analyses montrent que dans cet ensemble, la majorité des déchets et des objets métalliques étudiés – 47 % – sont d'origine locale (fig. 202).

La répartition des déchets scorifiés et métalliques, de même que celle des objets à l'intérieur de chacune des cinq zones de rejet définies (R1 à R5), sera présentée en détail (chap. 6.2.2).

6.1.3 La zone d'activité 2

Avec environ 16 kg, la présence de déchets métallurgiques dans cet ensemble est insignifiante. Elle constitue en effet moins de 0,5 % de la totalité du mobilier métallurgique. Seule la partie sud de la zone d'activité 2 est représentée sur la carte des zones d'activité 3 et 4 (fig. 194).

Un seul déchet de forge a été identifié dans la zone d'activité 2 et la part du mobilier métallique est la plus faible de tous les ensembles du site. Aucune analyse n'a été effectuée sur ce corpus très anecdotique.

6.1.4 La zone d'activité 3

Seule la partie orientale de cette zone a été analysée. Son étude a été réalisée dans le contexte de la zone d'activité 4 de laquelle elle est limitrophe (fig. 194). Avec près de 80 kg de résidus scorifiés, la quantité relevée y est moins négligeable que pour l'ensemble de la zone d'activité 3. Elle reste cependant insuffisante – en l'absence d'une structure métallurgique – pour en donner une interprétation plus précise. Nous sommes d'avis qu'une ou plusieurs structures situées en amont, sur le versant méridional du ruisseau, ont disparu (voir Z4, chap. 6.1.5 et 6.4).

Un seul déchet de forge a été identifié dans la zone d'activité 3. En corollaire avec les déchets scorifiés, le mobilier métallique est plus important dans la zone d'activité 3 que dans la zone d'activité 2 : les scories y sont cinq fois plus nombreuses et les objets métalliques deux fois et demi. En l'absence de toute structure métallurgique, aucune analyse n'a été entreprise sur le matériel de la zone d'activité 3.

6.1.5 La zone d'activité 4 et les bassins

La zone d'activité 4 renferme à elle seule pratiquement les deux tiers de l'ensemble des déchets métallurgiques du site (fig. 190). Si l'essentiel a été découvert dans un ensemble de trois bassins désaffectés (CAJ 13, chap. 9), l'existence de deux structures en lien direct avec le travail du fer (aire de forge 14 et bas foyer 15 ; chap. 6.2.4) sur la pente méridionale de la zone d'activité 4 est à relever. La situation en bas de pente, à proximité de l'ancienne berge du ruisseau ou à l'intérieur des bassins évoqués, conjuguée à l'absence de structures de combustion, désigne ces surfaces en tant que zones de rejet. La répartition spatiale permet d'en mettre trois en évidence et de prendre en compte quatre structures, dont les deux susmentionnées (fig. 194 ; chap. 6.2.4). Les quantités de déchets trop importantes ne permettent toutefois pas une interprétation de la répartition entre ces trois zones de rejet. Les proportions entre les différents types de calottes sont proches de celles valables pour l'ensemble du site. Ceci n'est pas étonnant en soi étant donné la part dominante de ces résidus, issus de la zone d'activité 4, dans l'ensemble des déchets scorifiés du site : un peu plus des deux tiers en nombre et presque autant en poids. La proportion des seules scories en forme de calotte est similaire (fig. 192 ; chap. 6.2.4). Il faut souligner que la partie méridionale de cette zone a été tronquée par l'érosion : les alentours des structures métallurgiques 14 et 15 sont ainsi très dégradés. Le niveau de circulation contemporain de l'époque de fonctionnement de ces structures métallurgiques fait lui aussi totalement défaut.

La situation est bien différente pour les déchets de forge dont la rareté contraste avec l'abondance des autres déchets métallurgiques. Ce déficit est le résultat très probable d'opérations de tri ou de recyclage du métal. Le mobilier métallique s'y retrouve dans une proportion similaire : 6 % de l'ensemble, ce qui est insignifiant en regard des quantités de déchets scorifiés.

6.1.6 La ferme 3

La très faible quantité de déchets scorifiés (10 kg) est répartie de façon aléatoire sur la surface de cette ferme (fig. 195). Il est fort probable qu'aucun foyer métallurgique n'ait existé dans cet ensemble. C'est le seul sans déchets de forge.

Il s'agit du plus faible corpus d'objets métalliques rencontré à Develier-Courtételle avec celui de la zone d'activité 2 ; il possède respectivement 30 et 61 pièces. Un unique objet a été analysé et l'origine de son métal est externe. Ce fait isolé ne permet aucune interprétation.

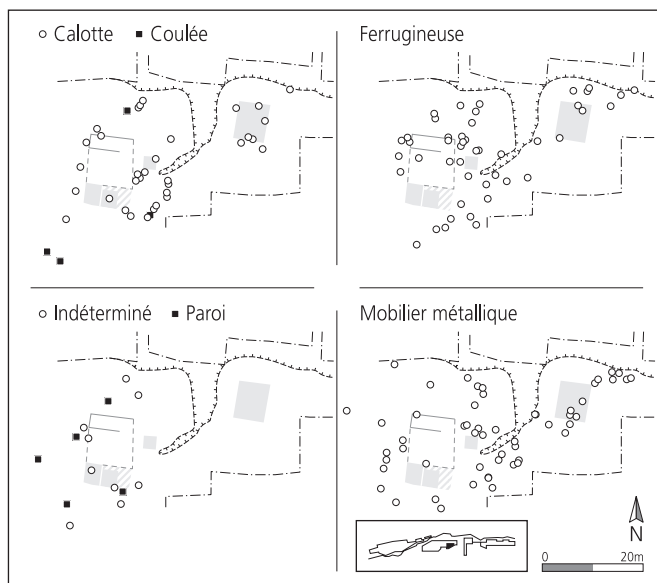


Fig. 195 Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 3.

6.1.7 La ferme 4

Le volume des résidus métallurgiques (17,5 kg) découverts ne permet pas de donner une interprétation spatiale détaillée de cette ferme : il est aussi peu important que dans la zone d'activité 2 et que dans la ferme 3. La répartition de ces matériaux semble toutefois un peu moins aléatoire que dans les autres ensembles, d'autant plus qu'ils se retrouvent mélangés à une plus grande quantité de mobilier.

Dans la ferme 4, la répartition du faible échantillonnage de déchets élaborés apparaît, elle aussi, comme un peu moins aléatoire, car limitée au sud-ouest de cette unité (fig. 196). Ces déchets de forge doivent pourtant former un rejet secondaire (chap. 6.2), aucun foyer métallurgique n'étant envisageable dans cette petite unité. Un seul déchet a été analysé et l'origine de son métal est locale. Ce cas isolé ne permet aucune déduction. La part du mobilier contraste avec celle des déchets et est légèrement supérieure à celle de la zone d'activité 4. Comme de coutume, plus de la moitié de ces pièces sont des fragments, ce qui ne contribue pas à rendre plus explicite ce corpus.

6.1.8 Le sondage T1

On peut relever une assez forte concentration de déchets dans la petite surface du sondage T1 situé plus au nord, en direction de la

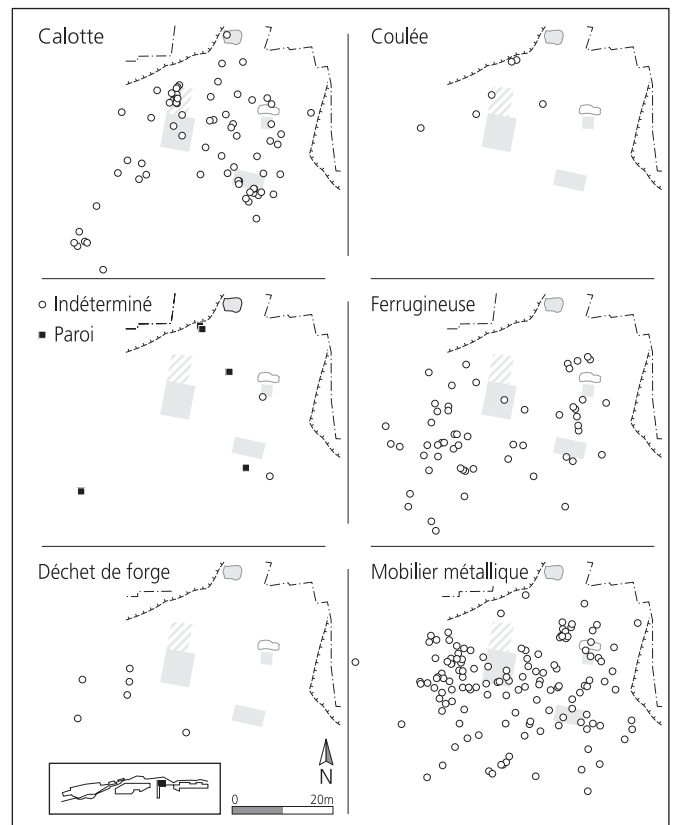


Fig. 196 Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 4.

ferme 5. Les calottes y constituent plus de 90% des quelque 22 kg de déchets (fig. 189-190 et annexe 6). Le solde est caractérisé par une quantité importante de parois scorifiées (1,4 kg). Ces chiffres permettent de supposer la présence, à proximité, d'un bas foyer en lien avec la métallurgie mais qui n'aurait pas été découvert dans le cadre des fouilles. En effet, ce sondage mis à part, toute la partie située au nord du ruisseau actuel n'a pas pu faire l'objet d'investigations. Toute interprétation spatiale s'avère donc illusoire. Comme il l'a été précisé en introduction, aucun déchet de forge, ni aucun objet n'ont été mis au jour dans ce sondage.

6.1.9 La ferme 5

Avec 120 kg de résidus environ, cet ensemble est assez énigmatique (fig. 197). Il y a en effet trop de matériel scorifié pour une simple zone de rejet secondaire, éloignée de toute structure métallurgique. Toutefois, et malgré des concentrations évidentes de déchets, les indices manquent pour cerner l'endroit exact où le métal aurait pu être travaillé.

A ce stade de nos connaissances, il n'est pas possible de mettre en relation les déchets contenus dans la ferme 5 avec ceux de la ferme 6 voisine. Les vestiges liés aux activités dont ces scories sont issues semblent faire défaut.

Un même constat concerne les déchets de forge. Avec plus de 20% de ces derniers, la ferme 5 renferme un nombre important de déchets élaborés, mais leur distribution ne contribue pas plus à localiser un atelier de travail du métal. Il n'est toutefois pas

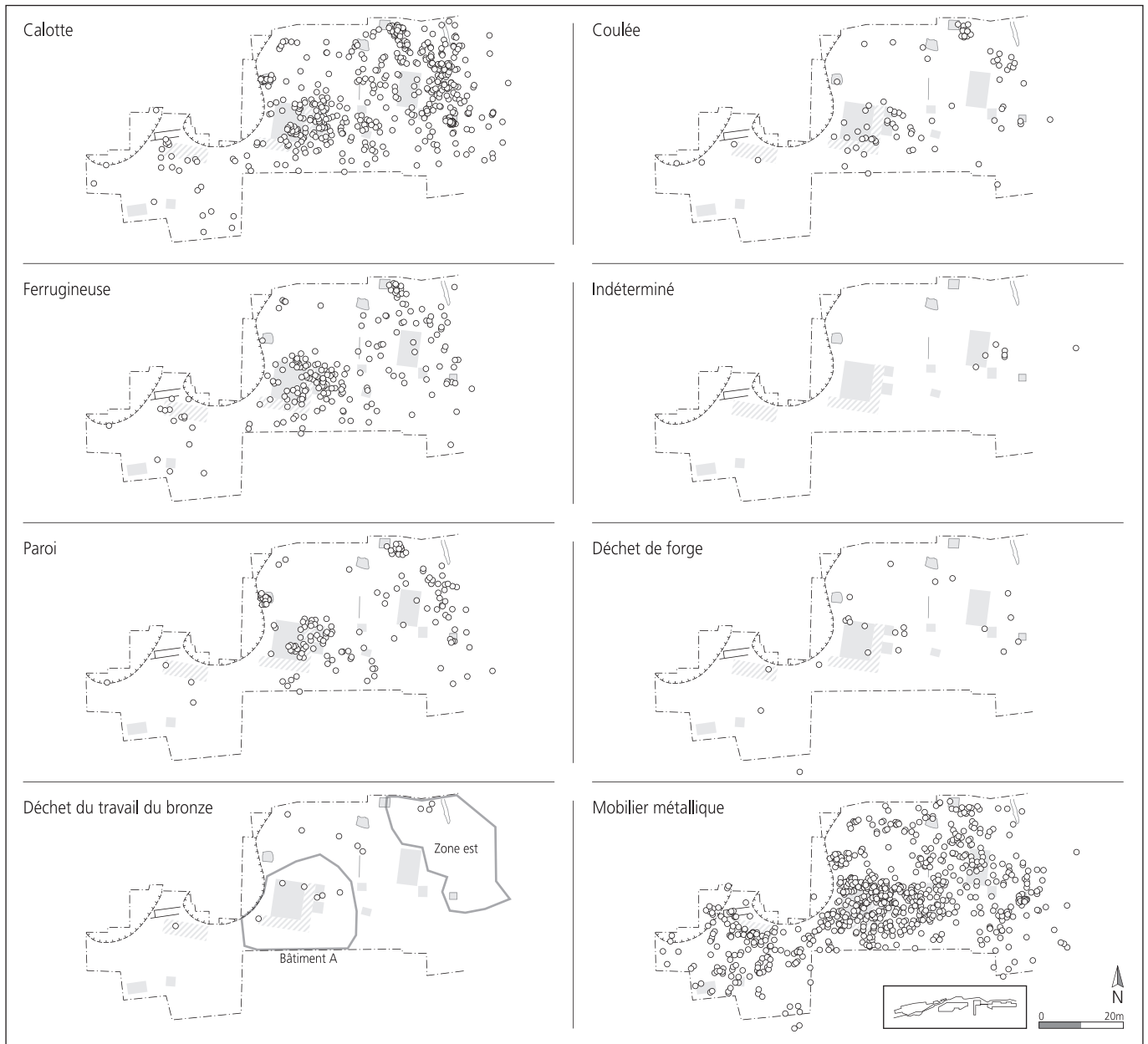


Fig. 197 Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 5.

envisageable de considérer cette ferme comme une simple zone de rejet secondaire. D'abord parce que la répartition des déchets de forge correspond relativement bien aux deux zones perçues à propos de la répartition des déchets scorifiés (chap. 6.2.5). Ensuite parce que la présence de plusieurs outils destinés au travail des métaux (chap. 6.3.2) renforce considérablement l'hypothèse de l'existence d'un tel atelier dans la ferme 5. Le corpus du mobilier métallique mis au jour (38%) est considérablement plus étoffé que celui des deux autres grands ensembles riches en objets (F1 et F2/Z1) avec respectivement 17% et 21% du mobilier métallique de Develier-Courtételle.

6.1.10 La ferme 6

L'ensemble métallurgique de la ferme 6 est isolé, si on le compare à ceux décrits plus haut (fig. 198). Il constitue le seul ensemble bien délimité et pourvu d'un unique foyer métallurgique

(structure 59). Les déchets mis au jour comptent plus de 90% de calottes. Les quelque 20kg restant sont pour les deux tiers des parois, pour un cinquième des scories coulées et pour un peu plus de 10% seulement des scories ferrugineuses (fig. 191). Près de 13kg de paroi scorifiée du bas foyer témoignent soit d'une réfection régulière et plus fréquente que dans d'autres zones, soit d'une meilleure conservation de ces déchets de construction à proximité de leur lieu d'utilisation (chap. 6.2.6).

On constate une nouvelle fois un déficit marqué en déchets de forge, qui contraste fortement avec l'importance des déchets métallurgiques et la présence d'une structure métallurgique. Les objets métalliques sont, eux aussi, bien peu présents dans cet ensemble, avec moins de 5% du corpus global. Aucun des quatre objets analysés ne témoigne d'une origine locale; il en va de même pour les deux déchets de forge.

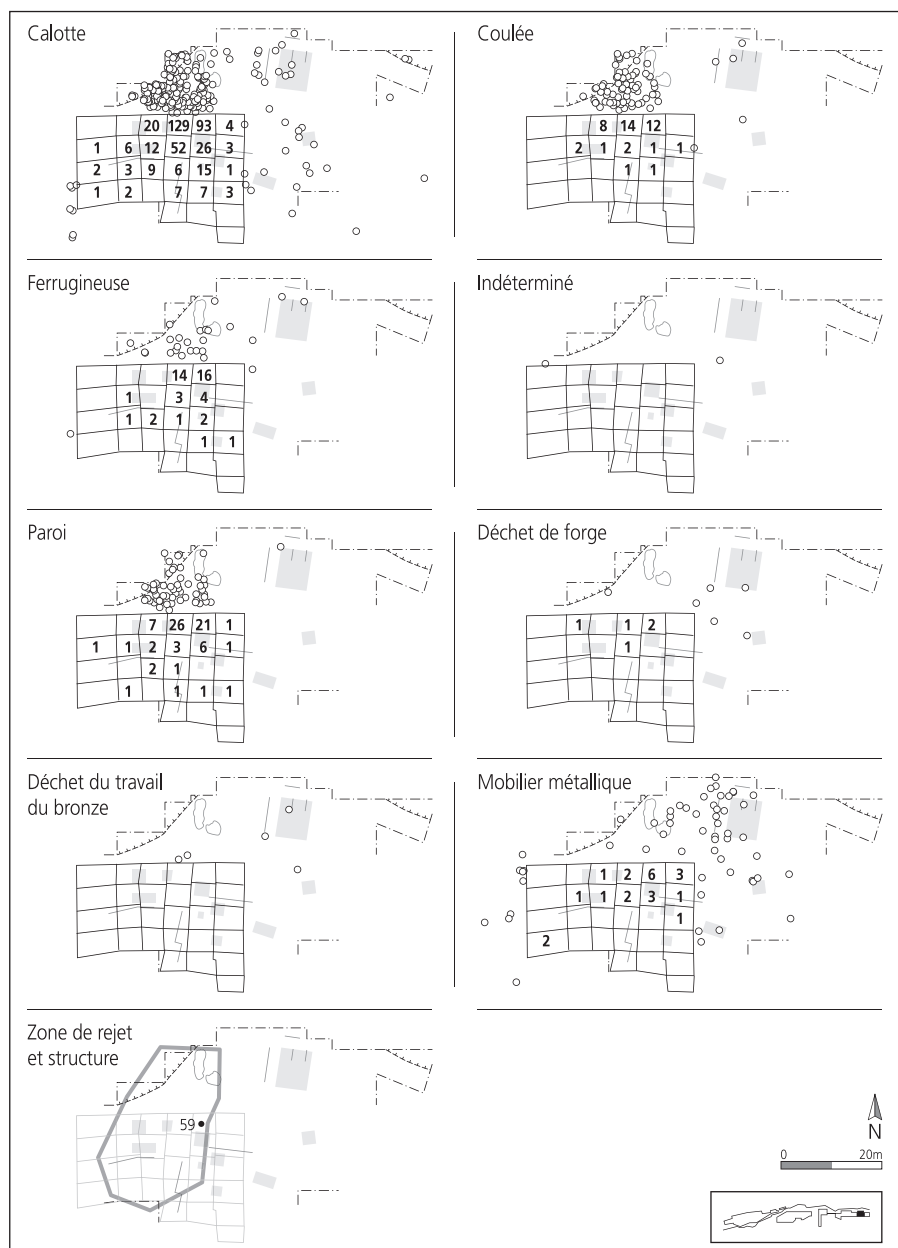


Fig. 198 Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 6. Les chiffres correspondent au nombre de déchets récoltés par bandes.

6.2 Les structures métallurgiques et les zones de rejet

La description des diverses structures abordées ici a déjà été présentée dans le premier volume consacré au hameau de Develier-Courtételle (CAJ 13). Les principales caractéristiques de ces structures sont résumées dans un tableau, avec renvoi au chapitre descriptif (fig. 199). Toutefois, dans le cadre de cette étude de répartition spatiale spécifique à la métallurgie, les plans des structures qui sont en lien direct avec cette activité ont été repris.

Tout en suivant l'ordre de présentation utilisé dans le chapitre 6.1, seuls les ensembles comportant des traces de structures avérées ou potentielles seront examinés par la suite. La ferme 5 fait cependant exception : l'existence d'activités en lien avec la métallurgie y est très fortement soupçonnée, et ce, malgré l'absence de structures évidentes. C'est la raison pour laquelle il en est également question dans ce chapitre.

Les déchets de forge provenant d'unités dépourvues de structures métallurgiques sont à mettre en relation, selon toute probabilité, avec des zones de rejet secondaires. Ces dernières sont simplement considérées comme de petits regroupements de déchets à une certaine distance des zones productives, mais sans préjuger de leur possible réemploi. C'est le cas des fermes 1 et 4 ; la situation de la ferme 5 ne peut pas, par contre, être tranchée : il pourrait s'agir d'une zone de rejet, mais plus probablement d'une aire de travail dont toute trace a disparu.

Une concentration de déchets, en lien direct ou non avec une structure métallurgique plus ou moins proche, peut être considérée comme zone de rejet primaire. Un tel amoncellement de déchets peut aussi se confondre avec l'aire de travail par simple superposition spatiale : la présence d'un foyer métallurgique confirme cette double fonction d'un espace déterminé. Il sera donc question de zones de rejet primaire à l'intérieur de chaque ensemble, en lien plus ou moins assuré avec une structure dédiée à la métallurgie.

Ensemble et structure	Dim. cm	Prof.	Forme	Remplissage		Combustible (CAJ 13, Ann. A)	Déchets Catégorie	Poids (kg)		Remarques et interprétation	Fig.	CAJ 13 (chap.)		
				N°	Description			Stru	1m*					
F1 / 253	70 x 40	14	ovale	R1	qq ch.	?	paroi			bas foyer potentiel	201	5.5.2		
				R2	traces de rubéfaction		calottes							
				R3	bcp de ch.; 5 niv. micromorphol., 1 + batt.		ferrugineuses							
				A5	encaissant; graviers fluviatiles		coulées							
				R1	ch. et sco.		paroi							
Z1 / 187	95 x 65	± 12	ovale	R1	ch. et sco.	sapin blanc: 93%	paroi	0,1	0,01	bas foyer	208	6.5.1		
				R2	limons rubéfiés (niv. mal conservé)	hêtre: 7%	calottes	2,4	0,4	1 calotte: 1,6kg				
				R3	sables limoneux (liseré)		ferrugineuses	0	0,03	peu de déchets				
				A4	encaissant		coulées	0	0,005	peu de batt. (?)				
							Total	2,7	0,4					
Z1 / 188	45 x 20 (?)	± 12	?	R1	ch. et sco.	sapin blanc: 80%	paroi	0,09	0,4	bas foyer	208	6.5.1		
				R2	ch. centimétriques (niv. compact)	chêne: 20%	calottes	1,0	3,2	2 calottes: 0,9kg				
				A4	encaissant		ferrugineuses	0,02	0,09	peu de déchets				
							coulées	0	0,1	peu de batt. (± 80 pces)				
							Total	1,1	3,9					
Z1 / 189	70 x 45	± 10	ovale	R1	bcp de sco.	sapin blanc: 61%	paroi	0,2	1,2	aire de forge et bas foyer	208	6.5.1		
				R2	niv. de ch., conc. de batt. et sco.	érable: 33%	calottes	1,3	10,0					
				R3	ch., sco., poches de batt.		hêtre: 5%	ferrugineuses	0,2				0,4	
				R4	liseré de batt. plaqué au fond			coulées	0,2				0,6	
				A4	encaissant			Total	2,5				12,9	
Z1 / 254	90 x 100		?	R1	stru = conc. de ch. et de sco.	sapin blanc: 61%	paroi	3,8		zone de rejet	207	6.5.1		
						aulne: 31%	calottes	28,7		interprétation probable				
					bas foyer: interprétation peu probable		hêtre: 4%	ferrugineuses	1,3					
								coulées	1,0					
								Total	36,2					
Z1 / 255	40 x 40	8	-		dalle calcaire (enclume ?)		paroi	0,7	1,2	zone de rejet	214	6.5.1		
							calottes	3,4	13,1	interprétation probable				
					aire de forge: interprétation peu probable			ferrugineuses	0,07				0,4	
								coulées	0,2				0,2	
								Total	4,5**				15,0	
Z1 / 410	30 x 35	13	ovale	R1	sco., bcp de ch.	sapin blanc: 63%	paroi	1,2	0,04	bas foyer	211	6.5.1		
				A4	encaissant	chêne: 29%	calottes	1,3	0,3	interprétation probable				
							hêtre: 8%	ferrugineuses	0,3				0,4	
								coulées	0,3				0,06	
								Total	3,0				0,8	
Z1 / 411	65 x 70	± 12	?	R1	niveau compact de ch.	chêne: 93%	paroi	0,04	0,005	aire de forge	211	6.5.1		
				R2	fine lentille de limons sableux	hêtre: 4%	calottes	0,05	0,09	interprétation probable				
				R3	rubéf. partiel., poches de batt. et sco.		sapin blanc: 3%	ferrugineuses	0,4				0,01	
				R4	battitures sur le fond (niv. discontinu)			coulées	0,1				0	
				A4	encaissant			Total	0,6				0,1	
Z1 / 565	60 x 50	± 10	ovale	R	sco., ch. et bcp de batt.		paroi	0,1	0,1	bas foyer potentiel	212	6.5.1		
				A4	encaissant	?	calottes	3,7	1,5	interprétation probable				
								ferrugineuses	0,1				0	
								coulées	0,05				0	
								Total	4,0				1,7	
Z1 / 567	35 x 30	17	ovale	R1	sco.	sapin blanc: 91%	paroi	0,7	0,1	bas foyer	212	6.5.1		
				R2	ch. (niveau mal conservé)	chêne: 7%	calottes	5,8	2,8	1 calotte: 2,9kg				
				A4	encaissant			ferrugineuses	0,2				0	
								coulées	0,2				0	
								Total	6,8				2,9	
Z1 / 560	diam. 40	17	?	R	sco., ch. et nodules de terre cuite		paroi	0,1	0,2	bas foyer éventuel	-	6.5.1		
				A4	encaissant	?	calottes	0,3	0,7	interprétation incertaine				
								ferrugineuses	0,04				0,08	
								coulées	0,02				0,01	
								Total	0,4				1,0	
Z4 / 1	100 x 85	10	ovale	R1	limons argileux, sco. et qq ch.		paroi	0,2	0,05	bas foyer éventuel	218	9.3.1		
				E6	encaissant	?	calottes	6,1	1,2	interprétation incertaine				
								ferrugineuses	0,3				0,08	
								coulées	0,2				0,05	
								Total	6,8				1,4	
Z4 / 13	160 x 130	36	subrectangul.	R1	limons bruns avec qq ch.		paroi	0,7	0,2	dépotoir	222	9.3.1		
				R2	limons brun foncé riches en ch. et sco.	?	calottes	43,6	6,6	interprétation probable				
				R3	limons brun-gris avec peu de ch.			ferrugineuses	0,5				0,06	
				E6	encaissant			coulées	1,1				0,2	
								Total	46,6				7,0	
Z4 / 14	120 x 110	20	subquadrangul.	R1	bcp de batt. (90%) et sco. (73%)	sapin blanc: 69%	paroi	1,5	0,05	aire de forge	219	9.3.2		
				R2	base: conc. de batt. (10%) et sco (11%)	chêne: 31%	calottes	3,7	1,4	bcp de déchets dans stru				
				R3	qq sco. (6%) et batt.		ferrugineuses	1,6	0,08					
				R4	(poche), sco. (10%) et ch.			coulées	1,0				0,09	
				E6	encaissant			Total	8,6				1,6	
Z4 / 15	175 x 110	15	réniforme	R1	bcp de ch.	sapin blanc: 78%	paroi	18,8	0,5	bas foyer	220	9.3.2		
						chêne: 10%	calottes	91,1	15,2	62 cal. =/50%				
					batt. / sédiment: sup.: 185 g / 100 kg;		hêtre: 7%	ferrugineuses	4,5				0,2	
					batt. / sédiment: inf.: 315 g / 100 kg				coulées				11,2	0,3
									Total				131,8	16,2
F6 / 59	90 x 80	10	ovale	R1	ch., sco. et batt.	aulne: 57%		paroi	0,7	0,2	bas foyer	229	14.5.2	
				H3	encaissant	chêne: 36%	calottes	12,2	3,3	7 cal. =/50%				
								ferrugineuses	0,2				0,07	
								coulées	0,2				0,3	
								Total	13,2				3,8	

* zone large d'un mètre autour de la structure

** matériel trouvé à proximité de la structure

batt. battitures
ch. charbons
sco. scories
stru structure

sapin blanc: 61%	9 occurrences
chêne: 25%	7 occurrences
aulne: 6%	2 occurrences
hêtre: 4%	7 occurrences
érable: 2%	1 occurrence

bcp beaucoup
conc. concentration
niv. niveau
qq quelques

Fig. 199 Synthèse des données relatives aux bas foyers et aux aires de forge déjà présentées dans le CAJ 13.

Catégorie	R1	R2	R3	R5	Total	F2 / Z1
Déchet de forge	16	3	5	6	30	37
Outils	5	1	2	6	14	27
Agriculture-élevage	1			1	2	2
Usuel	3	4		9	16	31
Buffleterie	2			5	7	15
Parure				2	2	7
Armement-équestre		3		1	4	10
Cuisine					0	1
Quincaillerie		2	1	3	6	8
Clou	15	8	1	9	33	55
Objet non défini	8	5		4	17	30
Fragment	bande	5	10	2	6	23
	barre	14	12		8	34
	tôle	16	7	5	7	35
	tige-fil	1	3		3	7
	tube		1			1
informe	17	19	6	4	46	259
Total	103	78	22	74	277	482

Fig. 203 Synthèse typologique des déchets de forge et des objets de la ferme 2 et de la zone d'activité 1.

La zone de rejet 1 (R1), avec les bas foyers 187, 188 et 189

Cette zone de rejet a livré à elle seule un bon quart des déchets issus de la zone d'activité 1. Ces derniers sont fortement fragmentés, ce qui explique la forte proportion de scories indéterminées, notamment autour des trois bas foyers (annexe 7). La faible

quantité de parois scorifiées parmi les déchets est également frappante; ce constat est encore renforcé à proximité des trois foyers, où leur présence constitue un quart du poids total des déchets, calottes non comprises (fig. 204). Là encore, le fort degré de fragmentation influe sur ce constat. Le pourcentage des déchets autres que les calottes est important (environ 20% des fragments, soit 48 kg).

Les deux tiers des 65 calottes attribuées font partie des aplaties et des denses petites (fig. 205 et annexe 7). Avec 16 exemplaires dans la zone des bas foyers, ce rapport est encore plus marqué: il atteint 75% pour les deux catégories précitées. Outre les circulaires, les autres types ne sont que faiblement représentés (fig. 206). A ce stade, la répartition des calottes aplaties et des denses petites ne peut être mise en relation directe avec une activité précise, dont elle est pourtant certainement le témoin. On peut toutefois relever que les quatre types de calottes (aplaties, denses petites, fluides et vitrifiées) dont le poids moyen est de 570 g constituent les trois quarts des déchets classifiés, tandis que les quatre types (charbonneuse, bourrelet, circulaire et concave) dont le poids est élevé (1290 g en moyenne) n'en forment qu'un quart (chap. 3.2.15, fig. 59). Si l'on s'en tient à l'observation archéologique, il est évident que cette zone témoigne davantage d'une activité où

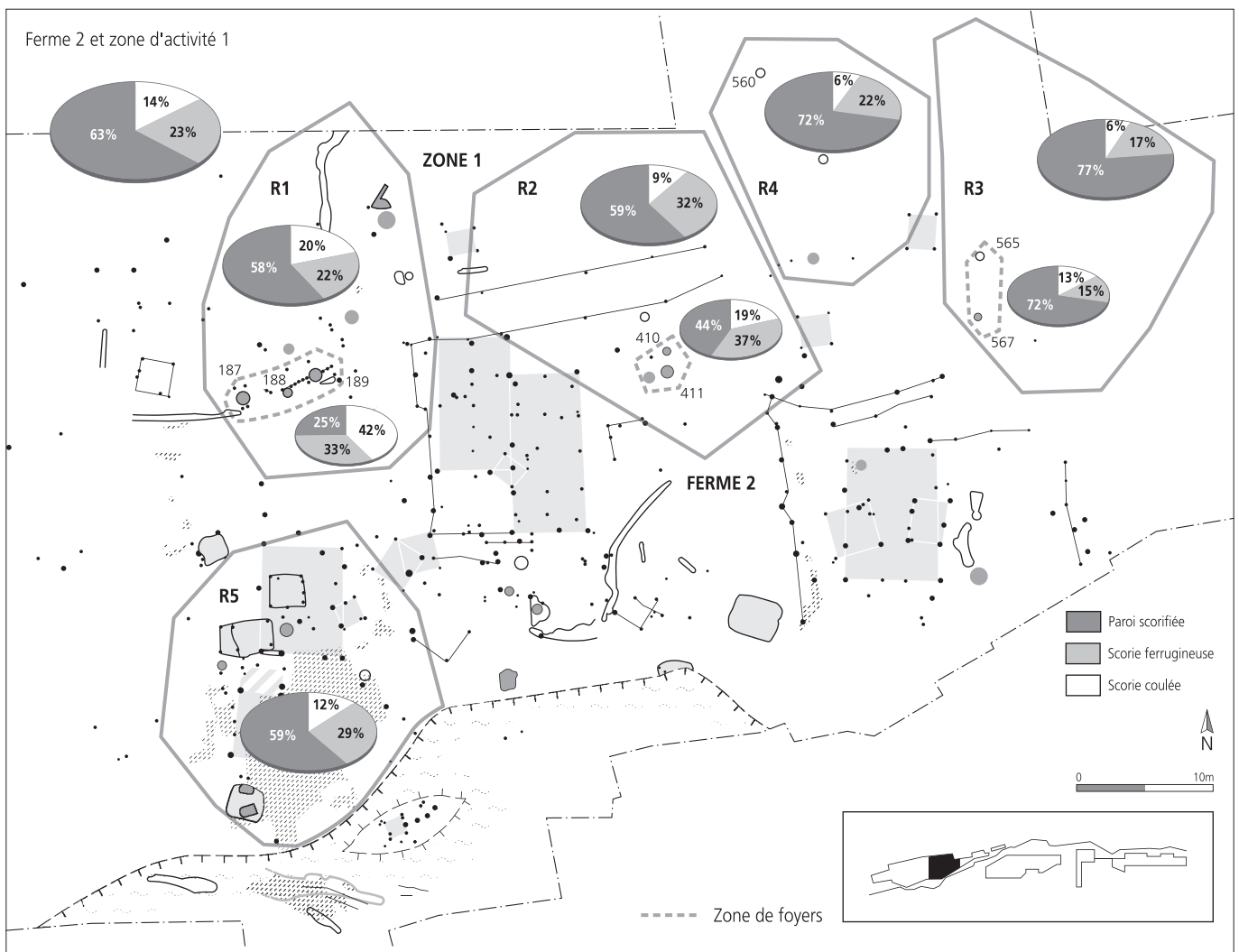


Fig. 204 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet et par structure de la ferme 2 et de la zone d'activité 1.

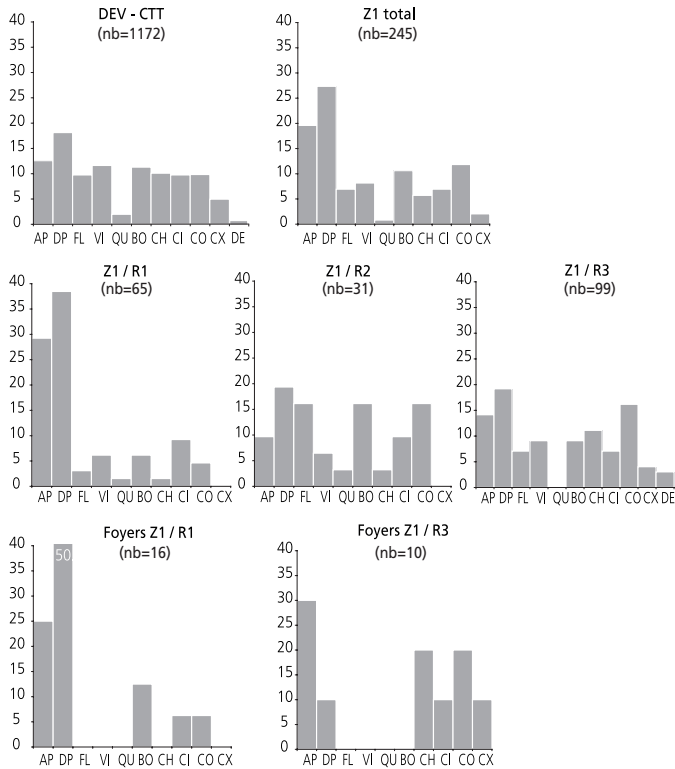


Fig. 205 Pourcentage des calottes classifiées des trois principales zones de rejet de la zone d'activité 1.

la perte en métal est importante (aplaties et denses petites forment 68% des pièces) mais pour laquelle la quantité de déchets produits est plus modeste (aplaties et denses petites constituent 52% du poids).

Dans cette partie de la zone d'activité 1 très riche en déchets, les trois bas foyers contrastent singulièrement par la pauvreté de leur remplissage, en comparaison avec le bas foyer 15 de la zone d'activité 4 (fig. 220). Mais avec 7,6kg de fragments de paroi pour chacun d'entre eux, ils affichent le poids moyen le plus élevé en éléments de construction dans cette zone. L'hypothèse d'un nettoyage régulier des structures est envisageable, hypothèse confortée par la découverte d'une grande calotte dans chacun des bas foyers 187 et 188, témoin de la dernière opération effectuée (fig. 207-208).

Cette zone de rejet a également livré un peu plus de 20% des déchets de forge et du mobilier métallique mis au jour dans la ferme 2 et la zone d'activité 1. De manière plus détaillée, la zone R1 renferme à elle seule environ 45% des déchets de forge dont le cat. 104, interprété comme ébauche d'un élément de buffleterie (chap. 3.3.1). Trois des cinq outils (cat. 340, 353 et 362) sont associés à la métallurgie, la tête d'outil (cat. 340) avec la double particularité de provenir du bas foyer 187 et d'avoir été produit localement. Parmi les fragments, les tôles doivent être particulièrement mentionnées. Prise dans son ensemble, la distribution des catégories de mobilier en zone R1 est très proche de celle relevée en zone R3 (fig. 203).

Les bas foyers 187, 188 et 189

La quantité de déchets issus du contexte de chacun des trois foyers métallurgiques 187, 188 et 189 de la zone R1 est assez similaire, ce qui rend possible les comparaisons (annexe 7). La fosse du bas foyer 187 est de plan ovale (fig. 208). Une grande calotte a été retrouvée dans son remplissage, ainsi que quelques battitures.

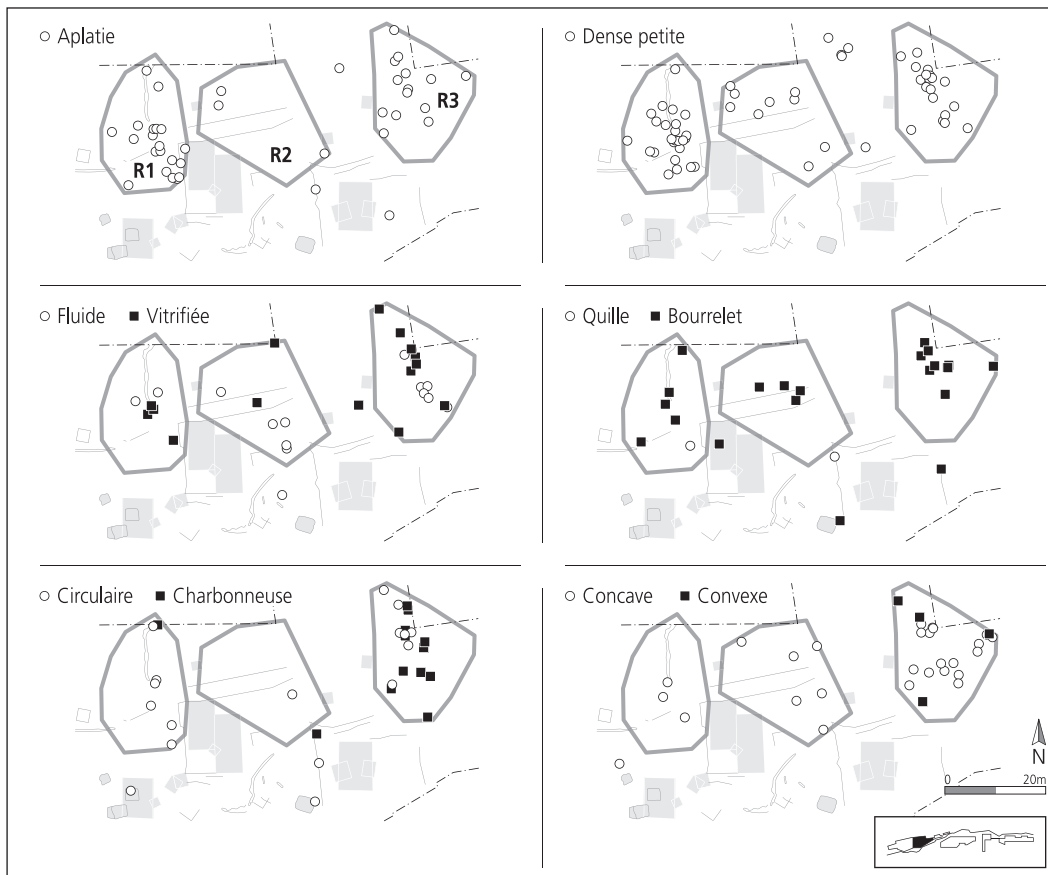


Fig. 206 Répartition des calottes classifiées des trois principales zones de rejet de la zone d'activité 1.



Fig. 207 Plan partiel des structures de la zone d'activité 1 (CAJ 13, chap 6).

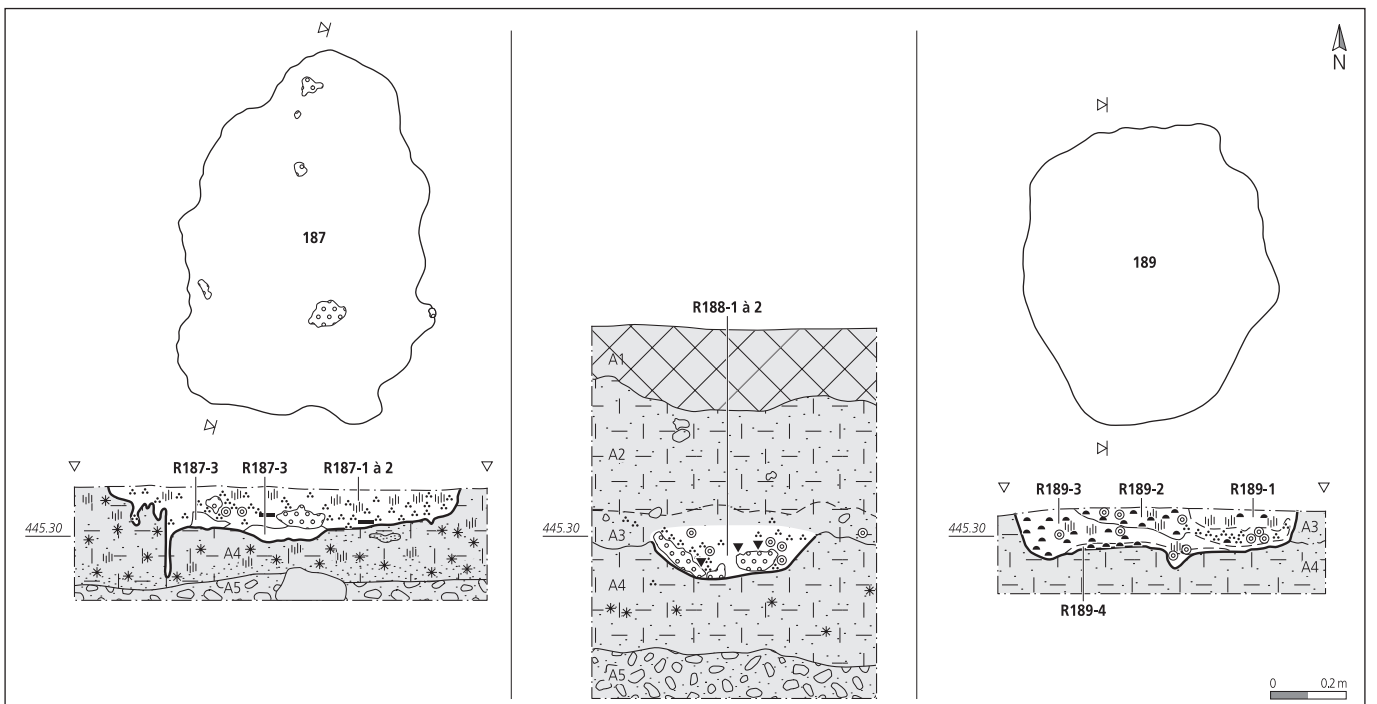


Fig. 208 Plan et coupe des bas foyers 187 et 189 et coupe du bas foyer 188 (Z1) (CAJ 13, chap 6).

Plusieurs fragments de paroi témoignent de la présence d'un revêtement de la cuvette et éventuellement d'une élévation. L'utilisation de ce bas foyer est attestée non seulement à des fins artisanales – métallurgiques en particulier – mais aussi, selon toute vraisemblance, comme foyer domestique occasionnel. En ce qui concerne le travail du fer, le raffinage et peut-être le forgeage semblent avoir été pratiqués dans ce bas foyer. Par ailleurs, la double utilisation d'une structure métallurgique est attestée à plusieurs reprises dans cette même zone d'activité 1 mais aussi ailleurs sur le site, dans la ferme 1 (CAJ 13, chap. 5.5.2) ou dans la ferme 6 (CAJ 13, chap. 14.5.2). Quatre structures entourent le bas foyer 187 (fig. 207) : leur disposition pourrait signaler la présence d'une toiture rudimentaire venant abriter cette aire de travail sur une surface d'environ 1 m². Le contenu du bas foyer 187 est composé à un peu plus de 90% de fragments de calottes. La faible quantité d'autres déchets se répartit entre les parois et les indéterminées. Les coulées et les ferrugineuses font donc totalement défaut.

Pour le bas foyer 188, les calottes dominent ici selon une proportion identique (90,5%) à celle de la structure précédente. Le solde des déchets est constitué pour les deux tiers de fragments de paroi ; suivent les indéterminées, les ferrugineuses et les coulées. Pour les deux structures 187 et 188, ces quantités trop faibles n'autorisent aucune conclusion.

Au moment de sa découverte, le bas foyer 189 se caractérisait par des concentrations de battitures, lamellaires et globulaires, visibles à l'œil nu. La proportion des calottes y est inférieure à 50% ; tous les autres types de déchets sont présents à plus de 8%. Les seules observations archéologiques attestent déjà, pour ce foyer, d'activités de raffinage et surtout de forgeage. Mais pour des raisons indéterminées, la quantité de sédiment avant tamisage n'a pas été enregistrée de façon systématique, empêchant l'exploitation de ces données. On peut toutefois relever que les quantités de battitures récoltées sur toute la surface de cette structure sont comparables à celles de la structure 14 de la zone d'activité 4. Les écarts d'un lot décapé à l'autre sont assez importants : extrapolé sur 100 kg de sédiment, le poids des battitures varie entre 330 g et 1920 g, la moyenne étant d'environ 800 g. Mais le poids du

sédiment n'étant connu que pour un quart des lots, il est impossible de pousser plus avant l'interprétation.

Aspects analytiques de la zone de rejet 1 (R1)

Une des particularités de la zone de rejet 1 est l'abondance des calottes analysées, qui équivalent à 14% des calottes conservées à 50% au moins de cette zone de rejet. Mais de manière générale, une catégorie spécifique de calotte ne peut pas être attribuée automatiquement à une étape spécifique de la postréduction. Sur la base de l'échantillonnage analysé, on constate que la part des calottes attribuées à l'étape de l'épuration est considérable (28% ; fig. 209), tandis que celle attribuée au forgeage n'est que de 18%. Par rapport à la ferme 2 et la zone d'activité 1 considérées dans leur ensemble, ce rapport propre à la zone de rejet 1 est pratiquement doublé pour l'épuration mais divisé par deux pour le forgeage. Afin d'étendre la réflexion à un corpus plus large, une extrapolation mathématique proportionnée aux attributions analytiques est proposée (fig. 209). Il en découle que le poids moyen d'une calotte d'épuration est d'environ 600 g, tandis qu'il est d'un peu plus de 300 g pour une calotte de forgeage. Ce petit gabarit des calottes de la zone R1 est à confronter avec le poids moyen des calottes étudiées du site, qui est de plus de 900 g.

L'analyse chimique et l'examen minéralogique des battitures provenant du bas foyer 189 sont discutés dans le contexte des structures métallurgiques 14 et 15 de la zone d'activité 4. Quant à l'analyse du métal composant les déchets de forge et les objets, elle est affirmative dans neuf cas, avec sept attestations d'une origine locale (fig. 210). Ce cas de figure très particulier n'est partagé qu'avec la zone de rejet 3, la part des pièces d'origine externe sur l'ensemble du site étant prépondérante avec 56% (42 pièces sur les 75 dont l'origine est déterminable).

La zone de rejet 2 (R2), avec les bas foyers 410 et 411

Malgré la présence de deux bas foyers (fig. 211), cette zone de rejet comporte nettement moins de déchets que la précédente (7,5% du total de la F2/Z1) et notamment moins de scories en forme de calotte. Le pourcentage en fragments de paroi scorifiée est lui aussi faible (3,1 kg par foyer ; annexe 7).

Attribution	Type	nb		Poids	Moyenne	Epuration			Compactage			Forgeage			Analyses
				g	g	%	extr.	%	extr.	%	extr.				
Tendance raffinage	AP	20	20	13389	669			2	67	13,3	1	33	6,7	4*	
	DP	25	26	5416	217	1	50	12,5	1	50	12,5			2	
	BO	4	4	6534	1634				2	100	4			2	
Raffinage	CX	0	0												
Forgeage	VI	4	4	810	203						1	100	4	1	
	CH	1	1	2077	2077										
Tendance mixte	FL	2	2	1269	634	1	100	2						1	
	CI	5	5	11315	2263	2	50	2,5	2	50	2,5			4	
	CO	3	3	2817	939										
Peu d'analyses	DE	0	0												
Sans analyses	QU	1	1	344	344										
	NC	33	34	19273	584										
Total		98	100	63244	645	4			7		2			14	
	Total extrapolé							17		32,3			10,7	60	
	Extrapolation sur nb (%)					28			54		18			100	
	Analyse (% du nb)					31			54		15			100	
	Analyse (% du poids)					42			51,5		6,5			100	

Fig. 209 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 2 et la zone d'activité 1 (R1).
* une calotte aplatie supplémentaire est classée « intermédiaire ».

Etape	DEV-CTT		Ferme 2 et zone d'activité 1							
	nb	%	Total		R1		R2		R3	
Epuration	14	16	7	16	4	29	0		2	9,5
Compactage	30	33	20	45	7	50	1	33	10	47,5
Raffinage	44	49	27	61	11	79	1	33	12	57
Forgeage	41	46	15	34	2	14	2	67	8	38
Intermédiaire	5	6	2	5	1	7	0		1	5
Echantillon	90	6	44	14	14	14	3	9	21	19
Total calottes	1432	100	327	23	98	7	32	2,2	121	8,45

Etape	DEV-CTT		Ferme 2 et zone d'activité 1							
	kg	%	Total		R1		R2		R3	
Epuration	23,2	18	9,6	17	6,7	40	0	0	1,2	3,5
Compactage	47,0	37	26,1	46	8,3	49	0,1	13	17	51,5
Raffinage	70,2	56	35,7	63	15	89	0,1	13	18	53,7
Forgeage	48,2	38	16,3	33	1,1	6	0,8	87	14	42,4
Intermédiaire	7,8	6	2,1	4	0,8	5	0	0	1,3	3,9
Echantillon	126	10	54,1	19	16,9	27	0,9	3	33	27
Total calottes	1319	100	284	22	63	5	37	3	126	10

Origine	DEV-CTT		Ferme 2 et zone d'activité 11							
	nb	%	R1		R2		R3		R5	
Locale	34	40	7	70	0		3	60	3	27
Externe	42	50	2	20	0		1	20	7	64
Indéterminée	8	10	1	10	2	100	1	20	1	9
Echantillon	84	4,0	10	9,7	2	2,6	5	23	11	14,9
Total déchets / objets	2233	100	103	4,6	78	3,5	22	1,0	74	3,3

Fig. 210 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la ferme 2 et la zone d'activité 1 (R1, R2, R3 et R5).

Quatre types de calottes attribuées et conservées à au moins 50 % concernent les deux tiers des 31 exemplaires conservés : six denses petites, cinq avec bourrelet, cinq concaves et cinq fluides. La présence plus marquée des scories ferrugineuses laisse supposer une succession d'étapes spécifiques au raffinage (calottes avec bourrelet et scories ferrugineuses) ainsi qu'au forgeage (calottes fluides). Le rapport entre « petites » et « grandes » calottes est nettement plus équilibré, ce qui plaide en faveur du déroulement de l'ensemble des étapes de l'activité métallurgique dans la zone de rejet 2, de la première épuration jusqu'au forgeage (fig. 205).

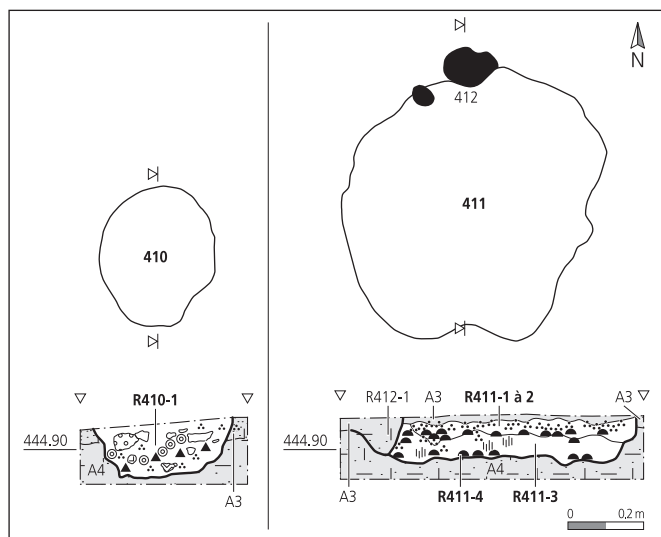


Fig. 211 Plan et coupe des bas foyers 410 et 411 (Z1) (CAJ 13, chap 6).

Cette zone a également livré un peu plus de 15% des déchets de forge et du mobilier métallique mis au jour dans la ferme 2 et la zone d'activité 1. Mais ici, les indices de la métallurgie sont extrêmement ténus avec seulement trois déchets de forge. L'échantillonnage des pièces analysées est lui aussi très faible : deux des trois calottes analysées sont attribuées au forgeage et l'origine du métal des deux objets analysés n'a pu être précisée.

La zone de rejet 3 (R3), avec les bas foyers 565 et 567

Cette zone de rejet renferme, comme la zone de rejet 1, un bon quart des déchets issus de la zone d'activité 1. Les scories en forme de calotte dominant largement. La présence des autres types de déchets est proportionnellement très faible, notamment celles des scories ferrugineuses et des scories d'aspect coulé ; les fragments de paroi en constituent plus des deux tiers. En ce qui concerne les deux bas foyers existants 565 et 567 (fig. 212 ; CAJ 13, fig. 94), on dispose de 6,7 kg de parois scorifiées dans les alentours proches de chacun d'entre eux (fig. 204).

La zone de rejet 3 comporte toutefois davantage de calottes que la zone de rejet 1, elles sont de plus grande taille. En outre, les 99 calottes classées pèsent en moyenne 1160g alors que celles de la zone de rejet 1 n'atteignent qu'une moyenne de 680g environ. En plus de la présence – toujours marquée dans la zone d'activité 1 – des calottes denses petites, on relève un nombre important de concaves, d'aplaties et de charbonneuses, mais également de calottes avec bourrelet, vitrifiées, circulaires et fluides. Ce spectre, plus large et plus fourni qu'en zone de rejet 1, fait de la zone de rejet 3 la plus importante de la zone d'activité 1, malgré un nombre inférieur de structures (un bas foyer attesté et un autre hypothétique) et surtout quatre fois moins de fragments de déchets. Les « grandes » calottes dominant légèrement sur les « petites » : leur rapport en nombre est de 50,5 % contre 49,5 %, et 73,5 % contre 26,5 % en poids (fig. 205). La proportion de « grandes » calottes en zone de rejet 3 a donc plus que doublé par rapport à la zone de rejet 1. Ici encore, il convient de postuler la présence de toutes les phases de la postréduction, centrée cependant sur la première épuration.

A la lumière de la carte de répartition, les limites orientale et septentrionale de cette zone sont floues : la forte proportion de calottes opposée au faible nombre de structures associées renforce l'impression que les limites du chantier archéologique – ou des phénomènes naturels – ont tronqué une partie de cette zone de rejet, structures et déchets y compris (fig. 193).

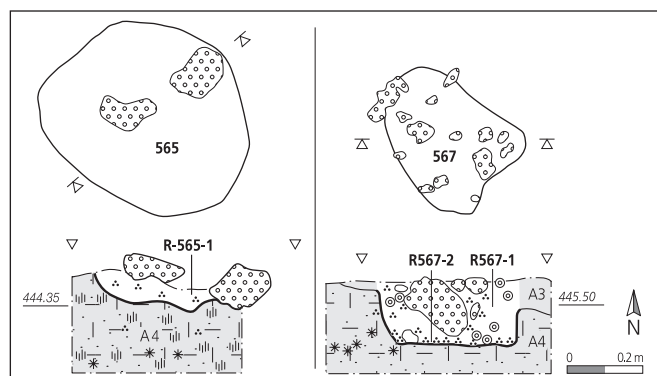


Fig. 212 Plan et coupe des bas foyers 565 et 567 (Z1) (CAJ 13, chap 6).

Dans la zone de rejet 3, la quantité de fragments de paroi, identique à celle trouvée dans l'ensemble de la zone d'activité 1 et aux alentours immédiats des deux foyers, contraste avec les résultats obtenus pour les zones de rejet 1 et 2 (annexe 7).

Avec environ 5% des déchets de forge et du mobilier métallique mis au jour dans la ferme 2 et la zone d'activité 1, la zone de rejet 3 est considérablement moins bien pourvue que les deux précédentes. Pourtant une activité métallurgique s'y détecte par la présence de plusieurs déchets de forge mais surtout par celle d'un outillage constitué de deux ciseaux de forge massifs (cat. 356 et 357). Parmi les fragments, les tôles occupent une place privilégiée. La distribution des catégories de mobilier dans la zone de rejet 3 est très proche de celle déjà signalée dans la zone de rejet 1, avec une absence complète et significative en objets domestiques ou personnels (fig. 203).

Aspects analytiques de la zone de rejet 3

Comme pour la zone de rejet 1, la part de calottes analysées en zone de rejet 3 est considérable (fig. 213). L'essentiel du corpus est constitué de calottes de compactage (50%) et de forgeage (40%). Deux catégories peuvent être associées au compactage (calottes concaves et calottes convexes) et trois au forgeage (calottes vitrifiées et calottes charbonneuses). Les poids moyens extrapolés sont de 600g pour la phase de l'épuration, de 1690g pour le compactage et de 1635g pour le forgeage. Ce dernier chiffre est plus de quatre fois supérieur à celui calculé pour la zone de rejet 1. La moyenne pour la zone de rejet 3 est proche de 1100g et dépasse donc celle calculée pour l'ensemble du site.

L'origine locale du métal des déchets de forge et des objets y est attestée à trois reprises sur les quatre analyses valides (fig. 210).

La zone de rejet 4 (R4), avec le bas foyer 560

La zone de rejet 4 constitue un ensemble assez modeste (le dixième environ des deux zones de rejet principales R1 et R3). On relève une part importante de fragments de paroi, constat militant en faveur de l'existence supposée du bas foyer 560. Avec 2,8kg, la part

de ce type de déchets est bien inférieure à celles constatées dans les zones de rejet 1 et 3; elle se rapproche par contre de celle de la zone de rejet 2 (3,1kg par structure). Le très faible nombre de calottes classifiées, avec quatre denses petites et une aplatie, reflète bien la situation générale de la zone d'activité 1, mais empêche cependant toute autre interprétation (annexe 7).

La zone de rejet 5 (R5)

De par sa situation méridionale, cette zone est rattachée à la seule ferme 2. Elle met probablement en lumière un phénomène de récupération des déchets à partir de la zone de rejet 1 toute proche. Il s'agit donc d'une zone de rejet secondaire. Avec près de 20kg de déchets déplacés, cette situation rappelle celle de la ferme 1 décrite plus haut.

Avec environ 15% de déchets de forge et de mobilier métallique, la zone de rejet 5 est quantitativement comparable à la zone de rejet 2. Qualitativement par contre, les modifications sont sensibles par rapport aux zones de rejet présentées jusqu'ici. Une activité métallurgique pourrait encore s'y détecter par quelques déchets de forge. A l'exception – notable il est vrai – de l'enclume cat. 351 et du poinçon cat. 360, l'outillage retrouvé dans la zone de rejet 5 n'est pas destiné au travail du métal. On constate aussi que la part des fragments en forme de tôle est très réduite. La distribution des autres catégories de mobilier fait cette fois-ci la part belle aux objets usuels et personnels (fig. 203). La détermination de l'origine du métal est ici en faveur d'une origine externe avec sept pièces sur les onze analysées, toutefois l'une d'entre elles n'a pu être déterminée (fig. 210). Ce constat est certainement significatif, la zone de rejet 5 n'étant pas, on l'a vu, en lien direct avec la métallurgie mais bien avec l'habitat qui prédomine au sud des zones de rejet 1 à 4. Ainsi, des structures comme la cabane en fosse R, l'empierrement 64 ou la dépression 1 ont livré quelques objets usuels ou personnels d'origine externe (cat. 319, 321, 322, 345 et 346), de leur côté la cabane en fosse V et une structure isolée ont révélé des objets avec tranchant (cat. 336 et 350). Un cas de figure très intéressant concerne les objets de taillanderie analysés, dont l'origine locale du métal est ici très marquée (cat. 336, 350, 375, 377 et 415, avec exceptions cat. 319 et 345).

Attribution	Type	Poids		Moyenne	Epuration			Compactage			Forgeage			Analyses	
		nb	%		g	g	%	est.	%	est.	%	est.			
Tendance raffinage	AP	14	11,6	7748	553			2	100	14			2		
	DP	19	15,7	9331	491						1	100	19	1	
	BO	9	7,4	11016	1224										
Raffinage	CX	4	3,3	8412	2103	1	25	1	3	75	3			4	
Forgeage	VI	9	7,4	7126	792				1	25	2,25	3	75	6,75	4
	CH	11	9,1	20921	1902							3	100	11	3
Tendance mixte	FL	7	5,8	6738	963	1	100	7						1	
	CI	7	5,8	10110	1444									1*	
	CO	16	13,2	22093	1381				3	100	16			3	
Peu d'analyses	DE	3	2,5	11276	3759				1	50	1,5	1	50	1,5	2
Sans analyses	QU	0	0,0												
	NC	22	18,2	10936	497										
Total		121	100	125706	1039	2			10			8		20	
	Total extrapolé						8			37			38	83	
	Extrapolation sur nb (%)						10			44			46	100	
	Analyse (% du nb)						10			50			40	100	
	Analyse (% du poids)						4			53			43	100	

Fig. 213 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 2 et la zone d'activité 1 (R3).
* une calotte circulaire supplémentaire est classée «intermédiaire».

Les autres structures

Le nombre de structures éventuellement liées à la métallurgie (concentration de charbons et scories 254; dalle calcaire 255, fig. 214) est reporté sur la figure 207. Ces structures contiennent en général peu de déchets et peu de battitures. Leur interprétation n'est donc pas assurée.

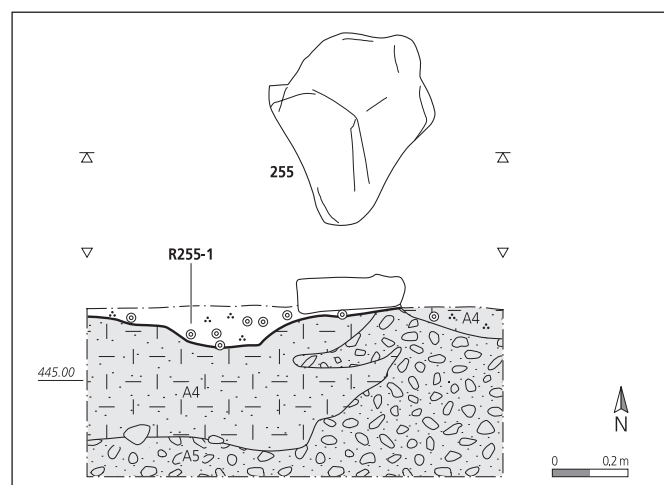


Fig. 214 Plan et coupe de la structure 255 (Z1) (CAJ 13, chap 6).

6.2.3 La zone d'activité 3

La structure 27

La présence de déchets scorifiés dans cet ensemble est anecdotique. Il suffit de mentionner l'existence dans la structure 27 de quelque 160 pisolithes, ne pesant au total qu'environ 35 g (CAJ 13, chap. 8.5.3). Le minerai de fer a pu être volontairement amené sur le site et peut avoir un lien avec les travaux de postréduction, bien que le rôle du minerai dans un tel processus reste très hypothétique. Mais malgré la présence de quelques battitures, il est improbable que cette structure ait fonctionné en tant que bas foyer. De plus, elle ne peut pas être mise en liaison avec la zone d'activité 4 (fig. 194). On arrive donc à la conclusion que le minerai de fer a peut-être joué un rôle insoupçonné de prime abord: jouet, amulette ou autre. Toutefois, les recherches bibliographiques n'ont pas permis de trouver des exemples de l'un ou l'autre de ces usages (chap. 3.4.3). L'argile rouge enrobant les pisolithes a pu, par exemple, être également utilisée comme colorant. La présence des pisolithes dans une seule et unique structure ne permet pas de pousser l'interprétation plus loin.

6.2.4 La zone d'activité 4 et les bassins

Pour rappel, cet ensemble est de très loin la partie du site qui comporte les plus grandes quantités de déchets métallurgiques (fig. 215). L'essentiel de ces déchets est accumulé dans les bassins, qui semblent constituer de simples zones de rejet éloignées d'une quinzaine de mètres des structures 14 et 15, ce qui limite grandement l'interprétation des données de répartition spatiale. Seules les données du bas foyer 15 et de ses alentours immédiats peuvent être mieux exploitées dans ce contexte. Avec sept individus, la présence des déchets de forge est en totale opposition avec celle des autres déchets métallurgiques.

Zone d'activité 4				
Type	nb	%	g	%
Aplatie	88	12	60790	7,8
Dense petite	121	16,5	100520	13
Fluide	48	6,5	30360	3,9
Vitrifiée	86	11,7	51360	6,7
Quille	20	2,7	23960	3,1
Bourrelet	93	12,7	117500	15
Charbonneuse	75	10,2	82500	11
Circulaire	75	10,2	90650	12
Concave	83	11,3	126790	16
Convexe	46	6,3	87720	11
Dense				
Total classées	735	100	772150	100
% par zone		63		69
Non classées	136		106490	
Total calottes	871	61	878640	67

Données analytiques								
Etape technologique			Origine du métal					
	nb	%	g	%	ext.	loc.	indét.	
Epuration	5	12,2	10300	14,5	Déchet	1	2	
Compactage	11	26,5	25060	35,2	Objet	1	1	1
Raffinage	16	39	35360	49,7	Total	2	3	1
Forgeage	21	51,2	29670	41,7	Echantillon	6	4,5%	
Intermédiaire	4	9,8	6120	8,6				
Echantillon	41	4,7	71150	8,1	Z4	134	100%	
Total calottes	871		878640					

Fig. 215 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la zone d'activité 4.

La zone de rejet 1 (R1), avec la fosse 1

Cette zone de rejet est située à la limite occidentale de la zone d'activité 4 et englobe la frange orientale de la zone d'activité 3. Les déchets métallurgiques ont une relation spatiale évidente avec le cœur de la zone d'activité 4 voisine. Pourtant une autre relation avec un bas foyer potentiel (structure 1), localisé plus au sud, ne peut être totalement exclue. Toutefois en l'absence de toute preuve archéologique, cette association doit rester hypothétique. Signalons qu'un léger espace dépourvu de déchets marque la jonction entre la zone d'activité 3 et la zone de rejet 1 de la zone d'activité 4 (fig. 194, 216). La quantité de déchets contenus dans la zone de rejet 1 représente 8 % (330 kg environ) de la totalité des résidus métallurgiques. La proportion entre les trois types de déchets, sans les calottes, laisse plutôt envisager une similitude avec les zones de rejet 2 et 3 décrites ci-après, c'est-à-dire sans la présence assurée d'un foyer métallurgique. Le faible pourcentage de fragments de paroi ainsi que la forte présence de scories ferrugineuses plaident en ce sens. Cette faible quantité de fragments de paroi scorifiée doit toutefois être nuancée: hormis la structure 15, aucune zone n'atteint les pourcentages rencontrés dans la zone d'activité 1 (54 % contre 47 % en Z4; fig. 216-217).

La fonction de la fosse 1, qui comporte peu de battitures, une quantité modérée de déchets et aucun charbon de bois, demeure énigmatique (fig. 218).

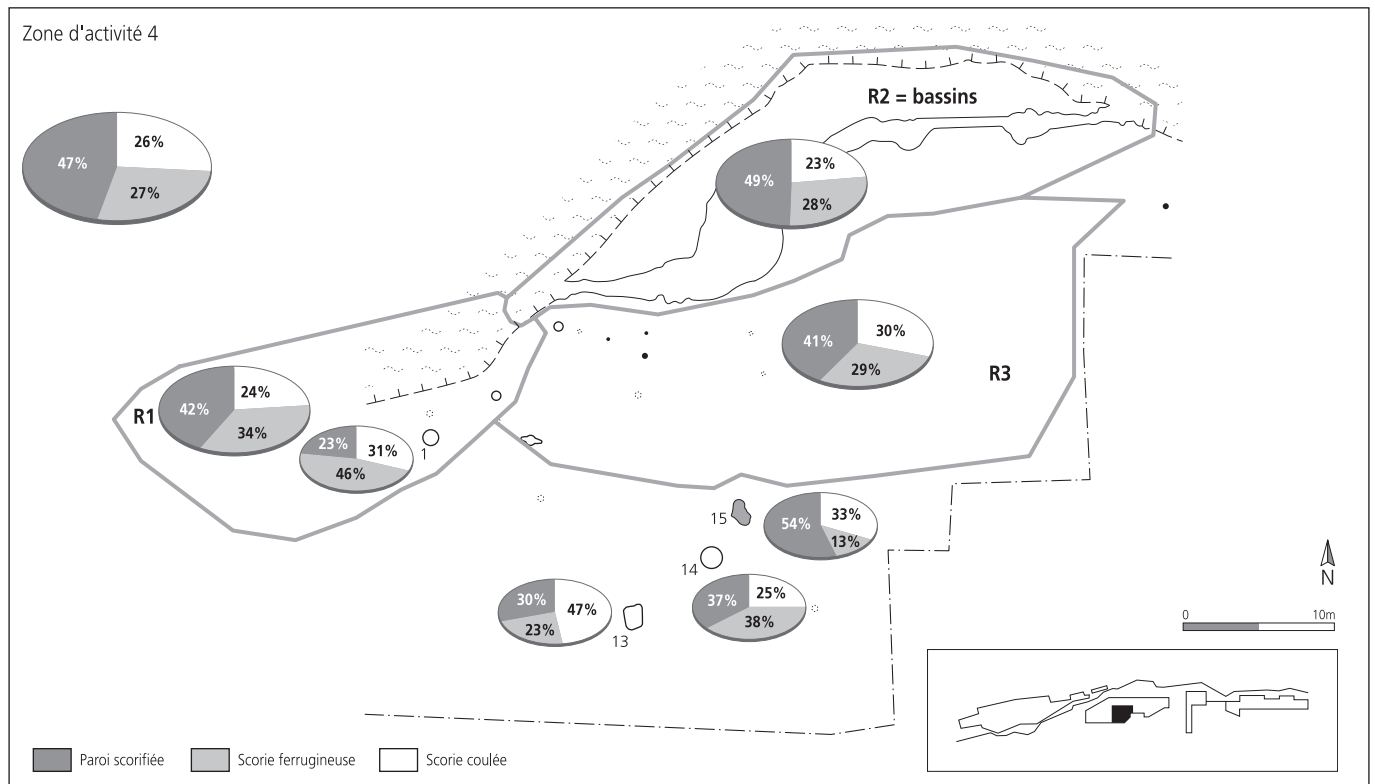


Fig. 216 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet et par structure de la zone d'activité 4.

La zone de rejet 2 (R2), avec les bassins

Les déchets découverts dans une des phases de comblement des bassins (CA) 13, chap. 9) composent la plus grande zone de rejet du site. Ce dépotoir contient en effet plus du tiers des résidus métallurgiques mis au jour, à savoir 1,5 tonne environ. Le ciseau à pointe cat. 498 est l'unique pièce mobilière en relation avec le travail du fer. Malgré le manque de lien spatial direct avec une aire de travail particulière, un tel volume de déchets confirme l'importance globale de l'activité métallurgique durant une certaine

période de l'occupation du site. Cette quantité exceptionnelle de déchets contraste tout particulièrement avec le faible nombre de foyers métallurgiques conservés aux alentours de ce dépotoir. La gestion des résidus scorifiés sur l'ensemble du site incite à penser que ces installations devaient se trouver à proximité, le déplacement de ces rebuts s'effectuant ainsi sur une petite distance. Cette réflexion ne s'applique pas aux zones de rejet secondaires qui ne renferment que de faibles quantités de déchets métallurgiques (F1, F3, F4 et R5 de F2/Z1).

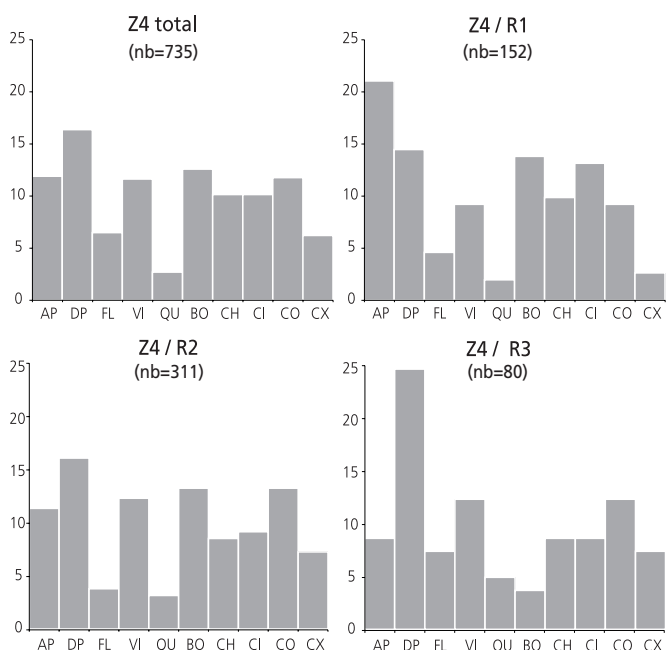


Fig. 217 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les trois zones de rejet de la zone d'activité 4.

La zone de rejet 3 (R3)

Cette zone de rejet est située sur la berge méridionale des bassins, au sud donc de la zone de rejet 2. Elle contient davantage de

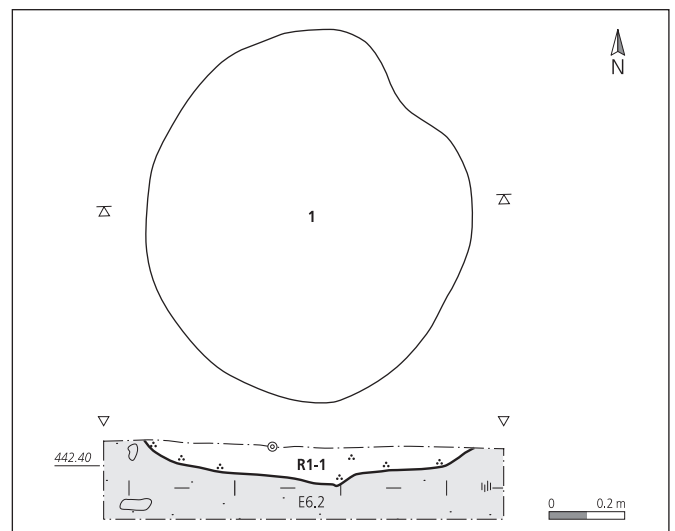


Fig. 218 Plan et coupe de la fosse 1 (Z4) (CAJ 13, chap 9).

déchets que la zone de rejet 1 avec 410 kg environ, soit 10 % de tous les déchets du site. Les constatations faites pour les zones de rejet 1 et 2 restent valables, à la différence notable que cette zone est directement voisine des deux structures métallurgiques 14 et 15.

La trop grande densité de résidus métallurgiques empêche toute tentative d'interprétation à partir de leur répartition spatiale. Il en va de même pour les proportions des différents types de calottes. Malgré une plus forte concentration d'aplaties en zone de rejet 1 (21 %) et de denses petites en zone de rejet 3, la présence des autres types de calottes est suffisamment marquée pour empêcher une interprétation claire (fig. 216).

Trois structures à l'écart des zones de rejet

L'aire de forge 14, le bas foyer 15 et la fosse dépotoir 13 sont trois structures en lien avec la métallurgie, mais isolées à plus d'un titre. Elles se situent, d'une part, en dehors des trois zones de rejet déjà décrites et, d'autre part, à un endroit où l'horizon archéologique est totalement érodé. Les activités pratiquées dans les structures 14 et 15 ne peuvent être, à elles seules, à l'origine des quantités de déchets relevées dans les zones de rejet 1 à 3. Une partie importante de l'atelier dont témoignent ces déchets, probablement situé en direction du sud, a disparu (chap. 6.4).

L'aire de forge 14

Cette structure forme un reliquat en creux, au sein d'une zone dont la couche archéologique a été totalement érodée. Vu la faible profondeur préservée, la quantité de déchets est négligeable : moins de 5 kg de scories et de paroi scorifiée, dont seulement deux calottes conservées à 50 % ou plus (une fluide et une charbonneuse). Sur le terrain, l'emplacement du foyer n'a pu être cerné avec certitude. Seules les concentrations de battitures dans le remplissage de la troisième phase de cette structure attestent de sa fonction en tant qu'aire de forgeage (fig. 219). En tenant compte du fait que toute cette zone est tronquée, les concentrations de battitures relevées dans la seconde fosse (14B) sont considérables, notamment dans son quart sud-est, où elles constituent pratiquement 1 % du sédiment récolté (850 g en moyenne extrapolée sur 100 kg, avec un maximum de 3,5 kg). La typologie des deux calottes déjà mentionnées tend à confirmer une activité principale de forgeage d'objets autour de cette fosse (chap. 7.2). La distance de deux mètres séparant l'aire de forge 14 et le bas foyer 15 semble trop importante pour pouvoir établir un lien spatial entre ces deux structures ; à notre avis, elles n'ont pas fonctionné en association.

Le bas foyer 15

Les quelque 0,3 m³ de ce bas foyer ne contiennent pas moins de 132 kg de résidus métallurgiques, dont plus des deux tiers sont constitués de fragments de calotte. Cette quantité équivaut à 455 kg de déchets par m³ ! Le nombre de battitures dans le sédiment de cette structure est plus faible que dans celui de la fosse 14 ; les parties les plus riches en contiennent cependant entre 300 et 450 g extrapolés sur 100 kg de sédiment (fig. 220a). Ce remplissage a toutefois livré un outil de forge, le ciseau à pointe cat. 497. Une zone marquée par la rubéfaction atteste de l'emplacement d'un foyer.

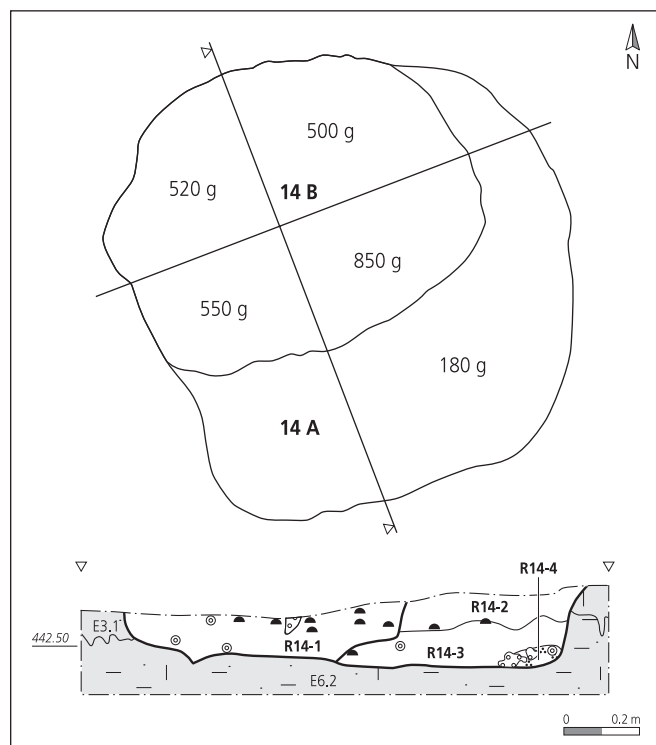


Fig. 219 Plan et coupe de l'aire de forge 14 (Z4), avec les extrapolations de battitures normées sur 100 kg de sédiment (CAJ 13, chap 9).

Onze calottes sur 68 ont été analysées (fig. 221). Les proportions de pièces issues des trois étapes de la postréduction sont similaires à celles constatées pour l'ensemble du site : épuration (18 %), compactage (36 %) et forgeage (45 %). Mais ces chiffres changent considérablement si on les extrapole : épuration (6 %), compactage (14 %) et forgeage (80 %). Cette distorsion constitue un cas unique et résulte d'un trop faible échantillonnage. Il convient donc de considérer avec réserve l'estimation du poids moyen des calottes de forgeage : 1500 g en moyenne pour les cinq pièces analysées et 830 g en moyenne pour les 40 pièces dénombrées. Quant au poids moyen des calottes d'épuration et de compactage, il est fiable et exceptionnellement élevé (fig. 221).

La fosse 13

Cette fosse, réutilisée comme dépotoir, est à sept mètres au sud-ouest des deux structures métallurgiques 14 et 15. Elle contient environ 47 kg de scories, dont plus de 90 % de calottes (fig. 222). Sur 31 calottes conservées à 50 % ou plus, la proportion en pièces de grande taille prédomine (71 %). Le contenu de cette structure contraste avec celui du bas foyer 15 où les pièces de petite taille représentent plus de 60 % (fig. 223). Si le remplissage de la fosse 13 provient des structures métallurgiques 14 et 15 assez proches, ces calottes ne font probablement pas partie des résidus issus de leur dernière phase de fonctionnement, mais plutôt d'un épisode précédent, marqué par une plus forte proportion d'épuration.

Aspects analytiques de la zone d'activité 4

Ici, le nombre des calottes analysées (41) est équivalent à celui de la zone d'activité 1 ; la proportion y est cependant inférieure à

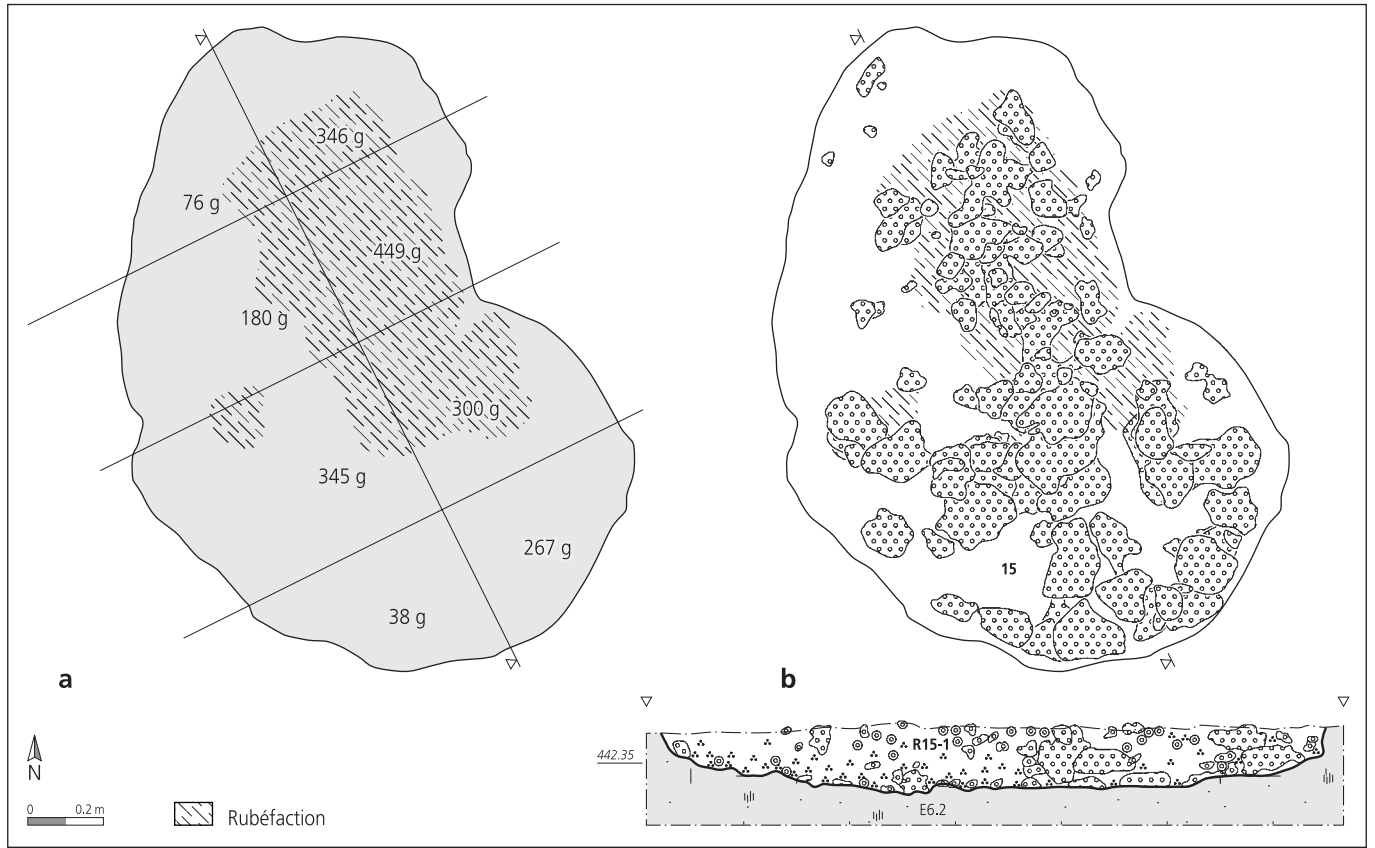


Fig. 220 Plan et coupe du bas foyer 15 (Z4), avec les extrapolations de battitures normées sur 100 kg de sédiment (CAJ 13, chap 9).

5% pour un corpus de 871 calottes. Dans ce cas également, une catégorie spécifique de calotte ne peut pas être attribuée d'office à une étape spécifique de la postréduction. L'extrapolation mathématique met en évidence un poids moyen d'environ 950g pour les calottes d'épuration, de 1320g pour celles de compactage et de 1000g pour celles de forgeage. Sur cette même base mathématique, la part de l'épuration est très faible avec 16% et celle du forgeage prédomine avec 62% (fig. 224).

Les battitures issues des structures 14 et 15 – ainsi que celles du bas foyer 189 de la zone de rejet 1 (Z1) – ont été soumises à une analyse chimique et à un examen minéralogique. Leurs caractéristiques morphologiques permettent de les répartir sommairement en deux catégories, à savoir celle de type lamellaire et celle de type globulaire (chap. 3.4.1). Dans le cas des structures 14 et 15, une distinction plus fine a pu être opérée entre lamellaires fines et lamellaires épaisses. Deux autres types ont été reconnus dans l'aire

Attribution	Type	nb		Poids g	Moyenne g	Epuration			Compactage			Forgeage			Analyses
			%			%	est.	%	est.	%	est.				
Tendance raffinage	AP	0	0,0												
	DP	3	4,9	5120	1707										
	BO	10	16,4	20250	2025	2	29	3	3	43	4	2	29	3	7
Raffinage	CX	0	0,0												
Forgeage	VI	9	14,8	4600	511						1	100	9	1	
	CH	7	11,5	7540	1077						1	100	7	1	
	FL	18	29,5	13380	743						1	100	18	1	
Tendance mixte	CI	1	1,6	670	670										
	CO	2	3,3	3190	1595				1	100	2				1
Peu d'analyses	DE	0	0,0												
Sans analyses	QU	1	1,6	2850	2850										
	NC	10	16,4	7560	756										
Total		61	100	65160	1068	2			4		5			11	
	Total extrapolé							3		6			37	46	
	Extrapolation sur nb (%)					6			14		80			100	
	Analyse (% du nb)					18			36		45			100	
	Analyse (% du poids)					29			47		24			100	

Fig. 221 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la zone d'activité 4, structure 15.

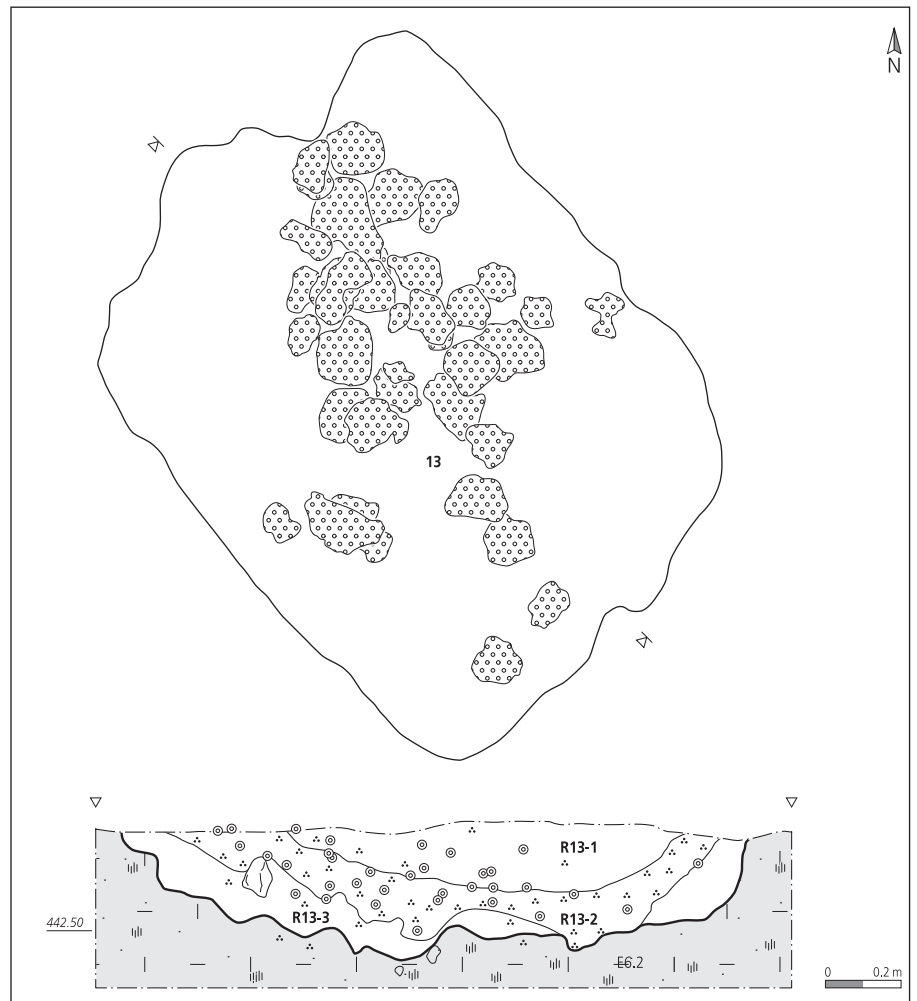


Fig. 222 Plan et coupe de la fosse dépotoir 13 (Z4) (CAJ 13, chap 9).

de forge 14, les battitures scoriacées et les battitures rouillées. La composition chimique de ces battitures (fig. 87) montre des différences dues à l'influence d'éléments sablo-argileux, tout particulièrement dans le bas foyer 15. Celle des battitures de l'aire de forge 14 révèle à la fois l'influence d'éléments sablo-argileux et de scories de réduction.

En raison de leur présence discrète dans la zone d'activité 4, seuls deux déchets de forge et trois objets ont été analysés. La répartition équilibrée entre origine locale et origine externe du métal ne permet pas de tirer d'enseignements particuliers.

6.2.5 La ferme 5

La répartition des déchets scorifiés de la ferme 5 permet de percevoir deux zones de rejet (fig. 197, 225). La première est centrée sur le bâtiment A et ses alentours; la seconde est localisée plus à l'est, en direction de la ferme 6. Si les quantités des trois principales catégories de déchets sont assez similaires dans ces deux zones de rejet, il n'en va pas de même pour les calottes. Dans la zone est, ces dernières pèsent au total 60 kg; 34 fragments et pièces dépassent 400 g (24 calottes ont une conservation supérieure ou égale à 50 %; fig. 226). Dans la zone du bâtiment A, elles ne représentent plus que 13 kg et seules quatre pièces dépassent 400 g (fig. 226).

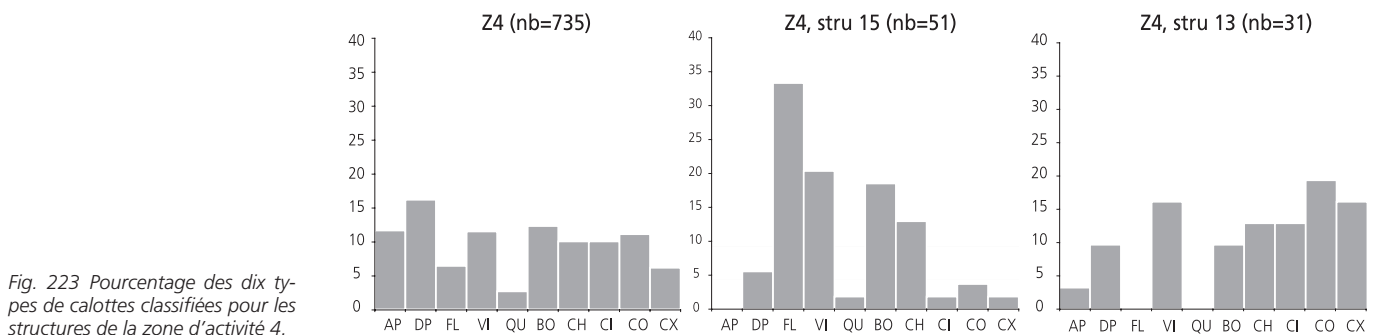


Fig. 223 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les structures de la zone d'activité 4.

Attribution	Type	Poids		Moyenne	Epuration			Compactage			Forgeage			Analyses
		nb	%	g	%	est.	%	est.	%	est.				
Tendance raffinage	AP	88	10,1	60790	3	60	53			2	40	35	5	
	DP	121	13,9	100520										
	BO	93	10,7	117500	2	17	16	5	42	39	5	42	39	12
Raffinage	CX	46	5,3	87720				4	100	46			4	
Forgeage	VI	86	9,9	51360							4	100	86	4
	FL	48	5,5	30360										
Tendance mixte	CH	75	8,6	82500							3	100	75	3
	CI	75	8,6	90650							4	100	75	4
	CO	83	9,5	126790				2	40	33	3	60	49,8	5
Peu d'analyses	DE	0	0,0											
Sans analyses	QU	20	2,3	23960										
	NC	136	15,6	106490										
Total		871	100	878640	5			11			21		37	
	Total extrapolé						68		118			360	546	
	Extrapolation sur nb (%)						13		21,6			65,6	100	
	Analyse (% du nb)						14		29,7			56,8	100	
	Analyse (% du poids)						16		38,5			45,5	100	

Fig. 224 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte dans la zone d'activité 4.

Cette situation différenciée ne trouve pas de véritable explication. De plus, aucune calotte n'a été analysée bien que la ferme 5 constitue le quatrième ensemble du site en ce qui concerne la quantité de déchets.

En ce qui concerne les calottes, 19 des 44 pièces classifiées se rattachent probablement au travail de forgeage et trois au raffinage (fig. 226 et 227). Cette proposition repose sur l'attribution générale des scories à une phase de la postréduction, aucune analyse n'ayant été effectuée sur les calottes de la ferme 5.

En plus des déchets de forge déjà évoqués (chap. 6.1.9), plusieurs outils mis en relation avec le travail des métaux sont issus de la ferme 5 : notamment les ciseaux cat. 589, 590 (d'origine locale) et 648 (d'origine externe) ou encore la lime cat. 650. Mais aussi d'autres pièces comme les ciselets cat. 591 et 637 ou le poinçon cat. 649. Seule une petite partie des déchets de forge et de ces objets, équivalant à un peu plus de 2% du corpus de la ferme 5, a été analysée, à savoir 19 analyses valides. Ici encore, la parité est quasi parfaite en ce qui concerne l'origine du métal : huit objets et deux déchets sont d'origine externe, sept objets et deux déchets sont des produits locaux.

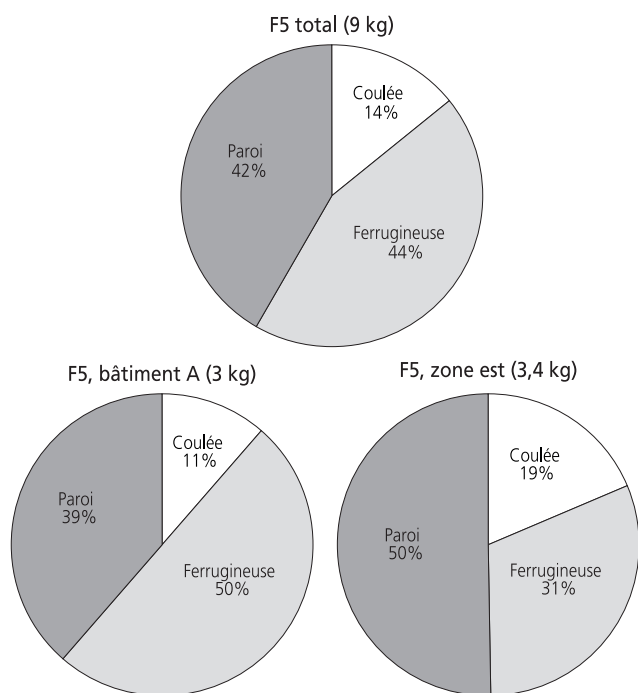


Fig. 225 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet de la ferme 5.

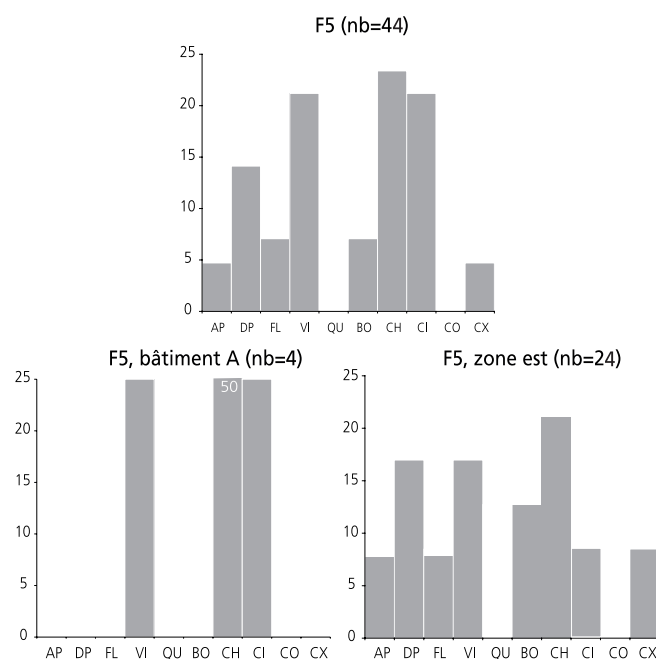


Fig. 226 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les deux zones de rejet de la ferme 5.

Ferme 5				
Type	nb	%	g	%
Aplatie	2	4,5	1330	3
Dense petite	6	13,6	5350	11,9
Fluide	3	6,8	1790	4
Vitrifiée	9	20,5	3060	6,8
Quille				
Bourrelet	3	6,8	3210	7,1
Charbonneuse	10	22,7	14340	31,9
Circulaire	9	20,5	11620	25,9
Concave				
Convexe	2	4,5	4240	9,4
Dense				
Total classées	44	100	44940	100
% par zone		3,8		4
Non classées	14		6640	
Total calottes	58	4,1	51580	4
Origine du métal analysé				
	ext.	loc.	ind.	
Déchet	2	2	0	
Objet	8	7	1	
Total	10	9	1	
Echantillon	20	2,4%		
Ferme 5	834	100%		

Fig. 227 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la ferme 5.

6.2.6 La ferme 6

On y observe une répartition différenciée entre les calottes retrouvées majoritairement au sud-ouest de la structure 59 et les autres déchets scorifiés, situés pour la plupart au nord-ouest de cette même structure (fig. 198, 228).

L'atelier métallurgique de la ferme 6 constitue à plus d'un titre un exemple très intéressant pour les études technologiques et de répartition spatiale. Il s'agit en effet d'un « ensemble clos », dans le sens où il est bien distinct des autres unités. Il comporte une unique structure d'où proviennent les déchets, ce qui permet de considérer cet atelier comme un modèle pour une approche quantitative (chap. 7.2). La répartition des différents types de calottes étant de plus particulièrement bien marquée, une interprétation plus poussée des activités spécifiques de cet atelier peut être avancée. Cet atelier, dont la durée de fonctionnement est indéterminée, a ainsi pu produire quelque 210 kg de déchets et près de 13 kg d'éléments de construction de bas foyer.

Le bas foyer 59

La composition des calottes situées dans le bas foyer même ou à ses abords immédiats révèle une étonnante similitude : les six pièces retrouvées dans la structure sont des calottes fluides, des vitrifiées et des charbonneuses mais seules les deux dernières résultent du forgeage (fig. 229-230).

Considérons maintenant le matériel englobé dans différents cercles concentriques s'éloignant de plus en plus du centre de la structure. Jusqu'à dix mètres, les trois quarts du matériel sont composés des trois mêmes catégories de calottes (fig. 231). À l'exception notable de l'ébauche cat. 159, les déchets de forge sont rejetés à distance du bas foyer. Il en va de même pour deux objets

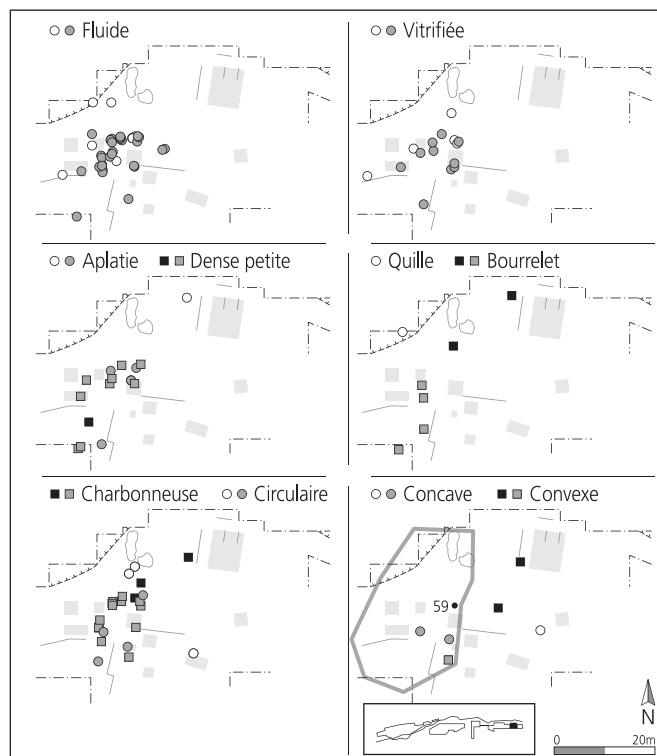


Fig. 228 Répartition des dix types de calottes classifiées dans la ferme 6.

remarquables, l'enclume à tige cat. 824 et le ciseau à pointe massif cat. 825, deux des trois éléments voués au travail des métaux. L'outillage est donc en considérable sous-représentation.

Du point de vue analytique, il n'est pas nécessaire de sortir le bas foyer 59 de son contexte au sein de la ferme 6. Ainsi dans ce dernier ensemble, un tiers des calottes peut être attribué à l'épuration et les deux autres au forgeage (6 pièces analysées sur 127 ; fig. 232). Sur la base de l'extrapolation mathématique, le poids moyen d'une calotte d'épuration est de 620g et celui d'une calotte de forgeage de 360g. Ce petit gabarit des calottes est quasi

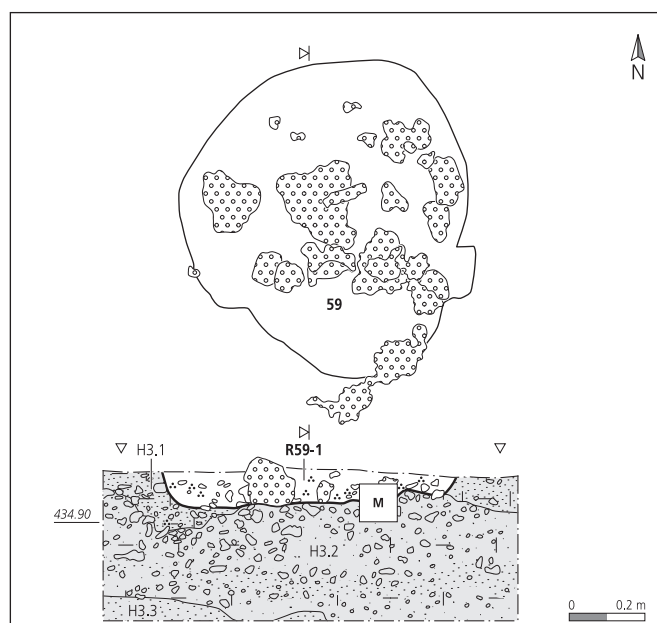


Fig. 229 Plan et coupe du bas foyer 59 (F6) (CAJ 13, chap 14).

Ferme 6										
Données analytiques										
Etape technologique					Origine du métal					
	nb	%	g	%	ext.	loc.	ind.			
Epuration	2	33,3	3370	58,6	déchets	2	0	0		
Compactage	0	0	0	0	objets	4	0	0		
Raffinage	2	33,3	3370	58,6	total	6	0	0		
Forgeage	4	66,7	2385	41,4	échantillon	6	6,6%			
Echantillon	6	4,7	5755	8	F6	91	100%			
Total calottes	127		71980							

Fig. 230 Synthèse des données analytiques pour ferme 6.

identique à celui mis en évidence dans la zone de rejet 1 (F2/Z1), le poids moyen global des calottes de la ferme 6 étant de 570 g. Par contre, l'analyse du métal composant les déchets de forge et les objets indique une origine exclusivement externe (six pièces analysées). Ce qui pose un gros problème face à l'évidente activité métallurgique identifiée dans cet ensemble.

6.3 Répartition spatiale du mobilier métallique

La présentation synthétique du mobilier métallique, par catégorie typologique et par unité spatiale, ne laisse entrevoir que des constats d'ordre général (fig. 233). On observe en premier lieu une concentration de mobilier très significative dans les fermes 1, 2 (y compris Z1) et 5. Ceci ne surprend pas en soi, puisque ces trois zones d'habitat sont les plus longuement occupées. Elles sont également les plus importantes du point de vue de leur superficie et de leur densité en structures archéologiques (CAJ 13, chap. 17); à elle seule, la ferme 5 renferme 37% du mobilier métallique attribué au Haut Moyen Age. Cette présence diminue considérablement dans les fermes 3, 4 et 6. Mais la durée d'occupation de ces habitats est plus restreinte, de même que leur superficie et le nombre de leurs structures. Ainsi la ferme 3 est un des ensembles les plus pauvres en mobilier métallique; seule la zone d'activité 2 est encore moins bien pourvue. Les autres zones d'activité offrent une image fort comparable. La zone d'activité 4 est toutefois un peu mieux fournie avec 6% du mobilier métallique, mais 57 des 134 individus sont issus du contexte spécifique

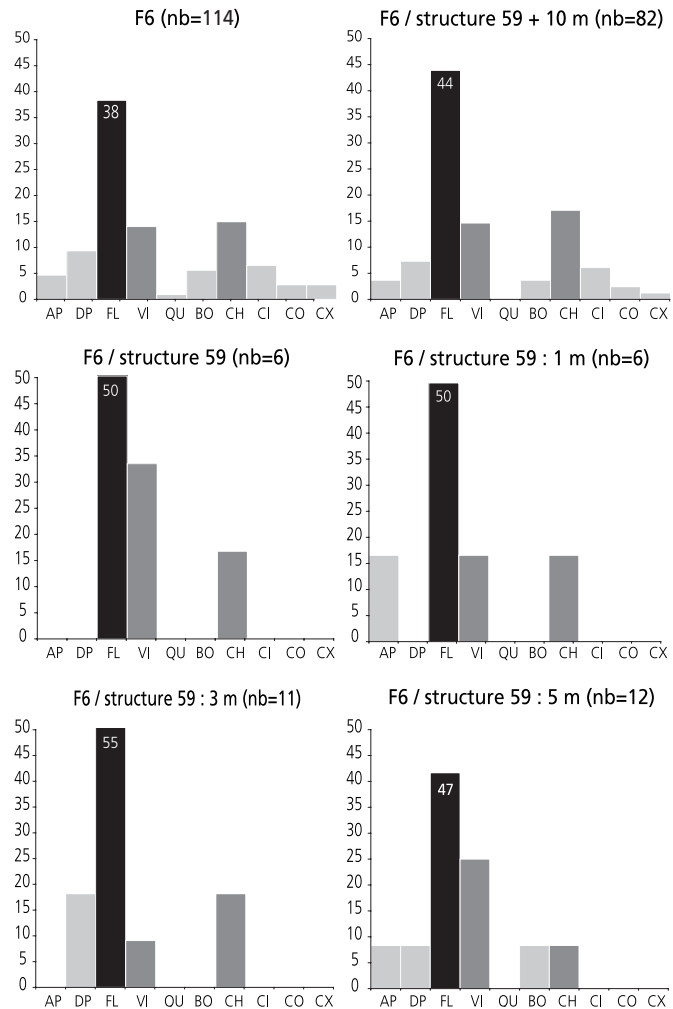


Fig. 231 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour la ferme 6 et la structure 59. Les trames foncées signalent les types prédominants.

des bassins. Quant aux objets métalliques de la zone d'activité 1, ils n'ont pu être isolés de ceux de la ferme 2 faute de données pertinentes.

En second lieu, il faut relever l'abondance de fragments d'objets à l'intérieur de tous les ensembles de Delevier-Courtételle, en

Attribution Type	Poids Moyenne		Epuration		Compactage		Forgeage		Analyses
	nb	%	g	g	nb	%	nb	%	
Tendance raffinage	AP	5	4,4	1800	360				
	DP	11	9,7	4770	434				
	BO	7	6,2	3730	533				
Raffinage	CX	3	2,7	3720	1240				
Forgeage	VI	15	12,4	5950	397			1	100
	CH	19	16,8	17670	930	1	100	19	
	FL	43	38,1	15000	349	1	25	11	
Tendance mixte	CI	7	6,2	7690	1099				
	CO	3	2,7	3260	1087				
	QU	1	0,9	250	250				
Sans analyses	DE	0	0,0						
	NC	13		8140					
Total	127	8,9	71980	570	2		0	4	6
Total extrapolé						41			47
Extrapolation sur nb (%)						39		61	100
Analyse (% du nb)						33		67	100
Analyse (% du poids)						59		41	100

Fig. 232 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 6. Les pourcentages se calculent par rapport au NMI de chaque catégorie, ainsi que de la totalité des calottes.

Catégorie	F1		F2 / Z1		Z2		Z3		Z4		F3		F4		F5		F6		Contexte inconnu DEV	Contexte inconnu CTT	Total	% par catégorie
	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%	nb	nb		
Déchet de forge	19	5,1	37	7,7	1	3,2	1	1,3	7	5,2			6	4,1	22	2,7	10	10,9			103	4,6
Déchet des alliages	1	0,3			1	3,2									16	1,9	5	5,5			23	1,0
Outils	18	4,8	27	5,6			3	3,7	7	5,2	3	4,9	2	1,4	32	3,9	6	6,6			98	4,4
Agriculture / élevage	6	1,6	2	0,4									1	0,7	4	0,5	1	1,1			14	0,6
Usuel	32	8,6	31	6,4	4	12,9	1	1,3	3	2,2	6	9,8	8	5,4	31	3,7	2	2,2			118	5,3
Buffleterie	15	4	15	3,1	1	3,2	6	7,5	2	1,5	1	1,7	6	4,1	34	4,1	4	4,4			84	3,8
Parure	3	0,8	7	1,5					1	0,8					11	1,3	3	3,3			25	1,1
Armement / équestre	17	4,5	10	2,1	2	6,5	2	2,5			2	3,3	1	0,7	16	1,9	1	1,1	1		52	2,3
Cuisine	4	1,1	1	0,2							1	1,7			5	0,6	1	1,1			12	0,5
Quincaillerie	13	3,5	8	1,7							3	4,9	9	6,1	20	2,4	2	2,2			55	2,5
Clou	38	10,2	55	11,4	4	12,9	7	8,7	13	9,7	8	13,1	30	20,4	138	16,5	12	13,2	1		306	13,7
Objet non défini	35	9,4	30	6,2	2	6,5	4	5	9	6,7	4	6,5	8	5,4	61	7,3	7	7,7			160	7,1
Fragment	172	46,1	259	53,7	16	51,6	56	70	92	68,7	33	54,1	76	51,7	444	53,2	37	40,7	1	2	1188	53,1
Total	373	100	482	100	31	100	80	100	134	100	61	100	147	100	834	100	91	100	3	2	2238	100
% par ensemble	16,7		21,5		1,4		3,5		6		2,7		6,6		37,3		4,1		0,1	0,1		

Fig. 233 Présentation du mobilier et des déchets métalliques par catégorie typologique et par ensemble. Voir aussi la figure 190.

comparaison avec les objets attribués à l'une ou l'autre des catégories typologiques retenues. Leur proportion n'est jamais inférieure à 40% et approche même 70% dans les zones d'activité 3 et 4. Ces phénomènes de fragmentation pourraient résulter d'un effet de piétinement, peut-être encore accentué dans certaines zones de passage ou d'activité spécifique. En ajoutant les objets non définis à cette masse déjà remarquable d'artefacts, force est de constater que plus de 50% du mobilier métallique de Develier-Courtételle est aujourd'hui dépourvu de toute identification fonctionnelle ou chronologique.

Face à ces données de base et à la grande variété des catégories typologiques définies, l'interprétation de la répartition spatiale du mobilier métallique reste très limitée. Malgré de multiples tentatives, les enseignements tirés de l'étude de répartition à l'aide de l'application ESRI ArcView se sont avérés très décevants. D'autant plus que la découverte de la plupart des types d'objets est souvent ponctuelle, rarement sérielle. La présentation du mobilier par ensemble a donc été mise de côté et les données ont été réorganisées en cinq regroupements catégoriels (fig. 234), a priori les plus caractéristiques et les plus représentatifs de la vie et des activités des habitants de ce hameau. Les catégories inexploitable comme les objets non définis et les fragments ne sont plus prises en considération. Ces nouvelles données, présentées graphiquement (fig. 235), permettent de distinguer trois cas de figure :

- le premier concerne les trois grandes unités spatiales déjà mentionnées (F1, F2/Z1, F5) auxquelles est associée la ferme 4, toutefois un peu plus isolée. Tous les regroupements catégoriels y sont à chaque fois présents et bien pourvus, selon une clef de répartition très proche, particulièrement évidente pour deux ensembles (F1 et F2/Z1) ;
- le deuxième cas se rapporte à la zone d'activité 4 et à la ferme 6, avec comme particularité une activité métallurgique qui paraît occuper une proportion supérieure à 20% et des activités économiques proportionnellement mieux représentées. Il est

significatif qu'il s'agisse de deux des trois ensembles contenant la quasi-totalité des structures liées à la métallurgie. Cependant, il faut tenir compte ici d'un échantillonnage réduit, qui donne trop de poids à des variations accidentelles ;

- le dernier cas est très artificiel, tant le mobilier pris en considération est restreint, ce qui influe totalement sur les résultats. Il s'agit des zones d'activité 2, 3 et de la ferme 3, dans lesquelles les regroupements catégoriels sont désorganisés ou pas toujours tous présents.

Regroupement catégoriel	F1	F2 / Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total
Métallurgie	20	37	2	1	7		6	38	15	126
Economie	24	29		3	7	3	3	36	7	112
Domestique	36	32	4	1	3	7	8	36	3	130
Personnel	35	32	3	8	3	3	7	61	8	160
Construction	51	63	4	7	13	11	39	158	14	360
Total	166	193	13	20	33	24	63	329	47	888

Fig. 234 Présentation des cinq regroupements catégoriels retenus pour l'analyse spatiale.

6.3.1 Le regroupement « métallurgie » : les déchets issus du travail du métal

Ces déchets sont les vestiges de deux activités bien distinctes, le forgeage des objets en fer et la métallurgie des alliages cuivreux (fig. 236). Alors que pour l'ensemble du mobilier métallique de Develier-Courtételle le rapport entre le fer (94,3%) et les alliages cuivreux (5,6%) est à l'avantage quasi exclusif du premier, il en va différemment pour les déchets du travail du métal. Sur 126 pièces recensées, celles liées à la métallurgie des alliages cuivreux y représentent 18%. Les plans de répartition de tous ces déchets n'ont pas livré d'informations significatives permettant, par exemple, de détecter des espaces voués à des travaux spécifiques. La répartition entre ces deux types de métallurgie n'est cependant pas similaire.

Le déficit constaté en déchets de forge – chutes, ébauches et ratés – a déjà été expliqué par les difficultés relatives à leur identifica-

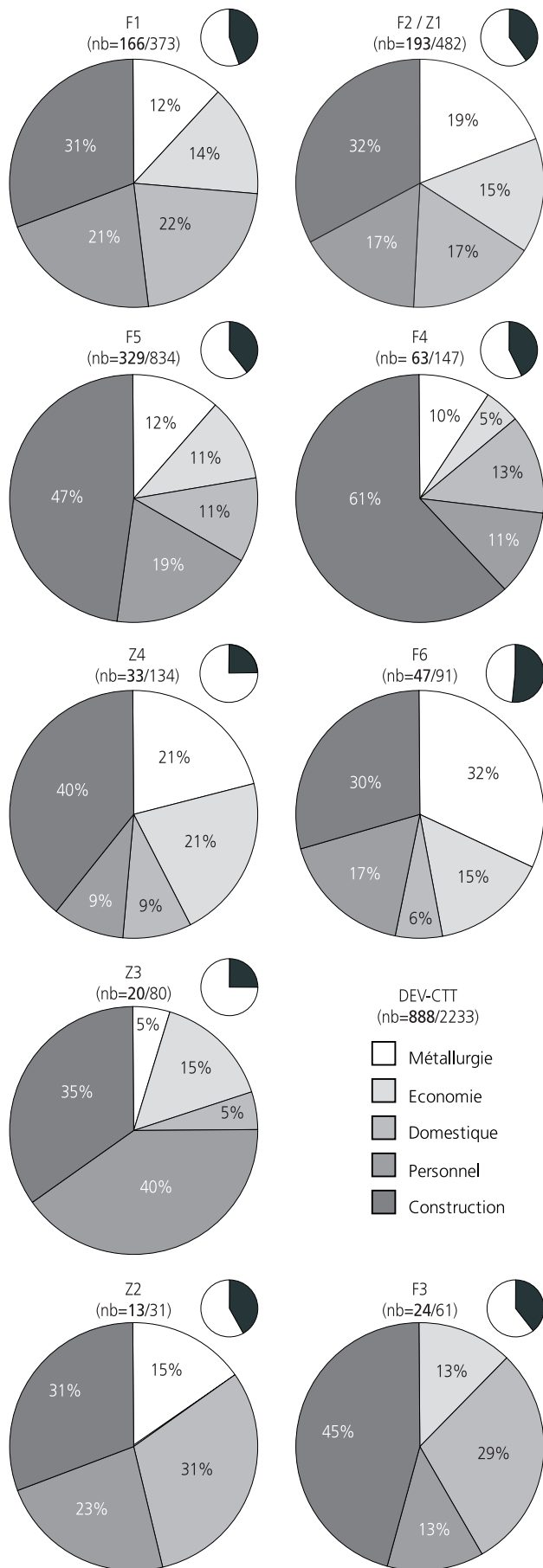


Fig. 235 Proportion des cinq regroupements catégoriels par ensemble. En noir dans les petits cercles: part du mobilier prise en considération pour les regroupements par rapport à l'ensemble du mobilier de chaque ensemble.

tion (chap. 3.3.1). Mais une autre explication, liée au type de production, doit être envisagée puisqu'il semble que la fabrication d'objets «simples» ne produise pas ou très peu de déchets (Anderson et al. 2003, p. 144). Il semblerait toutefois assez logique de les retrouver en petit nombre – tout particulièrement les pièces en cours de fabrication – à proximité des aires de forge. D'abord parce que le métal devait être recyclé et que les objets, une fois terminés, étaient employés ailleurs. D'autre part parce que les zones de travail devaient être nettoyées et les rebuts non réutilisables évacués à une certaine distance. Contre toute attente, les déchets et produits semi-finis en fer de Develier-Courtételle sont disséminés à travers toutes les unités d'habitat et les zones d'activité du site.

Déchet de travail de la métallurgie	F1	F2 / Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total
Chute	12	25	1	1	5		4	19	7	74
Ebauche	2	5			1		2	1	1	12
Raté	2	6			1			2	2	13
Matière de récupération	3	1								4
Déchet de la métallurgie des alliages cuivreux	1							10	3	14
Objet brut de coulée									1	1
Matière de récupération			1					5	1	7
Total	20	37	2	1	7		6	38	15	126

Fig. 236 Présentation détaillée du regroupement catégoriel «métallurgie».

Cette problématique particulière à la ferme 5 se retrouve à propos de la métallurgie des alliages cuivreux: l'essentiel du mobilier s'y concentre alors que les vestiges des structures dédiées font totalement défaut. Pourtant la diversité des éléments découverts – associés à des fragments de creusets – démontre l'existence dans la ferme 5 d'une partie de la chaîne opératoire appliquée à la métallurgie des alliages cuivreux. Leur localisation pourrait même révéler un semblant d'organisation: un premier regroupement est centré, ici encore, sur le bâtiment A. Un second, assez diffus, dessine une bande en arc de cercle à proximité de l'emprise nord de cette unité. La ferme 6 est très faiblement pourvue mais les quelques pièces mises au jour sont suffisamment significatives pour révéler, ici aussi, un modeste travail des alliages. L'unique structure métallurgique de cette unité, la structure 59, pourrait être ainsi une structure de polymétallurgie, fonctionnant à la fois pour le travail du fer et pour celui des alliages cuivreux.

6.3.2 Le regroupement «économie»: les activités économiques

A Develier-Courtételle, les activités économiques peuvent être définies grâce aux objets métalliques dont la fonction artisanale ou agro-pastorale a pu être précisée. Il s'agit d'outils ainsi que de quelques objets en lien avec l'agriculture et l'élevage (fig. 237). L'outillage retrouvé sur le site est proportionnellement assez abondant et semble constituer un échantillonnage représentatif de la plupart des activités artisanales. Il faut cependant insister sur l'identification parfois incertaine des objets et sur la difficulté de le mettre en relation avec les matières travaillées. Rappelons que la distinction entre le ciseau du métallurgiste et celui employé

par le tailleur de pierre est périlleuse; de même, les nombreuses alènes sont globalement considérées comme des outils pour le travail du cuir, sans toujours de grandes certitudes. Les fragments d'outils non identifiés mis à part, 83 outils ont été attribués à une activité particulière. Le travail du métal arrive très largement en tête (47%), suivi par celui du cuir (26,5%). À égalité, le bois et les textiles (9,6%), ainsi que les matières plastiques (7,3%), sont des matériaux dont le travail est nettement moins bien perçu à travers l'outillage métallique.

Activité économique	F1	F2/Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total	
Outillage	Métal	11	12	2	3	1		7	3	39	
	Bois	1	2			1	1		3	8	
	Textile	3	2						1	2	8
	Cuir	1	7		1		1		11	1	22
	Matières plastiques	1	1					1	3		6
	Fragments d'outils	1	3			3		1	7		15
	Agriculture et élevage	Agriculture	1					1	1	1	4
	Élevage	5	2					3		10	
Total		24	29	3	7	3	3	36	7	112	

Fig. 237 Présentation détaillée du regroupement catégoriel «économie».

Le travail du métal

Au moins 39 outils permettent d'évoquer le travail des artisans métallurgistes. Les pinces, une enclume à tige (F6) et les ciseaux – droits ou à pointe – appartiennent très probablement à l'outillage du forgeron. Les autres outils ne peuvent être attribués à un artisan en particulier. Mais la finesse des ciselets et des poinçons, la petite table rectangulaire de la seconde enclume (F2/Z1) ou encore la petite lime appartiennent plutôt à la catégorie des outils de finition. La répartition de cet outillage est très semblable à celle évoquée à propos des déchets de travail de la métallurgie (chap. 6.2.1).

On distingue deux sortes d'unités: celles dans lesquelles cette activité est attestée par des vestiges de structures métallurgiques et les unités qui n'ont pas livré de structures artisanales. Dans les premières, citons d'abord la ferme 2 et la zone d'activité 1, qui offrent la plus grande diversité en outils voués au travail du métal sur l'ensemble du site. Leur présence est assez cohérente et s'observe, ici encore, à l'intérieur des cinq zones de rejet 1 à 5. Les deux autres unités concernées, à savoir la zone d'activité 4 et la ferme 6, présentent un déficit en outils identique à celui constaté pour les déchets de travail de la métallurgie. Pour la ferme 6, il faut toutefois mentionner l'existence de l'enclume cat. 824, une dizaine de mètres à l'ouest du foyer métallurgique 59.

Dans les unités qui n'ont pas livré de telles structures artisanales, les fermes 1 et 5 sont les exemples les plus nets. Dans la première, la présence d'outils est significative mais dans des conditions souvent particulières. Plusieurs outils intacts (cat. 169, 172, 174, 176) ont été, en effet, mis au jour dans des structures sans lien avec la métallurgie. Cette relation non fonctionnelle entre outillage et structure laisserait-elle entrevoir un mode de dépôt particulier ou s'agit-il du seul hasard des découvertes? Il est possible – dans le

cas notable des outils retrouvés dans le remplissage de cabanes en fosse – d'envisager une forme d'entreposage et donc, une attention particulière portée à une portion de l'outillage. Le nombre remarquable d'outils de la ferme 5 renforce l'image d'une métallurgie mal perçue à l'intérieur de cette unité, même si leur répartition ne correspond pas franchement à celle des déchets métallurgiques dans les deux zones de rejet (déchets de forge y compris). Cet outillage est réparti de manière anecdotique dans la zone d'activité 3 et dans la ferme 3; il n'est attesté ni dans la zone d'activité 2, ni dans la ferme 4.

Localisation détaillée:

- F1 1 ciseau droit, 4 ciseaux à pointe, 5 poinçons, 1 ciselet
- F2/Z1 1 enclume à tige, 1 pince, 1 ciseau droit, 5 ciseaux à pointe, 1 ciselet, 3 poinçons, (+ 1 fragment d'outil non identifié dans le bas foyer 187)
- Z3 1 pince, 1 ciselet
- Z4 3 ciseaux à pointe (dont 1 dans le bas foyer 15)
- F3 1 ciseau à pointe
- F5 2 ciseaux droits, 1 ciseau à pointe, 2 ciselets, 1 poinçon, 1 lime
- F6 1 enclume à tige, 1 ciseau à pointe, 1 poinçon.

Le travail du bois

Les outils dédiés au travail du bois sont étonnamment peu nombreux si l'on songe à l'importance de cette matière première dans la construction ou dans l'entretien des bâtiments du hameau. Le gros outillage indispensable à l'abattage et au débitage des arbres est par exemple totalement absent. Si les ciseaux et les mèches parlent davantage en faveur d'une phase de fabrication, le probable fer de rabot se rapporterait plutôt à des travaux de finition. La répartition spatiale d'un si faible échantillonnage est sans signification. Le seul fait à observer est sa présence exclusive dans des zones d'habitat, la hache d'aspect laténien de la zone d'activité 4 étant un cas réservé.

Localisation détaillée:

- F1 1 mèche à cuiller
- F2/Z1 1 mèche à cuiller, 1 fer de rabot
- Z4 1 hache
- F3 1 hache
- F5 2 ciseaux droits, 1 mèche hélicoïdale

Le travail des textiles

Si l'on veut donner une image plus complète de cette activité artisanale, il convient de prendre en compte les autres ustensiles en os et en terre cuite. De même, certains objets usuels comme les forces se voient fréquemment attribuer un usage artisanal dans la littérature, en relation privilégiée avec le travail des textiles. Les activités de tissage sont ici attestées par la découverte d'une lame de tisserand et d'un probable peson en plomb, seul élément à ne pas être en fer pour la catégorie «outillage». Le solde des objets est exclusivement composé d'aiguilles, vraisemblablement des aiguilles à coudre malgré l'absence de chas. Si cette fonction reste la plus probable, l'emploi d'aiguilles pour la fabrication d'articles en cuir reste envisageable. La présence de cet outillage ne s'observe que dans les zones d'habitat les plus importantes.

Localisation détaillée:

- F1 3 aiguilles
- F2/Z1 1 aiguille, 1 fusaiole en plomb
- F5 1 lame de tisserand
- F6 2 aiguilles.

Le travail du cuir

L'outillage relatif au travail du cuir peut déjà être mis en œuvre au stade de la préparation des peaux par le tanneur, ou lors de la confection proprement dite d'articles en cuir par des artisans comme le cordonnier ou le sellier. Parmi les nombreux accessoires vestimentaires retrouvés à Develier-Courtételle, une bonne partie devait se fixer sur un support en cuir – le terme de buffleterie trouvant ici sa véritable justification. Un petit artisanat en rapport direct avec cette activité peut être envisagé. Cet outillage est formé pour l'essentiel d'alènes convenant bien au perçage du cuir. La forte majorité est issue des fermes 2 et 5, mais avec une seule attestation dans le remplissage d'une cabane en fosse (cat. 317). L'unique autre type d'outil était destiné à la phase initiale de préparation et de découpe des peaux (cat. 664). Si les zones d'habitat à l'exception de la ferme 4 sont concernées, le travail du cuir est surtout attesté dans les fermes 2 et 5. Dans le premier ensemble, la répartition est même exclusivement centrée sur le bâtiment A et ses environs immédiats situés plus au sud, en direction de la berge du ruisseau. Dans la ferme 5, la répartition s'effectue dans la partie orientale de l'unité ainsi qu'à proximité de la cuisine, de part et d'autre du bâtiment A.

Localisation détaillée:

- F1 1 alène
- F2/Z1 7 alènes
- Z3 1 alène
- F3 1 alène
- F5 10 alènes, 1 couteau demi-lune
- F6 1 alène.

Le travail des matières plastiques

Outil délicat à classer en dehors de tout contexte, la spatule peut convenir à tout artisan mettant en forme des matières plastiques telles le mortier, le plâtre, l'argile ou encore la cire. Les six exemplaires recensés sont tous issus de zones d'habitat du hameau de Develier-Courtételle.

Localisation détaillée:

- F1 1 spatule
- F2/Z1 1 spatule
- F4 1 spatule
- F5 3 spatules.

Les activités agro-pastorales

Les trop rares outils agricoles signalés sont des couteaux agricoles et un ustensile bien incertain ; leur présence majoritairement dans la partie orientale du site est sans signification. Ils mettent surtout en évidence un très net déficit en objets liés aux activités agricoles sur le site de Develier-Courtételle ; par exemple, l'absence complète d'instruments aratoires. Une possible explication pourrait être l'éloignement des espaces consacrés aux travaux des

champs – mais la situation est similaire pour les travaux forestiers – par rapport aux zones d'habitat, interdisant du coup la découverte de tels objets.

Un peu plus nombreux, les ustensiles liés à l'élevage ne consistent qu'en sonnailles. Leur distribution exclusive dans les fermes 1 et 2 ne coïncide pourtant pas, à une exception près, avec celle des battants de sonnailles retrouvés, eux, dans la ferme 5. Cette distorsion ne trouve pas de véritable explication. Les conditions de conservation ou la fragmentation des sonnailles ne sont même pas un facteur justificatif puisque les tôles plaquées d'un alliage cuivreux, éventuels fragments de sonnailles, sont elles aussi sous-représentées dans la ferme 5.

Localisation détaillée:

- F1 1 serpette, 4 sonnailles, 1 battant de sonnaille
- F2/Z1 2 sonnailles
- F4 1 émondoir
- F5 1 serpette, 3 battants de sonnaille
- F6 1 dent de râteau.

6.3.3 Les autres regroupements catégoriels

Pour ce qui est des autres regroupements – caractérisés par du mobilier métallique à caractère « domestique », « personnel » et de « construction » – les objets offrent une très grande variété typologique. Malheureusement cette présence est rarement sérielle. Cette situation est apparue dès le début de l'étude comme peu favorable à l'analyse spatiale et n'a du reste permis aucune interprétation détaillée. Celle-ci se limitera donc à une simple présentation sous forme de tableaux détaillés (fig. 238-240). Ils permettent de constater qu'une fois de plus les fermes 1, 2 et 5 sont les unités les plus largement pourvues quantitativement et qualitativement. Suivent d'assez loin les fermes 3, 4 et 6, ainsi que la zone d'activité 4. Pour les deux dernières unités, les zones d'activité 2 et 3, la présence de mobilier métallique est anecdotique et sans signification.

6.4 Considérations technologiques et chronologiques relatives aux ensembles de Develier-Courtételle

L'exploitation des données de la répartition spatiale met en évidence une répartition très différenciée des déchets scorifiés, des déchets de forge et du mobilier métallique. Le parcours d'un déchet se distingue par le fait qu'il ne constitue pas un produit intentionnel : il n'est que l'empreinte laissée par un processus technique. De toute évidence, ces résidus ne sont, pour la plupart, évacués qu'à une distance minimale nécessaire. Le mobilier suit, pour sa part, le chemin de tout objet fonctionnel : il accompagne son propriétaire, peut subir des réfections et achève son parcours, soit usé, soit recyclé ou perdu. De ce fait, il est plutôt rare d'en trouver trace dans les zones d'activité métallurgique ou dans les zones d'accumulation de déchets. Vu les grandes quantités de déchets et les nombreuses structures retrouvées sur le site de Develier-Courtételle, la fabrication en grand nombre d'objets en fer ou en acier est une réalité incontestable. Mais pour déterminer si la production de ces matériaux est d'origine locale ou non,

Équipement domestique	F1	F2 / Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total
Couteau	23	21	3	1	1	4	6	17	1	77
Forces	2	4				1	1	5		13
Usuel	Fiche à bélière	6	4	1	2	1	1	9		24
	Briquet		1							1
	Pincette à épiler	1	1					1		3
	Anse de seau	1	1			1		1	1	5
	Anse de bassin							1		1
Cuisine	Raclette	2						2		4
	Pelle à feu							1		1
	Cuillère	1								1
Total		36	32	4	1	3	7	8	36	130

Fig. 238 Présentation détaillée du regroupement catégoriel «domestique».

Équipement personnel	F1	F2 / Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total
Buffleterie	Ceinture	10	8	2	1	1	2	12	3	39
	Chaussure / jambière		1	1	1		2	3	1	9
	Buffleterie	5	6	1	3		2	19		36
	Fibule	2	1		1			1		5
	Agrafe							2		2
	Chaînette		1					1	1	3
Parure	Épingle	1	1					4	1	7
	Boucle d'oreille								1	1
	Bracelet		1							1
	Bague		2					2		4
	Anneau		1					1		2
	Lame de scramasaxe		2							2
	Garde de scramasaxe							1		1
Armement	Élément de fourreau	4	2	2	2	2		5		17
	Élément de baudrier							2		2
	Pointe de flèche	5	1				1	4		11
	Eperon	4	3						1	8
Equestre	Mors	3	1					1		5
	Élément de harnais	1	1					3		5
Total		35	32	3	8	3	3	7	61	160

Fig. 239 Présentation détaillée du regroupement catégoriel «personnel».

Construction et aménagement	F1	F2 / Z1	Z2	Z3	Z4	F3	F4	F5	F6	Total
Quincaillerie	Anneau et maillon	5	2			2	4	10		23
	Construction	5	2				3	9	2	21
	Serrurerie	2	3			1	2	1		9
	Meuble	1	1							2
Clou	Clou	30	43	4	6	12	7	25	123	262
	Tête de clou	3	3				1	10		17
	Tige de clou	5	9	1	1	1	4	5		26
Total		51	63	4	7	13	11	39	158	360

Fig. 240 Présentation détaillée du regroupement catégoriel «construction».

	F1			F2 / Z1				Z4			F3			F4		F5				F6			Origine						DEV-CTT		
	ext.	loc.	ind.	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	total	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	total	ext.	loc.	ind.	nb	%	nb	%	nb	%	nb
Déchet	2	1	3	2	4	3	9	1	2	3				1	1	2	2	4	2	2	9	21	10	30	3	38	22	27			
Objet	7	2	1	12	13	2	27	1	1	1	3	1	1			8	7	1	16	4	4	33	79	23	70	5	63	61	73		
Total éch.	9	3	1	14	17	5	36	2	3	1	6	1	1	1	1	10	9	1	20	6	6	42	100	33	100	8	100	83	100		
Total mobilier	373			482				134			61		147		834				91									2233			

Fig. 241 Origine du métal des déchets et objets métalliques analysés. Présentation par ensemble (fermes ou zones d'activité) et calculs de représentativité de l'échantillonnage.

il convient de définir le métal typique produit dans la vallée de Delémont à cette époque. En outre, affirmer que le mobilier retrouvé en contexte archéologique sur ce site est un produit de cette fabrication ne va pas de soi. En ce sens, la définition d'un groupe de référence est un outil essentiel pour préciser la spécificité de la production locale.

Tel qu'il a été défini à Develier-Courtételle par les analyses métallographiques et chimiques (chap. 3.5), le groupe de référence du métal d'origine locale comprend pour l'essentiel du matériel provenant de trois ensembles (F2/Z1, Z4 et F5). Celui issu des fermes 1 et 6 présente presque toujours une composition chimique divergente (fig. 241) : celle-ci laisse supposer que l'origine du métal est à chercher ailleurs que dans la vallée de Delémont. A l'intérieur du groupe de référence lui-même – mais sur la base des seuls déchets riches en fer (scories ferrugineuses et déchets de forge) – une différenciation en deux sous-groupes est envisageable. Le premier est caractérisé par un enrichissement en arsenic et en nickel, avec une teneur plus faible en manganèse; dans le second groupe, ces rapports ont tendance à s'inverser (fig. 242-243). Cette différenciation, basée sur des variations très étroites de la composition chimique au sein même des sous-groupes, se retrouve aussi dans la répartition spatiale. Les pièces analysées provenant de la zone d'activité 4 appartiennent presque toutes au premier sous-groupe; dans la ferme 2 et la zone d'activité 1 elles appartiennent toutes au second groupe, avec une nuance en zone de rejet 3 où un enrichissement en arsenic est marqué (fig. 242).

Une autre prise en considération est celle des données rassemblées dans les chapitres 4 à 5 : l'étude du mobilier métallique caractéristique s'attache à définir le début et la fin de l'occupation des diverses zones de l'habitat de Develier-Courtételle et de quelques rares ensembles plus finement analysables. Cependant, le petit nombre de pièces caractéristiques n'autorise qu'un examen global et ne permet pas de saisir toutes les finesses de leur évolution chronologique. Les objets en bronze prennent ici une valeur élevée, proportionnellement à leur représentativité numérique. Le constat qui s'impose est que les grandes zones d'habitat les plus riches en mobilier métallique (à savoir les unités F1, F2/Z1 et F5) sont également celles dont la durée d'occupation est la plus longue.

Lorsque cela était possible, les deux sources de données – approche technologique et typonologique – ont été confrontées l'une à l'autre. Elles ont servi au commentaire de chacun des ensembles du hameau de Develier-Courtételle.

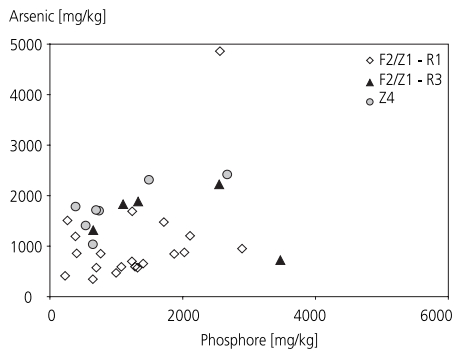


Fig. 242 Groupe et sous-groupes de référence pour le métal d'origine locale. Proportion arsenic/phosphore.

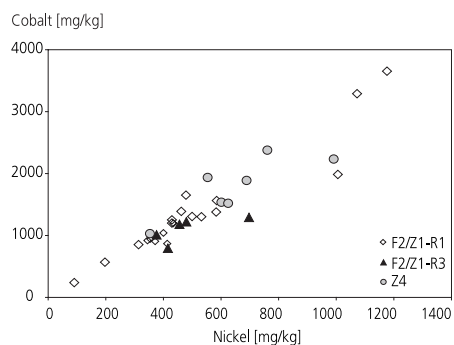


Fig. 243 Groupe et sous-groupes de référence pour le métal d'origine locale. Proportion nickel/cobalt.

6.4.1 La ferme 1

La ferme 1 ne comporte pas d'unité de découverte significative pour le mobilier métallique et manque de subdivisions stratigraphiques. Les quelques objets issus d'ensembles particuliers ne paraissent pas être en relation fonctionnelle avec leur contexte de découverte. Ceci est manifeste dans le cas de plusieurs outils attribués au travail du métal (cat. 169, 172, 174 et 176). Les deux objets pour lesquels l'analyse a pu déterminer une origine locale sont les ciseaux de forge cat. 172 et 190. Les vestiges en rapport avec les débuts de l'occupation sont peu nombreux. Parmi ceux-ci, la petite boucle de ceinture cat. 234 et le ferret cat. 242 sont assimilés, par leur morphologie, à des éléments de buffleterie de la seconde moitié ou de la fin du 6^e siècle. En revanche, l'occupation est très bien documentée pour les trois premiers quarts du 7^e siècle par des objets de buffleterie et de parure, ainsi que par plusieurs éléments en lien avec l'armement. La détermination d'une origine externe pour les cat. 238, 239 et 261 n'entre par exemple pas en conflit avec les considérations culturelle ou stylistique; pour les deux premiers objets en particulier, la datation retenue – à savoir le milieu du 7^e siècle – correspond d'ailleurs au terme de la grande phase de travail du métal à Delevier-Courtételle. La fin du 7^e siècle est représentée notamment par la contre-plaque de ceinture très étroite cat. 181 et la petite fibule en forme de cheval cat. 244. Pour dater l'abandon de la ferme 1, la présence de deux boucles simples en forme de D (cat. 235 et 236) est décisive; une datation dans la première moitié du 8^e siècle peut être retenue, du moins pour la première d'entre elles. Sur la base du mobilier métallique, il est possible de dire que la ferme 1 est la zone la plus longuement occupée du site. Ces conclusions, en accord avec celles de l'étude de la céramique, la situent dans une large fourchette de datation, entre la fin du 6^e siècle et la première moitié du 8^e siècle.

6.4.2 La ferme 2 et la zone d'activité 1

Du point de vue technologique, une distinction s'opère entre la zone de rejet 1 dépendant des trois bas foyers 187, 188 et 189 d'une part, et la zone de rejet 3 liée aux bas foyers 565 et 567 d'autre part. Dans la première, les trois phases de la post-réduction – épuration, compactage et forgeage – sont attestées en proportions très similaires. Il faut donc en déduire que pour la fabrication, on passe en continu de l'éponge brute à l'objet fini. Cette manière de faire a pour conséquence que les principaux types de calottes ne peuvent être attribués à une phase précise de la post-réduction. Toutes les calottes de forgeage se démarquent par leur petite taille, ce qui est la conséquence de la fabrication d'objets de petite taille. Quelques indices concrets de cette fabrication émanent des déchets de forge et en particulier de l'ébauche cat. 104, avec les nombreux fragments en forme de tôle ou les clous. Le mobilier dont l'origine a pu être précisée – sept produits locaux et deux externes – est ici en phase avec ces considérations technologiques. Le remplissage du bas foyer 187 a livré la tête d'outil cat. 340, fabriquée à partir d'un métal d'origine locale et retrouvée en association avec deux fragments de peigne du 6^e siècle (CAJ 15, chap. 13).

Dans la zone de rejet 3, les proportions sont différenciées: l'épuration est peu présente et le compactage domine, le forgeage restant dans des proportions similaires aux précédentes. Il en découle que soit l'éponge travaillée sur place a déjà été nettoyée au préalable (situation attestée à Boécourt, Les Boullies), soit elle est composée d'un acier pauvre en scorie. Une différence tout aussi fondamentale a trait aux calottes de forgeage dont la taille est cette fois considérable. Ceci parle en faveur d'une fabrication d'objets d'une taille sensiblement plus importante. Les deux ciseaux à pointe cat. 356 et 357, particulièrement massifs, viennent renforcer cette hypothèse technologique.

Le comblement primaire de la cabane en fosse R, associée au contexte de la zone de rejet 5, a livré comme éléments caractéristiques la boucle de ceinture cat. 321 (R117-7) et le bracelet orné cat. 322 (R117-7 à 2). Attribués respectivement au début et à la seconde moitié du 7^e siècle, ils doivent cependant être considérés comme des pièces résiduelles («Altstücke»). L'étude de la céramique (CAJ 15, chap. 5.3.1) a en effet montré, et ce malgré la microstratigraphie détaillée en différentes phases, que le comblement primaire de cette cabane en fosse a dû intervenir dans un laps de temps relativement court, et que son abandon se situe tout à la fin de l'occupation de la ferme 2 et de la zone d'activité 1, soit vers le milieu du 8^e siècle. Cette structure illustre une situation plus similaire aux contextes d'habitat, la part des objets d'origine externe surpassant désormais celle des objets dont la fabrication locale peut être supposée (cat. 319, 321 et 322).

Considéré dans sa globalité, cet ensemble montre l'apparition d'un mobilier caractéristique vers 600 ap. J.-C. avec deux objets produits dans les ateliers de forge de Delevier-Courtételle, à savoir les lames de scramasaxe cat. 350 et 415. La fabrication du cat. 415 est exceptionnelle, avec l'emploi de deux matériaux: l'un d'origine locale et l'autre d'origine externe mais sans doute produit dans le Grand-Val (cette interprétation se fonde sur l'analyse du

métal de certaines scories ferrugineuses ; chap. 3.3.2.). Pour suivre l'évolution de cette occupation, les objets de buffletererie sont la source d'information quasi exclusive. Parmi les éléments devant marquer le terme de l'occupation se trouvent deux ferrets tardifs (cat. 408 et 409) et les deux petites garnitures de ceinture à plaque rectangulaire repliée (cat. 400 et 401) qui sont datables entre la fin du 7^e et le début du 8^e siècle. L'unique exemplaire d'éperon à rivets mis au jour sur le site (cat. 418) appartient également à la ferme 2 et date encore plus assurément du 8^e siècle.

6.4.3 La zone d'activité 2

Pauvre en mobilier métallique, cette zone d'activité ne fournit pratiquement aucune donnée exploitable. La forme ancienne du rivet de fourreau de scramasaxe cat. 464, issu du gué 20, est le seul indice d'une occupation remontant au moins aux débuts du 7^e siècle.

6.4.4 La zone d'activité 3

Également pauvre en mobilier métallique, la zone d'activité 3 offre toutefois quelques données plus explicites que celles de la zone d'activité précédente. Dans la cabane en fosse B par exemple, la plaque-boucle de chaussure cat. 476, avec son décor à placage dominant, ainsi que le rivet de fourreau en bronze cat. 477 marquent assez bien le deuxième tiers du 7^e siècle. Cependant, les datations ne paraissent pas déborder de beaucoup le milieu du 7^e siècle, avec en particulier la plaquette verticale décorée cat. 483.

6.4.5 La zone d'activité 4

L'absence de liens évidents entre la zone de rejet 2 – la plus grande du site – et les structures métallurgiques concernées empêche de qualifier la fabrication effectuée dans cet ensemble. Ceci est valable malgré la présence du bas foyer 15, qui contient une masse de déchets prodigieuse, mais avec une proportion particulière des calottes qui ne permet pas d'esquisser les produits spécifiques issus de cette zone. Paradoxalement, certains types de calottes se rattachent à une étape précise de la postréduction mais la taille standard des calottes de forgeage et l'absence d'objets caractéristiques rendent impossibles l'identification de cette abondante production. Du point de vue du mobilier, les rares indices en lien avec la métallurgie sont les trois ciseaux à pointe cat. 497, 498 et 508. Si la particularité du premier est de provenir du bas foyer 15, celle du deuxième exemplaire retrouvé dans les bassins est d'être fabriqué avec un métal d'origine externe.

L'étude microstratigraphique du remplissage de la zone des bassins a mis en évidence les différentes phases de son comblement (CAJ 13, chap. 9.4). Les caractéristiques typologiques des trois objets significatifs issus de ce remplissage sont en bonne concordance avec leurs insertions stratigraphiques respectives. Pour les ferrets décorés cat. 503 (phase D-VII) et cat. 502 (phase D-IX), une datation élargie respectivement dans la première moitié et le milieu du 7^e siècle, peut être proposée. La position de la fibule ansée symétrique cat. 504 (phase D-XI) correspond quant à elle à la phase d'abandon de cette zone, vers 670 ap. J.-C.

Le reste de la zone d'activité 4 ne comprend aucun autre indice relatif aux limites de la durée d'occupation.

6.4.6 La ferme 3

La ferme 3 n'offre pas d'unité de découverte significative et seuls deux objets caractéristiques ont été retrouvés dans les couches d'occupation. La plaque-boucle de chaussure cat. 534, par son décor damasquiné, appartient encore au premier tiers du 7^e siècle. La barrette de suspension de fourreau de scramasaxe cat. 535 n'est pas envisageable avant le deuxième tiers du 7^e siècle, mais ne doit pas forcément remonter trop loin dans la seconde moitié de ce siècle. Ces données ne permettent pas de grandes considérations. Une période d'utilisation restreinte à la première moitié du 7^e siècle correspondrait cependant assez bien avec les données de l'étude de la céramique (CAJ 15, chap. 5.6).

6.4.7 La ferme 4

Le mobilier caractéristique de la ferme 4 est limité en nombre mais témoigne d'une longue période d'occupation. Le début de celle-ci pourrait encore se situer dans le 6^e siècle, avec le ferret en bronze cat. 564 dont la morphologie s'apparente à celle des types anciens. La plaque-boucle de ceinture à plaque rectangulaire repliée cat. 561 marque une occupation qui pourrait se prolonger jusqu'au terme du 7^e siècle.

6.4.8 La ferme 5

La particularité de cet ensemble est la présence marquée de déchets métallurgiques, de déchets et d'outils de forge. A travers ce matériel, deux zones de rejet ont pu être perçues. Pourtant, l'absence de structures en lien avec la métallurgie est totale. L'explication la plus vraisemblable de cette situation est sans doute celle qui fait intervenir à nouveau des phénomènes d'érosion ; la ferme 5 est en effet délimitée à l'ouest, au nord et à l'est par des anciens méandres du ruisseau La Pran (CAJ 13, chap. 13.1). On note simplement que la zone de rejet orientale semble pointer, à l'angle nord-est de la ferme 5, sur quelque chose aujourd'hui disparu.

Le bâtiment A, considéré comme une unité spatiale bien définie, ne comporte pas d'horizon clairement stratifié. L'objet le plus caractéristique, la petite garniture de ceinture à plaque rectangulaire repliée cat. 600 de la fin du 7^e siècle, marque peut-être plus l'abandon de la ferme 5 que celui du bâtiment A proprement dit. Dans la cabane en fosse M, la plaquette verticale de ceinture à plusieurs éléments cat. 628 et le rivet de fourreau de scramasaxe cat. 631 évoquent au moins le deuxième tiers du 7^e siècle. Il en va de même pour la cabane en fosse J et la cuisine qui toutes les deux ont livré, sans relation fonctionnelle, des barrettes de suspension de fourreau de scramasaxe datables à partir du deuxième tiers du 7^e siècle (cat. 624 et 641).

Le reste du corpus métallique de la ferme 5 ne peut être différencié et aucun objet antérieur à 600 ap. J.-C. n'a été mis en évidence. Mais le deuxième tiers ou le troisième quart du 7^e siècle sont particulièrement bien représentés par des objets de buffleterie et de parure, ainsi que par plusieurs éléments liés à l'armement. La fibule ansée symétrique incrustée de verre imitant des grenats cat. 724 et la plaque losangique d'un baudrier d'épée de type Civezzano cat. 733 peuvent être situées à la transition entre les phases JM II et JM III, période retenue pour l'abandon de la

ferme 5 (CAJ 13, chap. 13.6). Pourtant des éléments tardifs de buffleterie, dont les plaques de ceinture très étroites cat. 707 et 709 ainsi que la plaque-boucle déjà évoquée dans le contexte du bâtiment A, inciteraient à dater plutôt de la fin du 7^e siècle l'abandon ou la destruction de cette ferme.

6.4.9 La ferme 6

La composition des calottes de cet ensemble se démarque par l'importance du type fluide. Malgré le faible échantillonnage, on observe une nouvelle fois un équilibre quantitatif entre l'épuration et le forgeage. Comme le type le mieux attesté est aussi bien présent dans ces deux étapes, il est fort probable que la fabrication s'est déroulée en continu de l'éponge brute à l'objet fini. A en juger par la petite taille des calottes de forgeage, les objets produits devaient être eux aussi plutôt de petite taille. Mais à ce stade de nos connaissances, la problématique de l'origine

externe de toutes les pièces métalliques analysées ne peut pas être résolue.

Le mobilier de la ferme 6 est considéré dans son ensemble, vu son petit nombre et le manque de toute subdivision stratigraphique. Les rares objets caractéristiques marquent encore, semble-t-il, la fin du 6^e siècle avec l'épingle à extrémité spatulée cat. 838, mais attestent essentiellement une occupation durant la première moitié du 7^e siècle. Sont concernés ici quelques éléments de buffleterie mais aussi l'éperon à passant cat. 839 plus précisément datable dans le deuxième tiers du 7^e siècle. Par contre, la boucle d'oreille incrustée de verre imitant des grenats cat. 836 caractérise déjà le troisième quart du 7^e siècle, voire même au-delà. Mais une telle donnée chronologique tardive n'est pas du tout confirmée par l'étude de la céramique. Il faut donc présumer que cet objet de parure isolé a été perdu après l'abandon de la ferme 5.

7

Synthèse sur le travail du fer au Haut Moyen Age

Ludwig Eschenlohr
Vincent Friedli

avec la collaboration de Marianne Senn et de
Céline Robert-Charrue Linder

Les fouilles archéologiques du hameau de Develier-Courtételle ont révélé l'existence de dix ensembles distincts, soit six fermes (F1 à F6) et quatre zones d'activité (Z1 à Z4), qui s'échelonnent le long du ruisseau La Pran (CAJ 13). Cet habitat daté du Haut Moyen Age a abrité divers artisans, en particulier des métallurgistes dont l'activité a été très intense. En plus des quelque quatre tonnes de déchets métallurgiques récoltés, quinze structures liées au travail du fer ont été mises en évidence. Parmi celles-ci, les bas foyers sont au nombre de douze – dont quatre hypothétiques – et les aires de forge au nombre de trois. A elle seule, la zone d'activité 1 localisée en bordure septentrionale de la ferme 2, et spécifiquement dédiée au travail du fer, en renferme les deux tiers. Un deuxième secteur, la zone d'activité 4, se trouve quant à lui à l'écart de l'habitat; il a livré d'importantes quantités de déchets scorifiés rejetés dans les bassins, suite à leur abandon. Enfin, la dernière attestation significative provient de la ferme 6, c'est-à-dire d'un contexte d'habitat, où une activité de polymétallurgie est révélée par un bas foyer de raffinage et de forge (fig. 244).

Ensemble	Structure	Cal. AD 2σ	Typologie moyenne ajustée	CAJ 13 référence
F1	bas foyer 253	390-650	550-600	chap. 5.7
Z1	bas foyer 187	250-600		
Z1	bas foyer 410	330-640		
Z1	bas foyer 567	340-640	550-650	chap. 6.7
Z1	bas foyer 560	430-620		
Z1	bas foyer 188	430-650		
Z1	bas foyer 189	430-690		
Z4	bas foyer 15	430-640	620-675	chap. 9.5
Z4	fosse 13	560-670		
F6	bas foyer 59	430-660	605-654	chap. 14.6
DEV-CTT			550-675	

Fig. 244 Datations absolue et typologique des différentes structures liées à l'activité métallurgique.

Cette métallurgie n'est cependant pas caractérisée, sur place, par une chaîne opératoire complète: la phase productive – à savoir la réduction du minerai de fer – n'y est pas confirmée (chap. 3.4.2).

	F2 / Z1				F2 / Z1 - R1				Z4				F5				Origine				DEV-CTT			
	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	ind.	total	ext.	loc.	ind.	total	nb	%	nb	%	nb	%	nb	%
Ferrugineuses	8	18	9	35	6	9	8	23	1	4	2	7	0	1	0	1	9	20	23	52	12	27	44	100
Déchets de forge	2	4	3	9	0	2	1	3	1	2	0	3	2	2	0	4	9	41	10	45	3	14	22	100
Total éch.	10	22	12	44	6	11	9	26	2	6	2	10	2	3	0	5	18	27	33	50	15	23	66	100
%	31	69			35	65			25	75			40	60			18	35	33	65			51	100

Fig. 245 Origine du métal des scories ferrugineuses et des déchets de forge analysés. Présentation par ensemble (fermes, zones d'activité ou zones de rejet) et calculs de représentativité de l'échantillonnage.

Ce hameau est localisé au cœur du district sidérurgique du Jura central suisse dont l'émergence concorde avec le début du Haut Moyen Age. Les données historiques relatives à cette activité durant cette période font encore presque totalement défaut et les indices archéologiques sont encore peu nombreux (Eschenlohr 2001, p. 153). Toutefois, une septantaine d'ateliers de production datent de cette époque. Ces ateliers se concentrent tout d'abord au Grand-Val, puis dans la vallée de Delémont et au Val Terbi (fig. 4).

7.1 Approche technologique

7.1.1 Les caractéristiques des étapes de la postréduction

Ce sont des éponges de fer qui ont été raffinées dans les ateliers de Develier-Courtételle, afin d'être directement transformées en objets. Cette affirmation est basée sur l'identification de fragments d'éponges correspondant à différents stades de travail, en fonction de l'état de déformation du métal (chap. 3.3). Ces différentes phases d'élaboration peuvent également être reconnues en observant la morphologie des scories en forme de calotte (chap. 3.2.17). Il est ainsi possible d'identifier des scories de raffinage, qui contiennent une forte proportion de métal, mais aussi des teneurs élevées en aluminium, en vanadium et en chrome, ces composants chimiques étant les vestiges de la scorie de réduction refondue. Des scories de forgeage ont également été repérées sur la base de trois critères:

- la présence d'inclusions de métal travaillé;
- la présence de teneurs élevées en nickel, en cobalt et en arsenic;
- et bien entendu, l'absence des traits caractéristiques de la phase du raffinage.

Le passage direct de l'éponge peu ou pas travaillée à l'objet fini est attesté, à notre avis, par les observations suivantes:

- les principales catégories de calotte correspondent à toutes les étapes de la postréduction;
- les produits semi-finis, comme les barres ou les lingots, sont absents du site;
- la proportion entre scories de raffinage et scories de forgeage est équilibrée.

7.1.2 L'origine du métal

Dans les limites de l'échantillonnage soumis à l'analyse – à savoir 0,5% du corpus des scories ferrugineuses et des déchets élaborés (chap. 3.5) – il ressort que le métal travaillé à Develier-Courtételle est d'origine locale pour les deux tiers, et d'origine externe pour un tiers (fig. 245). La définition d'un métal local dépend de trois données essentielles:

- le rapport existant entre nickel et cobalt;
- l'enrichissement marqué en phosphore et en arsenic;
- les similitudes observées avec des produits issus d'autres ateliers sidérurgiques de la vallée de Delémont (Eschenlohr 2001).

Pour un métal d'origine externe, la détermination est nettement plus délicate. Il convient d'abord de mettre en évidence les valeurs s'écartant de celles définies auparavant pour le groupe référentiel. Mais ces différences n'impliquent pas automatiquement une provenance géographique différente, à longue distance. Elles peuvent s'expliquer par des raisons techniques, à savoir l'emploi d'un autre procédé (réalisation de fonte, par exemple) ou encore l'influence, en post-réduction, du séjour du métal dans le bain de scorie.

Une origine qualifiée d'«externe» n'implique donc pas nécessairement des échanges à longue distance. Par exemple, trois pièces ainsi étiquetées proviennent probablement du Grand-Val (cat. 34, 35 et 415). Mais il faut oser l'admettre, on ne sait toujours rien quant à l'origine réelle des objets qualifiés d'externes. A ce stade de nos connaissances, les phénomènes de recyclage de «vieux métal» sont totalement anecdotiques et n'apportent aucune clarté quant à la distinction entre provenance locale et provenance externe (chap. 3.3.1). Tout aussi difficile à cerner est l'existence d'un commerce d'éventuels produits semi-finis, dont on ne sait rien, ni pour le Haut Moyen Age, ni pour les régions dont il est question ici.

En conclusion, les résultats des analyses métallographiques effectuées sur des objets concordent parfois avec les données archéologiques, comme le montrent les exemples suivants :

- l'outillage en ferme 2 et zone d'activité 1 (R1) ou en ferme 6, en métal local, concorde avec le lieu de découverte des objets qui est une zone d'activité métallurgique (chap. 6.3.);
- les éléments de ceinture cat. 238 et 239 (chap. 4.2.4), dont l'origine externe du métal confirme l'attribution typologique de ces objets;
- les scramasaxes cat. 350 et 415 (chap. 4.2.6), dont la fabrication d'origine locale est contemporaine de la grande phase d'activité métallurgique – entre 550 et 650 ap. J.-C. En revanche, le bracelet cat. 322 dont le métal est d'origine externe date d'une phase postérieure (chap. 4.2.5).

7.1.3 La qualité du métal

Une considération essentielle sur les caractéristiques et les qualités du métal est que le produit de départ est un acier bien forgeable (teneur en carbone de 0,3-0,4 % masse). Les fragments métalliques non travaillés présentent en moyenne une teneur en carbone de 1 % masse – soit un acier hypereutectoïde. Cette teneur diminue à 0,4 % masse sur les pièces comportant quelques traces de travail et n'atteint plus que 0,2 % masse dans le groupe des déchets plus élaborés. La teneur en carbone va diminuant avec l'avancement du processus d'élaboration. Autrement dit, le procédé de la décarburation est employé systématiquement. Cette observation confirme et renforce même l'existence d'une filière «acier», particulière au Jura dès le Haut Moyen Age (Eschenlohr 2001, p. 128).

Ceci peut expliquer la faible proportion des calottes d'épuration : l'éponge de départ, constituée d'acier et pauvre en scorie, n'a sans doute pas eu besoin d'un dégrossissage important. Ce constat est valable pour l'ensemble du site, à l'exception notable de la zone de rejet 1 de la ferme 2 (chap. 6.2.2). La part équivalente de résidus attribuables au compactage et au forgeage parle en faveur d'un processus continu et mixte, à savoir qu'une seule et même calotte peut posséder les caractéristiques de ces deux étapes de la chaîne opératoire. Cette observation est confirmée par l'impossibilité d'attribuer, pour un ensemble donné, un type de calotte à une étape en particulier (chap. 6.2).

La caractérisation de la nature de la production des objets est elle aussi problématique, de même que l'est la quantification des objets fabriqués sur place. Un premier faisceau d'indices, donné déjà par la seule identification typologique, est la présence incontestable de déchets de forge et d'un outillage destiné au travail du métal. L'étude des pièces analysées fournit la seconde source en éléments de réflexion (fig. 246) : 40 % sont qualifiées de locales et 60 % d'externes. On démontre ainsi que bon nombre d'objets finis, utilisés sur place, proviennent d'ailleurs. La filière «acier» sort elle aussi renforcée de l'étude analytique des objets, les pièces de fabrication locale ayant une teneur moyenne en carbone plus élevée que celles dont l'origine est externe (chap. 4.4.2).

La proportion de l'armement fabriqué localement est exceptionnelle avec toutefois seulement deux lames de scramasaxe. Le taux de l'outillage et des fragments, en particulier ceux en forme de

Catégorie	Locale cat.	Externe cat.	Total nb	Locale %	Externe %
Outillage	172, 190, 340, 357, 369, 511, 590, 644, 665, 666, 672	196, 346, 353, 356, 498, 592, 648, 669, 670, 671	21	52	48
Agriculture / élevage		205	1	0	100
Usuel	375, 377	175, 319, 345	5	40	60
Buffleterie		238, 239, 321, 403, 832	5	0	100
Parure		322	1	0	100
Armement / équestre	350, 415	261	3	66	33
Clou	429, 763	275, 428, 767, 844	6	33	66
Objet non défini	336, 432	434, 612, 772	5	40	60
Fragment	329, 793	524, 854, 861	5	40	60
Fragment - tôle	443, 456	455, 457	4	50	50
Total	23	33	56	41	59

Fig. 246 Les objets en fer analysés. Présentation par catégorie typologique avec détermination de l'origine du métal.

tôle, est de 50%. Par contre, aucun des objets personnels ou de parure – considérés comme plus «luxueux» – n'ont été produits sur place.

Toutefois, ces considérations ne sont pas vraiment significatives car, d'un côté, la représentativité de cet échantillonnage ne reflète pas la réalité (56 objets sur environ 2000 recensés!) tandis que de l'autre, la part du mobilier contemporain de la grande phase métallurgique est impossible à préciser. Comme la grande activité de forge – avec une fabrication excédentaire aux besoins locaux – s'arrête bien avant la fin de l'occupation de plusieurs fermes, la part des objets «importés» au cours de cette dernière phase «post-forge» pourrait être surreprésentée. L'apport, à défaut d'être quantitatif, se veut au moins qualitatif.

7.1.4 Les modes de fabrication

Les études analytiques ont mis en évidence des techniques de forge spécifiques, telles que l'assemblage par soudage ainsi que le damas d'assemblage en couche ou en bande. Mais l'absence complète, dans le matériel analysé, de la technique du damas tordu, pourtant si largement attestée au Haut Moyen Age, est à souligner. Le métal des pièces «assemblées», par soudage et par damas en couche ou en bande est, pour près des deux tiers, d'origine locale. Comme ce type de technique est appliqué sur une gamme restreinte d'objets – outillage, couteau et équipement militaire –, une filière de production locale spécialisée et de qualité semble avoir bel et bien existé à Develier-Courtételle.

Le petit nombre de déchets de forge reconnus sur le site est lié non seulement aux difficultés inhérentes à leur identification, mais aussi au fait que, généralement, on ne retrouve que peu de déchets – et encore moins les pièces en cours de fabrication – à proximité des aires de forge. En effet, le métal usagé devait probablement être recyclé et les objets, une fois terminés, employés ailleurs. En outre, le métal mal adapté à un tel recyclage – et donc abandonné dans les zones de travail – est soit fortement corrodé, soit englobé dans la masse considérable des déchets scorifiés. Sur le plan archéologique, la filiation entre déchets élaborés et objets façonnés ne peut être vraiment envisagée que pour les deux ébauches d'éléments de buffleterie cat. 104 et 159. Ce lien est paradoxal puisque les éléments de buffleterie analysés sont tous de provenance externe. Mais des considérations d'ordre chronologique ainsi que le degré de représentativité de l'échantillonnage analysé – en particulier pour les objets qualifiés de «luxueux» ou de «prestigieux» – doivent être pris en compte.

7.1.5 Les traces d'une autre métallurgie

La faible importance numérique des déchets non ferreux ne doit pas masquer l'autre volet de l'activité métallurgique pratiquée à Develier-Courtételle: la fabrication d'objets en «bronze». Même si leur panoplie n'est pas complète, il manque par exemple les moules ou les modèles, la diversité des éléments retrouvés – creusets, déchets, objets bruts de coulée ou encore matière de récupération – rend incontestable l'existence d'une chaîne opératoire, elle aussi partielle, réservée à la métallurgie des alliages cuivreux. Malheureusement, la répartition sur le site de ces témoins conservés ne met pas clairement en évidence une aire de travail spécifique (chap. 6.3.1). Aucune structure clairement associée à cette activité n'a été identifiée. Mal perçue dans sa localisation, et encore plus mal dans son organisation, cette production peut cependant être esquissée dans ses grandes lignes. Cette métallurgie ne devait revêtir qu'un caractère accessoire et non essentiel au fonctionnement domestique et artisanal du hameau. De plus, elle consistait essentiellement en une production d'objets de petites dimensions, si l'on considère les dimensions des creusets qui sont de contenance très modeste. Les deux éléments clairement identifiés comme objets en cours de fabrication (cat. 145 et 163) sont d'ailleurs de petite taille. Dès lors, l'impression générale qui découle de cette analyse est qu'il s'agit d'une petite métallurgie de réparation. Mise en œuvre ponctuellement au gré des besoins, elle ne nécessite pas obligatoirement de compétences poussées. L'emploi de matières de récupération va d'ailleurs dans le même sens.

7.2 Approche quantitative

Afin d'estimer l'importance et la taille de ces forges, il est indispensable de procéder à une approche quantitative. Dans ce cadre, il convient de tenir compte de la durée des activités métallurgiques, de l'état de conservation du corpus et de l'attribution des déchets à une étape précise de la postréduction. Ces points sont abordés ci-dessous, afin de donner une base fiable à cette estimation.

7.2.1 La durée de fonctionnement

D'après les données des chronologies relative et absolue des différents ensembles (chap. 4 et 5; CAJ 13 et CAJ 15), on peut évaluer que l'activité métallurgique s'est déroulée durant un peu plus d'un siècle (fig. 247). Toutefois, l'impressionnante quantité de déchets scorifiés de la zone d'activité 4 semble être le fruit d'une assez courte période d'activité, équivalant à environ cinquante ans. Au sein de la zone d'activité 1, dont la durée de fonctionnement s'étale sur à peu près un siècle, on ne peut guère estimer

Fig. 247 Présentation synthétique des données chronologiques par ensemble (fermes et zones d'activité). Confrontation entre phases d'occupation des ensembles, datations typologiques du mobilier métallique et intensité des activités métallurgiques.

■ Occupation de l'unité
■ Activité métallurgique

Ensemble	Phases d'occupation (CAJ 13)										Typologie des objets métalliques	Activité métallurgique
	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750		
F1	[Occupation]										fin 6 ^e à 1 ^{re} moitié 8 ^e siècle	insignifiante
F2	[Occupation]										début 7 ^e à 1 ^{re} moitié 8 ^e siècle	très importante
Z2	[Occupation]										début 7 ^e siècle	aucune
Z3	pas de données fiables										début à milieu 7 ^e siècle	insignifiante
Z4	[Occupation]										abandon dans le 3 ^e quart du 7 ^e siècle	très importante
F3	[Occupation]										1 ^{re} moitié 7 ^e siècle	aucune
F4	[Occupation]										fin 6 ^e à fin 7 ^e siècle	aucune
F5	[Occupation]										début à fin 7 ^e siècle	énigmatique
F6	[Occupation]										fin 6 ^e à 2 ^e tiers 7 ^e siècle	importante
DEV-CTT	[Occupation]										activité métallurgique de 550 à 650 env.	

Répartition théorique de la perte en fer				Masse de métal travaillé	Masse des objets produits
Forgeage		%	kg		
Hypothèse 1	battitures	10	750	7500 kg	5250 kg
	scories	20	1500		
Hypothèse 2	battitures	15	1500	10000 kg	7000 kg
	scories	15	1500		
Hypothèse 3	battitures	20	3000	15000 kg	10500 kg
	scories	10	1500		

Perte en fer: 30 %

Conservation: 66 %

Durée du travail: 100 ans -> 75 à 150kg de fer travaillé par année

Fabrication de 175 à 350 objets à 300g par année

La masse des objets produits correspond à la soustraction de la perte en fer de la masse de métal travaillé

Répartition théorique de la perte en fer				Masse de métal travaillé	Masse des objets produits
Forgeage		%	kg		
Hypothèse 1	battitures	10	890	8800 kg	6600 kg
	scories	15	1330		
Hypothèse 2	battitures	12,5	1330	10640 kg	7980 kg
	scories	12,5	1330		
Hypothèse 3	battitures	15	2000	13320 kg	9990 kg
	scories	10	1330		

Perte en fer: 25 %

Conservation: 75 %

Durée du travail: 75 ans -> 120 à 180kg de fer travaillé par année

Fabrication de 290 à 440 objets à 300g par année

La masse des objets produits correspond à la soustraction de la perte en fer de la masse de métal travaillé

Fig. 248 Estimation de la perte en fer incluant les battitures à partir de données ethno-archéologiques et expérimentales (modèle d'après Anderson et al. 2003, p. 169).

le temps réel consacré au travail du fer, ni en terme de fonctionnement saisonnier, ni en périodes de production plus ou moins importantes. A la lumière de la répartition spatiale des structures et des vestiges mobiliers de la ferme 2 et de la zone d'activité 1 (chap. 6.1.2 et 6.2.2), il est évident que les activités de forge et la zone habitat se sont plutôt succédé, bien qu'une cohabitation de durée indéterminée ne puisse être exclue.

Il découle de ces réflexions que la majorité des déchets métallurgiques, témoins de cette activité, s'est accumulée en un laps de temps qui n'atteint pas un siècle.

7.2.2 La conservation des déchets et des objets

Le raffinage ainsi que le forgeage produisent des déchets appelés battitures, comme celles retrouvées dans les ateliers de forge de Develier-Courtételle (chap. 3.4.1). La quantité de ces battitures est toutefois minime par rapport à celle qui a dû être produite,

Ensemble	Foyer	Paroi kg	Calottes kg	Paroi / foyer	Calottes / foyer	Estimation calottes	Estimation paroi
F6	1	13	200	13	200	1	1
Z1	7	73	800	10	114	8	6
Z4	1	115	2390	115	2390	12 à 16	8
F1	1	1	30	1	30	0	0
Total	10	210	3670	21	367	21 à 25	15
Paroi						±40 %	±15 kg / foyer
Calottes						±150 kg / foyer	±66 %
Majoration (+15 %)		240	4220			28	16

Fig. 249 Evaluation de la quantité de paroi scorifiée provenant d'un foyer métallurgique.

mais il est impossible de savoir a priori quelle part a été conservée. Une estimation de la quantité initiale de battitures repose sur deux hypothèses (fig. 248) basées sur des résultats obtenus lors de différentes activités métallurgiques qui ont produit des quantités variables de scories et de battitures. Dans tous les cas, la part conservée et découverte lors de la fouille constitue moins d'un pour mille de la quantité originale.

Quant aux parois scorifiées, il est fort probable qu'elles se soient moins bien conservées que les autres déchets scorifiés. En effet, leur nature sablo-argileuse les expose davantage aux effets d'altération naturelle; les parties cuites se décomposent en poussières de sable et les parties scorifiées subissent le même sort mais par piétinement. Comme ce type de déchet n'intervient pas directement dans l'évaluation d'une quantité de travail donnée, ce fait est de moindre importance. D'un point de vue archéologique, il a semblé toutefois intéressant d'évaluer la quantité de paroi scorifiée provenant d'un foyer métallurgique (fig. 249). Ce calcul permet de mettre en évidence, le cas échéant, la disparition d'éventuels bas foyers. La surabondance de déchets par bas foyer conservé met en lumière ce phénomène dû à l'érosion ou, dans une moindre mesure, aux limites de la fouille archéologique.

Les autres déchets, à savoir toutes les catégories de scories, sont composés à plus de 90% de scories en forme de calotte. De ce fait, les autres catégories – scories ferrugineuses, scories d'aspect coulé et scories indéterminées – peuvent être négligées dans l'évaluation quantitative.

L'état de conservation des calottes, ainsi que la quantification de celles-ci, sont des sujets qui ont déjà été abordés (chap. 3.2.15 et fig. 60). Rappelons simplement que le nombre minimum d'individus estimé est de 4300 pièces environ. Si l'on procède à la division du poids total des calottes (3670 kg), par le poids moyen d'une calotte (920g), on obtient 3989 calottes au total. Cette valeur est donc très proche de celle obtenue précédemment à partir du nombre et du poids des calottes conservées à au moins 50%. L'évaluation du degré de conservation de l'ensemble n'est pas évidente. Des phénomènes d'érosion observés tout au long des bords du ruisseau, ainsi que la présence notoire d'un amoncellement de calottes dans le sondage T1, au nord de l'emprise de la fouille, font penser qu'une partie non négligeable des déchets métallurgiques n'a pas été découverte. Toutefois, il est peu probable que sa proportion dépasse le tiers du corpus mis au jour. Le nombre original de calottes doit donc osciller entre 5000 et 6500 pièces, correspondant à autant d'unités de travail.

7.2.3 L'attribution des déchets à une étape spécifique de la postréduction

Le calcul du nombre de déchets et leur identification ont été discutés dans le chapitre 3. Ils sont surtout composés de calottes, qui représentent près de 90 % des déchets scorifiés. Seuls quelques types de déchets et de calottes ont pu être clairement attribués aux deux phases « raffinage » et « forgeage ». Ainsi, les convexes sont, à une exception près, toujours liés au raffinage, notamment au compactage (environ 80 %). Les trois types aplaties, denses petites et à bourrelet, comportent, au moins pour les deux tiers, des caractéristiques typiques du raffinage, tandis que le tiers restant est à rapprocher du forgeage. Enfin, deux types, les vitrifiées et les charbonneuses, se rattachent majoritairement (plus de 80 %) au forgeage.

Bien que la grande masse des calottes fragmentées n'ait pas fait l'objet d'une détermination typologique ou analytique, on peut admettre que ces dernières présentent dans leur ensemble une distribution semblable à celle des calottes sur lesquelles on a procédé à cette détermination (chap. 3.2.15).

Lors d'une première évaluation, l'identification des calottes a été effectuée sans prendre en compte leur masse et a abouti au même résultat. Les autres déchets (scories d'aspect coulé, scories ferrugineuses, quilles) peuvent certes être attribués en majeure partie au raffinage (chap. 3.2.12, 3.3.2 et 3.4.2), mais leur importance est secondaire de par leur masse. En considérant la teneur en fer de chaque type de calotte, on obtient dans le meilleur des cas une perte de 1160 kg de fer lors du raffinage des éponges de fer et de 895 kg de fer lors du forgeage et de la fabrication d'objets (fig. 250). Notons que ces quelque deux tonnes de métal contenu dans les scories représentent la moitié du poids de celles-ci.

7.2.4 L'importance des forges de Develier-Courtételle

Notre évaluation repose sur la quantification et l'identification des déchets retrouvés tout en tenant compte du degré de

conservation du site, ainsi que de la période durant laquelle les ateliers ont fonctionné. Elle inclut aussi les déchets non retrouvés, notamment les battitures qui n'ont été conservées qu'en quantités infimes. Ce n'est qu'une fois que tous ces facteurs sont évalués que l'on peut tenter de déterminer la quantité initiale de métal utilisé à partir de l'estimation de la quantité de déchets.

L'hypothèse de base est que la perte en fer lors de la fabrication d'un objet n'est que de 20 %. Il existe toutefois des opérations, comme le raffinage des éponges de fer, pour lesquelles la perte en fer peut être plus élevée et atteindre les 30 % (Ebnöther 1995, p. 249). En ce qui concerne la fabrication de lames en damas d'assemblage, les pertes de métal indiquées dépassent les 60 % (Trüllinger et Zraggen 2002, p. 150). Bien que le savoir-faire de l'expérimentateur ait lui aussi joué un rôle dans ces pertes élevées et que les lames forgées lors de ces expériences présentaient davantage de couches que les outils, couteaux et armes examinés dans cette étude, ce chiffre peut être conservé comme valeur maximale. Nous avons vu que le raffinage joue un rôle important pour 50 % des déchets, et que la fabrication d'objets en damas d'assemblage était une spécialité des forgerons de Develier-Courtételle (chap. 4). Admettre que la perte en fer a été plus proche de 30 % que de 20 % représente donc une pondération raisonnable dans le cas de ce hameau (fig. 248).

Si l'on calcule la quantité de métal travaillé en intégrant la perte en fer de 30 %, en prenant en compte la teneur en fer des scories (10 %), la quantité des battitures (20 %), ainsi que le degré de conservation des scories – évalué à plus ou moins deux tiers –, on arrive à une valeur approchant les quinze tonnes de métal travaillé pour la réalisation d'objets. Il convient de préciser que la teneur globale en fer de 50 % est très élevée, comparée à celle d'autres ensembles. A Châbles, par exemple, la teneur moyenne n'est que de 35 %.

Cette quantité de métal a servi à produire entre cinq et dix tonnes d'objets en fer sur une durée maximale de 100 ans pour l'exploitation de ces ateliers métallurgiques. Ceci correspond à la

Type	Poids Moyenne		Teneur en fer (%)			Perte de fer (kg)			Répartition par étape (kg)			
	nb	kg	g	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	raffinage	forgeage	intermédiaire
Aplatie	147	97	660	37	50	58	36	48	56	34	17	4
Dense petite	212	132	620	40	51	59	53	67	78	52	26	
Fluide	113	54	470	43	51,5	63	23	28	34	13	17	4
Vitrifiée	136	73	530	24	38	53	17	28	38	3	35	
Bourrelet	132	163	1240	37	44	51	60	72	83	53	27	3
Charbonneuse	118	141	1190	49	50,5	52	69	71	73	10	63	
Circulaire	114	149	1300	38	49	58	56	73	86	31	39	16
Concave	115	165	1430	35	44	56	58	73	92	46	37	9
Convexe	58	108	1870	38	45	60	41	49	65	58		7
Quille	23	26	1120	39	47	57	10	12	15	15	0	
Dense	4	15	3750	48	51	57	7	8	8,6	4,3	4,3	
Non classées	260	198	762	39	47	57	77	93	113	57	48	7
Calottes	40076	2639	72	38	47	57	893	1104	1332	673	571	88
Coulées	12390	87	7	44	46	51	38	40	44	44		
Indéterminées	11318	62										
Ferrugineuses	9360	110	12	42	51	58	46	56	63	63		
Battitures												
Total	74576	4219	53				1485	1820	2181	1158	885	139
										53 %	41 %	6 %

Fig. 250 Estimation globale de la perte en fer dans les scories : 1,5 à 2,2 tonnes de fer. Ce calcul ne tient pas encore compte des couches de métal pur, ni des battitures non retrouvées. Perte de fer (sans battitures) : 3 tonnes (calcul basé sur une conservation de 2/3).

fabrication annuelle de 150 à 450 objets d'un poids moyen de 300g. On peut en déduire que cette production d'objets spécifiques en fer était nettement supérieure aux besoins annuels des habitants de Develier-Courtételle.

Toutefois, ces chiffres doivent être considérés avec prudence. En effet, un petit changement de l'ordre de 5% pour la perte en fer (25% au lieu de 30%) et notamment du degré de conservation (par exemple 75% au lieu de 66% proposé) conduit à des valeurs assez différentes (fig. 248). Il s'agit donc de prendre ces chiffres comme des ordres de grandeur qui révèlent surtout l'existence d'une production excédentaire. Néanmoins, nous pensons avoir apporté suffisamment d'indices pour confirmer la justesse de ces calculs : avec une production moyenne annuelle de 150 à 450 objets de taille moyenne, il n'est pas dit qu'il s'agit de la proportion réelle d'objets fabriqués à Develier-Courtételle. En effet, il a été démontré qu'une part importante de cette fabrication (en F2/Z1, R1 et en F6) concernait des pièces de petite taille ; en outre, une part des objets finis (en F2/Z1, R3) devait être de plus grande dimension.

La durée de fonctionnement de ces ateliers de forge peut également être évaluée à partir du nombre de calottes retrouvées. Il semble évident que la fouille n'a révélé ni l'intégralité des déchets produits sur place, ni la totalité des installations. Le nombre d'opérations effectuées sur une quinzaine de tonnes de fer se calcule à partir du nombre maximal de calottes (environ 6000 pièces). Il est généralement admis qu'une calotte équivaut à une opération métallurgique. Si l'on poursuit ce raisonnement, à chaque opération dont est issue une calotte, un morceau de métal de 2,5 kg a été travaillé, aboutissant à un produit d'un poids moyen de 1,75 kg. Compte tenu des variations de taille, et donc de poids, des objets produits, ce calcul ne donne bien sûr qu'une image globale qui ne correspond pas tout à fait à la réalité. En effet, rappelons qu'à Develier-Courtételle, un cinquième des calottes pèse moins de 100 g et une proportion similaire, plus de 1300 g (fig. 58).

Une approche différente consiste à évaluer le nombre de structures manquantes, à partir de celui des foyers métallurgiques identifiés sur le site. Une dizaine de bas foyers ont été mis au jour dans trois unités bien distinctes. La ferme 6 constitue l'ensemble le plus simple, avec un bas foyer entouré de 200 kg de calottes et de 13 kg de paroi sableuse. Quant à la zone d'activité 1, elle renferme au moins sept bas foyers pour 800 kg de calottes et 73 kg de paroi. Enfin, la zone d'activité 4 comporte un bas foyer associé à près de 2400 kg de calottes et 115 kg de paroi. Les moyennes globales en paroi et en calottes par bas foyer permettent de supposer qu'entre 15 et 25 foyers au total devaient être voués à la métallurgie et qu'environ 300 opérations de raffinage ou de forgeage ont été menées à bien dans chacun d'eux (6000 opérations pour 20 foyers). Il convient de rappeler que la conservation des fragments de paroi scorifiée est certainement moins bonne que celle des scories, notamment des calottes. C'est pourquoi, le nombre de bas foyers calculé à partir d'une quantité moyenne de calottes par structure semble plus proche de la réalité. Il est toutefois évident qu'aucun élément matériel ne permet d'attester les variations réelles des quantités de déchets associées à un foyer. Pour cette raison, il nous semble indispensable d'introduire un facteur de pondération entre les valeurs

obtenues à partir des calottes et celles provenant des parois scorifiées. A notre avis, il faut d'abord intégrer les données de terrain, avant de poursuivre les extrapolations. De toute façon, la signification des chiffres doit être soumise à une réflexion critique.

7.3 Approche comparative

7.3.1 Le contexte local

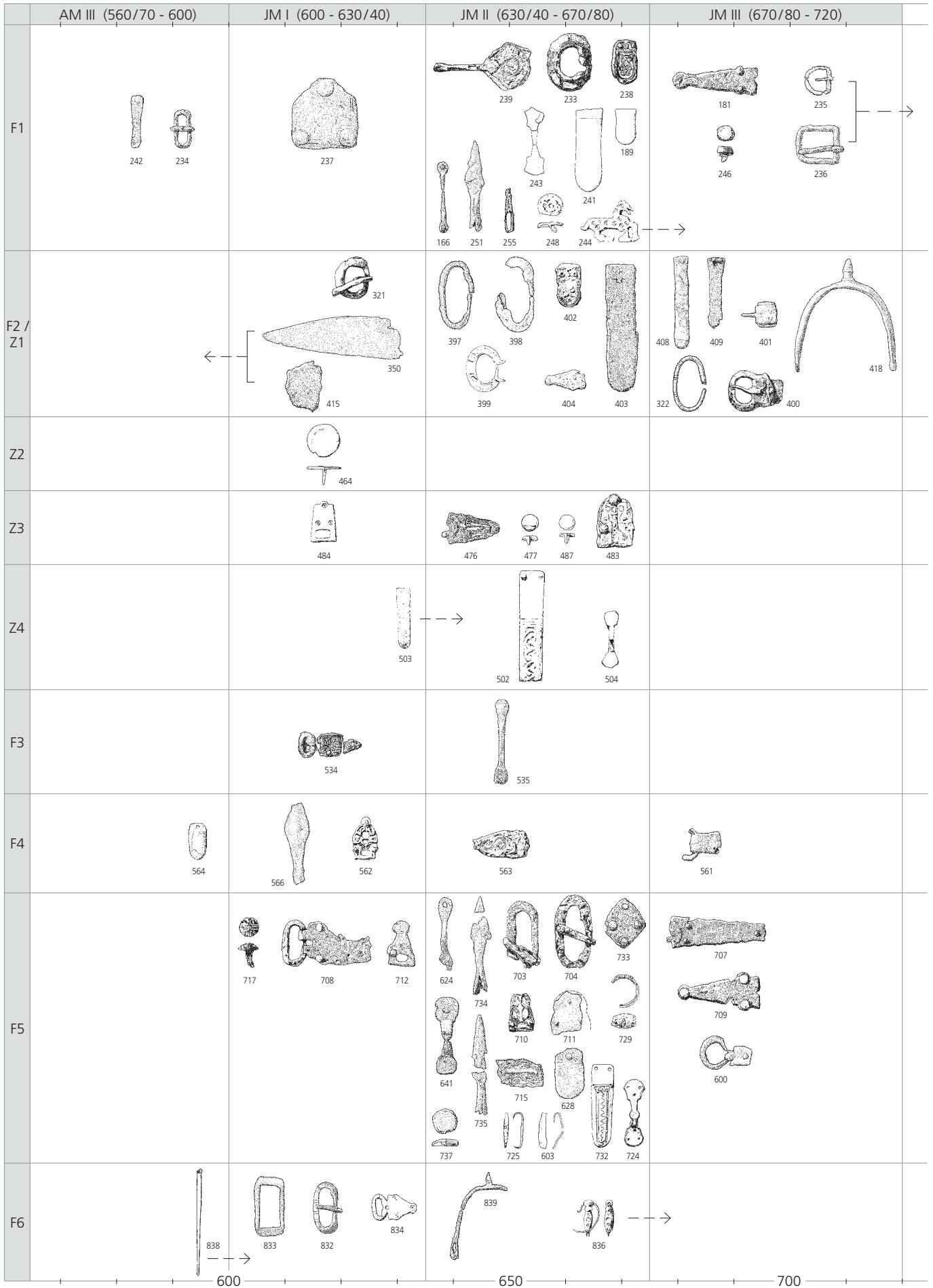
Il existe à Develier-Courtételle une imbrication spatiale révélée par l'archéologie entre structures d'habitat, activités économiques et ateliers sidérurgiques. Il est cependant frappant de constater que ce hameau du Haut Moyen Age – exception faite des vestiges sidérurgiques – ne se différencie guère des habitats contemporains où la sidérurgie n'est pas ou très peu présente. Les activités agro-pastorales et artisanales autres que métallurgiques, dont quelques objets témoignent, sont traditionnellement rencontrées dans ce type d'habitat. Il en va de même pour les activités de subsistance, qui devaient constituer une part importante des occupations des villageois, à en juger par le nombre de structures qui s'y rapportent.

Le mobilier métallique mis au jour étonne par son abondance, si l'on tient compte du fait que l'essentiel provient des niveaux d'occupation du Haut Moyen Age, et non pas d'ensembles clos a priori plus favorables à leur dépôt. Les conditions de préservation n'étant pas optimales, comment résoudre la question des objets « perdus », de leur représentativité réelle et de leur sélection, s'il y a eu volonté de les récupérer ? Rappelons que l'étude a porté tant sur des objets bien spécifiques que sur des pièces diverses et indéterminées. Si la place occupée par certaines catégories – l'outillage et les accessoires vestimentaires notamment – est privilégiée, il faut aussi constater quelques absences. Par exemple, si l'absence de monnaies peut être considérée comme normale pour le Haut Moyen Age, le déficit en équipements à vocation agro-pastorale ou domestique l'est beaucoup moins dans un contexte d'habitat.

Sur le plan culturel, les données les plus pertinentes concernent les objets en lien avec le costume et la parure ainsi que, dans une moindre mesure, les rares pièces se rattachant à l'armement. Même si l'absence de contextes bien stratifiés rend difficile ce genre d'interprétation, nous avons tenté de donner une approximation chronologique à ce mobilier. Il est ainsi apparu que les objets susceptibles de fournir des arguments de datation sont, pour l'essentiel, attribuables au 7^e siècle. De très rares éléments indiquent encore la fin du 6^e siècle ou les environs de 600 ap. J.-C. La fin du 7^e siècle et la première moitié du 8^e siècle sont mieux marqués, mais se rapportent exclusivement à du mobilier retrouvé dans les contextes d'occupation des fermes 1 et 2 (fig. 251).

Ces données mettent également en évidence la complexité des interactions culturelles présentes à Develier-Courtételle, plusieurs objets étant plutôt inhabituels dans le contexte régional. Impossible cependant de déterminer si la présence de ces derniers

Fig. 251 Le mobilier métallique caractéristique de Develier-Courtételle et sa représentation dans l'analyse chronologique par ensemble (fermes et zones d'activité). Voir aussi les figures 158 et 188.



600 650 700

découle de réseaux d'échanges ou de déplacements individuels, mais ils relèvent dans tous les cas de la diffusion de modes qualifiées de germaniques, franques ou alamanes, étrangères aux populations locales. Certains objets de parure sont largement répandus au nord de la Gaule franque (*Francia*). D'autres sont courants dans les parties plus occidentales du royaume mérovingien, entre Bourgogne, Franche-Comté et Suisse occidentale (*Burgundia*): on trouve parmi eux quelques éléments vestimentaires plutôt masculins (garnitures de ceintures bi- ou tripartites dites de type C) et d'autres qui sont plus l'apanage des costumes féminins (garnitures de ceintures dites de type B, parures). Tous ces objets rencontrés à Develier-Courtételle renforcent la limite sud-est de leurs aires de diffusion respectives; ils sont les témoins de contacts culturels avec la partie occidentale du royaume mérovingien.

D'autres objets proviennent des régions situées essentiellement sur la rive droite du Rhin supérieur, en liaison étroite avec le domaine germanique alaman (*Alamania*). Il s'agit de quelques accessoires vestimentaires comme les garnitures de ceinture à éléments multiples, mais aussi de pièces liées à l'armement et dont la présence sur un site archéologique est souvent interprétée comme le reflet d'une influence étrangère. Dans ce cas, ces objets de Develier-Courtételle précisent la limite sud-ouest des aires de diffusion.

Enfin, un nombre significatif d'objets est à rattacher culturellement aux populations romanes indigènes: leur présence est particulièrement décelable dans la partie nord de la *Burgundia*. Quelques objets spécifiques de parure en bronze suggèrent peut-être plus qu'une influence ou qu'une tradition: un possible lieu de fabrication situé quelque part dans le nord-ouest de la Suisse.

La cartographie de ces découvertes significatives devrait souligner l'importance de l'héritage gallo-romain et révéler ainsi une véritable composante romane dans la population du hameau de Develier-Courtételle.

7.3.2 Le contexte régional

L'étude menée dans la dernière décennie du 20^e siècle sur le district sidérurgique du Jura central suisse laisse entrevoir que Develier-Courtételle n'est certainement pas le seul site comportant des vestiges de travail du fer dans cette région au cours de l'époque mérovingienne (Eschenlohr 2001, p. 137-140). D'autres fouilles

récentes sur le tracé de la future autoroute A16 complètent ces données, notamment en Ajoie (études en cours):

- un habitat potentiel avec forge à Porrentruy, Voyebœuf (Paupé 1997);
- un important habitat avec forge à Courtedoux, Creugenat (Deslex Sheikh 2002 et 2003);
- un atelier de réduction et de postréduction à Chevenez, Lai Coiratte (Gonda 2003).

A ce stade de nos connaissances et du seul point de vue quantitatif, aucun des sites mentionnés ne présente la richesse de Develier-Courtételle. Un seul atelier de forge similaire peut avoir existé en plein cœur du village de Grandval. On y a retrouvé, en contexte de fouille clandestine, de nombreuses calottes de grande taille conservées dans leur intégralité, à proximité immédiate de plusieurs ateliers de réduction. D'ailleurs, le Grand-Val renferme les plus grands ateliers de production, en nombre et en taille, datés de cette phase du Haut Moyen Age (fig. 252).

La synthèse des données chronologiques disponibles à ce jour démontre que les trois ateliers de production localisés dans la vallée de Delémont sont tous contemporains de l'une ou l'autre phase d'activité du site de Develier-Courtételle. Précisons toutefois que seul un cinquième des ferriers a été daté, les quinze ferriers qui datent probablement des 6^e et 7^e siècles constituent donc un strict minimum. En effet, la densité de l'occupation du territoire dans cette vallée rend la détection de sites anciens – généralement de petites dimensions – plus difficile.

Enfin, il est à noter que les analyses chimiques mettent également en évidence un lien avec la production du Grand-Val. Là encore, seuls cinq des vingt-cinq ferriers présumés du Haut Moyen Age ont été datés des 6^e et 7^e siècles. Toutefois, il est possible de démontrer que plusieurs indices fiables permettent de distinguer les déchets d'un atelier datant d'avant l'an mil de ceux d'un atelier datant de la fin du Moyen Age (Eschenlohr 2001, p. 116-117). La phase d'activité des deux ateliers datés du Val Terbi est postérieure à celle de Develier-Courtételle.

7.3.3 Le contexte élargi

Dans un espace limité mais structuré, le village de Liestal, Rösental (BL) atteste, entre le 9^e et le 12^e siècle, de toutes les

Site	nb	500	550	575	600	625	650	675	700	725	750	800 ap. J.-C.	HMA	HMA?	%	
Develier-Courtételle	1						?									
Boécourt, Les Boullies	1															
Boécourt, Les Deutes	1															
Bourrignon, La Bürgisberg	1												Vallée de Delémont	3	15	20
Courroux, Chaumont	1															
Montsevelier, La Chèvre	1												Val Terbi	2	3	67
Corcelles, La Creuse	1															
Corcelles, Fin de l'Envers 1	1															
Crémines, Les Montegnattes	1															
Grandval, Grands Bambois 1	1															
Grandval, Grands Bambois 3	1												Grand-Val	5	25	20
	11												Total	10	43	23

Fig. 252 Synthèse des données chronologiques du district sidérurgique du Jura central suisse.

■ Période d'activité métallurgique. Pour Develier-Courtételle et Boécourt, Les Boullies: moyenne des datations C¹⁴. Pour les autres sites: probabilité à 1σ
 ■ Plage de probabilité en dehors de la période d'activité métallurgique de Develier-Courtételle
 ■ Probabilité à 2σ

étapes de la sidérurgie. Dans la phase de production, les minerais sidérolithique et oolithique ont été mélangés. Une telle pratique n'existe pas dans le district sidérurgique du Jura central suisse, sauf à son extrémité orientale (Montsevelier, Le Greierlet; Eschenlohr 2001, p. 115). C'est pourquoi, à notre avis, l'enrichissement en phosphore décelé dans de nombreuses calottes de Develier-Courtételle ne provient pas a priori de l'utilisation de minerai oolithique. Le travail de postréduction a livré quant à lui quelque 700 kg de scories, avec notamment 277 calottes classifiées (Serneels 1994). Pour l'auteur de l'étude, 80% de ces calottes dérivent du raffinage et seulement 20% de la forge. Avec plus de 400 kg, la majorité des déchets attribués à la postréduction sont des scories « rouillées ». A la différence des résultats obtenus pour Develier-Courtételle, les cinq types de calottes identifiés à Liestal sont tous attribués au raffinage ou au forgeage.

Si les fouilles anciennes menées à Schaffhouse, Berslingen (SH) ont apporté des données sur la réduction du minerai – moins de 50 kg dans les fouilles de 1969 – les traces de postréduction sont elles carrément anecdotiques : seules deux scories en forme de calotte ont été retrouvées dans cet habitat de la fin du Haut Moyen Age (Bänteli et al. 2000).

A l'exception des études menées à bien sur ces deux sites, toutes les autres à disposition se rapportent à l'Epoque romaine. Or, le contexte économique change totalement entre la fin de l'Antiquité et le début du Moyen Age (Eschenlohr 2002). Cet état de fait rend délicate toute comparaison ; nous ne retiendrons donc que le cas de la forge de Châbles (FR).

Cet atelier se trouve à proximité d'une carrière à meules et de la voie reliant Yverdon à Avenches. La masse des scories récoltées dans le périmètre de cet atelier approche les 750 kg (Anderson et al. 2003, p. 172-174). Le nombre des scories en forme de calotte a été estimé à environ 2000 ; parmi celles-ci, les exemplaires qui dépassent 500 g sont rares. La forte proportion de déchets pauvres en métal a amené l'hypothèse d'un travail de forge effectué à partir d'une matière première métallique conditionnée sous forme de lingots. Or, ces produits semi-finis destinés à être commercialisés sont totalement absents sur le site. Cette situation contraste avec celle de Develier-Courtételle, d'autant plus qu'à Châbles, on note l'absence quasi totale de témoignages du raffinage. La durée d'exploitation de la forge de Châbles a été estimée entre 10 et 20 ans et la masse de métal travaillé entre 1 et 5 tonnes. Comparer la production annuelle de Châbles et de Develier-Courtételle paraît hasardeux. Avec une production variant entre 50 et 500 kg par an, Châbles présente des conditions et une durée d'exploitation sensiblement différentes de celles de Develier-Courtételle, où la quantité de métal travaillé par année est d'environ 150 kg (chap. 7.2.4).

7.4 En guise de conclusion

La production sidérurgique jurassienne, attestée durant les cinq siècles précédant l'an mil, a été estimée à 1000 tonnes de fer au minimum. Si des pics importants se dessinent aux 7^e et 9^e siècles, une diminution sensible marque le 8^e siècle. Avec une moyenne

de 200 tonnes par siècle, les quinze tonnes travaillées à Develier-Courtételle entre environ 550 et 650 ap. J.-C. représentent moins de 10% de la fabrication séculaire jurassienne. Ce site est donc un atelier de transformation et de travail du fer parmi d'autres, fonctionnant en simultané dans le Jura.

La nature du travail effectué et l'importance des activités qui s'y sont déroulées peuvent être reconstituées (chap. 7.1 et 7.2). Mais ce modèle n'est applicable qu'aux seules périodes de grande activité du hameau, périodes durant lesquelles ce travail génère des bénéfices appréciables. Parallèlement à ce système bien rôdé dont dépendent également d'autres activités artisanales, telles que le charbonnage, l'extraction du minerai et le transport des matières premières aux différents stades (minerai, charbon, éponge), il est vraisemblable que des forges d'entretien ou de subsistance, plus modestes, aient fonctionné. Mais ces dernières ne doivent pas forcément être opérationnelles au même endroit et en même temps qu'une grande forge. Le terme de cette grande phase correspond apparemment aussi à un redimensionnement du hameau, dont la conséquence est l'abandon de plusieurs fermes et zones d'activité.

De nombreux aspects de l'activité des forgerons nous échappent encore. Sur le plan technique, la haute qualité du travail laisse supposer la présence d'artisans très compétents, en tout cas pour les cent ans de la phase principale d'activité. Mais l'exécution des travaux de finition ou de ceux relevant de l'entretien courant, voire de la réparation, nécessite-t-elle des compétences aussi poussées ? Pour tous ces travaux, combien de personnes assistaient le maître-forgeron ? La perception lacunaire de l'organisation spatiale des ateliers, découlant de leur état de conservation très médiocre, ne facilite pas la réponse. On admet généralement que le soufflet est actionné par un assistant afin de faciliter le travail du forgeron. De plus, l'élaboration de pièces de grandes dimensions, attestée dans un atelier (R3 en F2/Z1), rend nécessaire la collaboration d'une personne supplémentaire.

Ces artisans qualifiés, habitant probablement dans une des fermes du hameau ou dans un endroit proche de la vallée, étaient occupés par leur travail de spécialistes. Mais pouvaient-ils malgré tout se consacrer à d'autres activités artisanales ou de subsistance ? Assuraient-ils eux-mêmes l'approvisionnement en métal ou en charbon de bois ? S'occupaient-ils de la diffusion des produits ? A l'opposé des circuits commerciaux de l'Epoque romaine, le mode de diffusion ayant cours au Haut Moyen Age est encore méconnu.

L'activité sidérurgique a dû engendrer d'intéressantes retombées économiques au profit du pouvoir territorial dont dépendait à ce moment précis la vallée de Delémont et ses environs. Les nécropoles contemporaines montrent qu'une partie de la population locale devait jouir d'une certaine aisance. Celle de Bassecourt, Saint-Hubert est la meilleure illustration actuellement connue. Il est donc probable que cette branche artisanale, excédentaire et lucrative, occupait une place de choix dans l'organisation socio-économique du hameau de Develier-Courtételle. Cela ne permet toutefois pas de préciser le statut des forgerons de cette communauté villageoise.

Annexes

1

Méthodes d'analyse

Analyse par fluorescence des rayons X dispersive en longueur d'onde (WD-XRF)

Pour l'analyse, on a prélevé par sciage un fragment identifiable morphologiquement comme étant de la scorie et, de préférence, composé d'une seule couche de cette dernière, qui est souvent stratifiée. Les échantillons doivent être aussi homogènes que possible et ne pas contenir d'inclusions de métal ou de charbon de bois, souvent présentes dans les scories. Le minerai et la paroi sableuse ne demandent pas quant à eux de tri particulier. Afin de réaliser une homogénéisation supplémentaire, les échantillons ont ensuite été pulvérisés.

L'analyse WD-XRF permet de déterminer sans problème, et indépendamment de leur liaison, la totalité des 90 éléments chimiques naturels, à l'exception des cinq à dix éléments les plus légers. En effet, la sensibilité de cette méthode diminue fortement pour les éléments de faible masse atomique, de sorte que les éléments plus légers que le sodium ne peuvent plus être analysés avec fiabilité. L'oxygène, l'azote et le carbone en particulier sont peu ou non déterminables avec cette méthode. Il n'est donc pas possible de définir les composants organiques d'un échantillon (Lienemann 2000). C'est pour la même raison que les teneurs en éléments volatils ont été déterminées par calcination, et que celles en CO₂ ainsi qu'en carbone organique, ont été complétées par la coulométrie. Pour le fer, la forme de liaison est intéressante, et on a ainsi évalué la teneur en FeO par colorimétrie (voie humide). La teneur en fer métallique a été déterminée par calcul.

Avec cette méthode, la détermination quantitative n'est possible que si la matrice de l'échantillon est connue, ce qui suppose un étalonnage avec des matériaux standards. En Suisse, le Centre d'analyses minérales de l'Université de Lausanne, dirigé par le professeur H. R. Pfeifer, s'est spécialisé dans l'analyse des matériaux riches en fer. C'est pour cette raison que ces analyses y ont été effectuées sous la responsabilité de V. Serneels (Pfeifer et al. 1991; Serneels 1993). Les éléments traces ont été déterminés sur des pastilles pressées, tandis que les éléments majeurs ont été analysés sur des pastilles de verre. Les éléments majeurs mesurés ont été exprimés sous forme d'oxyde, selon le contexte géochimique, après conversion par calcul. Dans cette matrice, la limite de détection des éléments traces déterminés se situe juste au-dessous de 10 mg/kg (ppm).

Microanalyse par faisceau d'électrons (microsonde électronique)

Pour les objets en alliages cuivreux et en métaux précieux, le prélèvement des échantillons a été effectué par sciage de petits fragments ou par prélèvement de copeaux par perçage. Pour les scories et les objets en fer, on a choisi sur les sections polies déjà réalisées des endroits représentatifs de l'objet. Après prélèvement, les échantillons ont été montés dans de la résine puis revêtus d'un film de carbone par vaporisation sous vide.

La microsonde électronique permet d'effectuer des analyses ponctuelles avec une résolution locale élevée. Elle repose sur les mêmes principes d'imagerie que le microscope électronique à balayage (voir *infra*) mais fonctionne avec une sonde WD-XRF qui, dans une matrice connue et avec un étalonnage sur des standards, fournit des résultats quantitatifs (voir *supra*).

L'analyse des échantillons d'alliages cuivreux et de métaux précieux a été confiée à P. Northover (University of Oxford GB, Department of Materials), spécialisé dans l'analyse à la microsonde de tels matériaux (pour le principe de la méthode: King et Northover 1993, p. 101-102).

La détermination des phases minérales des scories a été effectuée sous la direction de F. Bussy et J. Hernandez de la Section des sciences de la Terre de l'Université de Lausanne, qui dispose des standards et des programmes nécessaires à l'analyse de tels matériaux (indications sur la méthode: Beck 1997, p. 141). Les analyses ont été effectuées avec une microsonde Cameca SX50, équipée de cinq spectromètres. Au vu du problème analytique posé, la composition minéralogique a été déterminée à l'aide de trois programmes de mesure différents:

- oxydes et silicates (Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni);
- spinelles (Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn);
- matrice vitreuse et leucite (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ba).

La taille minimale des cristallites encore mesurables est, dans de bonnes conditions de 3 à 5 µm; certaines phases échappent ainsi à l'analyse. La matrice vitreuse et la leucite ne peuvent être mesurées par analyse ponctuelle mais sur une surface à tensions plus faibles, ceci afin d'éviter que la perte d'éléments ne vienne fausser l'analyse (Kronz 1997, p. 105). La limite de détection de cette méthode est de 100 mg/kg (0,01 %). La distribution de certains éléments traces dans le fer a été déterminée à l'Empa, car cette détermination ne demande pas d'étalonnage.

Analyse par fluorescence des rayons X dispersive en énergie sur microscope électronique à balayage (MEB/EDS) (fig. 253)

La corrosion, à l'image de la scorie, est mauvaise conductrice d'électricité. Les échantillons préparés des objets en métal et des scories doivent, comme lors de leur analyse par microsonde, être recouverts de carbone par vaporisation sous vide. La taille des sections polies examinées est limitée par le diamètre de la plus grande platine porte-objet en aluminium (10 cm). Les échantillons sont fixés sur celle-ci au moyen de plastiline, conductrice d'électricité. Le contact électrique entre la platine et l'objet est assuré au moyen d'une suspension de carbone liquide conductrice.

La MEB/EDS est utilisée pour des analyses optiques et chimiques locales. Le microscope électronique à balayage permet de dépasser les

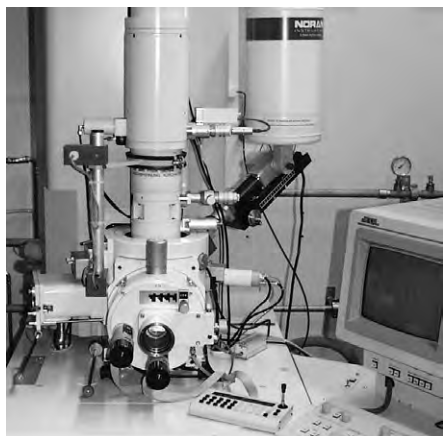


Fig. 253 Microscope électronique à balayage (MEB/EDS).

limites que présente la microscopie optique classique (voir *infra*). Pour obtenir une image sur le microscope électronique à balayage, un faisceau d'électrons est dirigé sur l'échantillon. La longueur d'onde des électrons étant beaucoup plus courte que celle de la lumière visible, le pouvoir de séparation peut atteindre jusqu'à 1 nm, ce qui correspond à un grossissement de 300 000x. Ce grossissement beaucoup plus puissant s'accompagne d'une profondeur de champ plus élevée, par contre l'information chromatique est perdue.

Suivant la tension appliquée, le faisceau d'électrons frappant l'échantillon crée une poire de diffusion, atteignant une profondeur plus ou moins grande et pouvant se subdiviser en trois zones. Les électrons secondaires émis forment une image de la surface balayée (SE), les éléments lourds apparaissant en couleur claire et les éléments légers en couleur foncée. Les électrons rétrodiffusés provenant de la couche située immédiatement sous la surface et formant environ les 50 % de la poire de diffusion permettent d'obtenir une image qui donne des informations sur la composition chimique et minéralogique de l'échantillon (BSE). Les 50 % restants fournissent les rayonnements X caractéristiques mesurables avec un détecteur EDS, et permettent ainsi de déterminer la composition chimique. Cette détermination est semi-quantitative, car la résolution des raies est plus faible que pour la WD-XRF et les programmes de mesure non étalonnés. Le domaine des éléments analysables va du bore à l'uranium, et s'étend ainsi à des éléments plus légers que ceux détectables par WD-XRF.

L'appareil utilisé à l'Empa (JSM-6300F) se compose d'une colonne optique sous vide (5x10⁶ Pa) avec un détecteur EDS et une chambre à échantillons. Les observations ont été effectuées avec une tension d'accélération de 20 kV et une distance de travail de 15 mm. Les échantillons examinés ont le plus souvent été tout d'abord observés en mode microscope à balayage (SE), pour être ensuite caractérisés chimiquement. On a ainsi, d'une part, déterminé les alliages de métaux cuivreux et certaines inclusions et phases minérales particulières dans le fer et, d'autre part, les phases minérales des scories. On n'a tenu compte dans cette publication que des résultats des mesures MEB/EDS qui n'avaient pu être obtenus par la microsonde électronique.

Diffraction des rayons X (XRD)

Pour l'examen des minéraux des scories, on a prélevé par grattage une petite quantité de poudre à l'endroit choisi sur les sections polies, examinées au préalable en microscopie optique. La diffraction des rayons X à l'Empa (Siemens D 500) est utilisée pour l'analyse qualitative ou semi-quantitative de la structure cristalline des matériaux minéraux. La poudre très fine est irradiée par un faisceau de rayons X incidents, qui sont réfractés dans certaines directions de

l'espace. On mesure, sous différents angles, l'intensité de ces rayons déviés. Le verre, qui ne possède pas de réseau cristallin, présente ainsi un spectre sans pics distincts, mais avec un léger renflement unique.

Il faut relever que l'application de cette méthode aux scories de fer montre certaines limites, car les pièces examinées se composent pour 90 % de fayalite, de wustite et de matrice vitreuse. La limite de détection d'un minéral se situant à 5 %, les minéraux dont la teneur est inférieure à cette concentration ne peuvent ainsi pas être détectés. La méthode n'a donc pas été utilisée systématiquement dans cette étude, car les phases minérales principales des scories de fer sont connues, et qu'elle ne permet pas de déterminer les phases présentes en faibles concentrations ainsi que les phases mixtes.

Spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif avec ablation laser (LA-ICP-MS) (fig. 254)

La LA-ICP-MS est une méthode d'analyse ponctuelle quantitative permettant d'analyser les éléments traces dans le fer. Cette méthode d'analyse avait été testée à l'Empa sur des objets d'art et des objets archéologiques au début du projet (Wanner 1996) et a été adaptée spécifiquement aux objets en fer archéologiques dans le cadre du présent travail (Devos et al. 2000).

La mesure est effectuée sur les sections polies montées dans de la résine (avec un diamètre préférentiel de 40 mm), et examinées au préalable par microscopie optique. L'échantillon est placé dans une chambre d'échantillon en laiton. Sur chaque échantillon ou couche de métal, on a marqué d'un cercle sous le microscope optique cinq endroits de mesure. Le résultat est exprimé sous forme de la médiane des cinq mesures individuelles.

Une analyse LA-ICP-MS s'effectue à partir de la dispersion d'une petite quantité de l'échantillon suite à l'impact d'un rayon laser (Perkin-Elmer Laser Sampler Model 320, avec système autofocus), ce qui crée un cratère de 100 µm de diamètre à la surface de l'échantillon. Le nuage de matière ainsi obtenu est introduit à l'aide d'un gaz vecteur (argon) dans le plasma où les atomes sont ionisés à une température de 6000 à 8000 °C (Perkin-Elmer SCIEX Elan 6000). Les ions sont ensuite séparés en fonction de leur masse et comptés dans un détecteur.

Cette méthode est cependant limitée, car seul un nombre restreint d'éléments traces du fer peut être mesuré, la durée de mesure devenant trop longue s'il fallait procéder à un étalonnage avec un nombre élevé de standards.

Les mesures effectuées sur du fer archéologique ont montré que l'aluminium, qui serait un élément trace approprié comme indicateur des impuretés, interfère malheureusement avec une source non spécifiée (Senn 2005, p. 47-48). C'est la raison pour laquelle

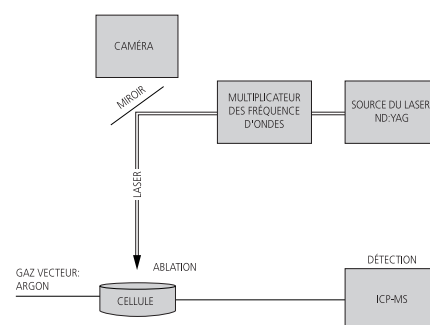


Fig. 254 Méthode d'analyse LA-ICP-MS.

les valeurs de mesure de l'aluminium n'ont pas été publiées. Le cuivre pose lui aussi un problème, car la chambre d'échantillon en laiton conduit à des valeurs élevées lorsque le cratère du laser n'est situé qu'à quelques millimètres de la chambre. Les valeurs de telles mesures n'ont pas été non plus prises en compte. Dans le fer forgé, les teneurs en phosphore et en arsenic sont sujettes à de grandes variations, dues à des effets de ségrégation se produisant lorsque les teneurs de ces éléments sont hautes (à partir de 0,1% masse). Dans les analyses, ce phénomène se manifeste par des écarts type (RSD) élevés des valeurs mesurées de ces éléments. Les limites de détection de cette méthode sont actuellement de 50 mg/kg pour le phosphore et de 1 mg/kg pour tous les autres éléments. Dans les premiers temps de ces mesures, les limites de détection étaient notablement plus élevées, soit de 300 mg/kg pour le phosphore, de 50 mg/kg pour le chrome et de 10 mg/kg pour les autres éléments. Cette évolution montre la puissance de détection de cette méthode, ainsi que les progrès réalisés au cours de ces cinq dernières années.

L'étude microscopique

Le prélèvement et le montage des échantillons¹ (fig. 255)

Le choix de l'endroit de prélèvement des échantillons dépend du but des examens. Il est important pour cela de garder à l'esprit qu'une pièce présente une structure hétérogène et de réfléchir à la manière dont elle s'est formée. Les scories de forge présentant souvent une stratification, on a veillé à procéder à l'examen d'une section longitudinale entière et représentative de la scorie, permettant d'analyser toute l'histoire de sa formation. Pour les objets en fer, le prélèvement des échantillons devait répondre aux exigences contradictoires d'un endommagement aussi faible que possible de la pièce, et de l'obtention d'un maximum d'informations.

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une tronçonneuse à disque diamanté refroidie à l'eau, provoquant ainsi, selon la tronçonneuse utilisée, des pertes de matériau d'une épaisseur de 0,5 à 10 mm. Après le prélèvement, les échantillons ont été séchés avant d'être montés dans de la résine synthétique (Résinar F et Araldite).

Le polissage et la finition (fig. 256)

Le polissage et la finition permettent d'obtenir des sections présentant une surface absolument lisse et exempte de griffures. Pour cela, la section est tout d'abord polie avec des papiers abrasifs au carbure de silicium à grains décroissants, en commençant par un grain 80 pour passer ensuite aux grains 240, 600 et 1000. Les grandes sections des scories sont encore travaillées avec un papier abrasif de grain 2500.

La finition sert à éliminer les dernières griffures très fines qui auraient pu subsister. Elle est réalisée à l'aide d'une meule à polir en tissu, avec des suspensions de poudre de diamant à grains décroissants allant de 6 à 1 µm.



Fig. 255 Tronçonneuse à disque diamanté refroidie à l'eau.



Fig. 256 Polissage et finition.

La finition achevée, les sections peuvent être soumises aux examens. En ce qui concerne le métal, il s'agit tout d'abord de procéder à un examen macroscopique afin de déterminer la présence d'inclusions de scorie, de fissures ainsi que de cavités. Pour l'examen minéralogique, le contraste fourni par la microscopie optique sur les sections polies sans autre traitement supplémentaire est suffisant.

L'attaque métallographique

Afin de rendre la structure du métal visible, il est nécessaire de procéder à une attaque métallographique, visant à provoquer une corrosion chimique. Les substances chimiques utilisées réagissent de manière sélective selon les différents composants du métal. Les échantillons de fer examinés ont été traités au Nital (HNO_3) et au réactif de Oberhoffer. Le Nital, appliqué par essuyage, met en évidence la microstructure du fer, de l'acier et de la fonte. Le réactif de Oberhoffer, appliqué par immersion, ne se dépose pas sur les parties riches en phosphore ou en arsenic, alors que toutes les autres parties de la section polie sont recouvertes d'un revêtement de couleur cuivre. Cette attaque, qui fait partie de l'étude macroscopique, met en évidence les structures primaires et les ségrégations que l'on trouve par exemple le long des soudures. Le métal est ensuite examiné sous le microscope.

L'examen sous microscope à éclairage épiscopique (fig. 257)

Sous le microscope à éclairage épiscopique, une source de lumière envoie un faisceau lumineux qui est tout d'abord réfléchi par un miroir semi-transparent (verre-plan), pour ensuite être dirigé de façon perpendiculaire sur l'échantillon, parallèlement à l'axe de l'objectif. Le faisceau lumineux réfléchi retransverse l'objectif et le miroir semi-transparent, et dessine une image réelle qui peut être observée sous forme d'une image virtuelle à travers l'oculaire, ou être enregistrée à l'aide d'un appareil photographique ou d'une caméra digitale.

Pour les examens, on a utilisé le plus souvent un microscope inversé (Axiovert 100 A). Ce type de microscope offre l'avantage de



Fig. 257 Microscope inversé Axiovert 100 A.

ne pas imposer de limites quant à la taille des échantillons observés. De plus, il n'est pas obligatoire que les surfaces de l'échantillon soient parallèles. Les objectifs du microscope sont caractérisés par leur grossissement et leur ouverture numérique (pouvoir résolvant potentiel). Les grossissements du microscope utilisés sont de 12,5x, 50x, 100x, 200x, 500x et 1000x. Le grossissement se calcule en multipliant le grossissement de l'objectif par celui de l'oculaire (10x). L'ouverture varie entre 0,35 et 0,9 selon l'objectif. La profondeur de champ diminue en même temps que le grossissement augmente.

Le pouvoir de résolution de l'œil humain est d'environ 0,2 mm, c'est pourquoi le grossissement maximal utile de tous les microscopes optiques est limité à 1500x. Les observations ont le plus souvent été effectuées sur fond clair, plus exceptionnellement sur fond noir pour l'observation d'inclusions ou de limites de grains.

En observation sur fond clair, l'image est créée par la lumière réfléchi sur l'échantillon. Les différences du pouvoir de réflexion des diverses phases attaquées ou polies provoquent un contraste clair-foncé. Les pores et les fissures de l'échantillon ne reflètent quasiment pas la lumière et apparaissent ainsi en noir sur l'image.

En observation sur fond noir, l'échantillon est illuminé par un éclairage annulaire disposé autour de l'objectif. L'image est créée par la lumière diffusée par les constituants de la section polie. Les préparations parfaitement planes et totalement homogènes apparaissent en noir. Les pores et les fissures se présentent sous une couleur très claire. Sur les phases translucides, les défauts d'homogénéité provoquent eux aussi des phénomènes de diffusion.

Les phases minérales des scories ont elles aussi toujours été examinées en lumière polarisée. Ainsi, les éléments lourds tels que le fer apparaissent en noir, de sorte qu'il est parfaitement possible de différencier par exemple un silicate de fer d'un spinelle de fer. La platine du microscope inversé à éclairage épiscopique utilisé n'étant pas rotative, il n'a toutefois pas été possible de travailler avec les indices de réfraction.

Détermination de la grosseur du grain des métaux, estimation quantitative des phases minérales

La grosseur et l'orientation d'un grain de métal dépendent des processus thermo-mécaniques qu'il a subi et du nombre d'impuretés qu'il comporte, ce qui permet de tirer certaines conclusions sur les caractéristiques mécaniques du matériau. Ainsi, la diminution de la taille du grain de la ferrite s'accompagne d'une augmentation de la dureté du métal et améliore sa résistance.

La grosseur du grain de la ferrite est le principal paramètre déterminé lors de la microanalyse des aciers présentant une teneur en carbone atteignant jusqu'à 0,5% masse. Lorsque cette teneur est plus élevée, c'est la distance entre les lamelles de perlite qui est enregistrée. Dans cette étude, on a procédé uniquement à la détermination de la grosseur des grains de ferrite par comparaison avec des images types de structures métallographiques. Ces dernières consistent en une série d'images de structures présentant une gradation de la caractéristique structurale. On attribue alors à la structure examinée le numéro de l'image qui lui correspond subjectivement le mieux. Il n'existe pas de telles images types pour l'appréciation de la perlite.

Dans le cas présent, la grosseur de grain de la ferrite a été observée avec un grossissement de 100x. L'image observée a été comparée avec la série d'images types de la norme ASTM E 89-52 (ASTM = American Society for Testing and Materials). Les grains ont été au préalable comptés afin de déterminer la norme applicable. Les images de cette série sont numérotées de -1 à 10. La grosseur de grain est d'autant plus petite que son numéro ASTM est élevé.

Les indications mentionnées concernant les phases minérales des scories sont de pures estimations ayant toujours été effectuées sous le microscope avec un grossissement de 100x. Des indications sur la quantité de cette composition manquent dans les autres publications, bien qu'il soit également important de connaître le pourcentage d'une phase déterminée pour la caractérisation d'un liquide.

Détermination de la dureté du métal

La mesure de la dureté est une méthode métallographique essentielle. Cette mesure fournit une première indication sur les propriétés mécaniques du métal et apporte une aide quant à l'interprétation de la structure; elle peut ainsi servir à différencier un métal déformé à froid d'un métal recuit, la ferrite aciculaire des aiguilles de cémentite, ou encore le fer riche du fer pauvre en phosphore.

La dureté est la résistance qu'oppose un corps à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui. La mesure de dureté peut s'effectuer à l'aide de diverses méthodes (Brinell, Vickers, Rockwell). Pour cette étude, c'est la méthode Vickers qui a été appliquée. On désigne par mesures de microdureté les mesures effectuées avec une force d'essai située entre 0,01 et 2 N; de 2 N à 50 N on se trouve dans le domaine des charges intermédiaires et à partir de 50 N dans le domaine des macroduretés.

La mesure de dureté Vickers est définie comme suit dans la norme DIN 50133 : le pénétrateur est un diamant en forme de pyramide à base carrée, son angle au sommet est de 136°, et la dureté Vickers se calcule à l'aide de la formule ci-après :

$$HV = \text{constante} \cdot \frac{\text{force d'essai}}{\text{surface de l'empreinte}} = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin 136^\circ / 2}{d^2} \approx 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$

d est la diagonale de l'empreinte ou la moyenne des deux diagonales². La durée moyenne d'application de la force pour HV 0.2 est de 15 s.

Pour cette étude, on a utilisé des forces d'essai correspondant à HV 0,2, HV 0,5 et HV 1 (1,961 N; 4,903 N; 9,807 N) et effectué ainsi des mesures de dureté dans le domaine des charges intermédiaires. Ces mesures de dureté visaient avant tout à vérifier les différentes phases séparément du métal, mais également à tester la dispersion des valeurs de dureté de la ferrite qui peut varier fortement selon la grosseur du grain, le degré de déformation et la composition chimique du métal.

Notes

- 1 Les paragraphes sur les méthodes de préparation et d'examen métallographiques se basent essentiellement sur Schumann 1991.
- 2 Essai des matériaux métalliques; essai de dureté Vickers, 1^{re} partie (éditeur: DIN, Berlin, 1985).

2

Analyses chimiques globales par WD-XRF

Hans-Rudolf Pfeifer, Vincent Serneels (Université de Lausanne, Centre d'analyses minérales)

Inventaire	994/55202	994/55311	995/50455	994/55482	995/50114	995/50459	995/50520	994/55658	994/50221		995/51924	994/51352	994/53906	994/51199	994/54720	
Lieu	CTF-TI	CTF-TI	CTF-TI	DEV-PR	DEV-PR	CTF-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR		CTF-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	
Echantillon	CTT545	CTT546	CTT547	DLP517	DLP518	CTT548	DLP519	DLP508	DLP5051	DLP5052	CTT549	DLP539	DLP540	DLP541	DLP5101	DLP5102
Catalogue							2	4	7		3				8	
Type	aplatie											dense petite				
Partie analysée	sombre				moyen				supérieure		inférieure		supérieure		inférieure	
Couleur									claire	avec métal		avec métal		sombre	arg. sabl.	moyen
SiO ₂	18,24	13,57	22,23	14,05	14,92	21,87	22,42	22,48	33,29	20,81	35,09	13,55	11,56	12,77	31,76	28,38
TiO ₂	0,19	0,13	0,21	0,18	0,14	0,20	0,26	0,16	0,24	0,15	0,28	0,34	0,12	0,11	0,27	0,18
Al ₂ O ₃	3,18	2,37	3,93	3,54	2,72	3,57	5,47	3,76	5,77	3,44	5,74	7,91	2,48	2,50	5,65	3,77
Fe ₂ O ₃	45,31	47,14	28,97	23,58	38,09	44,06	24,72	34,07	21,57	30,75	4,77	47,00	30,97	57,08	18,65	31,92
FeO	26,74	29,82	34,52	50,54	33,07	21,96	37,40	26,14	22,23	36,45	35,32	24,12	40,98	14,45	32,99	23,82
Fe m.	1,67	0	4,39	2,51	4,69	0	1,21	6,33	4,97	1,03	7,16	0	5,67	0	1,67	5,39
MnO	0,04	0,04	0,12	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,12	0,07	0,11	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08
MgO	0,60	0,48	0,68	0,56	0,55	0,77	1,09	0,75	1,01	0,75	1,02	0,51	0,51	0,43	0,58	0,88
CaO	2,52	1,52	2,39	3,12	3,82	3,97	5,02	4,44	7,19	3,76	6,78	3,62	5,70	4,34	4,85	3,04
Na ₂ O	0,17	0,26	0,19	0,09	0,14	0,32	0,17	0,08	0,12	0,06	0,41	0,07	0,07	0,08	0,13	0,07
K ₂ O	1,15	0,70	1,30	0,82	0,94	1,82	1,22	1,31	2,74	1,51	2,23	0,91	0,51	0,57	2,39	1,53
P ₂ O ₅	0,24	0,15	0,43	0,22	0,24	0,28	0,30	0,32	0,54	0,32	0,47	0,51	0,30	0,30	0,76	0,53
H ₂ O	0	3,03	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,35	0	5,89	0	0
CO ₂	0,28	0,52	0,44	0,34	0,57	0,60	0,32	0	0	0,55	0,29	0,56	1,26	1,44	0	0,28
C. org.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Somme	100,33	99,73	99,80	99,64	99,93	99,62	99,69	99,89	99,79	99,66	99,66	99,53	100,17	100,01	99,78	99,88
FeO _{tot}	69,66	72,24	66,24	74,99	73,38	61,61	61,20	64,94	48,03	65,44	48,82	66,41	76,14	65,81	51,92	59,48
Zr	46	25	87	39	36	55	59	44	68	44	63	74	31	31	82	53
Y	<	6	<	<	<	<	<	<	2	<	3	<	1	<	<	<
Sr	45	28	57	50	53	80	102	42	64	37	93	56	35	55	73	40
Rb	<	<	<	<	<	<	<	<	8	<	<	<	<	<	2	<
Ba	197	115	208	187	204	228	261	95	253	109	163	190	133	186	252	130
V	217	40	358	111	99	114	90	47	70	55	269	485	81	49	98	94
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ag	4	3	<	<	1	3	<	<	<	<	<	3	<	<	4	<
As	48	684	7	9	16	20	30	250	12	2345	34	78	63	91	433	1253
Pb	94	63	93	97	92	85	77	102	77	90	73	78	78	76	83	96
Zn	10	13	14	7	18	7	17	20	15	22	23	14	20	11	17	23
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ni	56	343	8	18	49	18	44	260	16	1193	157	103	329	222	115	290
Cr	177	157	287	76	82	95	114	54	120	90	116	269	186	75	95	116
Co	117	278	91	142	139	87	116	136	68	211	127	159	261	269	71	103

Inventaire	994/54872	994/54485	996/51443	994/53730	996/50742	996/50514	996/50656	994/56393	995/50192	994/51049	994/53716	995/53177		995/52248		
Lieu	DEV-PR	DEV-PR	CTF-TI	CTF-TI	CTF-TI	CTF-TI	CTF-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	CTF-TI	CTF-TI		CTF-TI		
Echantillon	DLP502	DLP504	CTT540	CTT541	CTT542	CTT543	CTT544	DLP535	DLP536	DLP537	CTT560	CTT5621	CTT5622	CTT5631	CTT5632	
Catalogue	9	10		13				11	12							
Type	dense petite		fluide								vitrifié					
Partie analysée	moyen		claire		sombre				inférieure		supérieure		inférieure		supérieure	
Couleur											arg. sabl.		supérieure		inférieure	
Couleur													arg. sabl.		sombre	
Couleur													arg. sabl.		claire	
Couleur													arg. sabl.		sombre	
SiO ₂	16,78	11,13	18,17	18,70	24,67	18,83	11,18	15,67	16,90	19,52	37,22	46,01	17,65	30,72	23,06	
TiO ₂	0,13	0,10	0,47	0,19	0,20	0,20	0,15	0,16	0,29	0,31	0,23	0,32	0,25	0,23	0,15	
Al ₂ O ₃	2,9	2,1	11,03	3,91	4,36	4,53	3,23	3,30	5,18	5,89	5,22	6,86	5,63	5,14	3,42	
Fe ₂ O ₃	40,85	62,11	21,02	33,76	29,33	29,04	38,50	37,33	40,11	27,22	24,71	19,98	42,63	20,44	35,95	
FeO	26,9	12,00	31,97	37,17	27,72	37,42	36,12	32,40	28,49	36,29	21,98	15,04	25,29	30,45	29,03	
Fe m.	6,43	0	3,25	0	3,69	3,70	7,64	5,30	0	1,17	2,16	0,96	1,95	1,34	2,23	
MnO	0,05	0,04	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,14	0,17	0,08	0,09	0,18	0,07	0,06	
MgO	0,55	0,25	0,66	0,71	0,59	0,45	0,41	0,57	0,68	0,88	1,21	1,02	0,89	0,78	0,77	
CaO	2,58	0,88	10,43	2,42	6,24	3,38	1,22	2,68	3,97	5,44	3,24	4,93	4,61	4,03	2,12	
Na ₂ O	0,05	0,03	0,26	0,29	0,29	0,25	0,40	0,12	0,13	0,16	0,48	0,63	0,23	0,51	0,43	
K ₂ O	1,06	0,3	0,90	0,84	1,40	0,97	0,72	1,00	0,94	1,20	2,06	2,60	0,62	2,41	1,39	
P ₂ O ₅	0,26	0,22	0,59	0,29	0,43	0,60	0,46	0,46	0,41	0,46	0,29	0,44	0,36	0,27	0,20	
H ₂ O	0	7,36	0	0,53	0	0	0	0	1,34	0	0	0	0	0	0	
CO ₂	0,82	3	0,30	0,61	0,11	0,12	0,10	0,92	1,15	0,36	0,11	0,44	0,10	2,02	1,15	
C. org.	0,26	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Somme	99,63	99,52	99,20	99,62	99,09	99,55	100,17	99,95	99,73	99,06	98,97	99,31	100,40	98,38	99,97	
FeO _{tot}	71,93	67,89	55,06	67,55	58,87	68,31	80,59	72,81	64,58	62,29	46,98	34,25	66,17	50,56	64,24	
Zr	32	28	95	37	55	48	31	37	66	72	64	98	76	72	37	
Y	5	4	<	8	<	<	7	<	<	<	3	9	4	2	8	
Sr	28	10	122	50	92	51	29	41	70	92	75	86	97	76	32	
Rb	5	<	2	5	<	<	<	<	<	<	9	37	12	3	10	
Ba	93	28	228	202	299	194	114	193	198	263	322	368	348	332	191	
V	68	94	412	125	58	160	133	90	215	242	63	70	69	39	37	
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Ag	<	<	4	4	<	5	3	1	<	7	2	3	<	4	<	
As	948	3987	5	9	23	9	19	27	37	35	42	11	22	130	175	
Pb	72	74	69	71	83	88	87	89	79	75	73	59	64	69	65	
Zn	32	26	16	17	13	11	20	18	29	11	24	18	13	9	12	
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Ni	862	1131	26	28	53	19	41	60	83	161	227	46	38	120	82	
Cr	175	85	205	160	99	159	132	72	107	102	157	195	159	157	186	
Co	172	200	91	205	102	92										

Inventaire	995/50516		996/50525		994/54703		994/53950		994/54471		995/50251		994/50779		994/54723		994/53788		994/53777		994/53866		994/53863		994/53878									
Lieu	CTT-TI		CTT-TI		DEV-PR		DEV-PR		DEV-PR		DEV-PR		DEV-PR		DEV-PR		CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI							
Echantillon	CTT5641	CTT5642	CTT565	DLP5421	DLP5422	DLP543	DLP544	DLP545	DLP546	DLP5091	DLP5092	CTT5048	CTT5058	CTT506B	CTT507B	CTT508B																		
Catalogue	14																15																	
Type	vitrifié																bourelet																	
Partie analysée	supérieure		inférieure		centre		supérieure		inférieure		supérieure		inférieure		supérieure		inférieure		supérieure		inférieure		supérieure		inférieure		supérieure		inférieure					
Couleur	claire		sombre		moyen		claire		moyen		claire		moyen		arg. sabl.		moyen		arg. sabl.		moyen		arg. sabl.		moyen		arg. sabl.		moyen					
SiO ₂	45,43	15,24	33,59	39,58	32,89	32,60	29,23	29,76	40,72	56,49	39,55	24,55	26,47	34,71	24,56	25,36																		
TiO ₂	0,27	0,13	0,41	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,33	0,34	0,29	0,19	0,33	0,24	0,21	0,23																		
Al ₂ O ₃	6,42	2,49	7,93	6,53	5,73	5,85	4,73	4,70	7,10	8,12	6,17	4,55	7,15	5,49	4,76	5,22																		
Fe ₂ O ₃	24,48	51,41	22,09	12,93	29,22	28,15	36,05	33,66	16,72	12,11	17,83	41,90	41,21	28,35	31,48	28,44																		
FeO	9,97	22,37	25,89	25,93	19,95	16,21	19,16	23,76	16,22	11,98	23,02	14,10	13,54	14,01	32,29	28,83																		
Fe m.	0,50	0	4,36	0,76	0,56	5,62	2,37	0	0	0	2,6	5,10	3,50	7,42	0	3,61																		
MnO	0,09	0,07	0,10	0,12	0,11	0,17	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09	0,09	0,19	0,07	0,07	0,11																		
MgO	1,01	0,53	0,69	1,28	1,06	1,06	0,95	0,93	1,13	1,2	1,15	0,82	1,14	0,84	0,86	0,78																		
CaO	3,78	1,56	2,25	7,59	5,61	6,08	3,05	3,04	9,44	3,51	4,43	4,38	3,87	5,32	2,90	3,69																		
Na ₂ O	0,67	0,16	0,44	0,55	0,41	0,36	0,31	0,43	0,45	0,53	0,37	0,32	0,26	0,41	0,20	0,32																		
K ₂ O	3,98	0,97	1,36	2,93	2,16	1,99	2,39	1,87	3,52	4,44	3,38	1,82	1,60	2,35	1,83	1,55																		
P ₂ O ₅	0,39	0,28	0,36	0,50	0,43	0,42	0,36	0,36	0,64	0,36	0,45	0,28	0,59	0,44	0,25	0,42																		
H ₂ O	0	0,88	0	0	0	0	0	0,13	1,91	0,28	0	0	0	0	0,11	0																		
CO ₂	2,10	3,56	0,10	0,29	0,73	0,47	0,59	0,77	0,80	0,29	0,63	0,81	0,20	0,21	0,36	0,76																		
C. org.	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																		
Somme	99,29	99,64	99,58	99,32	99,13	99,23	99,49	99,69	99,09	99,75	99,97	98,91	100,03	99,86	99,87	99,33																		
FeO _{tot}	32,65	68,63	51,38	38,54	46,96	48,77	54,65	54,05	31,27	22,88	42,41	58,36	55,12	49,07	60,62	59,06																		
Zr	88	28	108	104	86	69	63	57	110	108	83	74	85	78	54	60																		
Y	9	7	<	6	1	2	<	<	7	14	5	<	<	<	<	<																		
Sr	59	14	82	102	73	179	52	69	86	72	76	70	113	69	47	64																		
Rb	41	2	<	28	8	8	<	<	54	65	20	<	<	<	<	<																		
Ba	335	143	339	361	299	654	290	317	389	317	242	131	100	138	88	100																		
V	67	202	132	93	80	71	61	67	71	59	65	45	376	71	99	89																		
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<																		
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<																		
Ag	3	8	6	5	<	5	<	7	3	<	<	<	<	1	<	<																		
As	28	69	19	38	35	29	62	204	40	229	1988	12	15	11	93	16																		
Pb	45	60	74	53	54	62	63	66	44	49	62	58	66	56	61	63																		
Zn	13	12	13	15	12	9	14	31	8	33	25	13	18	19	17	15																		
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<																		
Ni	102	193	54	162	130	131	215	235	132	157	524	44	106	25	560	120																		
Cr	184	270	227	155	147	144	113	131	150	161	142	111	134	120	104	97																		
Co	61	291	101	97	103	105	156	177	87	74	131	79	92	68	126	95																		

Inventaire	994/53768		994/53853		994/52838			994/53232		994/54420		994/56201		994/54514		994/51261		995/50548		994/55614													
Lieu	CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI			CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI		CTT-TI		DEV-PR		DEV-PR		DEV-PR													
Echantillon	CTT509B	CTT510B	CTT5351	CTT5352	CTT5353	CTT536	CTT5371	CTT5372	CTT5381	CTT5382	CTT5391	CTT5392	DLP521	DLP520	DLP5061	DLP5062																	
Catalogue	16																17																
Type	bourelet																																
Partie analysée	supérieure		centre		inférieure		centre		supérieure		inférieure		supérieure		centre		supérieure		centre		supérieure		centre										
Couleur	arg. sabl.		claire		sombre		moyen		claire		sombre		claire		sombre		claire		sombre		moyen		arg. sabl.		sombre								
SiO ₂	27,61	26,93	42,06	34,46	24,07	33,08	27,55	21,25	38,52	30,12	31,12	27,23	26,05	24,56	48,8	28,48																	
TiO ₂	0,20	0,26	0,30	0,26	0,18	0,31	0,23	0,19	0,34	0,32	0,32	0,29	0,20	0,31	0,39	0,22																	
Al ₂ O ₃	4,68	5,65	6,09	5,15	3,55	5,82	4,63	3,64	6,96	6,48	5,61	5,47	4,76	6,58	9,44	5,29																	
Fe ₂ O ₃	32,38	22,84	21,78	25,94	28,59	21,71	29,79	37,08	21,59	24,42	29,46	41,57	20,68	33,14	14,38	24,9																	
FeO	28,31	34,82	17,79	22,95	31,66	24,31	24,53	28,37	15,86	26,77	19,20	12,80	36,98	26,22	17,32	28,1																	
Fe m.	0	1,43	0,61	0,82	4,02	4,47	3,71	3,20	4,36	1,71	3,42	5,89	3,39	1,63	0	4,77																	
MnO	0,11	0,15	0,07	0,06	0,06	0,09	0,07	0,05	0,10	0,11	0,06	0,06	0,08	0,07	0,1	0,09																	
MgO	0,96	0,93	0,90	0,85	0,76	0,89	0,85	0,63	1,04	0,62	0,78	0,62	0,78	0,66	0,87	0,68																	
CaO	2,69	3,68	5,04	5,35	3,58	5,18	5,51	3,07	6,88	5,42	4,89	2,95</																					

Inventaire	994/55410	994/53736	996/50660	994/56367	994/55321	995/50983	994/54768	994/55480	994/57603	994/52859	995/53047	994/53346	994/53472	995/50133	994/51539	
Lieu	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	CTT-TI	DEV-PR	DEV-PR	
Echantillon	CTT531	CTT532	CTT533	CTT534	DLP547	DLP548	DLP501	CTT566	CTT567	CTT568	CTT570	DLP526	CTT569	DLP5271	DLP5272	DLP528
Catalogue				18			19	21								
Type	charbons								circulaire							
Partie analysée					inférieure	inférieure					inférieure					
Couleur	sombre								sombre				moyen	supérieure	inférieure	inférieure
SiO ₂	21,54	19,93	17,46	23,11	18,64	16,55	23,94	19,87	25,28	32,60	20,40	15,90	22,74	15,37	13,54	19,10
TiO ₂	0,21	0,20	0,44	0,19	0,16	0,17	0,19	0,15	0,26	0,26	0,24	0,27	0,16	0,17	0,12	0,28
Al ₂ O ₃	4,04	3,38	8,67	3,80	3,13	3,07	4,14	3,32	4,86	5,13	4,57	5,94	3,72	3,47	2,50	5,87
Fe ₂ O ₃	33,17	46,09	37,87	35,15	40,24	54,16	30,08	47,44	30,70	24,34	31,14	24,39	31,33	34,68	33,62	24,79
FeO	29,95	22,44	25,25	26,39	30,88	18,43	34,94	22,42	28,17	22,90	31,55	44,23	28,54	35,08	37,68	41,38
Fe m.	4,23	0	3,64	5,00	0	0	1,05	0	2,08	3,41	2,05	2,02	1,34	2,21	5,28	1,13
MnO	0,06	0,05	0,12	0,07	0,05	0,08	0,08	0,04	0,06	0,11	0,16	0,11	0,13	0,13	0,08	0,17
MgO	0,70	0,74	0,53	0,66	0,65	0,51	0,73	0,59	0,82	1,14	0,92	0,79	0,80	0,82	0,58	0,76
CaO	2,66	2,73	2,69	2,56	1,93	2,65	2,73	1,75	4,16	5,48	5,55	3,81	5,34	5,67	4,78	3,76
Na ₂ O	0,72	0,40	0,29	0,23	0,14	0,11	0,09	0,28	0,95	0,34	0,97	0,16	0,85	0,17	0,15	0,17
K ₂ O	1,19	1,04	1,09	1,59	1,49	0,67	1,22	1,27	1,62	3,03	1,64	1,33	1,74	1,23	0,93	1,28
P ₂ O ₅	0,31	0,22	0,64	0,46	0,29	0,40	0,35	0,18	0,31	0,63	0,48	0,43	0,40	0,42	0,34	0,61
H ₂ O	0	1,49	0	0	1,34	1,02	0	1,27	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂	0,24	0,80	0,48	0,24	0,58	2,10	0,26	0,62	0,27	0,23	0,10	0,30	0,60	0,32	0,26	0,56
C. org.	0	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0	0	0,14
Somme	99,02	99,62	99,28	99,46	99,53	99,91	99,8	99,20	99,54	99,61	99,76	99,68	97,81	99,73	99,87	99,99
FeO _{tot}	65,23	63,91	64,01	64,45	67,09	67,16	63,36	65,10	58,46	49,18	62,21	68,77	58,46	69,14	74,72	65,13
Zr	51	36	94	51	42	38	42	36	81	75	60	56	47	43	27	63
Y	<	7	<	<	<	6	6	7	<	3	<	<	<	<	6	<
Sr	54	29	73	58	26	37	37	29	68	100	88	48	70	131	119	95
Rb	<	9	<	<	<	3	9	7	<	10	<	<	<	<	4	<
Ba	219	154	279	258	209	156	153	157	207	319	323	303	288	387	332	274
V	102	114	394	81	104	124	155	71	89	97	132	590	37	110	88	279
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ag	<	5	<	1	<	2	5	6	3	5	9	2	<	<	1	<
As	8	15	20	8	23	102	93	143	10	28	7	-3	71	30	33	12
Pb	86	67	75	81	83	60	69	66	77	65	82	79	80	88	71	81
Zn	17	16	12	18	16	11	25	9	9	12	9	9	12	16	13	14
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ni	6	70	89	42	127	313	60	22	34	61	7	19	180	221	114	32
Cr	153	146	188	118	112	174	185	191	115	144	89	320	129	142	82	65
Co	94	233	118	90	136	330	49	196	76	62	71	131	153	352	300	121

Inventaire	994/54677	994/50337	994/50991	994/53778	994/54355	994/56220	994/54357	994/54481	994/54577	995/50126	995/50194	995/50874	994/54669	994/52857		
Lieu	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	CTT-TI		
Echantillon	DLP530	DLP531	DLP533	CTT5018	CTT526	CTT527	CTT528	CTT529	CTT530	DLP511	DLP513	DLP514	DLP5031	DLP5032	CTT5221	CTT5222
Catalogue	20					22							23			
Type	circulaire			concave											convexe	
Partie analysée	inférieure	inférieure	inférieure										supérieure	inférieure	supérieure	inférieure
Couleur	sombre			sombre			sombre?			claire	claire	claire	claire	claire	claire	claire
SiO ₂	19,20	18,47	22,12	33,39	26,54	26,46	23,17	33,71	30,52	21,32	27,16	32,45	17,49	19,69	27,65	12,59
TiO ₂	0,17	0,17	0,18	0,22	0,24	0,28	0,20	0,26	0,23	0,17	0,20	0,29	0,14	0,15	0,21	0,14
Al ₂ O ₃	3,40	3,19	3,90	4,99	4,52	5,24	3,91	5,81	4,93	3,35	4,55	5,83	3,14	3,19	4,48	2,20
Fe ₂ O ₃	33,10	32,41	33,71	31,17	37,86	31,37	37,41	21,99	30,30	42,90	26,78	23,50	32,19	45,46	31,16	51,02
FeO	33,38	35,53	30,40	11,71	22,14	26,77	24,90	24,69	21,49	21,34	26,37	23,70	34,19	27,13	22,41	26,39
Fe m.	4,86	0	2,94	8,41	0,92	3,10	0	3,46	3,12	0	0,15	0	7,20	0	4,41	3,65
MnO	0,07	0,04	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,09	0,12	0,05	0,06	0,08	0,05
MgO	0,70	0,52	0,66	0,83	0,72	0,67	0,82	0,86	0,86	0,70	1,05	1,04	0,47	0,61	0,86	0,57
CaO	2,54	6,96	4,16	5,14	2,70	2,98	2,33	4,57	3,62	2,67	10,37	6,84	2,38	1,96	4,17	1,60
Na ₂ O	0,23	0,17	0,18	0,40	0,18	0,18	1,06	0,55	0,36	0,21	0,35	0,37	0,06	0,05	0,27	0,28
K ₂ O	1,38	0,97	0,99	1,95	1,64	1,85	1,48	2,21	2,47	1,06	1,61	2,19	0,96	0,90	2,68	1,08
P ₂ O ₅	0,44	0,29	0,30	0,20	0,33	0,41	0,38	0,38	0,32	0,29	0,34	0,56	0,57	0,67	0,44	0,21
H ₂ O	0	0,54	0	0	0	0	0,73	0	0	2,88	0	1,13	0	0,05	0	0
CO ₂	0,43	0,30	0,41	0,68	1,21	0,08	2,63	0,57	0,85	3,18	0,69	1,32	0,86	0	0,22	0,41
C. org.	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,11	0	0
Somme	99,91	99,55	100,02	99,16	99,08	99,45	99,22	99,15	99,14	100,13	99,70	99,36	99,81	99,92	99,04	100,20
FeO _{tot}	69,42	64,70	64,52	50,58	57,38	58,98	58,56	48,93	52,76	59,94	50,65	44,85	72,42	68,03	56,12	77,00
Zr	43	46	46	56	64	65	55	74	59	44	53	89	40	35	54	32
Y	<	<	<	<	<	<	<	3	1	7	3	1	6	5	<	7
Sr	51	51	50	58	51	75	45	80	77	33	88	89	37	27	85	21
Rb	<	<	<	<	<	<	<	8	<	5	6	10	8	5	<	3
Ba	205	193	227	85	230	277	213	351	326	152	231	366	94	95	252	114
V	97	40	91	70	78	121	76	67	76	64	108	111	90	138	125	163
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ag	1	<	4	<	2	<	2	5	3	<	2	5	<	4	5	<
As	10	37	9	22	80	6	149	19	34	185	51	21	1661	384	15	67
Pb	85	81	79	56	78	75	81	62	67	49	53	59	66	72	78	68
Zn	16	8	12	15	12	13	8	17	15	13	11	15	26	20	9	4
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ni	21	196	28	248	138	6	180	53	107	335	143	120	927	340	45	334
Cr	85	52	113	92	114	86	143	153	148	166	153	122	127	179	157	191
Co	110	190	118	121	156	70	139	63	101	353	105	127				

Inventaire	994/56146	994/56642	994/53219	995/50246	994/55359	994/54802	994/54747	994/52858	995/50424	995/50380	995/53551	994/58368	994/58368				
Lieu	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	DEV-PR	CTT-TI	DEV-PR	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI				
Echantillon	CTT523	CTT524	CTT525	DLP507	DLP525	DLP5241	DLP5242	DLP522	CTT5211	CTT5212	DLP5152	DLP5151	DLP516	CTT301	CTT302	CTT303	
Catalogue														24	25		
Type	convexe												dense		ferrugineuse		
Partie analysée	supérieure	supérieure	centre		supérieure		centre	supérieure	centre	inférieure	inférieure	supérieure					
Couleur	sombre					sombre	moyen	moyen	moyen		sombre						
SiO ₂	30,22	25,90	25,77	21	21,54	28,27	27,88	30,70	30,42	24,03	24,41	24,47	12,69	7,86	12,19	13,37	
TiO ₂	0,28	0,27	0,19	0,17	0,19	0,26	0,26	0,25	0,26	0,21	0,18	0,19	0,20	0,09	0,16	0,17	
Al ₂ O ₃	5,36	5,31	4,34	3,56	4,36	6,35	6,14	5,52	4,90	3,68	3,88	4,13	3,65	1,58	3,09	3,24	
Fe ₂ O ₃	27,97	31,67	41,92	39,8	20,92	19,04	18,32	15,77	33,58	34,22	23,67	28,42	27,71	67,76	59,6	57,14	
FeO	22,58	23,83	19,55	25,21	40,55	30,99	35,42	35,26	16,98	25,82	37,39	29,81	46,53	13,29	12,03	14,17	
Fe m.	3,28	3,51	0,49	3,8	3,89	3,79	1,48	3,06	1,11	3,02	3,03	5,30	1,86	0	0	0	
MnO	0,05	0,07	0,08	0,05	0,07	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,09	0,01	0,06	0,06	
MgO	0,54	0,82	0,73	0,7	0,88	0,86	0,86	0,82	0,87	0,88	0,85	0,74	0,61	0,34	0,42	0,42	
CaO	5,81	5,07	3,05	3,11	4,97	6,55	6,20	4,83	6,09	4,34	4,00	4,56	4,57	0,64	1,29	1,46	
Na ₂ O	0,32	0,46	0,66	0,07	0,27	0,34	0,30	0,43	0,37	0,19	0,21	0,31	0,13	0	0,03	0,05	
K ₂ O	2,07	1,85	1,78	1,73	1,36	1,80	1,77	2,19	2,43	1,73	1,03	1,44	0,94	0,17	0,42	0,51	
P ₂ O ₅	0,37	0,23	0,22	0,38	0,26	0,62	0,59	0,41	0,95	0,64	0,23	0,23	0,44	0,13	0,25	0,28	
H ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	8,21	8,46	
CO ₂	0,11	0,29	0,61	0,19	0,55	0,29	0,32	0,27	0,67	0,32	0,44	0,33	0,54	1,58	2,09	0,22	
C. org.	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	
Somme	99,14	99,29	99,41	99,76	99,82	99,28	99,67	99,61	98,73	99,16	99,40	99,99	99,96	99,64	99,84	100,1	
FeO _{tot}	51,97	56,85	57,90	65,91	64,37	53,00	53,81	53,39	48,63	60,50	62,59	62,20	73,85	74,26	65,66	65,58	
Zr	67	79	268	39	47	70	68	71	73	65	46	47	45	23	42	50	
Y	2	2	43	5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	21	31	23	
Sr	105	108	172	31	66	109	110	106	74	64	64	62	71	8	22	31	
Rb	2	7	116	9	<	<	<	<	<	<	<	<	<	5	6	4	
Ba	301	316	630	93	240	372	368	311	294	302	225	255	194	66	103	126	
V	64	92	112	113	180	125	131	105	114	86	79	61	114	50	157	111	
Sn	<	<	6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Sb	<	<	4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Ag	<	2	8	<	7	4	<	<	5	<	4	<	3	3	2	3	
As	15	70	3	2556	4	5	19	7	14	7	17	50	23	1772	195	173	
Pb	70	70	28	59	82	67	76	66	75	81	84	81	85	74	65	84	
Zn	16	15	99	23	12	14	12	16	14	11	14	16	12	7	8	4	
Cu	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	6	<	<	
Ni	59	220	33	191	4	2	19	17	15	23	58	219	85	164	230	159	
Cr	94	113	85	145	77	70	77	140	135	50	120	125	68	138	128	66	
Co	106	116	13	51	97	82	82	84	81	82	126	169	161	102	205	280	

Inventaire	994/58378	995/51058	994/56615	994/58375	994/58376	994/58363	994/58364	994/56613	994/58377	994/58365	994/58366	994/58367	994/58353	994/58355	994/58356	994/58360	
Lieu	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	
Echantillon	CTT304	CTT305	DLP901	CTT9101	CTT9102	CTT9201	CTT9202	DLP902	CTT9103	CTT9203	CTT9204	CTT9205	CTT001	CTT002	CTT003	CTT004	
Catalogue	71 72 73 74 75 76 77 78 79 80																
Type	ferrugineuse		battitures											coulée			
Partie analysée			lamellaires				globulaires				rouillées	scoriacées					
Couleur																	
SiO ₂	13,45	17,98	5,29	5,71	2,28	7,8	13,68	19,06	18,3	16,81	15,97	17,97	25,23	24,87	22,4	23,36	
TiO ₂	0,13	0,3	0,09	0,11	0,07	0,17	0,23	0,27	0,29	0,3	0,18	0,27	0,38	0,33	0,24	0,39	
Al ₂ O ₃	2,55	5,38	1,72	1,86	1,02	2,49	3,84	6,09	4,94	5,02	3,35	4,73	7,1	6,45	4,09	7,38	
Fe ₂ O ₃	61,04	51,57	61,23	51,29	52,96	61,35	51,05	33,98	41,67	50,16	56,87	38,99	22,01	25,3	29,08	24,09	
FeO	12,23	8,07	22,4	33,21	36,62	23,39	24,23	31,32	25,77	20,12	11,43	29,69	32,67	29,88	34,35	32,86	
Fe m.	0	0	6,44	4,08	4,15	0	0,94	2,52	0	0	0	0	3,15	4,73	4,15	3,1	
MnO	0,04	0,15	0,04	0,04	0,03	0,05	0,07	0,13	0,1	0,08	0,09	0,08	0,18	0,17	0,07	0,15	
MgO	0,47	0,53	0,24	0,38	0,26	0,42	0,58	0,64	0,74	0,65	0,46	0,67	0,95	0,89	0,63	0,86	
CaO	1,42	2,37	0,85	0,64	0,36	0,73	1,3	3,04	2,34	2,02	1,17	2,41	4,74	4,45	3,03	4,63	
Na ₂ O	0,01	0,12	0,02	0	0	0	0	0,05	0,1	0,03	0,06	0,05	0,08	0,08	0,1	0,06	
K ₂ O	0,41	0,84	0,14	0,12	0,04	0,13	0,32	0,88	0,77	0,69	0,47	0,8	1,75	1,59	0,99	1,53	
P ₂ O ₅	0,26	0,74	0,3	0,15	0,08	0,27	0,41	0,7	0,4	0,5	0,43	0,51	0,51	0,37	0,23	0,45	
H ₂ O	4,95	8,14	0	0	0	0,47	0	0	1,43	0,99	3,71	0,94	0	0	0	0	
CO ₂	2,86	3,44	0,75	2,35	1,94	2,78	3	1,33	2,49	2,75	5,39	2,93	0,72	0,4	0,36	0,56	
C. org.	0	0	0,12	0	0	0,13	0,11	0	0,18	0	0,25	0	0	0	0	0	
Somme	99,82	99,63	99,63	99,95	99,81	100,18	99,75	100,01	99,52	100,12	99,84	100,02	99,47	99,51	99,72	99,42	
FeO _{tot}	67,15	54,47	85,78	84,61	89,61	78,59	71,37	65,14	63,26	65,25	62,60	64,77	56,53	58,73	65,86	58,52	
Zr	38	91	23	23	16	60	37	60	54	58	60	57	82	75	65	96	
Y	18	<	4	21	19	19	6	<	9	9	22	9	21	18	14	20	
Sr	31	50	9	11	4	26	14	50	35	31	36	48	60	54	37	64	
Rb	3	<	<	8	8	3	<	<	<	<	2	<	41	37	29	40	
Ba	115	106	46	53	56	113	<9	148	44	37	202	42	124	118	120	126	
V	88	426	99	102	54	209	169	282	263	328	122	331	258	245	118	478	
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	
Ag	<	<	<	3	3	3	2	<	2	2	1	1	<	<	<	<	
As	722	128	603	28	22	55	66	457	33	34	256	40	57	19	156	11	
Pb	85	39	97	89	95	95	61	113	45	39	87	45	<	<	<	<	
Zn	2	34	37	6	6	<	38	37	19	20	<	27	35	26	27	34	
Cu	<	<	<	<	<	<	8	<	8	8	<	4	34	14	7	22	
Ni	161	845	632	84	84	47	357	193	95	87	188	156	64	29	25	22	
Cr	114	85	83	103	62	85	151	148	314	307	84	232	121	132	177	198	
Co	235	259	160	210	271	199	164	107	53	70	274	102	49	47	20	34	

Inventaire	994/58361	994/58358	994/58373	995/52163	994/56616	994/58371	994/58369	994/58370	994/58372
Lieu	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	DEV-PR	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI	CTT-TI
Echantillon	CTT005	CTT006	CTT007	CTT101	DLP101	CTT701	CTT702	CTT703	CTT721
Catalogue									
Type	coulée			pisolithes		paroi			argilo-sableuse
Partie analysée									
Couleur									
SiO ₂	24,27	25,79	22,24	11,95	12,01	68,4	70,48	72,61	63,19
TiO ₂	0,28	0,34	0,26	0,73	0,74	0,33	0,34	0,42	0,34
Al ₂ O ₃	6,27	6,3	5,48	14,35	14,31	10,81	11,18	11,65	9,22
Fe ₂ O ₃	23,17	42,57	23,24	59,04	59,22	7,38	2,95	3,78	3,41
FeO	35	4,8	37,54	0	0,36	5,19	5,99	2,62	10,53
Fe m.	2,66	10,23	2,93	0	0	0	0	0	0
MnO	0,15	0,17	0,12	0,1	0,11	0,08	0,08	0,07	0,11
MgO	0,89	0,93	0,75	0,15	0,1	1,21	1,23	1,21	1,74
CaO	4,17	5,3	4,96	0,2	0,2	1,33	1,32	1,4	4,56
Na ₂ O	0,11	0,12	0,09	0,04	0,02	1,07	1	0,95	0,94
K ₂ O	1,7	1,71	1,23	0,01	0,02	2,45	2,91	2,67	4,03
P ₂ O ₅	0,59	0,48	0,35	0,28	0,34	0,08	0,1	0,11	0,2
H ₂ O	0	0	0	12,34	11,76	0,41	0,7	0,61	0,7
CO ₂	0,42	0,44	0,58	0,59	0,53	0,33	0,71	1	0,46
C. org.	0	0	0	0,13	0,06	0	0	0	0
Somme	99,68	99,18	99,77	99,91	99,77	99,07	98,99	99,1	99,43
Fe _{O_{tot}}	59,27	56,27	62,22	53,12	53,65	11,83	8,64	6,02	13,60
Zr	68	80	62	146	140	57	56	71	73
Y	21	18	12	25	21	17	18	19	20
Sr	66	59	45	20	20	49	51	52	61
Rb	41	39	34	7	7	84	91	91	105
Ba	140	136	99	<9	22	362	375	375	365
V	154	197	125	2382	1981	44	46	48	45
Sn	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Sb	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ag	<	<	<	<	<	<	<	<	<
As	10	<	67	529	922	36	77	25	34
Pb	<	<	<	141	130	18	13	15	<
Zn	26	25	25	398	369	37	39	42	25
Cu	12	12	16	<	<	13	13	12	8
Ni	24	29	99	431	417	136	152	148	142
Cr	51	121	117	1272	1165	102	95	89	73
Co	28	28	93	56	67	90	111	118	50

3

Analyses du métal par spectrométrie de masse à source plasma à couplage inductif avec ablation laser (LA-ICP-MS)

Wim Devos, Marianne Senn (Empa-Dübendorf, Laboratoire chimie analytique)

Cat.	Inventaire	Catégorie / type	Analyse	Médiane (mg/kg)										Limite de détection (mg/kg)										RSD (%) - écarts types									
				V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As	Ag	Ni/Co	C*	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As	Ag	V	Cr	Mn	P	Co	Ni	Cu	As	Ag	
1	DEV 994/54641 PR	calotte	DEV54641	7	20	10	200	100	500	100	1100	< 0.3	2.2	0.8	1	7	0.4	50	1	2	1	2	0.3	76	46	31	32	8	9	46	15	-	
7	DEV 994/50221 PR	calotte	DEV66a	<	7	120	1300	2800	300	2800	0.3	2.2	0.3-0.8	1	5	1	37	1	2	1	2	0.1	-	-	-	51	24	36	44	41	29	34	
16	CTI 994/52838 TI	calotte	CTI52838	2	20	8	600	90	350	800	560	0.6	3.9	0.8	1	10	1	37	1	1	1	0.4	34	45	25	25	5	2	125	14	123		
17	DEV 994/55614 PR	calotte	DEV51B	<	8	4	<	610	1650	120	900	< 2.7	0.8	1	6	1	46	1	1	1	0.2	-	-	65	6	-	3	6	15	33	-		
20	DEV 994/50337D	calotte	DEV994/50337D	<	10	100	1100	3700	300	2100	0.5	3.4	0.9	0.9	6	0.3	13	0.2	1	0.3	0.5	0.1	-	-	115	64	3	4	28	21	113		
15	DEV 994/54723 PR	calotte	DEV994-1197B	8	20	6	500	50	720	60	4900	n.d.	14.4	0.1	1	3	1	9	1	1	1	-	73	46	73	29	9	16	11	43	-		
9	DEV 994/54720 PR	calotte	DEV1190	1	60	10	1400	800	2300	500	4600	<	2.9	0.0-0.3	0.4	2	1	43	1	2	3	0.3	66	135	42	53	25	31	102	11	-		
8	DEV 994/54872 PR	calotte	DEV994/1525	1	60	10	400	1000	1900	190	1200	n.d.	1.9	0.7	0.1	39	1	9	1	1	1	0.1	52	175	57	37	21	21	13	37	-		
26	DEV 994/54485 PR	calotte	DEV700	50	100	6	230	430	920	1000	2500	0.2	2.1	0.8	1	8	1	57	1	1	1	0.1	32	30	26	31	6	6	107	10	59		
27	DEV 994/56601 PR	score ferrugineuse	DEV284	40	40	50	2000	430	1250	90	1000	n.d.	2.9	0.6	4	18	3	92	1	6	2	4	108	54	20	153	12	4	11	92	-		
29	DEV 994/52556 PR	score ferrugineuse	DEV62	20	<	50	2000	430	1200	200	880	n.d.	2.8	0.8	1	14	4	84	2	9	2	5	53	-	31	45	5	4	52	8	-		
30	DEV 994/52555 PR	score ferrugineuse	DEV57	50	60	40	2000	310	850	600	850	n.d.	2.7	2	1	14	3	50	2	7	0.8	5	41	19	110	68	3	4	175	12	-		
32	DEV 994/56594 PR	score ferrugineuse	DEV64.2	50	70	10	1000	300	900	60	700	n.d.	3.0	0.8	0.8	16	1	108	1	5	1	1	58	47	34	41	43	50	44	39	-		
33	DEV 994/52581 PR	score ferrugineuse	DEV29	7	<	40	1000	200	600	500	500	n.d.	3.0	0	2	29	2	114	1	11	2	7	50	-	57	27	18	44	38	61	-		
35	DEV 994/52602 PR	score ferrugineuse	DEV45.1	2	20	10	3000	1200	3700	200	5000	n.d.	3.1	0	0.8	17	2	156	1	5	2	3	103	85	20	40	6	9	44	35	-		
37	DEV 994/52609 PR	score ferrugineuse	DEV37	6	<	20	300	1070	3300	160	1500	n.d.	3.1	2.2	1	17	3	184	2	6	2	7	48	50	17	46	4	4	22	21	-		
38	DEV 994/52698 PR	score ferrugineuse	DEV42	6	40	20	<	590	1560	70	400	n.d.	2.6	0.8	3	33	6	229	2	6	2	4	48	50	17	46	4	4	22	21	-		
40	DEV 994/56600 PR	score ferrugineuse	DEV26.2	30	70	50	3000	370	910	1000	1000	n.d.	2.5	3	2	36	4	219	1	4	1	3	57	34	31	60	10	10	76	34	-		
42	DEV 994/51155 PR	score ferrugineuse	DEV995/73.1	90	100	200	3000	380	1010	90	700	n.d.	2.7	<4.3	1	38	2	180	1	5	3	8	82	40	163	142	8	16	33	-			
43	DEV 994/51156 PR	score ferrugineuse	DEV172.1	2	<	9	1100	680	1760	110	600	n.d.	2.6	0	1	18	2	70	0.5	2	1	1	49	-	30	23	9	4	9	43	-		
45	CTI 994/58352 TI	score ferrugineuse	CTI58352	3	10	3	700	350	1030	150	1700	n.d.	2.9	0.9	1	3	1	9	0.3	12	1	1	105	54	30	25	79	4	5	10	22	-	
46	CTI 994/58394 TI	score ferrugineuse	CTI994/339.1	10	20	8	500	600	1540	50	1400	n.d.	2.6	0.7	1	3	1	21	0.4	2	1	1	105	54	30	25	79	4	5	10	22	-	
47	CTI 994/58346 TI	score ferrugineuse	CTI2	5	10	10	400	690	1890	150	1800	n.d.	2.7	0.8	1	5	0.2	19	0.2	2	1	2	68	83	24	71	8	9	33	33	72		
48	DEV 994/52694 PR	score ferrugineuse	DEV16	40	50	150	700	580	1380	100	350	n.d.	2.4	0.8	2	26	2	231	1	13	1	4	40	25	6	20	3	2	20	8	-		
49	DEV 994/53626 PR	score ferrugineuse	DEV671	20	<	20	1200	500	1310	120	1700	n.d.	2.6	0.4	1	15	3	35	1	4	1	4	40	40	15	23	5	3	6	13	-		
50	DEV 994/53629 PR	score ferrugineuse	DEV692	60	70	90	800	410	870	200	900	n.d.	2.1	1	1	17	2	140	1	6	2	5	42	46	11	95	2	4	70	17	-		
51	DEV 994/56595 PR	score ferrugineuse	DEV24	60	<	80	1300	430	1200	80	600	n.d.	2.8	0.8	0.4	33	2	105	1	3	1	6	36	-	31	23	2	29	88	16	-		
52	DEV 994/56598 PR	score ferrugineuse	DEV46	3	<	20	700	90	200	90	600	n.d.	2.2	0	0.9	17	3	150	0.7	5	1	5	66	-	25	59	58	66	84	92	-		
54	DEV 994/51159 PR	score ferrugineuse	DEV995/14.4B	120	<	40	1100	460	1390	70	590	n.d.	3.0	0.6	3	44	1	126	1	4	1	4	28	48	20	10	5	5	11	-	-		
55	DEV 994/56605 PR	score ferrugineuse	DEV994/73	40	<	40	2600	460	1180	140	2200	n.d.	2.6	0	0.2	79	0.1	9	0.2	1	0.5	0.2	28	-	30	10	12	14	19	17	-		
56	DEV 994/51151 PR	score ferrugineuse	DEV995.44	40	50	20	900	330	960	100	1000	n.d.	2.9	0.0-0.5	1	23	2	38	1	8	1	5	57	46	40	46	4	5	10	32	-		
57	DEV 994/51152 PR	score ferrugineuse	DEV995/70	<	<	10	700	420	800	70	1300	n.d.	1.9	0	1	128	0.3	21	0.4	1	0.4	4	-	-	37	10	12	14	19	17	-		
58	DEV 994/51154 PR	score ferrugineuse	DEV995/117.1B	<	<	10	700	420	800	70	1300	n.d.	1.9	0	1	128	0.3	21	0.4	1	0.4	4	-	-	37	10	12	14	19	17	-		
59	DEV 994/51157 PR	score ferrugineuse	DEV192.1	170	100	20	900	340	1400	3000	600	n.d.	4.1	0.9	1	21	1	40	1	1	1	2	14	28	61	26	3	6	92	13	-		
61	CTI 994/58351 TI	score ferrugineuse	CTI58351	<	<	600	550	1900	500	1000	1000	n.d.	3.5	0	0.4	6	0.2	6	0.4	1	1	1	-	-	-	29	3	8	32	22	-		
62	CTI 994/58350 TI	score ferrugineuse	CTI994/382.2	<	<	10	700	990	2200	100	1700	n.d.	2.2	0	2.2	0	4	2	0.4	2	1	2	26	-	91	25	10	9	17	17	-		
65	DEV 994/52630 PR	score ferrugineuse	DEV36	2	<	10	400	500	1300	70	1000	n.d.	2.6	0	1	37	2	35	1	7	2	2	82	-	55	32	33	40	36	59	-		
66	DEV 994/56604 PR	score ferrugineuse	DEV78	<	<	20	400	1000	1900	70	900	n.d.	2.0	0.4	1	12	3	78	1	6	0.5	6	-	-	30	32	44	6	5	12	41	-	
68	DEV 994/50600 PR	score ferrugineuse	DEV994.266	3	<	4	1300	690	1880	100	900	n.d.	2.7	0.1	1	9	0.4	4	1	2	2	2	94	-	67	40	9	7	55	23	-		
69	DEV 994/51153 PR	score ferrugineuse	DEV117.1	<	<	2	1100	700	1290	100	1800	n.d.	1.8	0	1	11	0.3	15	0.4	0.4	1	2	0.4	-	-	15	14	4	5	11	-		
70	CTI 994/50235 TI	score ferrugineuse	CTI996/196	50	20	70	480	410	900	100	1000	n.d.	2.2	0.8	3	14	0.3	9	0.3	2	4	1	2	17	5	9	1	2	47	4	-		
81	DEV 993/1664 PR	chute	DEV1664	<	<	3	6000	260	740	400	900	n.d.	2.8	0	1	7	0.1	38	1	2	1	3	0.5	-	-	25	10	1	5	40	10	-	
86	DEV 995/901 PR	ébauche	DEV995/901A	3	20	3	800	300	620	370	400	0.8	2.1	0.3	0.4	3	0.4	3	0.4	1	0.4	0.4	62	63	46	50	21	11	11	38	31		
86	DEV 995/901 PR	ébauche	DEV995/901B	2	10	<	900	200	500	400	350	<	2.5	0.3	1	6	1	16	0.3	1	0.4	1	83	40	-	106	34	26	24	14	-		
96	DEV 994/1771 PR	matière de récupération	DEV1890	30	20	8	1700	60	220	140	800	<	3.7	0	2	10	0.3	20	0	2	2	0.4	106	50	45	9	11	13	18	27	-		
101	DEV 995/1016 PR	chute	DEV1016	4	<	7	2600	700	1990	150	1400	<	2.8	0.1	1	7	0.4	42	1	4	1	0.5	30	-	23	22	6	1	4	40	8	-	
107	DEV 994/10 PR	raté	DEV994/29	2	<	9	1700	480	1200	200	1900	n.d.	2.5	0.2	1	15	2	144	1	2	1	2	65	39	24	16	6	15	38	14	-		
110	DEV 995/754 PR	raté	DEV175	2	40	6	1300	480	1200	200	1900	n.d.	2.5	0.2	1	15	2	144	1	2	1	2	65	39	24	16	6	15	38	14	-		
111	DEV 995/1015 PR	matière de récupération	DEV1004	<	<	7	400	280																									

4

Analyses des phases minérales dans les scories et battitures par microsonde électronique

Marianne Senn, Barbara Guénette-Beck (Université de Lausanne, Section des Sciences de la Terre, Laboratoire de microanalyse électronique, Prof. J. Hernandez et Dr. F. Bussy)

Olivines					% masse																	
Cat.	Inventaire	Objet	Type	Echantillon	Forme	Cristaux	Localisation	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	V ₂ O ₅	NiO	Cr ₂ O	CoO	Total			
7	DEV 994/50221 PR	calotte	aplatie	DEV 66-E1	allongée, zonée	A	bord	30,07	<	0,06	50,56	0,15	0,47	17,17	<	<	<	<	<	98,48		
							proche du bord	30,31	<	<	49,20	0,17	0,54	18,27	<	<	<	<	0,08	98,56		
							coeur	29,35	0,09	0,21	62,09	0,25	2,05	5,11	<	<	<	<	<	99,15		
								29,78	0,09	0,28	61,84	0,23	2,03	5,30	<	<	<	<	<	99,54		
							limite du bord	29,45	0,08	0,08	61,10	0,24	1,54	6,61	<	<	<	<	<	99,11		
							milieu du bord	30,53	<	<	47,77	0,18	0,53	20,26	<	<	<	<	<	99,27		
							bord	30,45	0,07	0,03	48,44	0,14	0,49	19,20	<	<	<	<	<	98,83		
							milieu du bord	30,78	<	0,03	48,77	0,15	0,55	19,46	<	<	<	<	<	99,75		
							limite du bord	30,82	<	0,05	49,24	0,14	0,71	18,53	<	<	<	<	<	99,50		
							coeur	29,88	0,07	0,08	62,20	0,21	1,96	5,22	<	<	<	<	<	99,63		
					équigranulaire, zonée	C	bord	29,92	0,07	0,24	62,13	0,25	2,07	5,27	<	<	<	<	0,09	100,04		
							limite du bord	29,95	<	0,06	60,31	0,21	1,36	8,07	<	<	<	<	<	99,97		
							milieu du bord	30,56	<	<	49,73	0,16	0,73	17,80	<	<	<	<	<	98,99		
							bord	30,61	<	0,07	48,38	0,12	0,45	19,74	<	<	<	<	0,07	99,44		
							bord	30,35	<	<	49,93	0,12	0,28	18,90	<	<	<	<	0,08	99,66		
							proche du bord	29,78	<	0,04	49,11	0,15	0,38	19,04	<	<	<	<	<	98,49		
							limite du bord	30,46	<	<	47,46	0,18	0,51	20,88	<	<	<	<	<	99,49		
							coeur	29,27	<	<	60,72	0,21	1,18	7,53	<	<	<	<	<	98,91		
								29,74	<	0,04	59,81	0,21	1,18	8,66	<	<	<	<	<	99,65		
								30,05	0,06	0,04	61,92	0,19	1,77	6,17	<	<	<	<	0,07	100,27		
13	CTT 994/53730 TI	calotte	fluide	CTT 94/53730	allongée	D	2 ^e génération	29,53	0,12	0,13	54,74	0,15	0,35	13,50	<	<	<	<	0,08	98,61		
							allongée, zonée	A	bord	30,48	<	<	44,68	<	0,37	22,69	n.d.	n.d.	<	<	<	98,22
										28,89	<	0,09	66,19	0,14	0,71	3,85	n.d.	n.d.	<	<	99,87	
										29,24	<	0,10	67,18	<	1,35	2,33	n.d.	n.d.	<	<	100,20	
										29,28	<	0,14	66,76	0,11	2,05	1,78	n.d.	n.d.	<	<	100,12	
										29,14	<	0,18	66,43	0,12	2,31	1,60	n.d.	n.d.	<	0,11	99,89	
										29,23	<	0,12	66,37	<	2,10	1,61	n.d.	n.d.	<	<	99,44	
										28,77	<	0,16	63,25	0,12	2,23	1,66	n.d.	n.d.	<	<	96,19	
										29,13	<	0,10	66,36	0,10	2,28	1,55	n.d.	n.d.	<	<	99,52	
										29,31	<	0,13	66,19	0,15	2,25	1,67	n.d.	n.d.	<	<	99,70	
						29,11			<	0,09	66,46	<	1,97	1,86	n.d.	n.d.	<	<	99,49			
						29,24	<	0,09	66,46	0,12	1,46	2,27	n.d.	n.d.	<	<	99,64					
						28,92	<	0,12	65,97	<	0,92	3,40	n.d.	n.d.	<	0,10	99,44					
						bord	30,25	<	<	47,62	<	0,33	20,61	n.d.	n.d.	<	<	98,81				
						29,96	<	0,17	45,42	<	0,19	22,03	n.d.	n.d.	<	<	97,78					
					allongée, zonée	B	bord	30,23	0,07	0,07	46,25	<	0,31	21,42	n.d.	n.d.	<	<	98,35			
								30,27	<	0,06	46,53	<	0,46	21,56	n.d.	n.d.	<	<	98,87			
							proche du bord	29,15	<	0,16	64,97	0,14	0,98	4,32	n.d.	n.d.	<	<	99,72			
							coeur	29,02	0,08	0,28	65,47	0,14	2,59	1,49	n.d.	n.d.	<	<	99,08			
								29,10	<	0,24	66,89	<	2,43	1,61	n.d.	n.d.	<	<	100,28			
	29,19	<	0,17	65,94			<	2,20	1,67	n.d.	n.d.	<	<	99,17								
proche du bord	29,21	<	0,11	66,85			0,11	1,30	2,51	n.d.	n.d.	<	<	100,09								
bord	29,85	<	<	56,61			<	0,63	12,04	n.d.	n.d.	<	<	99,13								
	29,99	<	0,07	45,25			0,11	0,29	22,20	n.d.	n.d.	<	<	97,90								
	29,81	<	0,06	46,77			<	0,29	20,92	n.d.	n.d.	<	<	97,85								
15	DEV 994/54723 PR	calotte	vitrification	DEV 994/1197	allongée, squelettique	A	bord	30,79	<	<	63,57	0,25	4,15	1,25	n.d.	n.d.	<	<	100,01			
								30,30	<	<	62,98	0,25	4,92	0,91	n.d.	n.d.	<	0,14	99,49			
								30,42	<	<	63,25	0,25	5,24	0,87	n.d.	n.d.	<	<	100,03			
								30,51	<	<	62,42	0,24	5,42	0,88	n.d.	n.d.	<	<	99,47			
								30,44	<	<	63,38	0,21	5,22	0,95	n.d.	n.d.	<	<	100,20			
					allongée	B	bord	30,39	<	<	63,24	0,24	4,86	1,15	n.d.	n.d.	<	<	99,88			
								30,45	<	<	64,18	0,27	3,60	1,55	n.d.	n.d.	<	<	100,04			
								30,59	<	0,10	63,82	0,27	4,20	1,57	n.d.	n.d.	<	<	100,56			
								30,70	<	<	64,25	0,25	3,75	1,55	n.d.	n.d.	<	<	100,49			
							bord	32,34	<	1,03	61,61	0,21	2,66	2,39	n.d.	n.d.	<	<	100,25			
16	CTT 994/52838 TI	calotte	bourelet	CTT 838-B1	allongée	A	coeur	30,18	<	0,05	66,84	0,12	2,35	1,22	<	<	<	<	100,76			
								30,11	<	0,04	66,19	0,13	2,37	1,31	<	<	<	<	100,16			
								30,13	<	0,06	66,36	0,09	2,24	1,31	<	<	<	<	100,18			
							bord	30,26	<	0,05	66,41	0,11	1,74	1,58	<	0,09	<	0,07	100,30			

Olivines

Cat.	Inventaire	Objet	Type	Echantillon	Forme	Cristaux	Localisation	% masse												
								SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	V ₂ O ₅	NiO	Cr ₂ O	CoO	Total	
17	DEV 994/55614 PR	calotte	bourrelet	DEV 994-51-A2				29,38	<	0,10	66,67	0,15	1,12	2,35	n.d.	n.d.	<	<	99,78	
								29,19	<	0,16	66,50	0,18	1,41	2,10	n.d.	n.d.	<	<	99,53	
								29,62	<	0,23	65,99	0,17	0,85	2,97	n.d.	n.d.	<	0,11	99,94	
								29,50	<	0,09	66,22	0,20	1,34	2,24	n.d.	n.d.	<	0,10	99,69	
								29,32	<	0,17	66,51	0,14	1,33	2,27	n.d.	n.d.	<	<	99,75	
								29,66	<	0,07	66,73	0,13	0,86	2,52	n.d.	n.d.	<	<	99,96	
19	DEV 994/54768 PR	calotte	avec charbon	DEV 1293.B2	équigranulaire	A	bord	29,48	0,11	0,15	65,38	0,17	0,40	3,84	n.d.	n.d.	<	<	99,53	
							bord	29,48	<	0,11	68,24	0,13	1,08	1,60	<	<	<	<	100,65	
							proche du bord	29,18	<	0,11	67,74	0,18	1,53	1,24	<	<	<	<	100,00	
							coeur	29,10	<	0,19	67,62	0,12	1,77	1,19	<	<	<	<	99,98	
								29,12	<	0,12	67,44	0,17	1,63	1,19	<	<	<	<	99,67	
					allongée	B	bord	29,58	<	0,12	65,21	<	0,58	4,19	<	0,10	<	0,08	99,86	
							proche du bord	29,45	0,06	0,09	68,49	0,10	1,16	1,46	<	<	<	<	100,82	
							coeur	29,51	<	0,21	67,13	0,13	2,07	1,11	<	<	<	0,11	100,28	
								29,59	<	0,16	67,90	<	1,83	1,10	<	<	<	<	100,57	
					allongée	C	proche du bord		29,37	<	0,10	67,80	0,12	0,92	1,88	<	<	<	<	100,19
									29,40	0,08	0,30	62,97	0,11	0,37	6,25	<	<	<	0,08	99,57
								coeur	29,41	<	0,11	66,00	0,16	0,65	3,29	<	<	<	<	99,62
									29,56	<	0,11	67,50	0,13	1,61	1,23	<	<	<	0,07	100,22
									29,51	<	0,17	67,42	0,15	2,12	1,04	<	<	<	<	100,42
	proche du bord	28,98	<	0,20			67,39	0,17	1,26	1,31	<	<	<	<	99,32					
20	DEV 994/50337 PR	calotte	circulaire	DEV 50337-D	équigranulaire, zonée	A	bord	30,75	<	0,14	53,14	<	1,27	14,51	n.d.	n.d.	<	<	99,81	
							proche du bord	30,94	<	<	46,79	<	1,33	19,90	n.d.	n.d.	<	<	98,96	
							coeur	31,18	<	<	43,45	<	1,28	22,66	n.d.	n.d.	<	<	98,58	
								31,33	<	<	42,03	<	1,34	24,64	n.d.	n.d.	<	<	99,33	
							31,38	<	<	43,69	<	1,39	23,36	n.d.	n.d.	<	<	99,82		
						proche du bord	31,35	<	<	45,12	0,11	1,26	21,71	n.d.	n.d.	<	<	99,55		
						bord	30,39	<	0,19	56,83	0,13	1,43	10,72	n.d.	n.d.	<	<	99,67		
					équigranulaire, zonée	B	bord	30,25	<	0,25	56,64	0,13	1,05	11,27	n.d.	n.d.	<	<	99,60	
							proche du bord	30,60	<	<	50,70	<	1,14	16,44	n.d.	n.d.	<	<	98,89	
							coeur	31,25	<	<	41,97	0,10	0,98	24,86	n.d.	n.d.	<	<	99,17	
								31,53	<	<	42,00	<	1,11	25,16	n.d.	n.d.	<	<	99,80	
							proche du bord	31,30	<	<	44,53	<	0,99	22,58	n.d.	n.d.	<	<	99,40	
						bord	30,25	<	0,08	59,56	0,11	1,32	8,99	n.d.	n.d.	<	<	100,31		
					74	CTT 994/58363 TI	battiture	lamellaire	CTT 920-1	équigranulaire, squelettique	A		29,21	0,09	0,23	66,98	0,26	1,86	1,16	n.d.
	29,23	0,09	0,37	66,35								0,23	2,25	1,18	n.d.	n.d.	<	<	99,70	
			29,13	<							0,23	67,68	0,27	1,53	1,41	n.d.	n.d.	<	<	100,26
			29,29	0,09							0,37	67,71	0,25	0,81	2,05	n.d.	n.d.	<	<	100,58
équigranulaire, squelettique	B		29,27	0,10						0,22	67,60	0,26	1,51	1,28	n.d.	n.d.	<	<	100,23	
			29,04	0,17						0,62	65,91	0,26	2,07	1,39	n.d.	n.d.	<	<	99,46	
				29,01						0,10	0,45	66,60	0,25	2,61	1,09	n.d.	n.d.	<	<	100,10
				29,36						0,16	0,61	65,59	0,24	2,38	1,36	n.d.	n.d.	<	<	99,70
			28,92	0,17	0,45	66,33	0,24	2,44	1,17	n.d.	n.d.	<	<	99,72						
78	CTT 994/58365 TI	battiture	globulaire	CTT 920-3	latte fine, squelettique	A		29,13	0,13	0,91	67,19	<	1,43	1,52	n.d.	n.d.	<	<	100,31	
						B		28,87	0,11	0,96	66,77	0,11	1,38	1,80	n.d.	n.d.	<	<	100,00	
80	CTT 994/58367 TI	battiture	scoriacée	CTT 920-5	allongée, squelettique	A		28,28	0,27	0,74	66,55	0,25	1,91	1,20	n.d.	n.d.	<	<	99,20	
								28,36	0,27	0,73	67,56	0,21	1,51	1,36	n.d.	n.d.	<	<	100,00	
					allongée, squelettique	B		28,45	0,28	0,69	67,13	0,22	2,13	1,12	n.d.	n.d.	<	<	100,01	
								28,47	0,27	0,84	66,52	0,24	2,21	1,28	n.d.	n.d.	<	<	99,83	
-	CTT 994/58357 TI	scorie	coulée	CTT 53372	allongée	A		30,03	0,12	0,20	63,94	0,52	1,88	3,49	n.d.	n.d.	<	<	100,18	
								29,39	0,16	0,48	63,32	0,54	3,60	2,23	n.d.	n.d.	<	0,10	99,83	
								29,64	0,20	0,45	63,11	0,49	3,68	2,20	n.d.	n.d.	<	<	99,77	
								29,51	0,09	0,23	64,02	0,43	1,63	3,55	n.d.	n.d.	<	0,11	99,58	
					allongée	B		30,29	0,12	0,61	62,21	0,47	3,60	2,53	n.d.	n.d.	<	<	99,84	
								30,16	0,13	0,55	62,97	0,50	3,61	2,54	n.d.	n.d.	<	<	100,45	
								30,04	0,11	0,75	62,38	0,52	3,28	2,69	n.d.	n.d.	<	<	99,78	
								29,82	0,09	0,42	63,62	0,52	3,65	2,28	n.d.	n.d.	<	<	100,40	
								30,18	0,16	1,55	60,19	0,48	3,07	3,59	n.d.	n.d.	<	0,10	99,31	
								bord	29,73	<	0,19	63,67	0,56	3,00	2,54	n.d.	n.d.	<	<	99,68

Wustite																							
Cat.	Inventaire	Objet	Type	Echantillon	Cristaux	Localisation	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	% masse				Total					
														V ₂ O ₅	NiO	Cr ₂ O	CoO						
7	DEV 994/50221 PR	calotte	aplatie	DEV 66-E1	A		0,30	0,98	0,71	96,19	<	<	0,24	0,12	<	<	0,26	0,13	98,93				
					B		0,53	0,16	0,12	98,32	<	0,06	0,37	<	<	0,09	0,09	99,75					
12	DEV 995/50192 PR	calotte	fluide	DEV 50192	A		0,26	0,55	0,60	96,70	0,15	0,58	0,21	0,14	<	0,08	0,11	99,37					
							0,24	0,54	0,65	97,08	0,13	0,60	0,09	0,18	<	0,10	0,10	99,71					
					B		0,73	0,66	0,81	95,74	0,18	0,49	0,32	n.g.	<	<	<	98,92					
					C		0,85	0,60	0,59	94,99	<	0,59	0,43	n.g.	<	<	0,13	98,17					
					D		0,35	0,63	0,49	96,47	0,15	0,59	0,25	n.g.	<	<	0,11	99,04					
					E		0,29	0,65	1,16	95,35	0,15	0,43	0,23	0,15	<	0,05	0,12	98,58					
							0,26	0,62	1,11	95,47	0,14	0,38	0,16	0,17	<	0,06	0,09	98,45					
					F		0,22	0,63	1,00	96,37	0,13	0,38	0,15	0,13	<	0,08	0,10	99,18					
							0,24	0,66	1,06	96,67	0,13	0,38	0,12	0,12	<	0,06	0,10	99,42					
							0,30	0,43	0,49	97,56	<	<	0,10	<	<	0,07	0,10	99,04					
13	CTT 994/53730 TI	calotte	fluide	CTT 94/53730-A1			0,28	0,44	0,58	97,48	<	<	<	0,08	<	0,05	0,09	98,99					
					B		0,29	0,42	0,53	97,92	<	<	<	0,09	<	0,06	0,07	99,38					
							0,25	0,44	0,58	97,85	0,06	<	<	0,08	<	0,08	0,09	99,42					
					C		0,33	0,42	0,50	98,27	<	<	<	0,06	0,07	<	0,07	99,72					
					D		0,24	0,38	0,62	97,85	<	<	0,17	<	<	<	0,12	99,36					
17	DEV 994/55614 PR	calotte	bourrelet	DEV 994-51-A2	A		1,42	0,93	0,98	94,58	<	<	0,57	n,d	n,d	0,19	<	98,67					
					B		0,50	0,89	0,48	96,41	<	<	0,35	n,d	n,d	0,16	0,15	98,93					
19	DEV 994/54768 PR	calotte	charbons	DEV 1293.B2	A		0,27	0,45	0,59	97,72	<	0,09	0,06	<	<	0,08	0,10	99,36					
					B	bord	0,53	0,47	0,86	96,34	<	0,08	0,05	<	<	0,08	0,10	98,50					
						coeur	0,31	0,46	0,82	97,20	<	0,09	0,10	<	<	<	0,10	99,08					
					C	coeur	0,28	0,52	0,79	97,33	<	0,07	0,08	<	<	<	0,10	99,18					
					D	coeur	0,30	0,53	0,81	97,01	<	0,06	0,16	<	<	0,09	<	98,96					
							0,30	0,51	0,80	96,97	<	<	0,17	<	<	<	0,09	98,83					
							0,31	0,51	0,85	96,86	<	0,06	0,22	<	<	<	0,10	98,90					
					E	coeur	0,31	0,51	0,85	96,86	<	0,06	0,22	<	<	<	0,10	98,90					
					F	bord	0,30	0,46	0,94	97,63	<	0,09	0,05	<	<	0,08	0,16	99,71					
						coeur	0,33	0,48	1,06	97,60	<	0,10	0,05	<	<	0,09	0,09	99,79					
						bord	0,29	0,49	0,99	97,50	<	0,07	0,06	<	<	0,09	0,09	99,58					
					G		0,31	0,50	0,71	98,16	<	<	0,09	<	<	<	0,13	99,90					
							0,32	0,45	0,70	98,20	<	<	0,06	<	<	0,08	<	99,80					
							0,28	0,47	0,70	97,53	<	<	0,05	<	<	<	0,12	99,15					
20	DEV 994/50337 PR	calotte	circulaire	DEV 50337-C	A		0,23	0,26	0,73	97,89	0,06	0,18	0,31	<	<	<	0,10	99,76					
							0,22	0,24	0,72	98,09	0,05	0,23	0,15	<	<	<	0,10	99,80					
					B		0,25	0,21	0,70	97,20	<	0,26	0,19	<	<	<	0,10	98,91					
							0,22	0,22	0,72	97,48	<	0,22	0,13	<	<	<	0,13	99,13					
					74	CTT 994/58363 TI	battiture	lamellaire	CTT 920-1	A		0,48	1,37	1,82	94,57	<	<	0,14	n,d	n,d	<	0,11	98,50
												0,54	1,38	1,82	93,47	<	<	0,13	n,d	n,d	0,11	<	97,46
										B		0,51	0,99	1,23	95,51	<	0,10	0,22	n,d	n,d	<	<	98,55
												0,49	1,15	1,22	95,39	<	<	0,18	n,d	n,d	<	<	98,43
										C		0,91	1,30	1,25	95,18	<	<	0,38	n,d	n,d	<	0,11	99,13
												0,82	1,27	1,46	94,99	<	<	0,27	n,d	n,d	<	0,11	98,91
D		0,27	0,24	0,73						96,04	<	0,19	0,09	n,d	n,d	<	0,13	97,69					
		0,34	0,23	0,76						96,23	<	0,20	0,11	n,d	n,d	<	0,12	98,00					
E		0,19	0,22	0,75						95,53	<	0,25	0,07	n,d	n,d	<	0,12	97,13					
		0,21	0,20	0,74						96,33	<	0,22	0,08	n,d	n,d	<	0,11	97,88					
-	CTT 994/58357 TI	scorie	coulée	CTT 53372	A		0,80	0,91	0,76	96,04	<	0,15	0,29	n,d	n,d	<	<	98,95					
					B		0,91	1,57	2,35	92,55	<	<	0,45	n,d	n,d	<	<	97,84					
					C		0,60	1,54	0,99	93,88	0,12	0,09	0,38	n,d	n,d	<	0,10	97,69					
					D		0,48	2,15	1,95	93,22	0,16	0,12	0,33	n,d	n,d	<	0,15	98,56					
					E		0,54	1,48	0,78	95,33	<	0,11	0,30	n,d	n,d	<	0,13	98,68					
					F		0,80	1,56	0,91	94,46	0,12	0,11	0,45	n,d	n,d	<	0,11	98,53					
					G		0,41	1,77	1,03	94,44	0,12	0,13	0,31	n,d	n,d	<	<	98,21					
					H		0,51	1,81	0,90	94,65	<	0,09	0,33	n,d	n,d	<	0,15	98,44					

Spinelles

Cat.	Inventaire	Objet	Type	Echantillon	Forme	Cristaux	Localisation	% masse											Total			
								SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	V ₂ O ₅	ZnO	NiO	Cr ₂ O		CoO		
7	DEV 994/50221 PR	calotte	aplatie	DEV 66-E1				A	0,50	6,15	8,13	79,38	<	0,09	0,32	0,31	n.d.	<	0,25	0,10	95,24	
								B	0,54	5,48	7,77	80,29	<	0,07	0,34	0,32	n.d.	<	0,24	0,08	95,11	
								C	0,59	4,67	6,06	83,62	<	<	0,18	0,25	n.d.	<	0,18	0,12	95,67	
									0,72	5,74	7,34	80,69	0,08	0,06	0,20	0,31	n.d.	<	0,12	<	95,26	
									1,06	5,60	7,19	80,70	<	0,07	0,38	0,34	n.d.	<	0,28	0,07	95,68	
								D	0,55	2,68	4,54	85,92	<	<	0,26	0,27	n.d.	<	0,30	0,10	94,63	
									0,59	3,65	3,87	86,30	<	<	0,23	0,32	n.d.	<	0,26	0,10	95,31	
									0,64	3,74	5,42	84,22	<	<	0,38	0,23	n.d.	<	0,26	0,08	94,98	
									0,62	3,10	4,24	86,35	<	<	0,35	0,16	n.d.	<	0,15	0,11	95,08	
								E	0,44	5,36	7,64	80,84	<	<	0,28	0,19	n.d.	<	0,10	0,08	94,93	
								F	0,39	6,04	7,13	80,81	<	<	0,26	0,35	n.d.	<	0,16	0,08	95,21	
								G	0,49	2,34	4,51	86,33	<	<	0,18	0,16	n.d.	<	0,52	0,12	94,66	
H	0,32	2,76	2,11	91,70	<	<	0,27	0,31	n.d.	<	0,32	0,09	97,88									
12	DEV 995/50192 PR	calotte	fluide	DEV 50192				A	0,33	0,90	49,58	45,8	0,13	1,91	0,06	0,40	<	n.d.	0,15	n.d.	99,29	
								bord	0,14	0,40	49,61	45,9	0,13	2,11	0,10	0,53	<	n.d.	0,63	n.d.	99,54	
								coeur	0,49	1,37	48,16	47,9	0,18	0,96	0,07	0,34	<	n.d.	0,10	n.d.	99,61	
13	CTT 994/53730 TI	calotte	fluide	CTT 94/53730				inclusion au bord	A	0,62	0,55	51,05	46,3	<	0,30	0,30	n.d.	n.d.	<	<	99,12	
								inclusion au bord	B	0,68	0,63	50,10	47,3	<	0,31	0,27	n.d.	n.d.	<	<	99,28	
								appendice au bord	C	0,73	0,65	49,89	47,2	<	0,32	0,14	n.d.	n.d.	<	<	98,90	
17	DEV 994/55614 PR	calotte	bourelet	DEV 994-51-A2				tache squelettique	A	1,44	3,63	14,62	75,14	<	<	0,56	n.d.	n.d.	0,12	<	95,51	
								tache squelettique	B	1,31	3,44	14,80	75,35	<	<	0,69	n.d.	n.d.	0,11	<	95,69	
								tache squelettique	C	1,29	3,61	15,02	75,57	<	<	0,23	n.d.	n.d.	0,21	<	95,94	
19	DEV 994/54768 PR	calotte	charbons	DEV 1293.B2				B	0,28	0,46	0,80	92,70	<	0,08	0,04	<	n.d.	<	<	0,09	94,46	
									0,31	0,46	0,88	92,80	<	0,07	0,06	0,12	n.d.	<	<	0,08	94,78	
									0,29	0,42	0,82	91,68	<	0,06	0,05	<	n.d.	<	<	0,10	93,43	
74	CTT 994/58363 TI	battiture	lamellaire	CTT 920-1				B	0,94	1,52	28,49	65,56	<	0,65	0,16	n.d.	n.d.	0,32	<	97,64		
78	CTT 994/58365 TI	battiture	globulaire	CTT 920-3				A	0,92	1,87	26,26	67,15	<	0,56	0,13	0,69	<	n.d.	<	n.d.	97,58	
								B	1,19	1,69	30,04	63,55	<	0,71	0,19	0,95	<	n.d.	0,16	n.d.	98,49	
								C	0,76	0,73	39,69	54,98	<	0,99	0,22	0,97	<	n.d.	0,60	n.d.	98,95	
								zonée	D	0,14	0,47	49,29	44,40	0,12	1,40	0,08	1,91	<	n.d.	2,60	n.d.	100,41
									0,20	0,57	50,07	44,83	<	1,38	0,06	1,68	<	n.d.	0,96	n.d.	99,74	
									0,59	0,78	49,18	45,32	<	1,29	0,14	1,69	<	n.d.	0,69	n.d.	99,69	
									0,24	0,36	50,53	44,22	0,11	1,45	0,07	1,65	<	n.d.	1,50	n.d.	100,13	
									0,34	1,02	46,93	47,22	<	1,62	0,07	1,44	<	n.d.	0,84	n.d.	99,48	
80	CTT 994/58367 TI	battiture	scoriacée	CTT 920-5				A	0,34	0,94	48,25	47,01	0,15	1,90	<	0,93	<	n.d.	0,15	n.d.	99,67	
									0,17	0,87	48,09	45,97	<	2,08	0,05	1,35	<	n.d.	0,67	n.d.	99,25	
									0,22	0,80	48,16	45,74	0,16	2,12	<	1,59	<	n.d.	1,09	n.d.	99,88	
									0,13	0,51	50,34	44,75	0,12	2,21	0,06	1,09	<	n.d.	0,44	n.d.	99,64	
									0,12	0,42	50,77	44,60	0,14	2,21	0,05	1,01	<	n.d.	0,33	n.d.	99,66	
									0,14	0,69	48,01	46,33	<	1,76	0,07	1,29	<	n.d.	0,85	n.d.	99,13	
									0,23	0,85	47,21	47,05	<	1,71	0,07	1,39	<	n.d.	0,80	n.d.	99,30	
									0,17	0,61	49,17	45,18	<	2,10	<	1,37	<	n.d.	0,75	n.d.	99,34	
									0,17	0,65	48,87	45,31	0,11	2,12	<	1,32	<	n.d.	0,65	n.d.	99,19	
									0,23	0,89	47,75	46,83	0,12	1,81	0,05	1,20	<	n.d.	0,36	n.d.	99,25	
									0,22	1,09	46,15	48,54	<	1,48	0,06	1,53	<	n.d.	0,45	n.d.	99,52	
									0,35	1,14	41,24	50,9	0,21	2,29	0,12	2,68	<	n.d.	0,44	n.d.	99,33	
									0,83	0,72	42,57	48,7	0,14	2,47	0,21	2,53	<	n.d.	1,47	n.d.	99,62	
									0,39	1,30	40,89	51,3	0,19	2,23	0,13	2,59	<	n.d.	0,25	n.d.	99,32	
-	CTT 994/58357 TI	scorie	coulée	CTT 53372				zonée	B	0,38	1,62	37,82	53,7	0,16	1,99	0,12	2,22	<	n.d.	0,10	n.d.	98,08
									0,27	1,10	40,33	51,1	<	2,24	0,10	2,69	<	n.d.	0,97	n.d.	98,79	
									0,34	1,75	38,15	54,3	0,18	1,99	0,12	1,82	<	n.d.	<	n.d.	98,66	
									0,37	1,56	39,67	52,9	0,14	2,01	0,11	1,72	<	n.d.	<	n.d.	98,44	
									0,37	1,40	44,27	49,1	0,18	2,10	0,22	1,46	<	n.d.	<	n.d.	99,13	
									0,83	1,41	42,59	50,1	0,14	2,16	0,19	1,71	<	n.d.	<	n.d.	99,12	
								zonée	D	0,41	1,61	43,65	49,4	0,19	2,08	0,12	1,18	<	n.d.	<	n.d.	98,67
									0,37	1,37	43,11	49,5	0,15	2,15	0,15	1,84	<	n.d.	<	n.d.	98,67	
								zonée	E	0,79	1,84	46,00	48,57	0,17	1,54	0,23	0,88	<	n.d.	<	n.d.	100,02
									0,68	2,10	38,94	52,84	0,11	1,94	0,14	2,19	<	n.d.	0,21	n.d.	99,14	
									0,28	0,91	43,17	47,23	0,19	2,47	0,08	3,36	<	n.d.	2,22	n.d.	99,90	
									0,42	1,25	41,61	49,38	0,15	2,26	0,07	3,33	<	n.d.	0,97	n.d.	99,43	
									0,66	2,23	36,90	54,35	0,14	1,90	0,10	2,31	<	n.d.	0,19	n.d.	98,77	
									0,76	2,26	38,47	53,26	0,20	1,98	0,12	2,15	<	n.d.	0,11	n.d.	99,31	

5

Analyses des alliages cuivreux et des métaux précieux par microsonde électronique

Dr. Peter Northover (University of Oxford (GB), Department of Materials)

Objets en alliages cuivreux

Cat.	inventaire	Type	Alliage	Zn	Sn	Pb	Fe	Co	Ni	Cu	As	Sb	Ag	Bi	Au	S	Total
145	CTT996/2934TI	objet brut de coulée	bronze	0,05	7,71	4,22	0,02	0,02	0,04	87,82	0,08	0,02	<	0,01	<	0,01	100
147	CTT996/2910TI	goutte de coulée	bronze	<	1,4	0,19	<	0,01	0,07	97,84	0,07	0,12	0,26	0,02	0,02	<	100
150	CTT996/2911TI	matière de récupération	bronze	0,09	7,48	0,28	0,06	0,02	0,04	91,81	0,08	0,07	0,02	0,01	0,04	0,02	100
155	CTT996/4518TI	creuset	bronze	<	0,02	1,17	0,01	0,01	0,05	98,36	0,1	0,06	0,13	0,04	0,01	0,03	100
163	CTT996/2926TI	objet brut de coulée	bronze	0,52	4,15	3,31	0,01	0,01	0,03	91,2	0,1	0,11	0,5	0,01	0,02	0,01	100
148	CTT996/2888TI	goutte de coulée	alliage avec zinc	11,46	1,52	0,46	0,29	<	0,17	85,9	0,1	0,02	0,05	0,02	0,01	<	100
149	CTT996/2892TI	raté	alliage avec zinc	12,89	29,05	1,25	0,14	0,01	0,08	56,44	0,07	0,01	<	0,01	0,05	<	100
153	CTT996/2823TI	creuset	alliage avec zinc	3,22	5	0,38	0,03	0,01	0,13	90,82	0,19	0,08	0,11	0,01	0,01	<	100
162	CTT996/2928TI	masselotte	alliage avec zinc	1,53	3,97	0,86	0,07	0,01	0,05	93	0,07	0,08	0,28	0,02	0,01	0,06	100
732	CTT996/2899TI	ferret	alliage avec zinc	8,06	4,49	1,06	0,3	0,04	0,09	85,41	0,28	0,1	0,07	0,06	0,02	0,01	100
835	CTT996/2923TI	rivet	alliage avec zinc	3,19	7,95	1,26	0,18	0,01	0,04	86,59	0,22	0,08	0,43	0,01	0,01	0,02	100
146	CTT996/2900TI	masselotte		0,08	33,48	7,52	0,51	0,01	0,01	10,61	0,22	0,01	1,15	0,01	0,03	0,24	54

Objets en fer damasquinés

Cat.	inventaire	Type	Alliage	Zn	Sn	Pb	Fe	Co	Ni	Cu	As	Sb	Ag	Bi	Au	S	Total
238	DEV994/1969PR	fils d'argent	argent	0,01	<	0,06	0,01	<	0,01	0,03	0,02	<	99,83	0,01	<	0,01	100
		fils de laiton	laiton	30,43	0,03	0,3	0,1	<	0,2	68,62	0,2	0,01	0,05	0,04	<	0,01	100
239	DEV994/1687PR	fils de laiton	laiton	30,41	0,02	0,08	0,09	0,01	0,19	68,91	0,2	0,02	0,03	0,04	<	<	100
261	DEV995/778PR	fils d'argent	argent	0,07	<	0,34	<	0,02	<	13,15	0,01	<	85,99	0,08	0,33	0,01	100
261		fils de laiton	laiton	21	0,02	0,02	0,24	0,01	0,27	78,33	0,04	<	0,03	0,03	<	<	100
403	DEV995/830PR	fils d'argent	argent	0,29	0,88	0,98	0,09	<	<	4,8	<	<	92,29	0,03	0,6	0,03	100
483	CTT995/2501TI	fils d'argent	argent	0,49	<	0,73	0,05	0,01	0,02	6,66	0	0,01	91,01	0,02	0,88	0,12	100
563	CTT994/8087TI	fils d'argent	argent	<	<	0,13	<	0,03	<	0,47	0,01	0,01	99,29	<	0,04	0,01	100
733	CTT996/4393TI	fils d'argent	argent	0,04	<	0,54	0,11	0,01	0,01	0,92	0,01	<	98,11	0,01	0,22	0,02	100
733		fils de laiton	laiton	30,95	0,31	0,58	0,07	<	0,09	67,75	0,13	0,02	0,06	0,02	<	0,01	100

6

Synthèse des données chiffrées des principales catégories de déchets métallurgiques par ensemble

Catégorie	Total DEV-CTT						F1						F2 / Z1					
	poids	%	nb	%	fgt	%	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*
Calotte	3667	89	41475	42,9	43819	43,8	30,3	92	0,8	328	61	0,8	800,2	86	21,8	9650	41	23,3
Coulée	87	2	12390	12,8	12469	12,5	0,5	1	0,5	45	8	0,4	12,5	1,3	14,5	1574	7	12,7
Ferrugineuse	110	3	9360	9,7	9542	9,5	1,1	3	1,0	87	16	0,9	29,5	3	26,8	2505	11	26,8
Indéterminé	62	2	11318	11,7	11420	11,4	0,03	0	0,04	5	1	0,04	15,2	2	24,4	3233	14	28,6
Minerai	1,1	0,03	220	0,2	219	0,2	0,2	1	14,7	7	1	3,2	0,1	0,01	11,2	22	0,1	10,0
Paroi	211	5	21922	22,7	22547	22,5	1,0	3	0,5	62	12	0,3	73,2	8	34,7	6416	27	29,3
Total	4138	100	96685	100	100016	100	33,0	100	0,8	534	100	0,6	930,8	100	22,5	23400	100	24,2

Catégorie	Z2						F3						F4					
	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*
Calotte	13,7	86	0,4	88	52	0,2	7,9	79,7	0,2	39	33	0,1	16,3	93,3	0,4	76	47,5	0,2
Coulée	0,1	0,7	0,1	10	6	0,1	0,2	2,1	0,2	6	5	0,05	0,1	0,7	0,1	6	3,8	0,05
Ferrugineuse	1,3	8	1,2	11	7	0,1	1,5	14,8	1,3	56	47	0,6	0,6	3,5	0,6	66	41,3	0,7
Indéterminé	0,005	0,03	0,01	1	0,6	0,0	0,3	2,5	0,4	13	11	0,1	0,02	0,1	0,0	2	1,3	0,02
Minerai	0,04	0,2	3,1	3	1,8	1,4							0,4	2,0		5	3,1	2,3
Paroi	0,7	5	0,4	56	33	0,3	0,1	0,9	0,04	6	5	0,03	0,07	0,4	0,03	5	3,1	0,02
Total	15,9	100	0,4	169	100	0,2	9,9	100	0,2	120	100	0,1	17,5	100	0,4	160	100	0,2

Catégorie	F5						F6						Z3					
	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*
Calotte	111,9	92,6	3,1	1017	55,9	2,5	201,2	91,0	5,5	2307	64,1	5,6	70,4	89,3	1,9	933	52,3	2,2
Coulée	1,2	1,0	1,4	125	6,9	1,0	4,5	2,0	5,1	461	12,8	3,7	2,0	2,6	2,3	175	9,8	1,4
Ferrugineuse	3,9	3,3	3,6	424	23,3	4,5	2,5	1,1	2,2	166	4,6	1,8	3,3	4,2	3,0	246	13,8	2,6
Indéterminé	0,07	0,1	0,1	7	0,4	0,1	0,1	0,0	0,1	9	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	11	0,6	0,1
Minerai	0,04	0,0	3,1	3	0,2	1,4	0,2	0,1	13,4	3	0,1	1,4	0,2	0,2	15,2	162	9,1	73,6
Paroi	3,7	3,0	1,7	243	13,4	1,1	12,8	5,8	6,1	655	18,2	3,0	2,8	3,5	1,3	257	14,4	1,2
Total	120,8	100	2,9	1819	100	1,9	221,1	100	5,3	3601	100	3,7	78,8	100	1,9	1784	100	1,8

Catégorie	Z4						T1						DEV-CTT contexte inconnu					
	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*	poids	%	%*	nb	%	%*
Calotte	2392,1	89,1	65,2	26780	41,3	64,6	19,9	91,3	0,5	232	82,0	0,6	3,2	91,0	0,1	25	64,1	0,1
Coulée	65,1	2,4	75,0	9977	15,4	80,5	0,5	2,1	0,5	10	3,5	0,1	0,01	0,3	0,01	1	2,6	0,01
Ferrugineuse	66,2	2,5	60,2	5792	8,9	61,9	0,06	0,3	0,1	1	0,4	0,01	0,03	0,8	0,03	6	15,4	0,06
Indéterminé	46,6	1,7	74,6	8037	12,4	71,0												
Minerai	0,1	0,003	7,6	15	0,02	6,8												
Paroi	115,1	4,3	54,5	14175	21,9	64,7	1,4	6,3	0,6	40	14,1	0,2	0,28	7,9	0,1	7	17,9	0,03
Total	2685,1	100	64,9	64776	100	67,0	21,7	100	0,5	283	100	0,3	3,6	100	0,1	39	100	0,04

%* : pourcentage par rapport au total du type

7 Données chiffrées des zones de rejet R1 à R5 de la ferme 2 et de la zone d'activité 1

Catégorie	F2 / Z1				Z1 - R1				Z1 - R2				Z1 - R3				Z1 - R4				F2 - R5			
	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%
Calotte	800	86	9650	41	203,7	81	3975	37	59,5	84,9	506	39	232,6	92,6	1503	51,7	25,6	86,6	331	57,2	16,8	92,6	131	64,9
Coulée	13	1,3	1574	7	7,8	3,1	1037	10	1,0	1,4	113	9	1,0	0,4	97	3,3	0,3	0,8	30	5,2	0,1	0,8	20	9,9
Ferrugineuse	29	3	2505	11	8,8	3	963	9	3,3	4,7	286	22	3,0	1,2	184	6,3	0,9	3,0	58	10,0	0,4	2,0	17	8,4
Indéterminé	15	2	3233	14	8,6	3,4	2048	18,8	0,2	0,3	14	1	1,32	0,5	253	8,7	0,06	0,2	6	1,0	0,07	0,4	6	3,0
Minerai	0,1	0,01	22	0,1	0,07	0,0	11	0,1					0,03	0,01	2	0,1					0,03	0,2	1	0,5
Paroi	73	8	6416	27	22,9	9	2834	26	6,1	8,7	393	30	13,3	5,3	870	29,9	2,8	9,4	154	26,6	0,7	4,1	27	13,4
Total	931	100	23400	100	251,8	100	10868	100	70,1	100	1312	100	251,3	100	2909	100	29,6	100	579	100	18,1	100	202	100

Type	F2 / Z1				Z1 - R1				Z1 - R2				Z1 - R3				Z1 - R4				F2 - R5			
	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%
Aplatie	29850	13,9	48	19,6	12489	28,4	19	29,2	2193	7,4	3	10,0	7748	6,8	14	14,1	450	34,9	1	20,0	130		1	16,7
Dense petite	18070	8,4	67	27,3	5416	12,3	25	38,5	1905	6,4	6	20,0	9331	8,1	19	19,2	840	65,1	4	80,0	910		1	16,7
Fluide	6245	2,9	17	6,9	1269	2,9	2	3,1	773,6	2,6	5	16,7	6738	5,9	7	7,1								
Vitrifiée	9770	4,5	20	8,2	810	1,8	4	6,2	761,1	2,6	2	6,7	7126	6,2	9	9,1					970		2	33,3
Bourrelet	33210	15,4	24	9,8	6534	14,8	4	6,2	9987	33,8	5	16,7	11016	9,6	9	9,1								
Charbonneuse	25770	12,0	14	5,7	2077	4,7	1	1,5	1700	5,7	1	3,3	20921	18,2	11	11,1					320		1	16,7
Circulaire	31340	14,6	17	6,9	12275	27,9	6	9,2	7792	26,3	3	10,0	10110	8,8	7	7,1					190		1	16,7
Concave	32510	15,1	27	11,0	2817	6,4	3	4,6	4467	15,1	5	16,7	22093	19,2	16	16,2								
Convexe	10750	5,0	5	2,0									8412	7,3	4	4,0								
Quille	2500	1,2	2	0,8	344	0,8	1	1,5	1176	4,0	1	3,3												
Dense	15015	7,0	4	1,6									11276	9,8	3	3,0								
Total	215030	100	245	100	44031	100	65	100	29578	104	30	103	114770	100	99	100	1290	100	5	100	2520	6	100	

Catégorie	Z1 - R1 - stru 187				Z1 - R1 - stru 188				Z1 - R1 - stru 189			
	poids	%	poids	%	poids	%	nb	%	poids	%	nb	%
Calotte	2420	90,6	10	11,8	2200	90,5	11	16,9	1105	49,2	28	10,1
Coulée					10	0,4	1	1,5	190	8,5	31	11,2
Ferrugineuse					25	1,0	9	13,8	205	9,1	31	11,2
Indéterminée	125	4,7	47	55,3	45	1,9	34	52,3	565	25,2	158	57,0
Paroi	125	4,7	28	32,9	150	6,2	10	15,4	180	8,0	29	10,5
Total	2670	100	85	100	2430	100	65	100	2245	100	277	100

8

Tableau regroupant les 1432 calottes classées et présentant une conservation de plus de 50%

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
Ferme 1 - 11 pièces											
DEV 993/50119 PR		AP	11,5	12,5	5	90	740	822			
DEV 995/50500 PR		AP	10	11,5	3,5	65	480	738			
DEV 993/50399 PR		CI	15,0	12,5	6	90	940	1044			
DEV 995/50501 PR		CI	13,0	10,0	5,5	80	650	813			
DEV 996/50070 PR		CI	8,0	12,5	5,5	60	730	1217			
DEV 994/56400 PR		CO	14	12	6	80	975	1219			
DEV 994/54202 PR		DP	8,5	9,5	3,5	65	220	338			
DEV 995/50495 PR		FL	4,5	4,5	2,5	100	60	60			
DEV 993/50397 PR		VI	10	8,5	4,5	100	320	320			
DEV 995/50489 PR		VI	8,5	6,5	3	100	160	160			
DEV 996/50022 PR		VI	11	8,5	4,5	60	450	750			
Ferme 2 et zone d'activité 1 - 328 pièces											
DEV 994/55482 PR		AP	13	11	3,5	100	820	820	*	?	i
DEV 994/55658 PR	4	AP	13	11	5	100	810	810	*	3,2	f
DEV 994/54717 PR		AP	14,5	10,5	3	100	730	730			
DEV 994/50778 PR		AP	12	13,5	3,5	100	690	690			
DEV 994/50221 PR	7	AP	11	12	4,5	100	630	630	*	2,6	c
DEV 994/53295 PR		AP	12	11	5	100	450	450			
DEV 994/54536 PR		AP	11	11,5	3,5	100	450	450			
DEV 993/50169 PR		AP	10,5	10	4,5	100	430	430			
DEV 995/50537 PR		AP	11	12	4	100	430	430			
DEV 994/54674 PR	5	AP	12	9	3	100	420	420	*	3,6	c
DEV 994/50397 PR	6	AP	7	10	3	100	395	395	*	4,1	c
DEV 993/50221 PR		AP	11,5	9	3,5	100	365	365			
DEV 993/50186 PR		AP	11	10	3,5	100	360	360			
DEV 994/50825 PR		AP	8	9,5	4	100	240	240			
DEV 994/53034 PR		AP	8	7	2	100	150	150			
DEV 994/55491 PR		AP	11,5	11	3,5	95	550	579			
DEV 993/50310 PR		AP	12	11	4,5	90	810	900			
DEV 995/50479 PR		AP	14,5	11	6	90	760	844			
DEV 994/50855 PR		AP	14,5	11,5	3,5	90	720	800			
DEV 994/54641 PR	1	AP	13,5	10	3	90	570	633	*	3,1	c
DEV 995/50342 PR		AP	11	11,5	3	90	500	556			
DEV 994/55317 PR		AP	11	10,5	4,5	90	460	511			
DEV 994/53103 PR		AP	10	11	4	90	410	456			
DEV 994/54774 PR		AP	9,5	12	3,5	90	390	433			
DEV 995/50382 PR		AP	12	9	4	90	390	433			
DEV 994/50921 PR		AP	11	10	3	90	370	411			
DEV 994/54405 PR		AP	9	12	3	85	330	388			
DEV 993/50278 PR		AP	12	11	4	80	730	913			
DEV 994/55485 PR		AP	11	11	4	80	660	825			
DEV 995/50114 PR		AP	13	9	4	80	460	575	*	?	c
DEV 995/50520 PR	2	AP	12,5	10	3,5	80	440	550	*	3	f
DEV 995/50428 PR		AP	9	11,5	3,5	80	320	400			
DEV 994/55469 PR		AP	13,5	13,5	4,5	75	1230	1640			
DEV 993/50137 PR		AP	12,5	12,5	4,5	75	650	867			
DEV 994/55353 PR		AP	11	11,5	5	75	540	720			
DEV 994/55432 PR		AP	10,5	10,5	3	70	370	529			
DEV 995/50127 PR		AP	10,5	9	3,5	65	400	615			
DEV 994/50226 PR		AP	14,5	9	4,5	60	780	1300			
DEV 994/55473 PR		AP	8,5	9	3,5	60	250	417			
DEV 994/54352 PR		AP	8	7,5	3	60	220	367			
DEV 994/55475 PR		AP	9	8	2,5	60	190	317			
DEV 994/54672 PR		AP	11,5	12	3	50	680	1360			
DEV 994/53879 PR		AP	8	11	3,5	50	480	960			
DEV 994/55392 PR		AP	12	8,5	3,5	50	430	860			
DEV 994/50648 PR		AP	10,5	8	4	50	350	700			
DEV 994/53873 PR		AP	10	10	4	50	330	660			
DEV 994/54709 PR		AP	11	7	5	50	320	640			
DEV 995/50148 PR		AP	8,5	5,5	2,5	50	160	320			
DEV 994/54697 PR		BO	18	16	9,5	100	3390	3390			
DEV 994/53810 PR		BO	21	17,5	9,5	100	3030	3030			
DEV 995/50548 PR		BO	15	13,5	7,5	100	1630	1630	*	?	é
DEV 994/55614 PR	17	BO	18,5	14	5,5	100	1620	1620	*	2,8	c
DEV 994/54719 PR		BO	19	12,5	5	100	1330	1330			
DEV 994/55326 PR		BO	17	14	4	100	1250	1250			
DEV 994/55330 PR		BO	16	12,5	6	100	1180	1180			
DEV 994/55335 PR		BO	14,5	12	5	100	980	980			
DEV 994/55750 PR		BO	13	14	6,5	100	710	710			
DEV 995/50271 PR		BO	21	18	8	95	3550	3737			
DEV 994/53813 PR		BO	11,5	13	6,5	95	1050	1105			
DEV 994/50935 PR		BO	10	10	6	95	610	642			
DEV 994/55510 PR		BO	9	10,5	5,5	95	400	421			
DEV 994/51261 PR		BO	14,5	13	6	90	1250	1389	*	3	c
DEV 994/54650 PR		BO	11	11	4,5	85	560	659			
DEV 993/50136 PR		BO	11	9,5	6	80	670	838			
DEV 993/50201 PR		BO	12	10	4	80	350	438			
DEV 995/50358 PR		BO	16,5	10,5	5,5	75	960	1280			
DEV 993/50274 PR		BO	13	9,5	6,5	75	650	867			
DEV 994/53895 PR		BO	12	9	5	70	840	1200			
DEV 995/50200 PR		BO	13	10,5	4	65	770	1185			
DEV 994/54360 PR		BO	9	9	4,5	65	290	446			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
DEV 994/53341 PR		BO	13	14	8	60	1730	2883			
DEV 994/53793 PR		BO	10	9	6	50	500	1000			
DEV 994/55321 PR		CH	22	19	7,5	100	2890	2890	*	2,5	f
DEV 995/50983 PR		CH	19	16	10	100	2860	2860	*	2,5	f
DEV 995/50193 PR		CH	18	15	6	100	1520	1520			
DEV 994/54768 PR	19	CH	17	14	8,5	100	1380	1380	*	2,7	f
DEV 995/51371 PR		CH	16	13	6,5	95	1050	1105			
DEV 995/50160 PR		CH	18	13,5	5	90	1400	1556			
DEV 994/54722 PR		CH	14	14,5	5	90	960	1067			
DEV 995/50348 PR		CH	16	14	5,5	85	1445	1700			
DEV 995/50818 PR		CH	14,5	12,5	6	85	910	1071			
DEV 994/54716 PR		CH	11	10,5	4,5	80	480	600			
DEV 995/50415 PR		CH	24	15	5	75	2600	3467			
DEV 994/53333 PR		CH	18,5	15	7,5	65	1350	2077			
DEV 994/55315 PR		CH	14	11	5	60	850	1417			
DEV 994/54751 PR		CH	17	18	6,5	50	1530	3060			
DEV 994/54675 PR		CI	16,0	15,0	6,5	100	1970	1970			
DEV 993/50208 PR		CI	16,0	15,0	5	100	1320	1320			
DEV 994/54441 PR		CI	13,0	15,0	5	100	860	860			
DEV 994/54677 PR		CI	13,0	12,5	6,5	85	1080	1271	*	2,9	i
DEV 995/50905 PR		CI	19,0	15,0	7	80	2030	2538			
DEV 994/51539 PR		CI	15,0	13,5	5	75	1670	2227	*	3,2	é
DEV 994/56399 PR		CI	10,0	11,0	5	75	720	960			
DEV 995/50133 PR		CI	16,0	14,0	5,5	70	1780	2543	*	3,1	f
DEV 994/53346 PR		CI	16,0	14,0	4,5	65	1940	2985	*	2,8	é
DEV 995/50354 PR		CI	15,5	16,5	5,5	60	1940	3233			
DEV 995/50028 PR		CI	13,5	11,5	6	60	1190	1983			
DEV 994/54741 PR	20	CI	13,0	11,0	5	60	1070	1783	*	3,2	c
DEV 994/54386 PR		CI	12,5	10,0	5	60	520	867			
DEV 994/50991 PR		CI	13,0	10,5	4,5	50	1150	2300	*	3,3	r
DEV 994/55462 PR		CI	11,0	9,5	6,5	50	1010	2020			
DEV 994/54765 PR		CI	11,5	9,5	5	50	640	1			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
DEV 994/55417 PR		DP	9	6,5	3	100	115	115			
DEV 994/55501 PR		DP	6	5	3	100	110	110			
DEV 993/50160 PR		DP	6	9	2	100	100	100			
DEV 994/50260 PR		DP	6	5	2,5	100	80	80			
DEV 994/55686 PR		DP	7,5	5,5	3	100	80	80			
DEV 994/51174 PR		DP	6	7	1,5	100	70	70			
DEV 994/51484 PR		DP	6,5	7	2	100	65	65			
DEV 994/55463 PR		DP	5,5	4,5	2,5	100	60	60			
DEV 995/50512 PR		DP	9,5	7,5	3,5	95	190	200			
DEV 994/53826 PR		DP	13	9	5	90	620	689			
DEV 994/54746 PR		DP	9,5	12	5	90	610	678			
DEV 994/54646 PR		DP	10	9,5	5	90	340	378			
DEV 994/55468 PR		DP	10,5	7,5	4	90	330	367			
DEV 995/50450 PR		DP	8	7,5	5	90	310	344			
DEV 995/50185 PR		DP	8,5	10,5	4	90	290	322			
DEV 994/55419 PR		DP	9	10	3,5	90	280	311			
DEV 995/50389 PR		DP	11	9	4	90	280	311			
DEV 994/54721 PR		DP	7	9	4,5	90	230	256			
DEV 994/50766 PR		DP	5,5	8,5	2,5	90	170	189			
DEV 994/53031 PR		DP	8	6,5	3,5	90	170	189			
DEV 995/51366 PR		DP	7,5	8,5	3	90	170	189			
DEV 995/50278 PR		DP	7,5	7	3,5	90	120	133			
DEV 993/50170 PR		DP	8	7	2	90	110	122			
DEV 994/50592 PR		DP	7,5	6	2,5	90	110	122			
DEV 994/54355 PR		DP	8	6	3	90	110	122			
DEV 993/50426 PR		DP	7	6	3	90	100	111			
DEV 993/50312 PR		DP	5	7	2,5	90	90	100			
DEV 994/53933 PR		DP	5	5,5	2,5	90	70	78			
DEV 994/54693 PR		DP	6	4,5	2	90	60	67			
DEV 994/51547 PR		DP	6	4,5	2,5	90	50	56			
DEV 994/54425 PR		DP	9,5	9,5	6,5	85	505	594			
DEV 994/54720 PR	8	DP	12	9	5	80	640	800	*	2,8	f
DEV 995/50217 PR		DP	9,5	9,5	5,5	80	480	600			
DEV 994/55424 PR		DP	9,5	8	3,5	80	300	375			
DEV 994/54690 PR		DP	8,5	6	4,5	80	200	250			
DEV 994/54876 PR		DP	7,5	7	4,5	80	190	238			
DEV 994/54882 PR		DP	7,5	9	3,5	80	170	213			
DEV 995/50047 PR		DP	9	7	3,5	80	170	213			
DEV 994/53875 PR		DP	7	6,5	4	80	160	200			
DEV 994/54482 PR		DP	8,5	7,5	2,5	80	150	188			
DEV 994/50498 PR		DP	7	5,5	3,5	80	120	150			
DEV 994/51268 PR		DP	8,5	7	4	75	320	427			
DEV 994/50550 PR		DP	11	6	4	75	280	373			
DEV 994/50559 PR		DP	7	8	3,5	75	180	240			
DEV 994/50493 PR		DP	8	5,5	3	75	150	200			
DEV 995/50514 PR		DP	7	5,5	3	75	130	173			
DEV 994/53856 PR		DP	6	5,5	2,5	75	90	120			
DEV 995/50236 PR		DP	11,5	10	6	70	540	771			
DEV 994/51050 PR		DP	9,5	7,5	4	65	320	492			
DEV 995/50918 PR		DP	5,5	6	3,5	65	100	154			
DEV 994/54706 PR		DP	8,5	6	4	60	160	267			
DEV 994/55322 PR		DP	8	7	4,5	50	200	400			
DEV 995/50051 PR		FL	14	9	3	100	260	260			
DEV 995/50377 PR		FL	10,5	8	3	100	220	220			
DEV 995/50192 PR	12	FL	8	7	4	100	170	170	*	2,4	é
DEV 995/50405 PR		FL	6,5	6	4,5	100	170	170			
DEV 995/50414 PR		FL	8	6,5	4,5	100	160	160			
DEV 995/50049 PR		FL	6	6	3,5	100	100	100			
DEV 995/50452 PR		FL	7	6	3	100	100	100			
DEV 995/50880 PR		FL	4	5,5	3	100	50	50			
DEV 994/54696 PR		FL	8	6	2,5	90	120	133			
DEV 993/50372 PR		FL	5,5	6,5	2	90	70	78			
DEV 994/51049 PR		FL	13	11	4,5	75	790	1053	*	3	é
DEV 994/56393 PR	11	FL	10	8	5	75	520	693	*	3,1	f
DEV 994/53869 PR		FL	8	6,5	4	75	200	267			
DEV 995/50890 PR		FL	5,5	5	3,5	75	90	120			
DEV 994/56394 PR		FL	13,5	11,5	5,5	65	860	1323			
DEV 994/51163 PR		FL	7	6,5	3,5	65	140	215			
DEV 994/54465 PR		FL	15	10,5	5	60	680	1133			
DEV 994/54684 PR		NC	11	14	6	100	1300	1300			
DEV 993/50302 PR		NC	18	9	5	100	1140	1140			
DEV 994/56445 PR		NC	13	12	6	100	800	800			
DEV 995/51396 PR		NC	12,5	11,5	4,5	100	650	650			
DEV 994/55520 PR		NC	9,5	10,5	3	100	600	600			
DEV 994/53284 PR		NC	0	0	0	100	180	180			
DEV 994/50385 PR		NC	7,5	5,5	3,5	100	130	130			
DEV 995/50198 PR		NC	14,5	11,5	6,5	90	890	989			
DEV 995/50388 PR		NC	14	13,5	6,5	90	760	844			
DEV 994/56442 PR		NC	0	0	0	90	700	778			
DEV 994/53032 PR		NC	7	6	2,5	90	170	189			
DEV 994/53026 PR		NC	7	6	2	90	100	111			
DEV 994/53025 PR		NC	7	5	2,5	90	90	100			
DEV 995/50416 PR		NC	15	14,5	8	80	1440	1800			
DEV 994/53776 PR		NC	16	12	6,5	80	1295	1619			
DEV 993/50176 PR		NC	13,5	10	8,5	80	920	1150			
DEV 994/56439 PR		NC	15,5	11	5	80	750	938			
DEV 994/50043 PR		NC	9	10	6	80	400	500			
DEV 994/54393 PR		NC	8,5	7	3,5	80	190	238			
DEV 994/53075 PR		NC	0	0	0	80	140	175			
DEV 994/51471 PR		NC	6	4	2,5	80	50	63			
DEV 994/55361 PR		NC	16,5	11	6,5	75	700	933			
DEV 995/51393 PR		NC	13	11,5	5	75	690	920			
DEV 995/50117 PR		NC	12,5	11,5	7,5	75	640	853			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
DEV 995/50270 PR		NC	12,5	11,5	7	75	530	707			
DEV 994/56446 PR		NC	8,5	6	3,5	75	180	240			
DEV 993/50424 PR		NC	6	4	3	75	50	67			
DEV 994/50530 PR		NC	14,5	14	5,5	65	1475	2269			
DEV 995/50476 PR		NC	15	15	7	65	1260	1938			
DEV 995/50483 PR		NC	9,5	12	8	65	990	1523			
DEV 994/51309 PR		NC	11	11	4,5	65	640	985			
DEV 995/50427 PR		NC	14,5	12	4,5	65	570	877			
DEV 994/54391 PR		NC	11	10	4	65	520	800			
DEV 995/50364 PR		NC	11	11	5,5	65	520	800			
DEV 993/50296 PR		NC	8,5	8	4,5	65	360	554			
DEV 994/55822 PR		NC	9	7,5	4	65	320	492			
DEV 994/54578 PR		NC	7	7,5	3,5	65	160	246			
DEV 994/50393 PR		NC	6,5	8	3,5	65	140	215			
DEV 994/54704 PR		NC	0	0	0	65	60	92			
DEV 995/50322 PR		NC	16	13,5	7	60	1700	2833			
DEV 993/50138 PR		NC	13,5	9,5	6	60	840	1400			
DEV 995/50538 PR		NC	12	8	5	60	480	800			
DEV 995/50518 PR		NC	10	8	5	60	390	650			
DEV 994/50577 PR		NC	0	0	0	60	340	567			
DEV 994/50480 PR		NC	0	0	0	60	110	183			
DEV 994/50422 PR		NC	7	6	3	60	60	100			
DEV 994/53281 PR		NC	11	8	4	55	460	836			
DEV 994/55687 PR		NC	12,5	9	4,5	55	440	800			
DEV 994/53978 PR		NC	9,5	8,5	3,5	55	280	509			
DEV 994/55803 PR		NC	8	9,5	3	55	260	473			
DEV 994/55414 PR		NC	0	0	0	55	220	400			
DEV 995/50368 PR		NC	14	14	8	50	1380	2760			
DEV 995/50425 PR		NC	14,5	10	6,5	50	1140	2280			
DEV 994/53249 PR		NC	14	12,5	6,5	50	1130	2260			
DEV 993/50151 PR		NC	16,5	12	6	50	1070	2140			
DEV 994/50179 PR		NC	12,5	12	7	50	970	1940			
DEV 994/50186 PR		NC	12	12	7	50	870	1740			
DEV 995/50074 PR		NC	15	12,5	5	50	830	1660			
DEV 994/54402 PR		NC	13	9,5	4	50	670	1340			
DEV 994/55738 PR		NC	12	10	7	50	650	1300			
DEV 995/50426 PR		NC	13	12	4,5	50	640	1280			
DEV 995/50526 PR		NC	12,5	11	4,5	50	630	1260			
DEV 995/50000 PR		NC	13	11,5	4	50	580	1160			
DEV 995/50245 PR		NC	8,5	10,5	4	50	480	960			
DEV 994/53029 PR		NC	10,5	8	4,5	50	460	920			
DEV 994/50641 PR		NC	12	7	4,5	50	440	880			
DEV 994/53883 PR		NC	0	0	0	50	370	740			
DEV 994/54844 PR											

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 995/51544 TI		CI	10,5	10,5	5	90	660	733			
CTT 995/51122 TI		CI	13,5	15,0	6,5	75	1390	1853			
CTT 996/51854 TI		CI	12,5	10,0	5,5	60	930	1550			
CTT 995/51442 TI		CO	16	13,5	5	85	990	1165			
CTT 994/50012 TI		CX	13	11	4,5	100	740	740			
CTT 995/51327 TI		DP	5,5	8	3,5	80	130	163			
CTT 995/51195 TI		DP	11,5	10	4,5	50	580	1160			
CTT 994/50015 TI		NC	9	9,5	4,5	100	320	320			
CTT 995/51500 TI		NC	7	7,5	3	100	180	180			
CTT 995/51170 TI		NC	7	4	2,5	100	60	60			
CTT 995/51996 TI		NC	4	4	2,5	65	40	62			
CTT 995/51536 TI		NC	8	7	4	60	240	400			
CTT 994/50011 TI		NC	8,5	10	5,5	50	440	880			
CTT 995/51389 TI		VI	13	10	3,5	100	490	490			
CTT 995/51134 TI		VI	9,5	9	4	60	280	467			
Zone d'activité 4 - 871 pièces											
CTT 995/50570 TI		AP	16	12,5	4,5	100	1220	1220			
CTT 994/56202 TI		AP	15,5	13	4,5	100	1120	1120			
CTT 994/50872 TI		AP	16	12	5	100	1060	1060			
CTT 995/51944 TI		AP	14	11,5	4	100	880	880			
CTT 994/50633 TI		AP	12	12	4,5	100	850	850			
CTT 994/50581 TI		AP	13	12	3,5	100	830	830			
CTT 995/52391 TI		AP	10,5	13,5	5	100	750	750			
CTT 994/54299 TI		AP	13	15	4	100	740	740			
CTT 994/55311 TI		AP	13	14	4,5	100	715	715	*	2,7	f
CTT 994/55272 TI		AP	11	13	4,5	100	690	690			
CTT 994/56147 TI		AP	15	11	3	100	610	610			
CTT 995/50459 TI		AP	13	11	4	100	580	580	*	2,4	f
CTT 995/50706 TI		AP	10	10	3	100	500	500			
CTT 995/53516 TI		AP	10	11,5	2,5	100	500	500			
CTT 994/55382 TI		AP	9,5	13	4,5	100	445	445			
CTT 994/56244 TI		AP	10,5	12	4	100	440	440			
CTT 994/56207 TI		AP	13	10	3	100	430	430			
CTT 994/56141 TI		AP	12,5	8	4	100	350	350			
CTT 994/53212 TI		AP	10	8	2	100	310	310			
CTT 994/50991 TI		AP	8	9,5	3	100	280	280			
CTT 995/50476 TI		AP	7,5	7,5	2,5	100	210	210			
CTT 995/50479 TI		AP	5	4,5	3	100	70	70			
CTT 994/54283 TI		AP	14	14,5	4	95	1020	1074			
CTT 995/53421 TI		AP	13	10,5	4	95	520	547			
CTT 994/50515 TI		AP	10	11,5	5	95	510	537			
CTT 994/55202 TI		AP	15,5	15	5,5	90	1360	1511	*	2,9	é
CTT 994/57327 TI		AP	14	13,5	4,5	90	770	856			
CTT 995/52214 TI		AP	12,5	13,5	4,5	90	740	822			
CTT 994/55269 TI		AP	11,5	13	4,5	90	710	789			
CTT 994/54430 TI		AP	13	11	3,5	90	660	733			
CTT 994/56156 TI		AP	9,5	12	4	90	600	667			
CTT 994/57932 TI		AP	11	9,5	4	90	560	622			
CTT 994/50502 TI		AP	9,5	10,5	4	90	510	567			
CTT 994/57424 TI		AP	11,5	9,5	3,5	90	480	533			
CTT 994/53260 TI		AP	11	9,5	4,5	90	420	467			
CTT 994/50596 TI		AP	10	8,5	3	90	380	422			
CTT 994/55305 TI		AP	12,5	9,5	3,5	90	330	367			
CTT 994/54297 TI		AP	12,5	10,5	3	90	310	344			
CTT 994/57281 TI		AP	10,5	7,5	3	90	300	333			
CTT 995/50836 TI		AP	6	8	2,5	90	130	144			
CTT 995/53064 TI		AP	11	11	4	85	580	682			
CTT 994/50157 TI		AP	17	13	3	80	1125	1406			
CTT 994/50594 TI		AP	10,5	14	4	80	840	1050			
CTT 995/53071 TI		AP	14	14,5	4	80	800	1000			
CTT 995/50517 TI		AP	13	11,5	3,5	80	770	963			
CTT 995/50805 TI		AP	12	11,5	5	80	720	900			
CTT 994/57277 TI		AP	11	12,5	4	80	665	831			
CTT 994/53206 TI		AP	10,5	10	4	80	630	788			
CTT 995/50322 TI		AP	13	12,5	4,5	80	600	750			
CTT 994/53225 TI		AP	12,5	10	5	80	590	738			
CTT 994/52827 TI		AP	10	12	4	80	540	675			
CTT 994/50879 TI		AP	16	8,5	4	80	530	663			
CTT 994/57279 TI		AP	12	9,5	3	80	530	663			
CTT 995/50631 TI		AP	11,5	11	3,5	80	480	600			
CTT 995/50519 TI		AP	12	8,5	4,5	80	460	575			
CTT 995/50806 TI		AP	14,5	14	4,5	80	460	575			
CTT 994/56683 TI		AP	11	8	3,5	80	400	500			
CTT 995/53048 TI		AP	9,5	9,5	3,5	80	330	413			
CTT 995/53299 TI		AP	11,5	9,5	3	80	110	138			
CTT 995/51924 TI	3	AP	16	12,5	4,5	75	1280	1707	*	3,2	r
CTT 995/50571 TI		AP	15,5	14	5	75	1020	1360			
CTT 995/50203 TI		AP	13	12,5	4	75	850	1133			
CTT 995/50625 TI		AP	12	11,5	4	75	790	1053			
CTT 994/56198 TI		AP	11,5	10	3,5	75	550	733			
CTT 994/57278 TI		AP	8	12	4	75	460	613			
CTT 995/50796 TI		AP	9	10	3	75	420	560			
CTT 995/53307 TI		AP	12,5	10,5	3,5	75	400	533			
CTT 994/53198 TI		AP	8	10	3	75	370	493			
CTT 995/50471 TI		AP	8	10,5	3	75	310	413			
CTT 995/50833 TI		AP	6	8,5	3	75	150	200			
CTT 994/57286 TI		AP	6	7,5	2,5	75	130	173			
CTT 995/50630 TI		AP	14,5	10	5	70	780	1114			
CTT 994/50876 TI		AP	11	13	5	65	710	1092			
CTT 995/50561 TI		AP	10	12	5	65	540	831			
CTT 994/56585 TI		AP	10,5	12	4	65	490	754			
CTT 995/50648 TI		AP	10	10,5	4,5	65	470	723			
CTT 994/55243 TI		AP	8,5	12,5	4	65	430	662			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 995/52450 TI		AP	10,5	7,5	3	65	350	538			
CTT 994/57577 TI		AP	12,5	9,5	4	65	320	492			
CTT 995/50750 TI		AP	10,5	8,5	4,5	60	495	825			
CTT 994/54468 TI		AP	14	8,5	4	60	455	758			
CTT 994/54668 TI		AP	13,5	8,5	3	60	440	733			
CTT 995/50668 TI		AP	7	6,5	3	60	140	233			
CTT 995/50455 TI		AP	11	14,5	4	50	810	1620	*	3	é
CTT 994/56254 TI		AP	10	13,5	4	50	490	980			
CTT 994/50623 TI		AP	8	11	4	50	400	800			
CTT 994/53210 TI		AP	7,5	10,5	2,5	50	280	560			
CTT 995/50654 TI		AP	6,5	5,5	3	50	140	280			
CTT 994/53853 TI		BO	27,5	18	9	100	3630	3630	*	?	é
CTT 994/53788 TI		BO	25	16,5	7,5	100	2560	2560	*	?	c
CTT 994/56201 TI		BO	21	16,5	6,5	100	2420	2420	*	2,5	f
CTT 994/53866 TI		BO	21	15	6	100	2360	2360	*	?	c
CTT 994/50129 TI		BO	21	15,5	7	100	2300	2300			
CTT 995/53229 TI		BO	19,5	14,5	6,5	100	2090	2090			
CTT 994/52838 TI	16	BO	19	16	7,5	100	2060	2060	*	2,5	c
CTT 994/54572 TI		BO	15	16,5	6,5	100	1930	1930			
CTT 994/50160 TI		BO	14	19	8	100	1890	1890			
CTT 994/53734 TI		BO	20,5	16	6	100	1870	1870			
CTT 994/53777 TI		BO	21,5	16	6	100	1830	1830	*	?	é
CTT 994/53766 TI		BO	19,5	15	4	100	1800	1800			
CTT 994/53863 TI		BO	17	14	8	100	1750	1750	*	?	f
CTT 994/56360 TI		BO	18	13,5	7,5	100	1740	1740			
CTT 994/50089 TI		BO	18	13	6	100	1690	1690			
CTT 994/53221 TI		BO	14,5	14,5	6	100	1560	1560			
CTT 994/50850 TI		BO	17	14,5	8	100	1530	1530			
CTT 995/53264 TI		BO	14	14	7	100	1530	1530			
CTT 995/52268 TI		BO	17	13	5,5	100	1400	1400			
CTT 994/53232 TI		BO	18	13,5	7	100	1380	1380	*	2,3	f
CTT 994/56372 TI		BO	15	13	9	100	1360	1360			
CTT 994/53249 TI		BO	15,5	13,5	7	100	1250	1250			
CTT 994/54605 TI		BO	16	14,5	6	100	1180	1180			
CTT 994/52842 TI		BO	13	13	7	100	1150	1150			
CTT 994/50518 TI		BO	15	13	7	100	1100	1100			
CTT 994/53768 TI		BO	13,5	15	5	100	1100	1100	*	2,5	f
CTT 995/52269 TI		BO	16	13	6,5	100	1100	1100			
CTT 994/54556 TI		BO	17	13,5	6,5	100	1050	1050			
CTT 994/54296 TI		BO	16	13							

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 995/52312 TI		BO	9	11,5	4	60	480	800			
CTT 995/52329 TI		BO	11	10	4,5	60	400	667			
CTT 995/51940 TI		BO	8,5	8	4,5	60	200	333			
CTT 994/54459 TI		BO	9	9	4	55	230	418			
CTT 995/53280 TI		BO	15,5	16	8,5	50	2090	4180			
CTT 994/53267 TI		BO	14	9	7	50	1110	2220			
CTT 994/54466 TI		BO	13	17	6	50	1110	2220			
CTT 995/50478 TI		BO	13	10	6	50	990	1980			
CTT 995/52468 TI		BO	16,5	9	7	50	850	1700			
CTT 994/53216 TI		BO	13	9	6	50	640	1280			
CTT 994/50854 TI		BO	8	10	6	50	500	1000			
CTT 995/50525 TI		CH	21	19	7	100	2830	2830			
CTT 994/52843 TI		CH	18,5	15	7,5	100	2370	2370			
CTT 994/54443 TI		CH	19	14	5,5	100	1880	1880			
CTT 994/52861 TI		CH	18,5	14	9	100	1675	1675			
CTT 994/54437 TI		CH	20,5	15	6	100	1590	1590			
CTT 994/54467 TI		CH	18	14,5	6	100	1500	1500			
CTT 994/56368 TI		CH	18	12	6	100	1240	1240			
CTT 995/53431 TI		CH	16	12	6	100	1020	1020			
CTT 995/53295 TI		CH	13,5	12	6,5	100	870	870			
CTT 994/53736 TI		CH	15	12,5	4,5	100	750	750	*	2,5	f
CTT 994/53256 TI		CH	17	12,5	5	100	730	730			
CTT 994/55333 TI		CH	12	13	5,5	100	710	710			
CTT 995/50528 TI		CH	12	11,5	6	100	480	480			
CTT 994/56203 TI		CH	12	11	4	100	420	420			
CTT 994/54288 TI		CH	7	9	3	100	160	160			
CTT 995/51926 TI		CH	13	15	5,5	95	850	895			
CTT 994/52328 TI		CH	17	11	7	90	1750	1944			
CTT 994/55410 TI		CH	18	13,5	8,5	90	1610	1789	*	2,3	f
CTT 995/52261 TI		CH	13	13	6	90	1060	1178			
CTT 995/52421 TI		CH	14,5	11	5,5	90	900	1000			
CTT 995/51931 TI		CH	15,5	12	5	90	860	956			
CTT 995/52344 TI		CH	13,5	11,5	6	90	800	889			
CTT 994/50871 TI		CH	11,5	14	4,5	90	790	878			
CTT 994/54376 TI		CH	13	11,5	6	90	770	856			
CTT 994/53817 TI		CH	15	12	5,5	90	640	711			
CTT 995/50477 TI		CH	13,5	11,5	5,5	90	640	711			
CTT 994/55126 TI		CH	11	9	5	90	490	544			
CTT 994/53302 TI		CH	8	8,5	4,5	90	310	344			
CTT 994/54282 TI		CH	9	7,5	3,5	90	240	267			
CTT 994/55303 TI		CH	13	10,5	6,5	85	660	776			
CTT 995/52311 TI		CH	11	11,5	4,5	85	475	559			
CTT 994/56367 TI	18	CH	21	20	7	80	3100	3875	*	2,8	f
CTT 994/53222 TI		CH	14,5	15	6,5	80	1470	1838			
CTT 994/53237 TI		CH	12	17	7	80	1430	1788			
CTT 995/50252 TI		CH	13,5	13	5	80	1320	1650			
CTT 994/57583 TI		CH	14	10	7	80	1180	1475			
CTT 995/53372 TI		CH	15,5	11	7,5	80	1110	1388			
CTT 995/50705 TI		CH	14,5	14	6	80	1060	1325			
CTT 994/57252 TI		CH	14,5	13	6,5	80	960	1200			
CTT 994/55312 TI		CH	16	12	5,5	80	820	1025			
CTT 994/52860 TI		CH	13	13,5	6,5	80	760	950			
CTT 994/53869 TI		CH	14	12	4,5	80	710	888			
CTT 994/53816 TI		CH	13,5	11,5	4,5	80	700	875			
CTT 995/53239 TI		CH	10,5	13,5	4,5	80	630	788			
CTT 994/56245 TI		CH	11	11	4	80	450	563			
CTT 994/58279 TI		CH	11	11,5	3	80	440	550			
CTT 994/55427 TI		CH	11,5	9	3	80	390	488			
CTT 995/53223 TI		CH	12	8,5	4	80	380	475			
CTT 994/56172 TI		CH	9,5	7,5	4	80	290	363			
CTT 994/54285 TI		CH	7,5	9,5	3	80	210	263			
CTT 994/58083 TI		CH	7,5	6,5	2,5	80	210	263			
CTT 995/52256 TI		CH	10	12	5,5	75	1090	1453			
CTT 996/51269 TI		CH	16	11,5	4,5	75	1060	1413			
CTT 994/55390 TI		CH	9,5	11	5	75	580	773			
CTT 994/56849 TI		CH	9,5	11,5	4	75	420	560			
CTT 994/55488 TI		CH	11	8,5	5,5	75	380	507			
CTT 994/55853 TI		CH	9	9,5	5	75	330	440			
CTT 994/57300 TI		CH	16,5	15,5	7,5	70	1100	1571			
CTT 995/50748 TI		CH	14,5	12	7	65	1190	1831			
CTT 994/53785 TI		CH	15,5	12,5	5	65	820	1262			
CTT 994/55313 TI		CH	15	9	6	65	745	1146			
CTT 994/50471 TI		CH	12,5	8	5	65	570	877			
CTT 995/53182 TI		CH	11,5	10,5	5,5	65	540	831			
CTT 994/57254 TI		CH	14	10	4	65	390	600			
CTT 994/53864 TI		CH	17	18,5	7	60	1500	2500			
CTT 994/50873 TI		CH	11	13,5	5	60	890	1483			
CTT 994/54389 TI		CH	13	10,5	6	60	860	1433			
CTT 994/55402 TI		CH	11,5	11,5	4,5	60	550	917			
CTT 994/56584 TI		CH	13	8	4,5	60	500	833			
CTT 994/55436 TI		CH	12	7,5	3	60	280	467			
CTT 994/54388 TI		CH	12	14	5	50	950	1900			
CTT 994/50442 TI		CH	16,5	13	4,5	50	850	1700			
CTT 994/50892 TI		CH	9	13	4,5	50	790	1580			
CTT 994/56351 TI		CH	11,5	13,5	5	50	720	1440			
CTT 994/53560 TI		CH	7,5	6	4,5	50	220	440			
CTT 995/51928 TI		CI	19,0	17,5	6	100	1980	1980			
CTT 994/54295 TI		CI	17,0	16,0	5,5	100	1920	1920			
CTT 994/52859 TI		CI	17,0	15,5	5,5	100	1530	1530	*	2,7	f
CTT 995/52316 TI		CI	14,5	15,0	6	100	1435	1435			
CTT 994/53233 TI		CI	14,0	13,0	6	100	1310	1310			
CTT 994/55290 TI		CI	14,5	13,0	5	100	1200	1200			
CTT 994/53234 TI		CI	13,5	12,0	6,5	100	1120	1120			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/57321 TI		CI	14,0	10,5	5,5	100	1090	1090			
CTT 994/56145 TI		CI	16,0	14,0	6	100	1090	1090			
CTT 994/58275 TI		CI	17,5	12,0	4,5	100	1000	1000			
CTT 995/53047 TI		CI	15,5	13,0	5	100	920	920	*	2,5	i
CTT 995/52222 TI		CI	14,0	12,5	5	100	910	910			
CTT 995/52235 TI		CI	14,0	12,0	4,5	100	890	890			
CTT 994/50848 TI		CI	14,0	13,0	6	100	880	880			
CTT 994/55480 TI	21	CI	15,0	12,0	4	100	870	870	*	2,8	f
CTT 994/52812 TI		CI	13,0	10,5	5,5	100	860	860			
CTT 994/57603 TI		CI	14,5	12,0	4,5	100	860	860	*	2,7	f
CTT 995/53089 TI		CI	12,0	11,0	5	100	780	780			
CTT 994/53472 TI		CI	11,5	12,0	5,5	100	775	775	*	2,6	f
CTT 995/53046 TI		CI	14,0	12,5	4	100	730	730			
CTT 994/56408 TI		CI	13,5	11,0	5	100	680	680			
CTT 995/53443 TI		CI	12,5	10,5	5	100	660	660			
CTT 994/55949 TI		CI	12,0	10,5	4,5	100	630	630			
CTT 994/54300 TI		CI	9,5	11,5	6	100	540	540			
CTT 995/52223 TI		CI	11,5	11,5	4	100	510	510			
CTT 994/58283 TI		CI	13,5	10,0	4	100	500	500			
CTT 995/53321 TI		CI	10,0	10,0	4,5	100	410	410			
CTT 995/50499 TI		CI	16,0	14,5	4,5	95	1450	1526			
CTT 994/53253 TI		CI	13,0	13,5	5,5	95	1150	1211			
CTT 995/52310 TI		CI	11,5	12,5	5	95	1100	1158			
CTT 995/52289 TI		CI	12,5	12,5	5,5	95	1000	1053			
CTT 994/50586 TI		CI	14,0	12,0	4,5	95	870	916			
CTT 994/54507 TI		CI	12,5	12,0	3,5	95	740	779			
CTT 994/53799 TI		CI	11,0	10,0	5	95	640	674			
CTT 995/52531 TI		CI	10,0	10,0	4,5	95	550	579			
CTT 994/54667 TI		CI	10,0	10,0	4	95	420	442			
CTT 995/50514 TI		CI	21,0	20,0	6,5	90	3560	3956			
CTT 994/54298 TI		CI	14,0	15,0	6	90	1590	1767			
CTT 995/53304 TI		CI	17,5	13,0	6,5	90	1570	1744			
CTT 994/54563 TI		CI	17,0	14,0	6	90	1540	1711			
CTT 994/57276 TI		CI	15,0	12,5	6	90	1090	1211			
CTT 994/57566 TI		CI	15,5	12,0	5	90	960	1067			
CTT 994/53255 TI		CI	13,5	12,5	5,5	90	920	1022			
CTT 995/53250 TI		CI	11,5	13,0	6	90	860	956			
CTT 995/53270 TI		CI	11,0								

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/57328 TI	CO	CO	13	10,5	4,5	100	690	690			
CTT 995/52317 TI	CO	CO	13,5	11	4	100	620	620			
CTT 994/53205 TI	CO	CO	13	10	4	100	590	590			
CTT 994/53290 TI	CO	CO	8,5	10	4	100	320	320			
CTT 994/57592 TI	CO	CO	7,5	8	3	100	230	230			
CTT 994/54425 TI	CO	CO	23	18	6	95	3460	3642			
CTT 994/57441 TI	CO	CO	16	14	5	90	1620	1800			
CTT 994/52829 TI	CO	CO	14	16	6	90	1460	1622			
CTT 994/54554 TI	CO	CO	16	18	6,5	90	1440	1600			
CTT 995/52271 TI	CO	CO	15	12	6	90	1145	1272			
CTT 994/54521 TI	CO	CO	15,5	14,5	4	90	980	1089			
CTT 994/54440 TI	CO	CO	17	13,5	4,5	90	800	889			
CTT 994/56583 TI	CO	CO	12	11	6	90	605	672			
CTT 994/53257 TI	CO	CO	11,5	10	5	90	570	633			
CTT 994/54358 TI	CO	CO	19	16	6,5	85	2330	2741			
CTT 995/50328 TI	CO	CO	15,5	15,5	5,5	85	1890	2224			
CTT 994/53876 TI	CO	CO	15	15	5,5	85	1260	1482			
CTT 994/55408 TI	CO	CO	33	19	8	80	2995	3744			
CTT 994/56354 TI	CO	CO	22	20	8	80	2960	3700			
CTT 994/54481 TI	CO	CO	13,5	15	7	80	2450	3063	*	2,6	f
CTT 994/54290 TI	CO	CO	14	13,5	6	80	1000	1250			
CTT 994/56366 TI	CO	CO	12,5	13	5	80	1000	1250			
CTT 994/53451 TI	CO	CO	15,5	13	5,5	80	990	1238			
CTT 995/50691 TI	CO	CO	12	12	6	80	820	1025			
CTT 995/53116 TI	CO	CO	12,5	11,5	4	80	790	988			
CTT 994/53224 TI	CO	CO	11,5	11,5	5	80	770	963			
CTT 994/51180 TI	CO	CO	13	13	6	80	720	900			
CTT 994/50435 TI	CO	CO	14	12	4	80	640	800			
CTT 994/57373 TI	CO	CO	9	9,5	4	80	380	475			
CTT 995/53298 TI	CO	CO	19	14	6	75	2000	2667			
CTT 994/54382 TI	CO	CO	18	14,5	5,5	75	1200	1600			
CTT 994/54457 TI	CO	CO	15	14	5,5	75	1150	1533			
CTT 994/54377 TI	CO	CO	13	15	4	75	970	1293			
CTT 995/53077 TI	CO	CO	14,5	12	6	75	930	1240			
CTT 994/50896 TI	CO	CO	10	13,5	5	75	840	1120			
CTT 995/53224 TI	CO	CO	9,5	11,5	5,5	75	440	587			
CTT 994/55295 TI	CO	CO	9	10,5	4	75	380	507			
CTT 994/55414 TI	CO	CO	14	15	7,5	70	1010	1443			
CTT 994/52811 TI	CO	CO	16,5	10	7	70	960	1371			
CTT 994/55258 TI	CO	CO	10	8	3,5	70	220	314			
CTT 995/53452 TI	CO	CO	15,5	15	7,5	65	1510	2323			
CTT 994/53251 TI	CO	CO	15,5	15	5,5	65	1390	2138			
CTT 995/50768 TI	CO	CO	19	15	7,5	65	1360	2092			
CTT 995/50527 TI	CO	CO	17,5	15,5	6,5	65	1330	2046			
CTT 994/54578 TI	CO	CO	11	14	6	65	900	1385			
CTT 995/50272 TI	CO	CO	11,5	10,5	6	65	830	1277			
CTT 994/55314 TI	CO	CO	15	15	5,5	65	780	1200			
CTT 994/50449 TI	CO	CO	12	12	6,5	60	1070	1783			
CTT 994/56363 TI	CO	CO	11	13,5	5	60	930	1550			
CTT 995/50686 TI	CO	CO	14,5	14	6	60	900	1500			
CTT 994/54356 TI	CO	CO	16	21	10	50	2760	5520			
CTT 994/53235 TI	CO	CO	18	18	7,5	50	1920	3840			
CTT 994/52807 TI	CO	CO	18	11,5	4	50	1250	2500			
CTT 994/53227 TI	CO	CO	12	16	7	50	1250	2500			
CTT 994/56618 TI	CO	CO	11	12	4	50	600	1200			
CTT 994/55248 TI	CO	CO	13	11	5	50	550	1100			
CTT 994/54379 TI	CO	CO	12	7,5	5,5	50	495	990			
CTT 994/52803 TI	CO	CO	9,5	12	5,5	50	460	920			
CTT 994/56770 TI	CX	CX	25	16	7,5	100	3260	3260			
CTT 994/53219 TI	CX	CX	24	18,5	8	100	3230	3230	*	2,4	i
CTT 994/55332 TI	CX	CX	21	15	5	100	2190	2190			
CTT 994/52857 TI	CX	CX	20	17	6	100	2050	2050	*	2,8	c
CTT 994/52858 TI	CX	CX	21,5	15	6,5	100	1890	1890	*	2,5	c
CTT 994/54427 TI	CX	CX	20	15	6	100	1880	1880			
CTT 994/56146 TI	CX	CX	19,5	13	6,5	100	1610	1610	*	2,7	c
CTT 994/54371 TI	CX	CX	16,5	14	5,5	100	1490	1490			
CTT 994/53275 TI	CX	CX	15	14,5	6	100	1335	1335			
CTT 994/55124 TI	CX	CX	12	16	6	100	1260	1260			
CTT 994/55215 TI	CX	CX	15,5	12,5	5	100	1090	1090			
CTT 994/55240 TI	CX	CX	12,5	11,5	5,5	100	800	800			
CTT 995/53279 TI	CX	CX	13,5	9	6	100	700	700			
CTT 994/54643 TI	CX	CX	8	10	4,5	100	300	300			
CTT 995/53083 TI	CX	CX	16,5	14,5	7	95	1700	1789			
CTT 994/55479 TI	CX	CX	17	15	6	90	2150	2389			
CTT 994/56371 TI	CX	CX	17	16,5	6	90	1650	1833			
CTT 994/55952 TI	CX	CX	16,5	14	5	90	1515	1683			
CTT 994/52804 TI	CX	CX	13	12	7	90	1000	1111			
CTT 994/54518 TI	CX	CX	15,5	16,5	8,5	80	2530	3163			
CTT 994/56642 TI	24 CX	CX	21	15	7	80	2075	2594	*	2,5	c
CTT 994/57434 TI	CX	CX	21,5	15,5	6,5	80	2010	2513			
CTT 995/52270 TI	CX	CX	15	15	5,5	80	1580	1975			
CTT 994/57576 TI	CX	CX	12	10	6	80	780	975			
CTT 995/53320 TI	CX	CX	14	10	5	80	750	938			
CTT 995/53205 TI	CX	CX	12	10	4,5	80	640	800			
CTT 994/52828 TI	CX	CX	19	18	11	75	2705	3607			
CTT 994/53247 TI	CX	CX	18,5	17	7	75	2030	2707			
CTT 994/53277 TI	CX	CX	19	14	7	75	1450	1933			
CTT 994/53223 TI	CX	CX	14	14	6,5	75	1160	1547			
CTT 995/53056 TI	CX	CX	13,5	12,5	5,5	75	1030	1373			
CTT 995/52258 TI	CX	CX	20,5	17	5	65	2275	3500			
CTT 994/55409 TI	CX	CX	16,5	20	7	65	1930	2969			
CTT 994/56188 TI	CX	CX	22	15	8	65	1900	2923			
CTT 994/55411 TI	CX	CX	13	16	7,5	65	1530	2354			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/57554 TI	CX	CX	17	12	4,5	65	1460	2246			
CTT 995/52686 TI	CX	CX	13,5	13	6	65	1120	1723			
CTT 995/50169 TI	CX	CX	15,5	14	4,5	65	845	1300			
CTT 994/55361 TI	CX	CX	10,5	12	5,5	65	810	1246			
CTT 994/54642 TI	CX	CX	15	10,5	6	65	710	1092			
CTT 995/50832 TI	CX	CX	13,5	16	5,5	60	1470	2450			
CTT 994/54479 TI	CX	CX	14,5	10,5	6,5	60	990	1650			
CTT 994/55428 TI	CX	CX	11,5	11	5,5	60	640	1067			
CTT 994/54462 TI	CX	CX	15	13,5	7,5	55	1600	2909			
CTT 994/53757 TI	CX	CX	14	12	7	55	1340	2436			
CTT 994/52856 TI	CX	CX	12	14	5	50	920	1840			
CTT 994/55198 TI	DP	DP	12,5	11	8	100	1300	1300			
CTT 995/53520 TI	DP	DP	13,5	11	4,5	100	900	900			
CTT 994/56196 TI	DP	DP	15	12	4	100	860	860			
CTT 994/58287 TI	DP	DP	16	12	5	100	860	860			
CTT 995/50324 TI	DP	DP	14,5	13	5,5	100	760	760			
CTT 995/53297 TI	DP	DP	15	11	6	100	700	700			
CTT 994/55323 TI	DP	DP	12	11	6	100	690	690			
CTT 994/55271 TI	DP	DP	9,5	13	5,5	100	560	560			
CTT 994/51168 TI	DP	DP	11	12	4	100	520	520			
CTT 994/58278 TI	DP	DP	10	12	4	100	500	500			
CTT 994/53265 TI	DP	DP	9,5	10,5	4,5	100	495	495			
CTT 994/55970 TI	DP	DP	8,5	11,5	4,5	100	440	440			
CTT 995/50302 TI	DP	DP	13	9,5	4,5	100	420	420			
CTT 995/53290 TI	DP	DP	10	10	5	100	410	410			
CTT 994/58295 TI	DP	DP	12	10	2,5	100	350	350			
CTT 994/55217 TI	DP	DP	12,5	7,5	5	100	330	330			
CTT 994/55365 TI	DP	DP	8,5	10	5,5	100	320	320			
CTT 994/55384 TI	DP	DP	7	9	4,5	100	320	320			
CTT 994/55380 TI	DP	DP	10	6,5	5,5	100	310	310			
CTT 994/50599 TI	DP	DP	9	9	3	100	300	300			
CTT 994/55416 TI	DP	DP	12	8,5	3	100	300	300			
CTT 994/57593 TI	DP	DP	7,5	7,5	4	100	250	250			
CTT 994/56222 TI	DP	DP	9	6	3,5	100	220	220			
CTT 994/55326 TI	DP	DP	9,5	6,5	4,5	100	210	210			
CTT 995/52314 TI	DP	DP	7	7	3	100	170	170			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/50717 TI		DP	10	8	4	65	570	877			
CTT 994/55347 TI		DP	13,5	10,5	4	65	560	862			
CTT 995/52666 TI		DP	12,5	8,5	4	65	500	769			
CTT 994/55260 TI		DP	10	10,5	3,5	65	470	723			
CTT 994/57557 TI		DP	10	9	4,5	65	460	708			
CTT 994/50998 TI		DP	8,5	10	5	65	400	615			
CTT 995/50846 TI		DP	10,5	7	4,5	65	350	538			
CTT 994/55345 TI		DP	9,5	7	4	65	300	462			
CTT 994/54487 TI		DP	11	6,5	4	65	250	385			
CTT 994/55346 TI		DP	7,5	8,5	3,5	65	220	338			
CTT 994/55368 TI		DP	8	6	4	65	180	277			
CTT 994/55207 TI		DP	11,5	15,5	4	60	670	1117			
CTT 994/55379 TI		DP	10,5	10	5	60	640	1067			
CTT 994/56158 TI		DP	10	10	4,5	60	580	967			
CTT 994/56659 TI		DP	10,5	7,5	6	60	550	917			
CTT 994/55412 TI		DP	9	9	5	60	540	900			
CTT 994/57451 TI		DP	9	10	4	60	500	833			
CTT 995/51929 TI		DP	8,5	8	4,5	60	250	417			
CTT 994/53238 TI		DP	18	19	8	50	2570	5140			
CTT 994/53868 TI		DP	12,5	15	7	50	1650	3300			
CTT 994/54438 TI		DP	12	17,5	7	50	1200	2400			
CTT 994/54387 TI		DP	12,5	14	7	50	970	1940			
CTT 994/55304 TI		DP	11	14,5	6	50	930	1860			
CTT 994/50655 TI		DP	11	13	4,5	50	920	1840			
CTT 994/55294 TI		DP	13	14	4,5	50	860	1720			
CTT 994/56390 TI		DP	15	13	5	50	800	1600			
CTT 994/55289 TI		DP	12	11,5	5,5	50	720	1440			
CTT 994/55259 TI		DP	13,5	10,5	6	50	700	1400			
CTT 994/58289 TI		DP	13,5	9,5	4,5	50	600	1200			
CTT 994/55247 TI		DP	13,5	9	6	50	540	1080			
CTT 994/55912 TI		DP	11	7,5	4,5	50	490	980			
CTT 994/54372 TI		DP	8	11	4	50	400	800			
CTT 994/55270 TI		DP	11,5	9	6	50	400	800			
CTT 994/56168 TI		DP	11,5	9	4,5	50	400	800			
CTT 994/58294 TI		DP	9	12,5	3	50	370	740			
CTT 994/56223 TI		DP	7	10	4,5	50	350	700			
CTT 994/55315 TI		DP	9	6,5	3,5	50	270	540			
CTT 994/50707 TI		DP	7	7	3	50	210	420			
CTT 994/52787 TI		DP	6	7	3	50	140	280			
CTT 994/53696 TI		FL	14	14	5	100	920	920			
CTT 994/53764 TI		FL	11	13,5	4	100	740	740			
CTT 994/53473 TI		FL	10	12,5	5	100	690	690			
CTT 994/53740 TI		FL	12	9,5	4	100	510	510			
CTT 995/50452 TI		FL	11,5	11	5	100	510	510			
CTT 994/57966 TI		FL	17,5	12	5	100	470	470			
CTT 994/53761 TI		FL	10,5	12	5	100	450	450			
CTT 994/53730 TI	13	FL	11	12	5	100	430	430	*	2,8	i
CTT 994/51093 TI		FL	9	9	3	100	360	360			
CTT 995/50472 TI		FL	10	9	4	100	320	320			
CTT 994/53822 TI		FL	10,5	10	3	100	260	260			
CTT 994/50978 TI		FL	11	7	4	100	250	250			
CTT 994/53883 TI		FL	7	8	3	100	250	250			
CTT 994/55366 TI		FL	7,5	8,5	4,5	100	240	240			
CTT 994/53818 TI		FL	8	9	4	100	220	220			
CTT 994/55317 TI		FL	9	6	3,5	100	190	190			
CTT 994/53849 TI		FL	8,5	9	3	100	170	170			
CTT 994/53882 TI		FL	9	7	3	100	160	160			
CTT 994/55220 TI		FL	6	8	2,5	100	130	130			
CTT 994/51147 TI		FL	6	5	2	100	70	70			
CTT 995/50207 TI		FL	11,5	8	4	90	530	589			
CTT 995/50182 TI		FL	9,5	8	3,5	90	260	289			
CTT 994/58007 TI		FL	6	7	3	90	190	211			
CTT 994/53848 TI		FL	11	8,5	5	85	470	553			
CTT 994/53872 TI		FL	14	22	5,5	80	1830	2288			
CTT 994/53877 TI		FL	10,5	13,5	13	80	705	881			
CTT 995/50730 TI		FL	9	8	3,5	80	280	350			
CTT 994/57266 TI		FL	7	8	3	80	220	275			
CTT 995/53088 TI		FL	13,5	14	4,5	75	1100	1467			
CTT 994/57584 TI		FL	16	10	5,5	75	790	1053			
CTT 994/53548 TI		FL	8	8,5	3,5	75	275	367			
CTT 995/53271 TI		FL	12,5	12	7	70	920	1314			
CTT 995/50663 TI		FL	8	6	2,5	70	100	143			
CTT 994/51058 TI		FL	12	10	5	65	560	862			
CTT 994/55401 TI		FL	9	13	3,5	65	380	585			
CTT 994/50720 TI		FL	8,5	7,5	3	65	240	369			
CTT 995/50321 TI		FL	9,5	5,5	4	65	220	338			
CTT 994/53809 TI		FL	9,5	14,5	5	60	770	1283			
CTT 994/53860 TI		FL	15	17	5	50	1170	2340			
CTT 994/55241 TI		FL	9	11,5	4,5	50	740	1480			
CTT 994/56874 TI		FL	12	13	3,5	50	610	1220			
CTT 994/55221 TI		FL	11,5	11	4,5	50	510	1020			
CTT 994/53694 TI		FL	12,5	12,5	4,5	50	470	940			
CTT 995/50285 TI		FL	8,5	10,5	4,5	50	400	800			
CTT 994/53779 TI		FL	11,5	9	5	50	370	740			
CTT 994/55854 TI		FL	12	8	3,5	50	270	540			
CTT 994/50944 TI		FL	10	7	5,5	50	240	480			
CTT 994/53884 TI		FL	7,5	6	3,5	50	120	240			
CTT 994/53780 TI		NC	21	18	8	100	3010	3010			
CTT 994/53151 TI		NC	18	15,5	6,5	100	2305	2305			
CTT 994/53874 TI		NC	20,5	17	7,5	100	1830	1830			
CTT 994/50122 TI		NC	17	14	4,5	100	1460	1460			
CTT 994/50123 TI		NC	15,5	16,5	4,5	100	1210	1210			
CTT 994/50133 TI		NC	13,5	13	5	100	955	955			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/58274 TI		NC	17	11	3	100	820	820			
CTT 994/53723 TI		NC	16	11	5,5	100	820	820			
CTT 994/50076 TI		NC	12	10	4	100	750	750			
CTT 994/55434 TI		NC	15,5	12	5	100	730	730			
CTT 994/50114 TI		NC	16,5	8,5	5	100	720	720			
CTT 994/50143 TI		NC	15	14	3,5	100	710	710			
CTT 994/50077 TI		NC	14	11	3,5	100	700	700			
CTT 994/52291 TI		NC	12,5	11	5	100	680	680			
CTT 995/50491 TI		NC	9,5	10	6,5	100	610	610			
CTT 994/50625 TI		NC	14	11	3,5	100	560	560			
CTT 994/50743 TI		NC	11	9,5	6	100	510	510			
CTT 994/51038 TI		NC	11	9	4	100	420	420			
CTT 994/51102 TI		NC	12	9	5	100	410	410			
CTT 994/50152 TI		NC	11,5	10	4	100	410	410			
CTT 994/54304 TI		NC	9	12	4,5	100	400	400			
CTT 994/53308 TI		NC	8,5	10,5	6	100	375	375			
CTT 994/53852 TI		NC	11	8	4	100	340	340			
CTT 994/55218 TI		NC	9	9	5	100	340	340			
CTT 995/53234 TI		NC	8,5	7,5	3	100	310	310			
CTT 994/50997 TI		NC	9	10	4	100	290	290			
CTT 994/53732 TI		NC	10,5	8,5	5,5	100	250	250			
CTT 994/57545 TI		NC	9	7,5	3	100	240	240			
CTT 994/55973 TI		NC	8,5	9	4,5	100	240	240			
CTT 994/50106 TI		NC	10	6	3	100	230	230			
CTT 994/53315 TI		NC	7,5	7	4	100	220	220			
CTT 994/50125 TI		NC	8	7,5	3,5	100	220	220			
CTT 995/53462 TI		NC	8,5	7	4	100	210	210			
CTT 994/53844 TI		NC	8,5	8	4,5	100	210	210			
CTT 994/51141 TI		NC	8,5	8,5	4	100	200	200			
CTT 994/50136 TI		NC	7	7	3,5	100	190	190			
CTT 995/51927 TI		NC	0	0	0	100	190	190			
CTT 994/55282 TI		NC	9	8	3	100	180	180			
CTT 994/52298 TI		NC	9	7	3,5	100	160	160			
CTT 994/52292 TI		NC	9,5	7,5	3,5	100	160	160			
CTT 994/50104 TI		NC	7,5	6,5	2,5	100	160	160			
CTT 994/53776 TI		NC	9	7,5	2,5	100	140	140			
CTT 994/50103 TI		NC	6,5	6,5	2,5	100	120	120			
CTT 995/50539 TI		NC	6,5	8,5	3	100	120	120			
CTT 994/56816 TI		NC	7,5	6,5	3	100	80	80			
CTT 994/57359 TI		NC	6	5	2	100	50	50			
CTT 994/58293 TI		NC	16,5	15	6,5	90	1400	15			

Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/53885 TI	NC		7	8	4,5	60	180	300			
CTT 994/50877 TI	NC		12	13	5	55	950	1727			
CTT 994/53307 TI	NC		13,5	10	4,5	55	680	1236			
CTT 994/50470 TI	NC		10	6	6	55	310	564			
CTT 995/50795 TI	NC		15,5	15	6	50	1480	2960			
CTT 994/52254 TI	NC		14	14	8	50	1450	2900			
CTT 995/53272 TI	NC		12	9	9	50	1080	2160			
CTT 994/53262 TI	NC		15	11	6	50	910	1820			
CTT 994/52331 TI	NC		13	14,5	7	50	900	1800			
CTT 994/50678 TI	NC		9	11	7	50	780	1560			
CTT 994/56403 TI	NC		12	13	5,5	50	700	1400			
CTT 995/53514 TI	NC		9,5	9,5	4	50	675	1350			
CTT 994/54303 TI	NC		11,5	11,5	7	50	670	1340			
CTT 995/50636 TI	NC		14	9,5	5,5	50	630	1260			
CTT 995/52191 TI	NC		13,5	7,5	4,5	50	570	1140			
CTT 995/53450 TI	NC		11	10,5	4	50	560	1120			
CTT 994/54644 TI	NC		14	9,5	7	50	550	1100			
CTT 995/50183 TI	NC		10,5	11	4	50	500	1000			
CTT 994/55405 TI	NC		11	9	5,5	50	460	920			
CTT 994/57282 TI	NC		0	0	0	50	460	920			
CTT 995/50465 TI	NC		12,5	8	4	50	420	840			
CTT 994/53420 TI	NC		7,5	8,5	5,5	50	400	800			
CTT 994/50115 TI	NC		10	10	4,5	50	390	780			
CTT 994/53209 TI	NC		11	7	3	50	350	700			
CTT 995/50538 TI	NC		11	9	4,5	50	340	680			
CTT 995/50637 TI	NC		8,5	9,5	4,5	50	340	680			
CTT 994/52063 TI	NC		0	0	0	50	320	640			
CTT 995/50492 TI	NC		0	0	0	50	310	620			
CTT 994/51039 TI	NC		7	9	4	50	290	580			
CTT 994/50075 TI	NC		7	10	4	50	250	500			
CTT 994/57283 TI	NC		0	0	0	50	240	480			
CTT 994/50556 TI	NC		9,5	6,5	4	50	190	380			
CTT 994/55374 TI	NC		7,5	5	2,5	50	140	280			
CTT 994/50156 TI	NC		7,5	5,5	2,5	50	110	220			
CTT 994/55407 TI	NC		7	5	2,5	50	100	200			
CTT 994/55486 TI	NC		7	5,5	3	50	90	180			
CTT 994/52306 TI	NC		0	0	0	50	40	80			
CTT 994/56362 TI	QU		15,5	11,5	5,5	100	1070	1070			
CTT 994/56204 TI	QU		11	9,5	7	100	650	650			
CTT 994/57403 TI	QU		13,5	9,5	5,5	100	480	480			
CTT 994/58286 TI	QU		13	11	6	95	650	684			
CTT 994/56708 TI	QU		12,5	11	5	95	590	621			
CTT 994/55963 TI	QU		10,5	11	4,5	90	370	411			
CTT 995/53305 TI	QU		15	13,5	9	85	1300	1529			
CTT 995/52389 TI	QU		18	13,5	9,5	80	1760	2200			
CTT 994/54502 TI	QU		16,5	13	5,5	80	1150	1438			
CTT 995/52296 TI	QU		13,5	8	7,5	80	440	550			
CTT 994/53226 TI	QU		19	12	10	75	1560	2080			
CTT 994/55964 TI	QU		9,5	8	5	75	360	480			
CTT 994/53797 TI	QU		18	13,5	11	65	1850	2846			
CTT 994/53248 TI	QU		19,5	15	7	65	1830	2815			
CTT 994/55322 TI	QU		11,5	13	5,5	65	690	1062			
CTT 995/50204 TI	QU		17,5	9,5	6	65	630	969			
CTT 995/53240 TI	QU		15	9,5	6	60	670	1117			
CTT 994/54449 TI	QU		14,5	8,5	6,5	50	530	1060			
CTT 994/56374 TI	QU		11	11	6	50	500	1000			
CTT 994/50788 TI	QU		11	9,5	6,5	50	450	900			
CTT 994/54400 TI	VI		15	13,5	8	100	1675	1675			
CTT 994/57986 TI	VI		12	13,5	8	100	1040	1040			
CTT 994/52840 TI	VI		14,5	10	6	100	930	930			
CTT 995/53177 TI	VI		12,5	11,5	7	100	890	890	*	2,1	f
CTT 995/52255 TI	VI		14,5	11,5	5,5	100	830	830			
CTT 995/52248 TI	VI		15,5	10,5	3,5	100	760	760	*	2,7	f
CTT 994/55462 TI	VI		9,5	12	5	100	720	720			
CTT 994/58284 TI	VI		13,5	11	5	100	700	700			
CTT 994/53854 TI	VI		11,9	10,1	5,6	100	530	530			
CTT 994/56221 TI	VI		11,5	10,5	4,5	100	530	530			
CTT 994/56157 TI	VI		11,5	9,5	5	100	470	470			
CTT 994/53842 TI	VI		13,5	10	4	100	450	450			
CTT 995/52215 TI	VI		11	11	6	100	450	450			
CTT 994/53791 TI	VI		10	10	5,5	100	430	430			
CTT 994/53873 TI	VI		10,5	11,5	5	100	390	390			
CTT 994/55979 TI	VI		10,5	10,5	5	100	390	390			
CTT 995/50450 TI	VI		10	8,5	3,5	100	350	350			
CTT 994/55325 TI	VI		10,5	7,5	4	100	220	220			
CTT 995/52647 TI	VI		8	6,5	5	100	220	220			
CTT 994/55344 TI	VI		9	8	3,5	100	190	190			
CTT 995/52381 TI	VI		9,5	7,5	4,5	100	190	190			
CTT 994/55367 TI	VI		8	9,5	4	100	180	180			
CTT 994/57273 TI	VI		8,5	6,5	3,5	100	160	160			
CTT 994/53867 TI	VI		11	7	3,5	100	150	150			
CTT 994/53801 TI	VI		7,5	7	3	100	130	130			
CTT 995/50599 TI	VI		9	6	3	100	130	130			
CTT 994/54392 TI	VI		8	6	3	100	125	125			
CTT 994/54485 TI	VI		12	12	3,5	95	650	684			
CTT 995/50580 TI	VI		10,5	9	5	95	470	495			
CTT 994/56777 TI	VI		11	10	4,5	95	400	421			
CTT 994/55404 TI	VI		8,5	10	4,5	95	270	284			
CTT 994/57564 TI	VI		9,5	9	3	95	230	242			
CTT 994/55453 TI	VI		7,5	8	2,5	95	150	158			
CTT 994/52862 TI	VI		16	13,5	7,5	90	1220	1356			
CTT 995/50516 TI	14	VI	15	12,5	5	90	1100	1222	*	2,5	f
CTT 995/50232 TI	VI		14	12	5	90	970	1078			

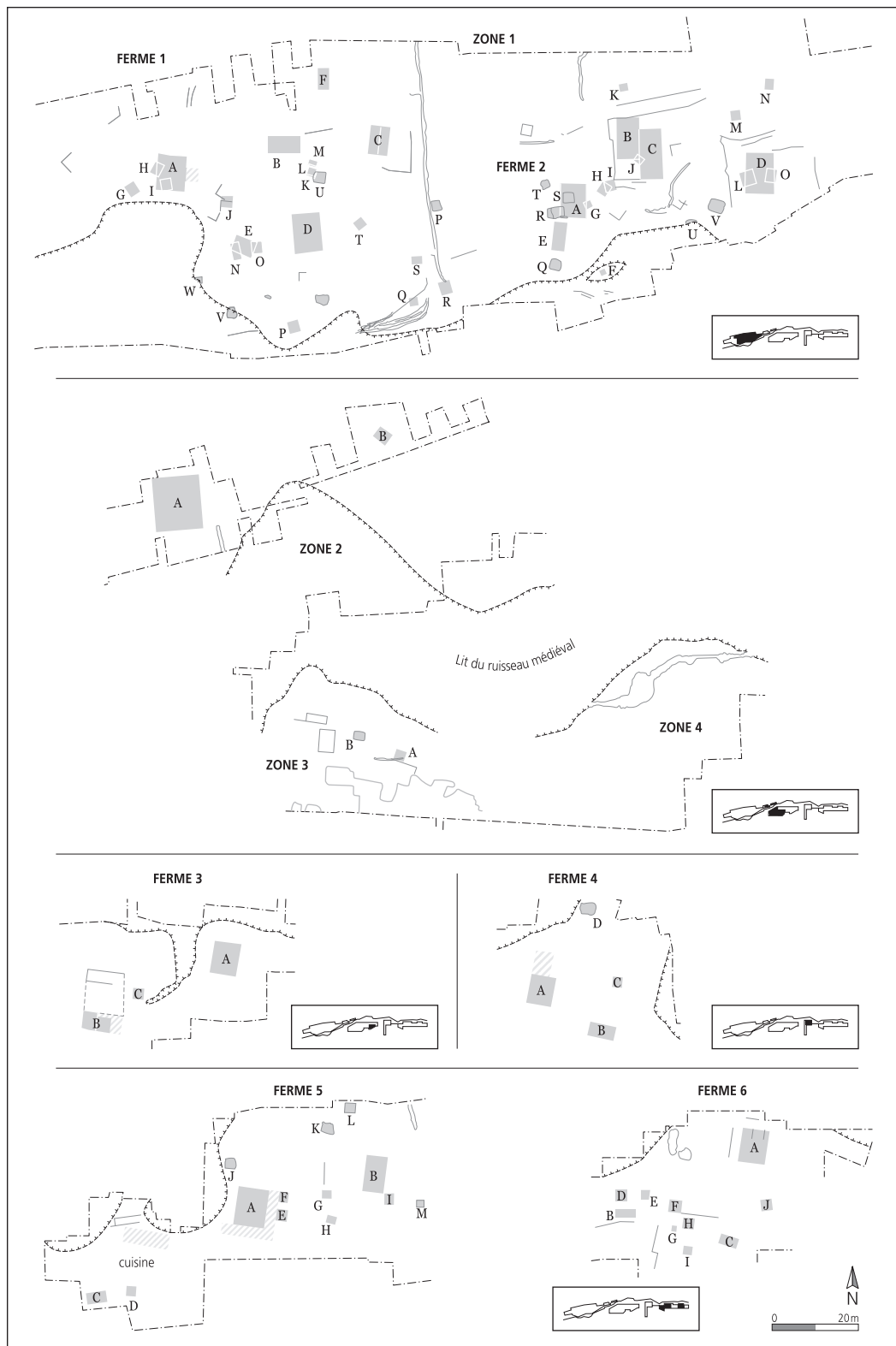
Inventaire	Cat.	Type	L.	I.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 994/54495 TI	VI		10,5	10,5	6,5	90	860	956			
CTT 994/55481 TI	VI		14	11,5	5,5	90	720	800			
CTT 994/54580 TI	VI		10,5	10,5	5	90	710	789			
CTT 995/53460 TI	VI		14	9,5	5	90	680	756			
CTT 994/54407 TI	VI		11	10,5	5	90	610	678			
CTT 994/55444 TI	VI		12	10,5	3	90	480	533			
CTT 995/52216 TI	VI		9,5	9	5,5	90	440	489			
CTT 994/53841 TI	VI		12	8	5,5	90	410	456			
CTT 995/53281 TI	VI		11	10	4	90	400	444			
CTT 994/55415 TI	VI		10,5	8	3,5	90	370	411			
CTT 994/55127 TI	VI		11,5	8	3,5	90	360	400			
CTT 995/53314 TI	VI		9	9	3,5	90	340	378			
CTT 995/52464 TI	VI		8,5	6,5	3,5	90	260	289			
CTT 994/55392 TI	VI		8	7,5	3,5	90	210	233			
CTT 994/57284 TI	VI		9	5,5	3,5	90	160	178			
CTT 994/53303 TI	VI		6	7,5	3,5	90	130	144			
CTT 994/54365 TI	VI		10,5	12,5	5	80	830	1038			
CTT 994/52863 TI	VI		12,5	9,5	6	80	460	575			
CTT 994/50770 TI	VI		8	10	3,5	80	360	450			
CTT 994/54404 TI	VI		10,5	8,5	6	80	350	438			
CTT 995/52380 TI	VI		10,5	8,5	3	80	310	388			
CTT 994/54386 TI	VI		9	8,5	4	80	270	338			
CTT 994/57436 TI	VI		6	8	3	80	130	163			
CTT 994/56164 TI	VI		8	6	3	80	120	150			
CTT 995/52457 TI	VI		6	6,5	3,5	80	120	150			
CTT 995/52283 TI	VI		14	11	8	75	880	1173			
CTT 994/57253 TI	VI		12	10	4	75	610	813			
CTT 995/53214 TI	VI		10	9,5	5,5	75	610	813			
CTT 995/50453 TI	VI		8,5	10,5	5	75	520	693			
CTT 994/56213 TI	VI		9,5	9	4,5	75	360	480			
CTT 995/50170 TI	VI		9,5	7,5	5	75	270	360			
CTT 994/54417 TI	VI		6,5	8	4,5	75	220	293			
CTT 995/50549 TI	VI		10	7,5	4	75	190	253			
CTT 994/54491 TI	VI		17	10,5	4,5	65	1185	1823			
CTT 994/55459 TI	VI		10	13	6	65	840	1292			
CTT 995/50575 TI	VI		14	10,5	5	65	530	815			
CTT 995/50521 TI	VI		9	9,5	3	65	400	615			
CTT 994/57454 TI	VI		11,5	8,5	4,5	65	380	585			
CTT 994/56163 TI	VI		9	9	4	65	310	477			
CTT 994/53793 TI	VI		10,5	7	5	65	300	462			
CTT 994/54483 TI	VI										

Inventaire	Cat.	Type	L.	l.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 995/50048 TI	TI	DP	8,5	8	4	50	350	700			
CTT 996/51386 TI	TI	FL	8,5	6,5	2,5	100	170	170			
CTT 996/51382 TI	TI	FL	5,5	6	3	60	110	183			
CTT 996/50284 TI	TI	FL	13,5	11	4	50	720	1440			
CTT 995/51979 TI	TI	NC	14,5	13	6	100	1130	1130			
CTT 995/50011 TI	TI	NC	5,5	7,5	3,5	100	170	170			
CTT 996/50016 TI	TI	NC	6	4,5	2,5	100	60	60			
CTT 996/50011 TI	TI	NC	8	8,5	5	90	310	344			
CTT 996/50247 TI	TI	NC	7	6,5	4,5	80	120	150			
CTT 995/51961 TI	TI	NC	6	4,5	2,5	80	60	75			
CTT 996/50036 TI	TI	NC	7	5	3,5	65	80	123			
CTT 995/50043 TI	TI	NC	12	8	4	60	390	650			
CTT 995/50033 TI	TI	NC	8,5	7,5	4	60	310	517			
CTT 995/50003 TI	TI	NC	9	13	5	50	570	1140			
CTT 995/50038 TI	TI	NC	9,5	6,5	6	50	490	980			
CTT 995/51978 TI	TI	NC	9,5	11,5	4,5	50	420	840			
CTT 996/50203 TI	TI	NC	8	7	2	50	140	280			
CTT 995/51958 TI	TI	NC	0	0	0	50	90	180			
CTT 996/50402 TI	TI	VI	9	9	4	100	350	350			
CTT 996/51463 TI	TI	VI	10	8	4,5	100	210	210			
CTT 995/51973 TI	TI	VI	8	5	3	100	120	120			
CTT 996/51472 TI	TI	VI	6	5,5	3,5	100	70	70			
CTT 995/51968 TI	TI	VI	12,5	12	5,5	95	680	716			
CTT 996/50291 TI	TI	VI	12	11	4	90	620	689			
CTT 996/51344 TI	TI	VI	9,5	8,5	6,5	90	310	344			
CTT 995/51964 TI	TI	VI	8,5	9	5	80	320	400			
CTT 996/51462 TI	TI	VI	7	5	3	50	80	160			
Ferme 6 - 127 pièces											
CTT 996/50591 TI	TI	AP	12	10,5	3,5	100	530	530			
CTT 996/50497 TI	TI	AP	10	10,5	4	95	420	442			
CTT 996/51266 TI	TI	AP	9	8,5	4,5	80	270	338			
CTT 996/50479 TI	TI	AP	10	7	2,5	80	200	250			
CTT 996/50695 TI	TI	AP	8,5	7,5	2,5	75	180	240			
CTT 996/50979 TI	TI	BO	12	11	6	100	760	760			
CTT 996/50691 TI	TI	BO	13	11	5,5	100	730	730			
CTT 995/50016 TI	TI	BO	11	8,5	6,5	100	570	570			
CTT 996/50658 TI	TI	BO	12,5	11,5	4	100	500	500			
CTT 996/50634 TI	TI	BO	14,5	9,5	5	100	470	470			
CTT 996/51265 TI	TI	BO	11	10,5	4	100	450	450			
CTT 996/50743 TI	TI	BO	9,5	8,5	4	100	250	250			
CTT 996/50657 TI	TI	CH	15,5	11	4,5	100	970	970			
CTT 996/50635 TI	TI	CH	11,5	9,5	5,5	100	610	610			
CTT 996/50972 TI	TI	CH	10,5	8	6	100	510	510			
CTT 996/50592 TI	TI	CH	13	8	5,5	100	490	490			
CTT 996/50593 TI	TI	CH	9,5	8	3,5	90	320	356			
CTT 995/50026 TI	TI	CH	8	10	4	90	290	322			
CTT 996/51439 TI	TI	CH	24	19	8	80	2690	3363			
CTT 996/50685 TI	TI	CH	12,5	12,5	7	80	880	1100			
CTT 996/51262 TI	TI	CH	7	9,5	5	80	370	463			
CTT 996/50594 TI	TI	CH	8	9	4	80	310	388			
CTT 995/50018 TI	TI	CH	10,5	9	4	80	260	325			
CTT 995/50024 TI	TI	CH	14	16,5	6	75	1160	1547			
CTT 996/50542 TI	TI	CH	15	11	7	75	1150	1533			
CTT 996/50551 TI	TI	CH	9,5	11	4,5	75	480	640			
CTT 996/50480 TI	TI	CH	15,5	10	3	65	550	846			
CTT 996/50516 TI	TI	CH	10	12,5	5,5	65	530	815			
CTT 996/50554 TI	TI	CH	11,5	8	4,5	65	240	369			
CTT 996/50492 TI	TI	CH	10,5	9,5	3,5	60	400	667			
CTT 996/50660 TI	TI	CH	13	14,5	6	50	1180	2360	*	2,8	é
CTT 996/50692 TI	TI	CI	11,5	13,5	5	100	840	840			
CTT 996/50486 TI	TI	CI	13,0	10,5	5	100	760	760			
CTT 996/51251 TI	TI	CI	16,0	15,0	6	95	2020	2126			
CTT 996/50677 TI	TI	CI	14,0	15,0	6	85	1250	1471			
CTT 996/50537 TI	TI	CI	11,0	11,0	5	75	490	653			
CTT 996/50989 TI	TI	CI	11,5	10,0	4,5	65	660	1015			
CTT 996/50999 TI	TI	CI	8,5	10,0	4	50	410	820			
CTT 996/50662 TI	TI	CO	15,5	14	4	80	730	913			
CTT 996/51256 TI	TI	CO	10,5	9,5	4,5	75	500	667			
CTT 996/50529 TI	TI	CO	9,5	12,5	6,5	50	840	1680			
CTT 995/50052 TI	TI	CX	13,5	14	6	100	1680	1680			
CTT 996/50541 TI	TI	CX	17	13	5,5	90	1260	1400			
CTT 996/51263 TI	TI	CX	11	10,5	6,5	80	510	638			
CTT 996/51878 TI	TI	DP	10,5	9,5	5	100	600	600			
CTT 996/50741 TI	TI	DP	8,5	8,5	3,5	100	360	360			
CTT 996/50711 TI	TI	DP	8	8	4	100	230	230			
CTT 996/50481 TI	TI	DP	6,5	9	4	100	210	210			
CTT 995/50019 TI	TI	DP	8,5	7,5	3,5	100	190	190			
CTT 996/50622 TI	TI	DP	10	11	6	90	590	656			
CTT 996/51877 TI	TI	DP	11	8	3	90	300	333			
CTT 996/50568 TI	TI	DP	7,5	6,5	3	75	220	293			
CTT 996/50646 TI	TI	DP	7	5	3,5	75	140	187			
CTT 996/50705 TI	TI	DP	11	7	3,5	65	280	431			
CTT 996/50499 TI	TI	DP	12,5	10	5	50	640	1280			
CTT 996/51443 TI	TI	FL	15	16	6,5	100	1010	1010	*	2,7	é
CTT 996/50485 TI	TI	FL	13	10	6	100	900	900			
CTT 996/50612 TI	TI	FL	12	10	6	100	860	860			

Inventaire	Cat.	Type	L.	l.	Ep.	Cons.	Poids	Est.	A	D	Int.
CTT 996/50514 TI	TI	FL	14	10	4	100	765	765	*	3,3	f
CTT 996/50656 TI	TI	FL	9,5	16	4	100	560	560	*	3,3	f
CTT 996/50659 TI	TI	FL	9	10	4,5	100	530	530			
CTT 996/50742 TI	TI	FL	12	11	3,5	100	500	500	*	2,6	f
CTT 996/50491 TI	TI	FL	8	7,5	4,5	100	290	290			
CTT 996/50624 TI	TI	FL	10	8	4	100	280	280			
CTT 996/50478 TI	TI	FL	11	9	3,5	100	270	270			
CTT 995/50020 TI	TI	FL	7,5	7	3,5	100	265	265			
CTT 996/50729 TI	TI	FL	11	7,5	1,5	100	250	250			
CTT 996/50636 TI	TI	FL	9	8,5	3	100	220	220			
CTT 996/50618 TI	TI	FL	7	8	4	100	200	200			
CTT 996/50644 TI	TI	FL	7,5	7,5	3,5	100	180	180			
CTT 996/51876 TI	TI	FL	9	5,5	3	100	150	150			
CTT 996/51032 TI	TI	FL	5	7	3,5	100	140	140			
CTT 996/50567 TI	TI	FL	7,5	5,5	3	100	120	120			
CTT 996/50645 TI	TI	FL	6	7,5	2,5	100	120	120			
CTT 996/50665 TI	TI	FL	6,5	6,5	3,5	100	120	120			
CTT 996/50619 TI	TI	FL	7	6,5	2,5	100	100	100			
CTT 996/50715 TI	TI	FL	6,5	5	4,5	100	90	90			
CTT 996/50599 TI	TI	FL	7	5,5	2	100	80	80			
CTT 996/50468 TI	TI	FL	6	5	2,5	100	70	70			
CTT 996/50596 TI	TI	FL	6,5	5	2	100	70	70			
CTT 996/50666 TI	TI	FL	5	7	2	100	70	70			
CTT 996/50600 TI	TI	FL	6,5	5,5	2	100	60	60			
CTT 996/51576 TI	TI	FL	5	4,5	2	100	50	50			
CTT 996/51392 TI	TI	FL	6	4	2	100	40	40			
CTT 996/51393 TI	TI	FL	5	4	1,5	100	30	30			
CTT 996/50597 TI	TI	FL	6,5	6	3,5	90	150	167			
CTT 996/50575 TI	TI	FL	7	6	2	90	100	111			
CTT 996/50698 TI	TI	FL	13	11	4,5	80	690	863			
CTT 996/50595 TI	TI	FL	10	7,5	3,5	80	240	300			
CTT 996/50467 TI	TI	FL	7	6	3	80	110	138			
CTT 996/50661 TI	TI	FL	10	11,5	7	75	670	893			
CTT 996/50667 TI	TI	FL	8,5	7,5	3	75	160	213			
CTT 996/50547 TI	TI	FL	8	6,5	3	65	170	262			
CTT 996/50519 TI	TI	FL	11,5	7	3,5	60	310	517			
CTT 996/51081 TI	TI	FL	10	6,5	3,5	60	210	350			
CTT 996/50552 TI	TI	FL	9,5	12,5	5	50	690	1380			
CTT 995/50017 TI	TI	FL	9	9	4,5	50	410	820			
CTT 996/51521 TI	TI	FL	8	6,5	4	50	300	600			
CTT 996/50732 TI	TI	NC	14,5	11	7,5	100	990	990			
CTT 996/50736 TI	TI	NC	9,5	6,5	4	100	270	270			
CTT 996/50477 TI	TI	NC	8	7,5	4	100	250	250			
CTT 995/50021 TI	TI	NC	7,5	5	4	100	160	160			
CTT 996/51103 TI	TI	NC	5,5	4	2,5	100	90	90			
CTT 996/51541 TI	TI	NC	4</								

9

Les différentes fermes et zones d'activité de Develier-Courtételle



Présentation selon la position géographique des entités d'ouest en est. Les lettres correspondent à l'appellation des bâtiments à l'intérieur de chaque ferme. Echelle 1 : 1500.

Résumé

Deuxième des cinq volumes consacrés à l'habitat rural mérovingien de Develier-Courtételle (République et Canton du Jura, Suisse), le présent ouvrage expose les résultats des recherches entreprises sur les déchets métallurgiques et sur le mobilier métallique recueillis dans ce gisement fouillé par la Section d'archéologie et paléontologie de l'Office de la culture entre 1993 et 1996. Au moment de la fouille déjà, l'existence *in situ* d'une intense activité de métallurgistes-forgerons a été perçue par la découverte, en plus de celle des déchets, de quinze structures liées au travail du fer (CAJ 13). Parmi celles-ci, les bas foyers sont au nombre de douze – dont quatre éventuels – et les aires de forge au nombre de trois.

Après une rapide évocation du contexte global de l'étude (chap. 1), l'ouvrage aborde, avec le chapitre 2, l'étude de la métallurgie du fer à Develier-Courtételle par quelques notions de base et par une présentation détaillée des méthodes archéologiques et analytiques déployées.

Les très nombreux *déchets métallurgiques* recensés dans les couches d'occupation du Haut Moyen Age, soit quelque 100 000 fragments pour un poids total de plus de quatre tonnes, sont ensuite présentés en détail (chap. 3). Mais il faut d'ores et déjà attirer l'attention sur le fait que tous ces déchets caractérisent les différentes étapes de la postréduction, aucune activité productive – à savoir la réduction du minerai de fer proprement dite – n'ayant été décelée dans le périmètre fouillé. Si près de la moitié d'entre eux (mais environ 90% en poids) est constituée de scories en forme de calotte, une seconde catégorie riche en enseignements du point de vue de la typo-technologie et de l'analyse a également été classifiée: les déchets riches en fer (déchets de forge et scories ferrugineuses). Le solde des déchets métallurgiques regroupe les battitures, les scories d'aspect coulé, le minerai et les éléments de construction des installations consacrées au travail du fer. L'effort principal a donc porté sur les *scories en forme de calotte*, dont 1172 pièces ont été examinées en détail. Cet examen poussé a nécessité en parallèle une recherche analytique approfondie (chimie, minéralogie et métallographie) grâce à laquelle il a été possible de différencier les calottes issues du raffinage (épuration et compactage de l'éponge de fer formée lors de la réduction) de celles issues du forgeage (élaboration de l'objet en fer) et de définir le groupe de référence du métal travaillé à Develier-Courtételle.

L'examen des quelque 2200 *objets et fragments d'objets métalliques* retrouvés dans les couches d'occupation est présenté en fonction des grands thèmes retenus pour leur classement (chap. 4 et 5).

La variété et la qualité souvent réelle de ce mobilier mettent en valeur les activités économiques ou domestiques, les objets usuels ou personnels et les diverses pièces d'équipement. Il en ressort que les activités artisanales ont dû constituer une occupation non négligeable pour les habitants de Develier-Courtételle: si une part de l'outillage identifié a pu être associée à la métallurgie, d'autres outils attestent le travail du bois et celui de matières souples comme le cuir ou les textiles. Quelques objets liés aux travaux agricoles et à l'élevage soulignent une autre facette de l'économie de base de cet habitat. En rapport avec la chronologie relative, les données les plus intéressantes sont livrées par des accessoires vestimentaires et des objets de parure ainsi que, dans une moindre mesure, par quelques pièces d'équipement en relation avec l'armement et la cavalerie. Le spectre matériel susceptible de fournir quelques arguments de datation se limite toutefois pour l'essentiel au 7^e siècle. La réalité d'une production locale d'objets métalliques a par ailleurs pu être démontrée. D'une part, par la découverte de vestiges archéologiques comme les déchets de forge et la présence d'un outillage spécifique. D'autre part, grâce à l'analyse métallographique qui a établi à plusieurs reprises le lien entre le métal travaillé sur le site et celui de plusieurs objets analysés.

L'étude de la répartition spatiale (chap. 6) a concerné les dix ensembles identifiés à Develier-Courtételle, à savoir six fermes (F1 à F6) et quatre zones d'activité (Z1 à Z4). Elle a permis de mieux saisir l'organisation du travail du fer grâce aux déchets métallurgiques et de percevoir les grandes lignes de l'évolution chronologique du hameau en recourant aux objets métalliques les plus significatifs. L'essentiel des déchets ont été retrouvés dans des contextes permettant d'identifier plusieurs ateliers métallurgiques, malgré l'érosion des structures et des niveaux de sols archéologiques. Le rapport entre les calottes attribuables à l'une ou l'autre des trois différentes phases de la postréduction – épuration, compactage et forgeage – permet parfois de préciser quelque peu la nature du travail effectué dans un atelier.

Au final, la réunion des données acquises fait le point sur les processus métallurgiques mis en œuvre par les forgerons de Develier-Courtételle entre environ 550 et 650 ap. J.-C. (chap. 7). Sont notamment développées ici des considérations technologiques, quantitatives et comparatives qui examinent la chronologie et les contacts culturels ou économiques du hameau de Develier-Courtételle. Entre le 6^e et le 8^e siècle, les bords du ruisseau La Pran sont ainsi occupés par une implantation de type rural comprenant différentes installations de postréduction et de forge. Cette intégration d'activités métallurgiques dans la trame d'un habitat domestique et artisanal représente l'un des intérêts majeurs du site. Comparés à ceux de l'époque romaine, ces ateliers sont de moindres dimensions et spatialement plus disséminés. Quant au cadre économique, le modèle d'organisation de la production révélé à Develier-Courtételle (approvisionnement extérieur en fer déjà réduit, transformation sur place) s'éloigne quelque peu de l'image « des forgerons itinérants » encore courante pour la période du Haut Moyen Age. Les données actuellement à disposition laissent plutôt entrevoir des ateliers permanents et organisés de manière cohérente, en relation avec un district productif.

Zusammenfassung

Beim vorliegenden Buch handelt es sich um den zweiten von fünf Bänden über die merowingerzeitliche, ländliche Siedlung von Develier-Courtételle. Es stellt die Forschungsergebnisse zu den metallurgischen Abfällen und Gegenstände aus Metall vor, die im Zusammenhang mit dem durch den archäologischen Dienst des Kulturamts der Republik und des Kantons Jura zwischen 1993 und 1996 ausgegrabenen Fundplatz gesammelt wurden. Das Vorhandensein einer bedeutenden Schmiedeaktivität war bereits während der Ausgrabung fassbar, da neben den Abfällen auch fünfzehn Befunde mit Bezug zur Eisenverarbeitung entdeckt wurden (CAJ 13). Bei zwölf dieser Feuerstellen, von denen vier keine gesicherte Zuweisung erlauben, handelt es sich um Ausheizherde oder Schmiedeeissen, drei weitere können als Schmiedeplätze angesprochen werden.

Nach einer kurzen Erläuterung allgemeiner Zusammenhänge in Kapitel 1 erfolgt im Kapitel 2 eine Einführung in die Grundkenntnisse zur Untersuchung der Eisenmetallurgie sowie die detaillierte Beschreibung der angewandten archäologischen und analytischen Methoden.

Die mit 100 000 Bruchstücken und einem Gesamtgewicht von mehr als vier Tonnen ausserordentlich zahlreichen *metallurgischen Abfälle*, welche in den frühmittelalterlichen Siedlungsschichten zu Tage traten, werden in Kapitel 3 detailliert vorgestellt. Die Abfälle sind typisch für das Schmieden: innerhalb der ausgegrabenen Fläche konnte kein Nachweis für die Eisenerzverhüttung erbracht werden. Typisch für den Schmiedekontext ist, dass rund die Hälfte aller Schlackenbruchstücke der Kategorie der kalottenförmigen Schlacken angehört, vom Gewicht her umfasst diese Kategorie sogar 90% der Abfälle. Eine zweite, kleine, aber informationsreiche Kategorie sind eisenreiche Abfälle bestehend aus Schmiedeabfällen und eisenreichen Schlacken. Der Rest der metallurgischen Abfälle besteht aus Hammerschlag, Schlacken mit Fliebsstrukturen, Erz sowie verschlackten Herdwandbruchstücken. Die detaillierte Untersuchung von 1172 kalottenförmigen Schlacken stellt den Schwerpunkt der Arbeit dar. Um die Kalottenschlacken, welche beim Ausheizen entstehen, dem Reinigen und Kompaktieren des im Verhüttungsvorgang gebildeten Eisenschwammes, von denen zu unterscheiden, die beim Schmieden, dem Fertigen eines Eisenobjektes, anfallen, waren Untersuchungen zur Chemie, Mineralogie und Metallographie der Kalottenschlacken notwendig. Dank der Resultate der Metallanalysen der eisenreichen Schlacken und Schmiedeabfälle konnte eine Referenzgruppe des in Develier-Courtételle verarbeiteten Eisens definiert werden.

Die Klassierung von etwa 2200 *Gegenständen und Objektbruchstücken aus Metall* aus den Siedlungsschichten erfolgte getrennt nach Material: in Kapitel 4 werden die zahlreichen Eisenfunde und in Kapitel 5 die wenigen Buntmetallobjekte besprochen. Die Vielfalt und Qualität dieser Gerätschaften lässt Rückschlüsse auf wirtschaftliche und häusliche Aktivitäten zu. Neben

Gebrauchs- und persönlichen Gegenständen sind auch Waffen und Zaumzeug vorhanden. Aus der typologischen Auswertung der Metallobjekte geht hervor, dass handwerkliche Tätigkeiten eine bedeutende Rolle in der Ökonomie des Weilers von Develier-Courtételle eingenommen haben. Ein Teil der Werkzeuge wurde zum Schmieden und Giessen gebraucht, ein anderer weist Arbeiten mit Holz, Textilien und Leder nach. In geringerem Ausmass stellen die Gegenstände einen Bezug mit der Landwirtschaft und Tierzucht her und unterstreichen so einen weiteren Aspekt der ökonomischen Basis dieser Siedlung. Trachtbestandteile und Schmuckgegenstände sowie in geringerem Umfang Waffen und Zaumzeug liefern Anhaltspunkte zur Datierung. Das Objektspektrum beschränkt sich jedoch im Wesentlichen auf das 7. Jh. Ausserdem konnte nachgewiesen werden, dass gewisse Metallobjekte vor Ort produziert wurden. Dies war einerseits durch die archäologischen Befunde, Schmiedeabfälle und spezifischen Werkzeuge möglich, andererseits erfolgte es anhand der chemischen Untersuchungen, die einen Bezug zwischen dem am Platz verarbeiteten Metall und demjenigen gewisser Metallobjekte herstellen liess.

Die Untersuchung zur räumlichen Verteilung von Abfällen und Metallobjekten in Kapitel 6 erfolgte entsprechend den zehn in Develier-Courtételle nachgewiesenen Komplexen, bei denen es sich um sechs Gehöfte (F1 bis F6) und vier Arbeitszonen (Z1 bis Z4) handelt. Diese Auswertung hat es ermöglicht, die Organisation der Schmiedetätigkeit anhand der metallurgischen Abfälle besser zu erfassen, sowie die grossen Linien der chronologischen Entwicklung des Weilers an Hand signifikanter Metallobjekte zu erkennen. Die Fundverteilung der Abfälle ermöglichte es, mehrere metallurgische Werkstätten zu identifizieren, trotz Erosion der Befunde und archäologischen Gehorizonte. Das Verhältnis der Kalottenschlacken untereinander, die einem der drei Schmiedeprozesse dem Reinigen und Kompaktieren des Eisenschwammes oder dem Schmieden zugewiesen werden konnten, erlaubt es manchmal, die Ausrichtung der in einer Werkstatt durchgeführten Arbeiten ein bisschen genauer zu erkennen.

In Kapitel 7 werden technologische, quantitative und vergleichende Überlegungen zur Chronologie sowie den kulturellen und wirtschaftlichen Kontakten des Weilers von Develier-Courtételle erörtert. Das Zusammenstellen der erhaltenen Daten führt zu einer Standortsbestimmung betreffend die metallurgischen Abläufe, die von den Schmieden in Develier-Courtételle zwischen 550 und 650 n. Chr. angewendet wurden. Zwischen dem 6. und 8. Jh. wurden die Ufer des Baches La Pran durch eine landwirtschaftliche Niederlassung mit verschiedenen Schmiedeeinrichtungen besiedelt. Die Einfügung der metallurgischen Tätigkeiten in die Struktur einer häuslichen und handwerklichen Siedlung stellt einen der interessantesten Aspekte des Fundplatzes dar. Zwar sind die Werkstätten im Vergleich zur Römerzeit kleiner und räumlich verstreuter. Vom ökonomischen Standpunkt her entfernt sich das Modell der Arbeitsorganisation in Develier-Courtételle jedoch, durch die Versorgung mit verhüttetem Eisen von aussen und die örtliche Verarbeitung, ziemlich weit vom für das Frühmittelalter noch sehr geläufigen Bild der „Wanderschmiede“. Die nun verfügbaren Daten lassen sogar dauerhafte Werkplätze mit entsprechender Organisation und Bezüge zum jurassischen Verhüttungsbezirk erahnen.

Riassunto

In questo secondo volume dei cinque dedicati all'abitato rurale merovingio di Develier-Courtételle (Repubblica e Canton Giura, Svizzera) sono presentati i risultati delle ricerche realizzate sugli scarti metallurgici e sul materiale metallico raccolti in questo sito esplorato dalla Section d'archéologie et de paléontologie de l'Office de la culture fra il 1993 e il 1997. Già durante gli scavi archeologici si era potuta percepire l'esistenza, sul sito, di un'intensa attività di metallurgisti e di fabbri, confermata dalla scoperta, oltre che di scarti, di quindici strutture legate alla lavorazione del ferro (CAJ 13). Fra queste ultime si contano dodici bassiforni, di cui quattro eventuali, mentre le aree di forgia sono tre.

Dopo una rapida evocazione del contesto globale dello studio (cap. 1), nel capitolo 2 si entra nel vivo dello studio della metallurgia del ferro di Develier-Courtételle con la presentazione di alcune nozioni di base e con quella, particolareggiata, delle metodologie archeologiche ed analitiche impiegate.

Vengono poi dettagliati i numerosissimi *scarti metallurgici* rinvenuti negli strati di occupazione risalenti all'Altomedioevo e corrispondenti a 100000 frammenti per un peso totale di oltre quattro tonnellate (cap. 3). Bisogna però sin d'ora sottolineare che tutti questi scarti caratterizzano le differenti tappe della post-riduzione, non essendo stata rilevata alcuna attività produttiva – ossia la riduzione del minerale di ferro propriamente detta – nel perimetro esplorato. Sebbene all'incirca la metà di questi (ma ben il 90% del peso totale) risultino essere scorie a forma di calotta, una seconda categoria ricca in informazioni tipo-tecnologiche ed analitiche ha potuto essere classificata: trattasi degli scarti ricchi in ferro (rifiuti di forgia e scorie ferruginose). Il saldo degli scarti metallurgici raggruppa le scaglie, le scorie dall'aspetto colato, il minerale e gli elementi di costruzione degli impianti per la lavorazione del ferro. Lo sforzo principale è così stato portato sulle *scorie a forma di calotta*, di cui ben 1172 pezzi sono stati esaminati in dettaglio. Questo esame ha richiesto, in parallelo, una ricerca analitica approfondita (chimica, mineralogia e metallografia), grazie alla quale si sono potute differenziare le calotte provenienti dalla raffinatura (depurazione e compattaggio della spugna di ferro formata durante la riduzione) da quelle provenienti dalla forgiatura (elaborazione dell'oggetto in ferro) e si è potuto definire il gruppo di riferimento del metallo lavorato a Develier-Courtételle.

L'esame dei 2200 *oggetti e frammenti d'oggetti metallici* rinvenuti negli strati di occupazione è proposto in funzione dei grandi temi scelti per la loro classificazione (cap. 4 e 5). La varietà e la qualità spesso sostanziale di questi materiali mettono in valore le attività economiche o domestiche, gli oggetti usuali o personali e le

diverse componenti dell'equipaggiamento. Da ciò scaturisce che le attività artigianali costituivano una parte non indifferente delle occupazioni alle quali gli abitanti di Develier-Courtételle si dedicavano: se una parte degli arnesi era legata alla metallurgia, altri attrezzi lo erano alla lavorazione del legno e a quella delle materie flessibili come il cuoio o i tessuti. Alcuni oggetti propri alle attività agricole e all'allevamento sottolineano poi un altro aspetto dell'economia di base di questo abitato. I dati più interessanti dal punto di vista della cronologia relativa emergono dagli accessori dell'abbigliamento e dagli ornamenti, come pure da qualche oggetto dell'equipaggiamento nell'ambito dell'armamento e della cavalleria. Ciò malgrado, lo spettro dei materiali suscettibili di fornire alcuni argomenti di datazione si limita per l'essenziale al 7° secolo. D'altronde, si è potuta dimostrare la presenza di una produzione locale di oggetti metallici grazie alla scoperta di vestigia archeologiche come gli scarti di forgia e specifici attrezzi da una parte, all'analisi metallografica dall'altra. Quest'ultima ha stabilito, a più riprese, il legame tra il metallo lavorato sul sito e quello di diversi oggetti analizzati.

Nello studio della distribuzione spaziale (cap. 6) l'attenzione è stata posta sui dieci insiemi identificati a Develier-Courtételle, ossia sei fattorie (F1-F6) e quattro zone d'attività (Z1-Z4). Questo studio ha permesso di meglio comprendere l'organizzazione della lavorazione del ferro grazie agli scarti metallurgici, come pure di percepire le grandi linee dell'evoluzione cronologica dell'agglomerazione rurale con l'ausilio degli oggetti metallici più significativi. La maggior parte degli scarti è stata trovata in contesti che hanno premesso di identificare diversi atelier metallurgici, malgrado l'erosione delle strutture e dei suoli archeologici. A volte, il rapporto fra le calotte attribuibili all'una o all'altra delle tre differenti fasi della post-riduzione – depurazione, compattaggio e forgiatura – permette di giungere ad un'idea più precisa della natura del lavoro realizzato in un atelier.

Infine, la riunione dei dati acquisiti permette di fare il punto sui processi metallurgici messi in atto dai fabbri di Develier-Courtételle fra il 550 e il 650 AD all'incirca (cap. 7). Sono espone in particolare le considerazioni tecnologiche, quantitative e comparative che esaminano la cronologia ed i contatti culturali o economici di Develier-Courtételle. Fra il 6° e l'8° secolo, le rive del ruscello La Pran sono colonizzate da un insediamento di tipo rurale comprendente diverse installazioni di post-riduzione e di forgia. Quest'integrazione di attività metallurgiche nella trama di un abitato domestico ed artigianale rappresenta uno degli interessi maggiori del sito. Paragonati a quelli risalenti all'epoca romana, gli atelier presentano dimensioni più ridotte e sono più dispersi dal punto di vista spaziale. Per quanto riguarda il quadro economico, il modello d'organizzazione della produzione rilevato a Develier-Courtételle (approvvigionamento esterno di ferro già ridotto, trasformazione sul posto) si allontana un po' dall'immagine dei "fabbri itineranti" ancora ricorrente per l'Altomedioevo. I dati attualmente a disposizione permettono piuttosto di immaginare degli atelier stabili ed organizzati in maniera coerente, in relazione con un distretto produttivo.

Traduzione Maruska Federici-Schenardi

Abstract

The early medieval settlement of Develier-Courtételle (Canton Jura, Switzerland) was excavated by the Section d'archéologie et paléontologie of the Office de la culture between 1993 and 1996. The present volume is the second of a series of five publications devoted to this Merovingian hamlet; it presents and analyses the metallurgical residue and metal objects. The extensive remains of ironworking discovered *in situ* include not only large quantities of waste products, but also fifteen features with clear links to this activity: eight certain and four probable smithing hearths and three shallow work pits (CAJ 13).

The volume opens with a short introduction to the site and its context (chap. 1), followed by a discussion of the main characteristics of early medieval ironworking and a detailed presentation of the archaeological and analytical methods used in this study (chap. 2).

The large amounts of *metallurgical waste products* recovered from early medieval layers and features – some 100 000 pieces with a total weight exceeding four tons – are then presented in detail (chap. 3). Attention must be drawn to the fact that all of this material derives from different stages of the purification and forging of smelted iron; no traces of actual ore-smelting were found at Develier-Courtételle. Hearth-bottom slag accounts for about half of the waste (in numbers; about 90% in weight). Another class of residue with considerable typo-technological potential is iron-rich slag, which includes bloom fragments (gromps) and smithy waste. Hammerscale, vitrified hearth lining, ore and tapped slag make up the remainder of the metallurgical residue. Attention was therefore primarily focused on *hearth-bottom slag*: 1172 pieces were subjected to a detailed visual examination, classification and measurement. In-depth archaeometric analyses (chemical, mineralogical and metallographic) of this material were undertaken in parallel. Thanks to this pluridisciplinary approach, hearth-bottom slag resulting from bloom smithing (purification and compacting the iron bloom produced offsite from iron ore in a bloomery furnace) could be distinguished from similar slag formed during the smithing of objects. A reference group of metal produced from local ore could also be established.

About 2200 *metal objects and object fragments* were found in the occupation layers of the site. The presentation and discussion of this material follows a simple classification (chap. 4 and 5).

The variety and often considerable quality of this material bear witness to a diversity of economic and domestic activities and represent tools, equipment and accessories. Craft activities were apparently of considerable importance at Develier-Courtételle: among the tools we not only find those used in ironworking, but others employed in carpentry or the working of supple materials such as leather or textiles. The objects linked to agriculture or animal husbandry are somewhat less numerous. Clothing accessories and ornaments and – to a lesser extent – armament and riding equipment were of particular interest for typological dating. Almost all of this material dates to the 7th century. The importance of the local production of metal utensils can not only be deduced from the presence of semi-finished objects and metal-working tools; the metallographic analysis of a number of finished pieces demonstrated that they consist of local iron derived from blooms refined onsite.

The spatial analysis of the distribution of metal objects and metallurgical waste products (chap. 6) takes the ten recognised feature groups of the site as a starting point. These represent six farmsteads (F1 to F6) and four activity areas (Z1 to Z4). The analysis of the waste products permits a better understanding of the organisation of ironworking within the hamlet; the distribution of typologically significant metal objects was useful for reconstructing the chronological evolution of the settlement. A clear majority of the waste products come from within or around contexts identifiable as smithies, in spite of the partial erosion of features and archaeological layers. Thanks to the unequal distributions of the different types of hearth-bottom slag associated with one or the other of the three phases of bloom and object smithing – purification, compacting and forging – the nature of the work carried out at a particular forge could sometimes be specified.

The last chapter unites the results from the various approaches in order to reconstruct the metallurgical processes used by the smiths of Develier-Courtételle between roughly 550 and 650 AD (chap. 7). Technological and quantitative models are examined. Typological parallels are used to reconstruct the chronological development of the site and its contacts with various stylistic currents. The rural settlement occupying the banks of the stream La Pran between the 6th and 8th century contained apparently several workshops used for the smithing of iron blooms and objects. This integration of extensive metallurgical activity within the structure of a settlement and craft centre is one of the most interesting aspects of the site. The forges are smaller and more dispersed than their counterparts dating from the roman period. As for the economic context, the organisation of metallurgy at Develier-Courtételle (smelted iron is carried onto the site to be purified and transformed into finished objects) does not correspond well to the often cited concept of early medieval "itinerant smiths". The available evidence indicates the existence of permanent and organised workshops embedded within a larger iron production region.

Translation Robert Fellner

Bibliographie

Abréviations

AF	Archéologie fribourgeoise, Fribourg.
AF, ChA	Archéologie fribourgeoise, Chronique archéologique, Fribourg.
AFAM	Association française d'archéologie mérovingienne, Saint-Germain-en-Laye.
AKS	Archäologie des Kantons Solothurn, Soleure.
ALUB	Annales littéraires de l'Université de Besançon, Les Belles Lettres, Paris.
ALUF	Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté, Presses universitaires franc-comtoises, Besançon.
AM	Archéologie médiévale, CNRS éd., Paris.
AS	Archéologie suisse, SSPA, Bâle.
ASJE	Actes de la Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
ASSPA	Annuaire de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle.
Ber.RGK	Berichte der römisch-germanischen Kommission, Frankfurt am Main.
CAF	Cahiers d'archéologie fribourgeoise, Fribourg.
CAHA	Cahiers d'archéologie et d'histoire d'Alsace, Strasbourg.
CAJ	Cahiers d'archéologie jurassienne, Office de la culture (dès le 1.9.2003), (anciennement Office du patrimoine historique) et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
CAJ 13 à 17	Tous les détails relatifs à ces publications se trouvent sous la rubrique « Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien », annexée à la fin du présent volume, pages 346 à 349.
CAR	Cahiers d'archéologie romande, Lausanne.
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, Paris.
CRA	Centre de recherches archéologiques du CNRS, Sophia Antipolis, Valbonne.
DAF	Documents d'archéologie française, Paris.
DARA	Documents d'archéologie en Rhône-Alpes, Lyon.
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche), Dübendorf.
GDV	Germanische Denkmäler der Völkerwanderungszeit (römisch-germanische Kommission des deutschen archäologischen Instituts), Frankfurt am Main.
HA	Helvetia Archaeologica, Zurich.
JBU	Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, Stockholm.
MAGZ	Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich, Zurich.
OCC/OPH	Office de la culture (Office du patrimoine historique), Section d'archéologie et paléontologie, Porrentruy.
RAE	Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est, Dijon-Paris.
RAP	Revue archéologique de Picardie, Amiens.
SJE	Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy.
SSPA	Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle.
ZAK	Zeitschrift für Archäologie und Kunstgeschichte, Zurich.

- Abetel Emmanuel
1992 *L'établissement sidérurgique de Montcherand*. CAR 54, 112 p., 49 fig., 19 tab.
- 1993 Auguste Quiquerez: parcours d'un passionné. In: *Les archéologues et l'archéologie*. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse (Archives), 25-27 septembre 1992. Université de Tours - Centre de recherches A. Piganiol, Tours, p. 378-405, 3 fig. (Caeserodunum 27).
- Ajot José
1986 *La nécropole mérovingienne de la Croix de Munot à Curtil-sous-Burnand (Saône-et-Loire)*. José Ajot et AFAM, [s.l.], 115 p., 122 fig., 2 tab. (Mémoires de l'AFAM 1).
- Ament Hermann
1976 Chronologische Untersuchungen an fränkischen Gräberfeldern der jüngeren Merowingerzeit im Rheinland. *Ber.RGK* 57, p. 285-336, 20 fig.
- 1977 Zur archäologischen Periodisierung der Merowingerzeit. *Germania* 55.1-2, p. 133-140, 2 fig., 2 pl.
- Anderson Timothy J., Duvauchelle Anika et Agustoni Clara
2001 Carrier et forgeron gallo-romain à Châbles. CAF 3, p. 2-13, 24 fig.
- Anderson Timothy J. et al.
2003 *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR)*. AF 19, 391 p., 340 fig., 48 pl., 7 annexes.
- Aronovici-Martin Claude
1977 *Les Mérovingiens au Musée de Dijon: collections mérovingiennes du musée archéologique*. Musée archéologique, Dijon, 185 p., 83 pl.
- Astill Grenville G.
1993 *A Medieval industrial complex and its landscape: the metalworking watermills and workshops of Bordesley Abbey*. Council for British Archaeology (CBA), York, 317 p. (Bordesley Abbey 3, CBA Research Report 92).
- Bader Christian, Rast-Eicher Antoinette et Windler Renata
2002 Ein Gräberfeld des 7. Jahrhunderts in Flurlingen. In: Gisler Josef et Stromer Markus (éd.): *Archäologie im Kanton Zürich 1999-2000*. Kantonsarchäologie, Zürich, p. 47-120, 55 fig., 20 pl. (Berichte der Kantonsarchäologie Zürich 16).
- Balle Gereon et al.
2001 Zum vorläufigen Abschluss der archäologischen Ausgrabung in den vor- und frühgeschichtlichen Siedlungen von Heidenheim-Schnaitheim, Flur «Fürsamen». *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg* 2000, p. 78-80.
- Bünteli Kurt, Höneisen Markus et Zubler Kurt
2000 *Berslingen – ein verschwundenes Dorf bei Schaffhausen. Mittelalterliche Besiedlung und Eisenverhüttung im Durachtal*. Kantonsarchäologie, Schaffhausen, 464 p., 234 fig., 73 pl., 6 annexes. (Schaffhauser Archäologie 3).

- Bartuska Miloslav et Pleiner Radomir
1968 **Untersuchung der Schlackenproben von Mühlthal.** In: Dannheimer Hermann: *Epolding-Mühlthal, Siedlung, Friedhöfe und Kirche des frühen Mittelalters*. Beck, München, 130 p. (Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte 13).
- Baudot Henri
1860 Mémoire sur les sépultures des barbares de l'époque mérovingienne, découvertes en Bourgogne et particulièrement à Charnay. *Mémoires de la Commission des antiquités du département de la Côte-d'Or* 5, p. 127-305, 15 pl., ill.
- Beck Barbara
1997 *Réduction de la magnétite dans un bas fourneau au mont Chemin (Valais - Suisse)*. Université de Lausanne, 177 p. (Travail de diplôme, document inédit).
- Beck Barbara et Senn Marianne
2000 Zur Eisenverhüttung in Durachtal. In: Banteli et al. 2000, p. 241-268.
- Beck Lucile, Beck Françoise, Eluère Christiane et Vallet Françoise
1992 Etudes de dorures gallo-romaines et mérovingiennes. *Antiquités nationales* 22-23 (1990-1991), p. 95-110, 19 fig.
- Behrens Gustav
1937 Fränkische Gräber des 7. Jahrhunderts aus Hessen. *Germania* 21, p. 267-272, 7 fig.
- Bertheliet-Ajot Nadine
1991 *L'époque mérovingienne dans le Châtillonnais*. Musée municipal, Châtillon-sur-Seine, 109 p., ill. (Catalogue du Musée 2).
- Bertschinger Christiane, Ulrich-Bochsler Susi et Meyer Liselotte
1990 *Köniz-Buchsli* 1986. *Der römische Gutshof und das frühmittelalterliche Gräberfeld*. Staatlicher Lehrmittelverlag, Bern, 151 p., ill., 46 pl.
- Besson Marius
1909 *L'Art barbare dans l'ancien diocèse de Lausanne*. Rouge, Lausanne, 240 p., 29 pl., 194 fig.
- Best Werner
1997 Die Ausgrabungen in der frühmittelalterlichen Wallburg Gaulskopf bei Warburg-Ossendorf, Kr. Höxter. *Germania* 75, p. 159-192, 19 fig.
- Bial Paul
1866 Forges antiques dans le Jura. *Mémoires de la société d'émulation du Doubs* 2, p. 442-450.
- Bielenin Kazimierz et al.
1998 La sidérurgie ancienne et l'exploitation minière dans les Montagnes Sainte-Croix (Petite Pologne). III – Archéométrie et histoire: les Montagnes Sainte-Croix et les régions productives européennes. *Dialogues d'histoire ancienne* 24.1, p. 139-193.
- Billoin David
2003 Un atelier métallurgique du haut Moyen Age à Pratz (Jura) «Le Curtillet» (VII^e siècle). In: Passard et al. (dir.) 2003, p. 255-265.
- Blanchet Jean-Claude
1991 Saint-Maurice-Montcouronnes. Le Marais. In: *Archéologie historique en Ile-de-France*. Actes des journées d'Enghien-les-Bains, 18-19 mai 1990. Service départemental d'archéologie du Val-d'Oise, Saint-Ouen-l'Aumône, p. 22. (Archéologie en Val-d'Oise 2).
- Boéchat Pierre-Auguste
1889 Le cimetière burgonde du Cras-Chalet près de Bonfol. *ASJE* 1 (1885-1888), p. 110-128, 1 pl.
- Böhner Kurt
1958 *Die fränkischen Altertümer des Trierer Landes*. 1. Teil. 366 p., 44 pl.; 2. Teil. 196 p., 75 pl., 3 cartes. Mann, Berlin. (GDV B 1).
- Bonnet Charles et Martin Max
1982 Le modèle en plomb d'une fibule anglo-saxonne de Saint-Pierre à Genève. *AS* 5.4, p. 210-224, 20 fig.
- Bouffard Pierre
1945 *Les nécropoles burgondes de la Suisse. Les garnitures de ceinture*. [S.n.], Genève et Nyon, 126 p., 26 pl., 6 fig. (Cahiers de préhistoire et d'archéologie 1).
- Boulanger Camille
1909 *Le cimetière franco-mérovingien et carolingien de Marchépot (Somme)*. *Etude sur l'origine de l'art barbare*. Imprimerie nationale, Paris, 188 p., ill.
- Braunstein Philippe
1990a Le travail minier au Moyen-Âge d'après les sources réglementaires. In: Hamesse et Muraille-Samaran (réd.) 1990, p. 228-329.
1990b L'industrie minière et métallurgique dans l'Europe médiévale: approche historique et approche archéologique. In: Mannoni Tiziano et Molinari A. (réd.): *Scienze in archeologia*. II Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 7-19 novembre 1988. All'Insegna del Giglio, Firenze, p. 143-171. (Quaderni del dipartimento di archeologia e storia delle arti, Sezione archeologica 20-21).
2001 *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècles)*. Ecole française de Rome, Rome, 624 p. (Collection de l'Ecole française de Rome 290).
- Brulet Raymond
1970 *Catalogue du matériel mérovingien conservé au musée archéologique de Charleroi*. Centre national de recherches archéologiques en Belgique, Bruxelles, 200 p., 107 fig., 16 pl. (Répertoires archéologiques B 5).
- Buchta-Hohm Susanne
1996 *Das alamannische Gräberfeld von Donaueschingen (Schwarzwald-Baar-Kreis)*. Konrad Theiss, Stuttgart, 198 p., 78 fig., 67 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 56).
- Buchwald Vagn F.
2001 *Ancient iron and slags in Greenland*. Danish Polar Center, Copenhagen, 92 p. (Meddelelser om Grønland, Man and Society 26).
- Buchwald Vagn F. et Wivel Helle
1998 Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects. *Materials Characterization* 40, p. 73-96.
- Bücker Christel
1999 *Frühe Alamannen im Breisgau: Untersuchungen zu den Anfängen der germanischen Besiedlung im Breisgau während des 4. und 5. Jahrhunderts n. Chr.* Thorbecke, Sigmaringen, 392 p., ill. (Archäologie und Geschichte 9).
- Bujard Jacques
1999 Objets de parure des VI^e-VII^e siècles récemment découverts à Dombresson. In: Henry Philippe et de Tribolet Maurice (réd.): *In dubiis libertas. Mélanges d'histoire offerts au professeur Rémy Scheurer*. Gilles Attinger, Hauterive, p. 47-58, ill.
- Burnell Simon
1998 *Die reformierte Kirche von Sissach BL. Mittelalterliche Kirchenbauten und merowingerzeitliche «Stiftgräber»*. Archäologie und Kantonsmuseum Baselland, Liestal, 226 p., 86 fig., 33 pl., 8 annexes. (Archäologie und Museum 38).
- Burzler Anke, Höneisen Markus, Leicht Jakob et Ruckstuhl Beatrice
2002 *Das frühmittelalterliche Schleithelm - Siedlung, Gräberfeld und Kirche*. Band 1. 549 p., 298 fig.; Band 2. 356 p., 133 pl., ill., 2 annexes, 1 CD-ROM. Kantonsarchäologie, Schaffhausen. (Schaffhauser Archäologie 5.1 et 5.2).

- Cauuet Béatrice et al.
1993 *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire: le domaine des Forges (Les Martyrs, Aude)*. Revue archéologique de Narbonnaise (supplément 27), 477 p., ill.
- Cech Brigitte et Walach Georg
1998 Feldmethoden zur Bewertung historischer Schmiedeschlacken – Methodik und erste Ergebnisse. *Archäologie Österreichs* 9.2, p. 72-78.
- Chardron-Picault Pascale et Pernot Michel (dir.)
1999 *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun. Le site du Lycée militaire*. DAF 76, 316 p., ill.
- Cheval François et Lambert Marie-Jeanne (réd.)
1983 *Les Mérovingiens en Franche-Comté: exposition de Dole et Lons-le-Saunier*. [Imprimerie municipale], [Dole], 42 p., ill.
- Clauss Gisela
1976 Beobachtungen an merowingerzeitlichen Gräbern bei Hockenheim, Rhein-Neckar-Kreis. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 6.1, p. 55-64, 13 fig.
- Colardelle Michel
1983 *Sépulture et traditions funéraires du V^e au XIII^e siècle ap. J.-C. dans les campagnes des Alpes françaises du Nord*. Société alpine de documentation et de recherche en archéologie historique, Grenoble, 466 p., 142 fig.
- Colardelle Michel et Verdel Eric (dir.)
1993 *Les habitats du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement. La formation d'un terroir au XI^e siècle*. DAF 40, 416 p., 279 fig., 4 pl.
- Colney Michel
1982 *Delle des origines à l'époque mérovingienne*. Groupe de recherches archéologiques, [s.l.], 34 p., 8 fig. (Groupe de recherches archéologiques du Territoire de Belfort 2).
- Colney Michel et Mazimann Jean-Pierre
2002 Les sites gallo-romains et mérovingiens de Delle. *Bulletin de la société belfortaine d'émulation* 93, p. 15-68, ill.
- Coupyr Jacques
1967 Paussac-Saint-Vivien. *Gallia* 25.2, p. 353-355, 5 fig.
- Cuisenier Jean et Guadagnin Rémy (dir.)
1988 *Un village au temps de Charlemagne. Moines et paysans de l'abbaye de Saint-Denis du VII^e siècle à l'An Mil*. Réunion des musées nationaux, Paris, 357 p., 121 fig., ill.
- Czysw Wolfgang et al.
1998 Ein frühmittelalterlicher Eisenverhüttungsplatz in Sulzbach. Stadt Aichach, Landkreis Aichach-Friedberg, Schwaben. *Das archäologische Jahr in Bayern* 1997, p. 156-160.
- Dandoy M., Sondron Ph. et Willems J.
1995 Un four de potier du VI^e siècle et l'artisanat du bronze à l'embouchure du Hoyoux à Huy. *Vie archéologique (Bulletin de la fédération des archéologues de Wallonie)* 44, p. 5-22, 18 fig.
- Daveau Isabelle et Goustard Vincent
1997 Vert-Saint-Denis. Mine et métallurgie du Haut Moyen Age. *Archéologia* 330, p. 42-51.
- Decaens Joseph
1971 Un nouveau cimetière du haut Moyen-Age en Normandie. Hérouville (Calvados). *AM* 1, p. 1-126, 30 fig.
- Delestre Xavier (dir.)
1988 *Lorraine mérovingienne (V^e-VIII^e siècle)*. Serpenoise, Metz, 130 p., 81 fig., 25 pl.
- Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al.
1999 *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy (Jura, Suisse)*. CAJ 8, 256 p., 155 fig., 29 pl.
- Démians d'Archimbaud Gabrielle
1980 *Les fouilles de Rougiers (Var). Contribution à l'archéologie de l'habitat rural médiéval en pays méditerranéen*. CNRS, 724 p., 520 ill. (Mémoires d'archéologie médiévale méditerranéenne 2).
- Deslex Sheikh Carine
2002 *Le site du Haut Moyen Age de Courtedoux, Creugenat (Jura, Suisse). Fouilles 2001*. OPH, 58 p., 31 fig. (Archéologie et Transjurane 97, rapport inédit).
- 2003 *Le hameau du Haut Moyen Age de Courtedoux, Creugenat. Fouilles 2002*. OPH, 101 p., 49 fig. (Archéologie et Transjurane 106, rapport inédit).
- Devos Wim et al.
2000 **Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) for spatially resolved trace analysis of early-medieval archaeological iron finds**. *Fresenius' journal of analytical chemistry* 366, p. 873-880.
- Drack Walter et Moosbrugger-Leu Rudolf
1960 Die frühmittelalterliche Kirche von Tuggen (Kt. Schwyz). *ZAK* 20, p. 176-207, 18 fig., 12 pl.
- Dubois Jacques
1990 **Le travail des moines au moyen âge**. In: Hamesse et Muraille-Samaran (réd.) 1990, p. 61-100.
- Dunikowski Christophe et al.
1996 L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne): contribution à l'étude des déchets de production. *RAE* 47, p. 97-121.
- Dunikowski Christophe et Cabboi Sandra
1995 *La sidérurgie chez les Sénons: les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*. DAF 51, 186 p., 120 fig.
- Duvauchelle Anika
1990 Les outils en fer du Musée romain d'Avenches. *Bulletin de l'association Pro Aventico* 32, 118 p., 19 fig., 2 tab., ill.
- Duvauchelle Anika et Agustoni Clara
2002 Couper du fer: outils et gestes des forgerons d'hier et d'aujourd'hui. *ASSPA* 85, p. 261-266, 9 fig.
- Ebersolt Jean-Georges
1950 *Les cimetières burgondes du Doubs et du Jura à l'époque barbare*. Imprimerie de l'Est, Besançon, 89 p., ill.
- Ebnöther Christa
1995 *Der römische Gutshof in Dietikon*. Kantonsarchäologie, Zürich und Egg, 438 p., 328 fig., 96 pl. (Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 25).
- Eschenlohr Ludwig
1994 **Le Groupe de travail pour l'archéologie du fer dans le Jura**. *ASJE* 97, p. 185-193.
- 1995a Recherches archéologiques sur le district sidérurgique du Jura central suisse. In: Magnusson Gert (réd.): *The importance of ironmaking. Technical innovation and social change*. Papers presented at the Norberg conference, May 8-13 1995. *JBU* H58, p. 51-55.
- 1995b Les ateliers de forgerons de Develier-Courtételle (Jura, Suisse). In: *Les métaux dans l'Antiquité: travail et conservation*. Résumés des communications. Faculté des sciences humaines et arts, Poitiers, p. 7.

- 1997 **Les ateliers de forgeron de Develier-Courtételle** (Jura, Suisse). In: Nicolini Gérard et Dieudonné-Glad Nadine (dir.): *Les métaux antiques: travail et restauration*. Actes du colloque de Poitiers, 28-30 septembre 1995. Monique Mergoïl, Montagnac, p. 19-22. (Monographies instrumentum 6).
- 1998 Le travail du fer à Alle, Noir Bois, dans le contexte du relais. In: Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al.: *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy (Jura, Suisse)*. CAJ 8, p. 128-131.
- 2001 *Recherches archéologiques sur le district sidérurgique du Jura central suisse*. CAR 88, Lausanne, 320 p., 151 fig., 1 dépliant.
- 2002 **De l'Antiquité tardive au Haut Moyen Age: le cas de la sidérurgie ancienne**. In: Windler Renata et Fuchs Michel (dir.): *De l'Antiquité tardive au Haut Moyen-Age (300-800) – Kontinuität und Neubeginn*. SSPA, p. 149-155, 10 fig., 2 tab. (Antiqua 35).
- Eschenlohr Ludwig et Serneels Vincent
1991 *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, les Boulies (JU, Suisse)*. CAJ 3, 144 p., 86 fig., 23 tab., 10 pl.
- Eschenlohr Ludwig, Friedli Vincent et Senn-Luder Marianne
1999 Develier-Courtételle (Jura). Une activité pré-industrielle: le travail du fer. HA 118/119, p. 73-87, 12 fig.
- Ewald Jürg et Tauber Jürg (réd.)
1998 *Tatort Vergangenheit. Ergebnisse aus der Archäologie von heute*. Wiese, Basel, 552 p., ill.
- Faure-Boucharlat Elise (dir.)
2001 *Vivre à la campagne au Moyen Age: l'habitat rural du V^e au XII^e s. (Bresse, Lyonnais, Dauphiné) d'après les données archéologiques*. DARA 21, 431 p., ill.
- von Fellenberg Edmund
1886 Das Gräberfeld bei Elisried (Brünnen), Amts Schwarzenburg (Canton Bern): über dessen und analoge Funde der Westschweiz. MAGZ 21.7, p. 175-227, 10 pl., 1 plan, ill.
- von Fellenberg L.-R.
1863 Analyses de quelques minerais de fer du Jura bernois. ASJE 15, p. 90-117.
- Fingerlin Gerhard
1971 *Die alamannischen Gräberfelder von Güttingen und Merdingen in Südbaden. Text*. 308 p., 12 fig., 8 tab., 2 annexes; *Tafeln*. 126 pl. Walter de Gruyter, Berlin. (GDV A 12).
- Fleury Michel et Périn Patrick (réd.)
1976 *Problèmes de chronologie relative et absolue concernant les cimetières mérovingiens d'entre Loire et Rhin*. Actes du II^e colloque archéologique de la IV^e section de l'Ecole pratique des hautes études, Paris, 1973. Honoré Champion, Paris, 224 p., 26 pl., ill. (Bibliothèque de l'Ecole des hautes études IV^e section, Sciences historiques et philologiques 326).
- Fluzin Philippe
1983 Notions élémentaires de sidérurgie. In: Echard Nicole (réd.): *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions*. Société des africanistes, Paris, p. 13-44. (Mémoires de la société des africanistes 9).
- 2002 La chaîne opératoire en sidérurgie, matériaux archéologiques et procédés. Apports des études métallographiques. In: Bocoum Hamady (dir.): *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienté méconnue – Afrique de l'Ouest et Afrique centrale*. UNESCO, Paris, p. 58-92, ill. (Mémoires des peuples).
- Forrer Robert
1934 Varia mérovingiennes et cimetières mérovingiens inédits de Bettwiller, Behlenheim, Gamsheim, Schiltigheim, Friesenheim, etc. CAHA 25.99-100, p. 221-258, 4 fig., 9 pl.
- Friedli Vincent
2000 Les indices archéologiques de la christianisation du Jura. ASJE 103, p. 219-234, 15 fig.
- Fuchs Karlheinz et al. (réd.)
1997 *Die Alamannen*. Catalogue de l'exposition de Stuttgart, Zürich et Augsburg 1997. Konrad Theiss, Stuttgart, 528 p., 588 fig.
- Furger Andres (dir.)
1996 *Die Schweiz zwischen Antike und Mittelalter. Archäologie und Geschichte des 4. bis 9. Jahrhunderts*. Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 231 p., 244 fig.
- GAF (Groupe d'archéologie du fer, collectif)
2005 *La production du fer au Moyen Age. Expérimentations dans le Jura*. SJE, 152 p., 118 ill. (L'œil et la mémoire 16).
- Gaillard de Semainville Henri
1980 *Les cimetières mérovingiens de la côte chalonnoise et de la côte mâconnaise*. RAE (supplément 3), 249 p., 63 pl.
- 1995 *Les Burgondes: apports de l'archéologie*. Actes du colloque international de Dijon, 5-6 novembre 1992. Association pour la connaissance du patrimoine de Bourgogne, Dijon, 248 p., ill.
- Garscha Friedrich
1970 *Die Alamannen in Südbaden. Text*. 308 p., 20 fig., 2 annexes; *Tafeln*. 131 pl. Walter de Gruyter, Berlin. (GDV A 11).
- Gassmann Guntram
1998 Spurensuche: Reste keltischer Eisenverhüttungsanlagen in Baden-Württemberg. *Denkmalpflege in Baden-Württemberg* 27.4, p. 206-211.
- Gehrig Ernest
1957 L'industrie du fer dans le Jura. *Les intérêts du Jura* 8, p. 149-156.
- Geiger Thomas
1996 Untersuchung von Schlackenfundens aus dem Unteren Bühl. In: Deschler-Erb Eckhard (réd.): *Ausgrabungen im Unteren Bühl. Die Funde aus Metall. Ein Schrank mit Lararium des 3. Jahrhunderts*. Kantonsarchäologie, Zürich und Egg, p. 210-221. (Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 27, Beiträge zum römischen Oberwinterthur-Vitodurum 7).
- Geisler Hans
1998 *Das frühbairische Gräberfeld Straubing-Bajuwarenstrasse I. Katalog der archäologischen Befunde und Funde. Textband*. 375 p., 1 CD-ROM; *Tafelband*. 410 pl., 2 annexes. Marie Leidorf, Rahden/Westf. (Internationale Archäologie 30).
- Gensen Rolf
1984 **Die ländliche Siedlung bei Geismar (Fritzlar, Schwalm-Eder Kreis)**. In: Roth Helmut et Wamers Egon (réd.): *Hessen im Frühmittelalter. Archäologie und Kunst*. Jan Thorbecke, Sigmaringen, p. 67-73.
- Gerster Alban
1976 Römische und merovingische Funde in Develier. HA 26, p. 30-38, ill.
- 1978 Der römische Gutshof im Müschhag bei Laufen. HA 33, p. 2-67, ill.
- 1983 *Reconstitution d'un travail archéologique de Alban Gerster. La villa gallo-romaine de Vicques/Delémont/Jura*. Editions du Faubourg, Porrentruy, 378 p., ill.
- Giganon Daniel
1990 Villiers-le-Bâcle (Essonne). Edifice religieux, nécropoles, habitats. AM 21, p. 340-341.
- Gonda Cécile
2003 *Chevenez, Lai Coiratte un artisanat métallurgique du Haut Moyen Age. Fouilles 2002*. OPH, 70 p., 54 fig. (Archéologie et Transjurane 108, rapport inédit).

- Graenert Gabriele et Rast-Eicher Antoinette
2003 La fibule estampée de La Tour-de-Trême: une trouvaille particulière de l'époque mérovingienne en Gruyère. *CAF* 5, p. 158-172, 13 fig.
- Groenewoudt Bert et van Nie Matthijs
1994 Assessing the scale and organisation of germanic iron production in Heeten, the Netherlands. *Journal of european archaeology* 3.2, p. 187-215.
- Groove Annette Maria
2001 *Das alamannische Gräberfeld von Munzingen / Stadt Freiburg*. Konrad Theiss, Stuttgart, 424 p., 47 fig., 13 tab., 161 pl. (Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 54).
- Grünewald Christoph
1988 *Das alamannische Gräberfeld von Unterthürheim, Bayerisch-Schwaben*. Michael Lassleben, Kallmünz/Opf., 293 p., 26 fig., 133 pl., 1 annexe. (Materialhefte zur bayerischen Vorgeschichte A 59).
- GSAF (Groupe de travail suisse d'archéologie du fer, collectif)
1997 *Minerai, scories, fer. Cours d'initiation à l'étude de la métallurgie du fer ancienne et à l'identification des déchets de cette industrie*. GSAF et ASTFA, Bâle, 95 p., 31 fig. (Techniques des fouilles).
- Guex François
2001 Hoffnung auf ewiges Leben – auf dem Gürtel getragen. *CAF* 3, p. 14-21, 15 fig.
- Guillaume Jacques
1977 Les nécropoles mérovingiennes de Dieue/Meuse (France). *Acta praehistorica et archaeologica* 5-6 (1974-1975), p. 221-349, 56 fig.
- Guillaumet Jean-Paul
2003 *Paléomanufacture métallique: méthode d'étude*. InFolio, Gollion, 156 p., 75 fig., ill. (Vestigia).
- Guyan Walter Ulrich
1965 *Das alamannische Gräberfeld von Schleithem-Hebsack*. Birkhäuser, Basel, 18 p., 4 fig., 27 pl. (Material zur Ur- und Frühgeschichte der Schweiz 5).
- Haldimann Marc-André et Steiner Lucie
1996 Les céramiques funéraires du haut Moyen Âge en terre vaudoise. *ASSPA* 79, p. 143-193, 33 fig.
- Hallinder Pär, Flyge Hanne et Randrup Jørn
1986 The iron slag from Helgö – An archaeological and scientific study. In: Lundström Agneta et Clarke Helen (éd.): *Excavations at Helgö X. Coins, iron and gold*. Kungliga Vitterhets Historia och Antikvitets Akademien, Stockholm, p. 131-152.
- Hamerow Helena
2002 *Early medieval settlements. The archaeology of rural communities in North-West Europe, 400-900*. Oxford University Press, New-York, 225 p., ill. (Medieval history and archaeology).
- Hamesse Jacqueline et Muraille-Samaran Colette (réd.)
1990 *Le travail au Moyen Âge – une approche interdisciplinaire*. Actes du colloque international de Louvain-la-Neuve, 21-23 mai 1987. Université catholique de Louvain - Institut d'études médiévales, Louvain-la-Neuve, 440 p., ill. (Textes, études, congrès 10).
- Hartmann Martin
1981 Die Stiftgräber in der Stadtkirche St. Mauritius von Zofingen. *AS* 4.4, p. 148-163, 19 fig.
- Hasenfratz Albin et Banteli Kurt
1986 *Die archäologischen Untersuchungen in der Bergkirche Hallau*. Karl Augustin, Thayngen, 125 p., 24 fig., 29 pl.
- Heege Andreas
1997 *Hambach 500: Villa rustica und früh- bis hochmittelalterliche Siedlung Wüstweiler (Gemeinde Niederzier), Kreis Düren*. Rheinland-Verlag, Köln, 260 p., ill.
- Heidinga H. A.
1987 *Medieval settlement and economy north of the lower Rhine: archeology and history of Lootwijk and the Veluwe (the Netherlands)*. Wolfeboro et Van Gorcum, Assen et Maastricht, 244 p., ill. (Cingula 9).
- Helmig Guido
1984 Zur Geschichte des Mont Terri. *AS* 7.3, p. 104-112, 10 fig.
- Henning Joachim
1991 Schmiedegräber nördlich der Alpen. Germanisches Handwerk zwischen keltischer Tradition und römischem Einfluss. *Saalburg Jahrbuch* 46, p. 65-82, 13 fig.
- Herdick Michael
2001 Mit Eisen gegen die Angst. Überlegungen zur Interpretation vor- und frühgeschichtlicher Mineralien-Amulette und Bemerkungen zu einer Gruppe merowingerzeitlicher Kugelhänger. *Concilium medii aevi* 4, p. 1-47.
- von Hessen Otto
1983 *Il materiale altomedievale nelle collezioni Stibbert di Firenze*. All'Insegna del Giglio, Firenze, 46 p., 8 fig., 19 pl. (Ricerche di archeologia altomedievale e medievale 7).
- Hoffmann Bernard
1985 *Inventaire de quincaillerie antique*. Centre de recherches archéologiques du Vexin français, Guiry-en-Vexin, 100 p., 46 pl. (Cahier archéologique 5).
- Holliger Christian
1984 Rüfenach, Bez. Brugg, AG. *ASSPA* 67, p. 230, 1 fig.
- Holmqvist Wilhelm
1976 Die Ergebnisse der Grabungen auf Helgö (1954-1974). *Praehistorische Zeitschrift* 51, p. 127-177.
- Høst-Madsen Lene et Buchwald Vagn F.
1999 The characterization and provenancing of ore, slag and iron from the Iron Age settlement at Snorup. *Historical metallurgy* 33.2, p. 57-67.
- Hübener Wolfgang
1972 Gleicharmige Bügelfibeln der Merowingerzeit in Westeuropa. *Madridrer Mitteilungen* 13, p. 211-269, 25 fig., 7 cartes.
- Jacob Jean-Paul et Mangin Michel (dir.)
1990 *De la mine à la forge en Franche-Comté. Des origines au XIX^e siècle*. ALUB 410 (Archéologie 37), 313 p., ill.
- Janssen Walter
1981 *Gewerbliche Produktion des Mittelalters als Wirtschaftsfaktor im ländlichen Raum*. In: Jankuhn Herbert et al. (éd.): *Das Handwerk in vor- und frugeschichtlicher Zeit. Teil II: Archäologische und Philologische Beiträge*. Bericht über die Kolloquien der Kommission für Altertumskunde Mittel- und Nordeuropas in den Jahren 1977 bis 1980. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, p. 317-394. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch-historische Klasse 123).
- Jeanbourquin Georges
1995 *Develier et son église*. Le Pays, Porrentruy, 118 p., ill.
- Joffroy René
1974 *Le cimetière de Lavoye (Meuse). Nécropole mérovingienne*. Picard, Paris, 180 p., ill.

- Joliat Henri
1948 Epoque des invasions et peuplement du Jura bernois. *ASJE* 51, p. 89-151, ill.
- Juillerat Claude et Schifferdecker François (réd.)
1997 *Guide archéologique du Jura et du Jura bernois*. SJE, 152 p., ill.
- Jura
1981 *Jura, treize siècles de civilisation chrétienne*. Catalogue de l'exposition de Delémont, 16 mai-20 septembre 1981. Musée jurassien d'art et d'histoire et SJE, Delémont et Porrentruy, 146 p., ill.
- Keessmann Ingo et Hilgart Thomas
1992 Chemische und mineralogische Untersuchungen der Schlacken von Manching. In: Maier Ferdinand et al.: *Ergebnisse der Ausgrabungen 1984-1987 in Manching*. Franz Steiner, Stuttgart, p. 391-413. (Die Ausgrabungen in Manching 15).
- King Cathy E. et Northover J. Peter
1993 The analyses. In: von Kaenel Hans-Markus et al.: *Der Münzhort aus dem Gutshof in Neftenbach*. Kantonsarchäologie, Zürich et Egg, p. 101-117, ill. (Zürcher Denkmalpflege, Archäologische Monographien 16).
- Kirsch Johann-Peter
1899 Le cimetière burgonde de Fétigny (canton de Fribourg). *Archives de la société d'histoire du canton de Fribourg* 6.3, p. 479-538, 3 fig., 4 pl.
- Koch Robert
1967 *Bodenfunde der Völkerwanderungszeit aus dem Main-Tauber-Gebiet*. Text. 247 p., 14 fig., 4 tab., 2 annexes; *Tafeln*. 102 pl. Walter de Gruyter, Berlin. (GDV A 8).
1984 Stachelsporen des frühen und hohen Mittelalters. *Zeitschrift für Archäologie des Mittelalters* 10 (1982), p. 63-83, 21 fig.
- Koch Ursula
1977 *Das Reihengräberfeld bei Schretzheim. Teil 1: Text*. 225 p., 25 fig., 4 tab.; *Teil 2: Katalog und Tafeln*. 147 p., 270 pl. Mann, Berlin. (GDV A 13).
1982 *Die fränkischen Gräberfelder von Barga und Berghausen in Nordbaden*. Konrad Theiss, Stuttgart, 233 p., 9 fig., 87 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 12).
1984 *Der Runde Berg bei Urach V: die Metallfunde der frühgeschichtlichen Perioden aus den Plangrabungen 1967-1981. Teil 1: Text*. 275 p., 20 fig.; *Teil 2: Tafeln und Karten*. 93 pl., 47 cartes. Carl Winter, Heidelberg. (Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Kommission für alamannische Altertumskunde 10).
- Krämer Werner
1951 Frühmittelalterliche Siedlung bei Burgheim, Ldkr. Neuburg a.d. Donau. *Germania* 29, p. 139-141.
1952 Die frühmittelalterliche Siedlung von Burgheim in Schwaben. *Bayerische Vorgeschichtsblätter* 18/19, p. 200-207.
- Kresten Peter
1999 *Analyses of a smithing slag from Develier-Courtételle, Central Jura, Switzerland*. Geoarchaeological Laboratory, Uppsala, p. 4. (Research Report R9902).
- Kronz Andreas
1997 *Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen – Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken*. Johannes Gutenberg-Universität, Mainz, 272 p. (Doktorarbeit in Archäometallurgie, Fachbereich Geowissenschaften).
- Lavicka Pavel
1995 Eine Eisengewerbesiedlung des 9. bis 12. Jahrhunderts in Liestal-Röserental. In: Schmaedecke Michael (red.): *Ländliche Siedlungen zwischen Spätantike und Mittelalter*. Beiträge zum Kolloquium in Liestal vom 13. bis 15. März 1995. Archäologie und Kantonsmuseum Baselland, Liestal, p. 27-34. (Archäologie und Museum 33).
- Legoux René
1982 Les plaques-boucles damasquinées de Bulles, Cuignières et Avrechy (Oise). *RAP* 3, p. 14-20, 6 pl., 1 fig.
- Leitz Werner
2002 *Das Gräberfeld von Bel-Air bei Lausanne. Frédéric Troyon (1815-1866) und die Anfänge der Frühmittelalterarchäologie*. CAR 84, 278 p., 60 fig., 87 pl.
- Le Roux Joëlle
1988 Les bas fourneaux et la forge. In: *Un village au temps de Charlemagne. Moines et paysans de l'abbaye de Saint-Denis du VII^e siècle à l'An Mil*. Catalogue de l'exposition du Musée national des arts et traditions populaires, Paris, 29 novembre 1988-30 avril 1989. Réunion des musées nationaux, Paris, p. 291-294.
- Leroy Marc
1997 *La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe*. CNRS, 305 p. (Monographies du CRA 18).
- Leroy Marc, Forrières Claude et Ploquin Alain
1990 Un site de production sidérurgique du Haut Moyen Age en Lorraine (Ludres, Meurthe-et-Moselle). Etude des conditions de réduction du minerai lorrain. *AM* 20, p. 141-179.
- Leroy Marc et Merluzzo Paul
1998 *Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute-Marne)*. Bulletin de la société archéologique champenoise 91.4, 126 p., 93 fig., 16 tab., 8 annexes.
- Liéger Abel et Marguet Roger
1992 Le cimetière mérovingien de Royaumeix/Menil-La-Tour (Meurthe-et-Moselle). *RAE* 43.1, p. 99-149, 36 fig.
- Lienemann Peter
2000 *Elementanalytik mit der wellenlängendispersiven Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie*. Empa, 71 p.
- Lorquet Philippe
1993 Belle-Eglise (Oise). La Justice Gobarde; Chambly (Oise). La Fosse aux Moines. *AM* 23, p. 313.
1994 Découverte d'un moulin carolingien à Belle-Eglise «Le Pré des Paillards» (Oise). *RAP* 3-4., p. 1-57.
- Lorren Claude
2001 *Fibules et plaques-boucles à l'époque mérovingienne en Normandie. Contribution à l'étude du peuplement, des échanges et des influences, de la fin du V^e au début du VIII^e siècle*. AFAM et Musée des antiquités nationales, Saint-Germain-en-Laye, 553 p., 66 pl., ill. (Mémoires de l'AFAM 8).
- Mack I. et al.
2000 Liquid steel in anglo-saxon England. *Historical metallurgy* 34.2, p. 87-96.
- Manfredi Sophie, Passard Françoise et Urlacher Jean-Pierre
1992 *Les derniers barbares. Au coeur du massif du Jura la nécropole mérovingienne de la Grande Oye à Doubs (VI^e-VII^e siècles après J.-C.)*. Cêtre, Besançon, 143 p., ill.

- Mangin Michel
1990 Le fer dans l'Antiquité et au Moyen Age. In: Jannet-Vallat Monique (dir.): *Il était une fois la Côte-d'Or: 20 ans de recherches archéologiques*. Errance et Musée archéologique, Paris et Dijon, p. 132-137, ill.
- Mangin Michel (dir.)
1994 *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie*. Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993. ALUB 536 (Archéologie 40), 424 p., ill.
- 2004 *Le fer*. Errance, Paris, 239 p., ill. (Collections «Archéologiques»).
- Mangin Michel, Courtadon Jean-Louis, Fluzin Philippe et de Lacroix Eric
2000 *Village, forges et parcellaire aux sources de la Seine: l'agglomération antique de Blessey-Salmaise (Côte-d'Or)*. ALUF 699 (Environnement, société, archéologie 2), 517 p., 104 fig., ill.
- Mangin Michel, Fluzin Philippe, Courtadon Jean-Louis et Fontaine Marie-José
2000 *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut-Auxois, Côte-d'Or). La terre, le fer, la route en pays mandubien: I^{er} siècle avant – VIII^e siècle après J.-C.* CNRS, 508 p., ill. (Monographies du CRA 22).
- Marti Reto
1990 *Das frühmittelalterliche Gräberfeld von Saint-Sulpice (VD)*. CAR 52, 238 p., 72 fig., 32 pl., 3 tab.
- 1995 Das Grab eines wohlhabenden Alamannen in Altdorf UR, Pfarrkirche St. Martin. ASSPA 78, p. 83-130, 38 fig.
- 2000 *Zwischen Römerzeit und Mittelalter. Forschungen zur frühmittelalterlichen Siedlungsgeschichte der Nordwestschweiz (4.-10. Jahrhundert). Band A: Text. 407 p., 177 fig.; Band B: Katalog und Tafeln. 280 p., 301 pl., ill.* Archäologie und Kantonsmuseum Baselland, Liestal. (Archäologie und Museum 41A et B).
- Marti Reto, Meier Hans-Rudolf et Windler Renata
1992 *Ein frühmittelalterliches Gräberfeld bei Erlach (Bern)*. SSPA, 113 p., 35 ill. (Antiqua 23).
- Martin Max
1971 Bemerkungen zu den frühmittelalterlichen Gürtelbeschläge der Westschweiz. ZAK 28.1, p. 29-57, 22 fig.
- 1974 Das Frauengrab 48 in der Pfarrkirche St. Martin von Schwyz. *Mitteilungen des historischen Vereins des Kantons Schwyz* 66, p. 139-151, 3 fig.
- 1976a *Das fränkische Gräberfeld von Basel-Bernerring*. Archäologischer Verlag, Basel, 398 p., 31 pl., 48 fig., ill. (Basler Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte 1).
- 1976b *Das spätromischfrühmittelalterliche Gräberfeld von Kaiseraugst, Kt. Aargau. Teil B: Katalog und Tafeln*. Habegger, Derendingen, 102 p., 114 pl. (Basler Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte 5B).
- 1983 Das Gebiet des Kantons Solothurn im frühen Mittelalter. Ein Bericht zum Stand der archäologischen Forschung. ASSPA 66, p. 215-239, 10 fig.
- 1986 Le Haut Moyen Age. In: *Chronologie*. SSPA, p. 99-117, 9 fig. (Antiqua 15).
- 1988a Das frühmittelalterlichen Gräbergebäude unter der Kirche St. Pankratius in Hitzkirch. AS 11.2, p. 89-101, 15 fig.
- 1988b Grabfunde des 6. Jahrhunderts aus der Kirche St. Peter und Paul in Mels SG. AS 11.4, p. 167-181, 25 fig.
- 1989 Bemerkungen zur chronologischen Gliederung der frühen Merowingerzeit. *Germania* 67.1, p. 121-141, 10 fig.
- 1991 *Das spätromischfrühmittelalterliche Gräberfeld von Kaiseraugst, Kt. Aargau. Teil A: Text*. Habegger, Derendingen, 357 p., 165 fig., 2 pl. (Basler Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte 5A).
- Martin Max, Sennhauser Hans-Rudolf et Vierck Hayo
1980 Reiche Grabfunde in der frühmittelalterlichen Kirche von Schöftland. AS 3.1, p. 29-55, 29 fig.
- Menghin Wilfried
1983 *Das Schwert im frühen Mittelalter. Chronologisch-typologisch Untersuchungen zu Langschwertern aus germanischen Gräbern des 5. bis 7. Jahrhunderts n. Chr.* Konrad Theiss, Stuttgart, 368 p., 97 fig., ill. (Wissenschaftliche Beibände zum Anzeiger des germanischen Nationalmuseums 1).
- Mercier Claude et Mercier-Rolland Monique
1974 *Le cimetière burgonde de Monnet-la-Ville (Jura)*. ALUB 156 (Archéologie 25), 106 p., 35 pl., 1 plan.
- Meyer von Knonau Gerold
1873 Alamannische Denkmäler in der Schweiz. MAGZ 18.3, p. 91-104, 3 pl.
- Meyerdirks Uwe et Schreg Rainer
2003 Weitere Grabungen auf dem hochmittelalterlichen Eisenverhüttungsplatz im Lachental bei Weil im Schönbuch, Kreis Böblingen. *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2002*, p. 244-246.
- Moosbrugger-Leu Rudolf
1967 *Die frühmittelalterlichen Gürtelbeschläge der Schweiz*. Birkhäuser, Basel, 215 p., 31 fig., 14 cartes, 1 tab. (Monographien zur Ur- und Frühgeschichte der Schweiz 14).
- 1971 *Die Schweiz zur Merowinger Zeit. Die archäologische Hinterlassenschaft der Romanen, Burgunder und Alamannen. Band A. 275 p., 94 fig., ill.; Band B. 157 p., 58 fig., 90 pl., ill.* Franke, Bern.
- 1982 *Die frühmittelalterlichen Gräberfelder von Basel*. Christoph Merian Verlag, Basel, 48 p., 47 fig., ill. (Führer durch das historische Museum Basel 3).
- Morton G. R. et Wingrove J.
1969 Constitution of bloomery slags. Part I: Roman. *Journal of the iron and steel Institute*, p. 1556-1564.
- Motschi Andreas
1991 Das frühmittelalterliche Gräberfeld von Seewen-Galgenhügel (SO). AKS 7, p. 7-76, 43 fig., 7 pl.
- 1993 Die frühmittelalterlichen Gräber Oberdorf-Bühl (SO). AKS 8, p. 75-99, 14 fig., 6 pl.
- Müller-Wille Michael
1977 *Der frühmittelalterliche Schmied im Spiegel skandinavischer Grabfunde. Frühmittelalterlichen Studien* 11, p. 127-201, 27 fig.
- Naumann Karl Friedrich
1964 *Untersuchung alter Fundstücke von den Ausgrabungen am Magdalensberg in Kärnten*. *Archiv für das Eisenhüttenwesen* 35.6, p. 495-502.
- Neuffer Eduard Martin
1972 *Das Reihengräberfriedhof von Donzdorf (Kreis Göppingen)*. Müller & Gräff, Stuttgart, 131 p., 16 fig., 85 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 2).
- Neuffer-Müller Christiane
1983 *Das alamannische Adelsbestattungsplatz und die Reihengräberfriedhöfe von Kirchheim am Ries (Ostalbkreis)*. Konrad Theiss, Stuttgart, 201 p., 12 fig., 165 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 15).

Nice Alain

- 1992 L'habitat et la nécropole de Goudelancourt-lès-Pierrepont, lieu-dit « Les Fontaines » (Aisne), VI^e-VII^e siècles : état de la recherche. *Bulletin de liaison de l'AFAM* 16, p. 40-45.
- 1994 L'habitat mérovingien de Goudelancourt-lès-Pierrepont (Aisne). Aperçu provisoire d'une unité agricole et domestique des VI^e et VII^e siècles. *RAP* 1-2, p. 21-63, 40 fig.

Nosek Elsbetia-Maria

- 1994 The metallography of gromps. In: Mangin (dir.) 1994, p. 65-73.

Oexle Judith

- 1992 *Studien zu merowingerzeitlichem Pferdegeschirr am Beispiel der Trensen*. Text. 307 p., 23 fig. Tafeln. 240 pl., 6 annexes. Philipp von Zabern, Mainz. (GDV A 16).

Paccolat Olivier

- 1991 *L'établissement gallo-romain de Boécourt, les Montoyes (JU, Suisse)*. CAJ 1, 156 p., 99 fig., 14 pl.

Paret Oskar

- 1932 *Neuhausen ob Eck*. *Fundberichte aus Schwaben* 7 (1930-1932), p. 69, 1 pl.

Passard Françoise, Manfredi-Gisard Sophie et Urlacher Jean-Pierre

- 2000 *Le Doubs, vallée des Francs. Entre Rhin et Saône, un territoire de conquête (VI^e-VII^e siècle)*. AFAM, 32 p., ill.

Passard Françoise, Gizard Sophie, Urlacher Jean-Pierre et Richard Annick (dir.)

- 2003 *Burgondes, Alamans, Francs, Romains dans l'Est de la France, le Sud-Ouest de l'Allemagne et la Suisse (V^e-VII^e siècle après J.-C.)*. Actes des XXI^e Journées internationales d'archéologie mérovingienne, Besançon, 20-22 octobre 2000. ALUF 756 (*Art et archéologie* 47), 338 p., ill.

Paulsen Peter et Schach-Döriges Helga

- 1978 *Das alamannische Gräberfeld von Giengen an der Brenz (Kreis Heidenheim)*. Müller & Gräff, Stuttgart, 176 p., 44 fig., 70 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 10).

Paupe Patrick

- 1997 *Sondages sur les sections 3 - 6 et 7 de l'A16. Fouilles 1996*. OPH, 80 p., 36 fig. (*Archéologie et Transjurane* 48, rapport inédit).

Pelet Paul-Louis

- 1983 *Fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud. 3. Du mineur à l'horloger*. Bibliothèque historique vaudoise, Lausanne, 272 p. (Bibliothèque historique vaudoise 74).
- 1993 *Une industrie reconnue: Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud*. CAR 60, 162 p., 176 fig.

Périn Patrick

- 1980 *La datation des tombes mérovingiennes. Historique - Méthodes - Applications*. Droz, Genève, 433 p., 158 fig., 23 pl. (Centre de recherches d'histoire et de philologie de la IV^e section de l'École pratique des hautes études V; Hautes études médiévales et modernes 39).
- 1985 *Collections mérovingiennes*. Musée Carnavalet, Paris, 864 p., 121 fig., ill. (Catalogues d'art et d'histoire du Musée Carnavalet 2).

Perrugot Didier

- 1983 Cézay (Yonne). Hameau de Thèmes. AM 13, p. 234-235.
- 1984 Aspect de l'habitat de l'époque romaine au Moyen-Age dans la moitié nord du département de l'Yonne. In: *La Bourgogne: études archéologiques*. Actes du 109^e Congrès national des sociétés savantes, Dijon 1984. Comité des travaux historiques et scientifiques, Paris, p. 9-46. (Section d'archéologie et d'histoire de l'art 1).
- 1986 Passy (Yonne). La Sablonnière. AM 16, p. 170-171.

Petit Michel

- 1985 La Grande-Paroisse (Seine-et-Marne). « Les Sureau » et « Les Prés-Pourris ». AM 15, p. 220-221.
- 1987 La Grande-Paroisse (Seine-et-Marne). Village. In: Barral i Altet Xavier (dir.): *Le paysage monumental de la France autour de l'an Mil*. Picard, Paris, p. 380-383.

Petit Michel et Depraetère-Dargery Monique (réd.)

- 1993 *L'Île-de-France de Clovis à Hugues Capet, du V^e siècle au X^e siècle*. Catalogue de l'exposition de Guiry-en-Vexin, 11 octobre 1992 - 30 mars 1993. Valhermeil, Paris, 343 p., ill.

Pétrequin Pierre, Fluzin Philippe, Thiriout Jacques et Benoit Paul (dir.)

- 2000 *Arts du feu et productions artisanales*. Actes des XX^e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Juan-les-Pins, 21-23 octobre 1999. Association pour la promotion et la diffusion des connaissances archéologiques (APDCA), Antibes, 628 p., ill.

Peytremann Edith

- 1999/2000 Nécropole et habitat rural du haut Moyen Age à Vellechevreux (Haute-Saône). RAE 50, p. 293-344, 36 fig.

Pfeifer Hans-Rudolf, Lavanchy Jean-Claude et Sermeels Vincent

- 1990 Bulk chemical analysis of geological and industrial materials by X-Ray fluorescence, recent developments and application to materials rich in iron oxide. *Journal of trace and microprobe techniques* 9.2-3, p. 127-148.

Pleiner Radomir

- 1970 *Zur Schmiedetechnik im römerzeitlichen Bayern*. *Bayerische Vorgeschichtsblätter* 35, p. 113-141.
- 1975 *Eisenschmiede im frühmittelalterlichen Zentraleuropa. Die Wege zur Erforschung eines Handwerkszweiges*. *Frühmittelalterliche Studien* 9, p. 79-92.
- 2000 *Iron in archaeology. The european bloomery smelters*. Archeologický Ústav, Praha, 400 p., ill.

Plumier Jean (dir.)

- 1996 *Cinq années d'archéologie en province de Namur, 1990-1995*. Direction des fouilles, Namur, 144 p., ill. (Etudes et documents, fouilles 3).

Polenz Helga

- 1988 *Katalog der merowingerzeitlichen Funde in der Pfalz*. Textband. 476 p., 24 fig.; Tafeln. 270 pl., 7 annexes. Franz Steiner, Stuttgart. (GDV B 12).

Pousaz Nicole

- 2003 *Delémont, En La Pran. De l'Age du Bronze au Moyen Age. Fouilles et activités 2002*. OPH, 53 p., ill. (*Archéologie et Transjurane* 109 A, rapport inédit).

Quast Dieter

- 1996 *Bemerkungen zum Goldohrring aus der Martinskirche in Gruibingen (Lkr. Göppingen)*. Archäologische Spuren eines Adelsgrabes der Zeit um 700. *Fundberichte aus Baden-Württemberg* 21, p. 541-554, 9 fig.

Quiquerez Auguste

- 1862 *Le Mont-Terrible avec notice historique sur les établissements des Romains dans le Jura bernois*. Victor Michel, Porrentruy, 252 p., 12 pl. (Monuments de l'ancien évêché de Bâle).
- 1864 *Topographie d'une partie du Jura oriental et en particulier du Jura bernois. Epoque celtique et romaine*. Victor Michel, Porrentruy, 427 p., 18 pl., 1 carte. (Monuments de l'ancien évêché de Bâle).

Ravaux Jean-Pierre (réd.)

- 1992 *La collection archéologique de M^{me} Perrin de la Boullaye*. Musée de Châlons-en-Champagne, Châlons-en-Champagne, 494 p., 228 pl., 26 fig., ill.

- Regnard Stéphane
2002 La nécropole mérovingienne de La Garenne à Gaillon-sur-Montcient (Yvelines). In: *Mérovingiens et Carolingiens en Ile-de-France. Découvertes archéologiques*. Somogy, Paris, p. 40-71, ill.
- Reich Yvonne
1996a Das Frühmittelalter im Kanton St. Gallen - ein Überblick. *HA* 106/108, p. 137-148, 11 fig.
1996b Das frühmittelalterliche Gräberfeld von Villigen AG. *ASSPA* 76, p. 67-118, 13 fig., 18 pl., ill.
- Rettner Arno
1997 Sporen der älteren Merowingerzeit. *Germania* 75, p. 133-157, 9 fig.
- Riederer Josef
1994 *Echt und falsch. Schätze der Vergangenheit im Museumslabor*. Springer, Berlin, 332 p., 39 fig.
- Rilliot Michel
1966 Contribution à l'étude des agrafes à double crochet. *RAE* 17.3-4, p. 240-250, 6 fig.
- Rochat Louis
1862 Recherches sur les antiquités d'Yverdon. *MAGZ* 14.3, p. 65-90, 4 pl.
- Roosens Heli et Alénus-Lecerf Janine
1965 *Sépultures mérovingiennes au «Vieux-Cimetière» d'Arlon*. Service national des fouilles, Bruxelles, 189 p., 88 fig., 2 annexes. (*Archaeologia Belgica* 88).
- Roth Helmut
1986 *Kunst und Handwerk im frühen Mittelalter. Archäologische Zeugnisse von Childeric I. bis zu Karl dem Grossen*. Konrad Theiss, Stuttgart, 320 p., ill.
- Roth Helmut et Theune Claudia
1995 *Das frühmittelalterliche Gräberfeld bei Weingarten (Kr. Ravensburg)*. Konrad Theiss, Stuttgart, 241 p., 320 fig., 295 pl. (Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg 44.1).
- Rychener Jürg
1999 *Der römische Gutshof in Neftenbach*. Kantonsarchäologie, Zürich et Egg, 2 vol., 531 p. et 433 p. (Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 31.1-2).
- Salin Edouard
1922 *Le cimetière barbare de Lezéville. Mobilier funéraire et art décoratif francs*. Berger-Levrault, Nancy, Paris et Strasbourg, 146 p., 29 fig., 16 pl.
1949 *La civilisation mérovingienne d'après les sépultures, les textes et le laboratoire. Première partie: les idées et les faits*. Picard, Paris, 527 p., 150 fig., 3 cartes.
1952 *La civilisation mérovingienne d'après les sépultures, les textes et le laboratoire. Deuxième partie: les sépultures*. Picard, Paris, 417 p., 160 fig.
1953 Sur quelques objets mérovingiens trouvés en Alsace. *CAHA* 133, p. 101-119, 13 fig.
1957 *La civilisation mérovingienne d'après les sépultures, les textes et le laboratoire. Troisième partie: les techniques*. Picard, Paris, 311 p., 103 fig.
1959 *La civilisation mérovingienne d'après les sépultures, les textes et le laboratoire. Quatrième partie: les croyances - conclusions - index général*. Picard, Paris, 578 p., 198 fig.
- Salin Edouard et France-Lanord Albert
1943 *Le fer à l'époque mérovingienne. Etude technique et archéologique*. Paul Geuthner, Paris, 292 p., 71 fig., 53 pl. (Rhin et Orient 2).
- Sauter Marc-Rodolphe
1946 L'archéologie burgonde en Valais. Tombes à mobilier trouvées à Guttet-Feschel (district de Loèche). *Vallesia* 1, p. 13-20, 5 fig.
- Scapula Jean
1975 *Un haut lieu archéologique de la haute vallée de la Seine: la butte d'Isle-Aumont en Champagne (Aube). Première partie: du Néolithique au Carolingien*. Paton, Troyes, 237 p., 113 fig., ill.
- Schaaber Otto
1963 Beiträge zur Frage des norischen Eisens. Metallkundliche Grundlagen und Untersuchungen an Funden vom Magdalensberg. *Carinthia I* 153, p. 129-280.
Schaaber Otto, Müller H. et Lehnert I.
1977 Metallkundliche Untersuchungen zur Frühgeschichte der Metallurgie. *Archäologie und Naturwissenschaften* 1, p. 221-268.
- Scheurer Ferdinand et Lablotier Anatole
1914 *Fouilles du cimetière barbare de Bourogne*. Berger-Levrault, Paris et Nancy, 122 p., 60 pl., 46 fig.
- Schifferdecker François
1984 Le Haut Moyen-Age: de la domination latine au pouvoir épiscopal. In: Bandelier André et Prongué Bernard (dir.): *Nouvelle histoire du Jura*. SJE, p. 44-61, ill.
1987 La nécropole mérovingienne de Bonfol, 100 ans après sa découverte. *AS* 10.2, p. 74-81, 12 fig.
- Schmaedecke Michael
1998 *Handwerke in mittelalterlichen ländlichen Siedlungen der Schweiz*. Conference Ruralia II, Spa, 1st - 7th september 1997. Institute of Archaeology, Prague, p. 13-24. (Památky Archeologické, Supplementum 11).
- Schneider Jürg Erwin
1983 Rasiermesser des 7./8. Jahrhunderts. *HA* 55/56, p. 235-240, 15 fig.
- Schnitzler Bernadette
1997 *A l'aube du Moyen Age. L'Alsace mérovingienne*. Musées de la ville, Strasbourg, 140 p., ill.
- Schulze Mechthild
1982 Die Wüstung Wülflingen am Kocher. *Jahrbuch des römisch-germanisches Zentralmuseums Mainz* 23-24, p. 154-211.
- Schulze-Dörrlamm Mechthild
2003 Gleicharmige Bügelfibeln der Zeit um 600 aus dem byzantinischen Reich. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 33.3, p. 437-444, 5 fig.
- Schumann Hermann
1991 *Metallographie*. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 764 p., 1136 fig., 91 tab.
- Schwab Hanni
1988 Goldblechscheibenfibeln mit Begleitfunden aus dem Kanton Freiburg. *AF, ChA* 1985, p. 210-232, 17 fig.
Schwab Hanni, Buchiller Carmen et Kaufmann Bruno
1997 *Vuippens/La Palaz. Le site gallo-romain et la nécropole du Haut Moyen Age*. *AF* 10, 253 p., ill.
- Schwab Roland
2002 Evidence for carburized steel and quench-hardening in the «Celtic» oppidum of Manching. *Historical metallurgy* 36.1, p. 6-16.
- Schwarz Peter-Andrew
1991 *Le Mont Terri*. OPH et SJE, 40 p., 33 fig., 1 annexe. (Guides archéologiques de la Suisse 26).

- Schweitzer Joël
 1984 *L'habitat rural en Alsace au Haut Moyen Age. Chez l'auteur, Riedisheim, 382 p., 112 pl., 11 tab., ill.*
- Schweitzer Joël et al.
 1988 Le site néolithique, protohistorique et mérovingien de Saint-Vit (Doubs). II. La nécropole mérovingienne des Champs Traversains. *RAE* 39.3-4, p. 231-272, 38 fig.
- Seguier Jean-Marc
 1992a L'habitat rural du « Climat-des-Terres-Noires » à Saint-Germain-Laxis (Seine-et-Marne), VI^e-X^e siècles. *Bulletin de liaison de l'AFAM* 16, p. 28.
 1992b Saint-Germain-Laxis (Seine-et-Marne). In: Petit et Depraetère-Dargery (réd.) 1993, p. 206-207.
- Senn Marianne
 2002 Wurdn diese Nägel in Develier-Courtételle JU geschmiedet? *HA* 131/132, p. 120-125.
 2005 *Das Schmiedehandwerk im nordalpinen Raum von der Eisenzeit bis ins frühe Mittelalter*. Marie Leidorf, Rahden/Westf., 288 p., ill. (Internationale Archäologie, Naturwissenschaft und Technologie 5).
- Senn-Luder Marianne
 1991 Apport à la définition des scories de forge. In: Estanislau Tomas i Morera (réd.): *La farga catalana en el marc de l'arqueologia siderúrgica*. Ministeri d'afers socials i cultura, Andorra la Vella, p. 455-465.
 1998 Schlacken und Schmelzgefäße als Spiegel des Metallgewerbes im alten Zug. *Tugium* 14, p. 113-154, 29 fig., 15 tab.
- Senn Marianne et al.
 2001 Eine materialwissenschaftliche Zeitreise an der Empa. In: Muster Walter et Schläpfer Kurt (dir.): *Nachhaltige Material- und Systemtechnik. Festschrift zum 65. Geburtstag von Fritz Eggimann*. Empa, p. 163-174.
- Senn Marianne et Devos Wim
 2003 Some news about the chemical composition of bloomery iron materials. In: *Archaeometallurgy in Europe*. Proceedings of the international conference, Milano, 24-26 september 2003 (vol. 1). Associazione italiana di metallurgia, Milano, p. 17-26.
- Sennhauser Hans-Rudolf
 1987 St-Ursanne. Archäologische Untersuchung der Kirche St-Pierre. *AS* 10.2, p. 91-96, 7 fig.
- Sérasset Nicolas
 1841 *L'abeille du Jura, ou recherches historiques, archéologiques et topographiques sur l'ancien évêché de Bâle*. Petitpierre, Neuchâtel, 288 p.
- Serneels Vincent
 1993 *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*. *CAR* 61, 240 p., 228 fig.
 1994 **Du minerai à l'objet: un village de sidérurgistes du IX^e au XII^e siècle à Liestal-Röserntal BL**. In: Schmaedecke Michael (réd.): *Ländliche Siedlungen zwischen Spätantike und Mittelalter*. Beiträge zum Kolloquium in Liestal vom 13. bis 15. März 1995. Archäologie und Kantonsmuseum Baselland, Liestal, p. 35-43, 8 fig. (Archäologie und Museum 33).
 1995 Du minerai à l'objet: un village de sidérurgistes du VIII^e au XII^e siècle à Liestal-Röserntal BL. In: Magnusson Gert (réd.): *The importance of ironmaking. Technical innovation and social change*. Papers presented at the Norberg conference, 1995. JBU H58 et H62, p. 124-131 et p. 9.
 1999 La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. In: Feugère Michel et Serneels Vincent (dir.): *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale*. Monique Mergoïl, Montagnac, p. 7-44, 34 fig. (Monographies instrumentum 4).
- 2002a Analyses chimiques des matières premières et des produits de l'opération de réduction dans le four basque de Agorregi. In: Urteaga M. (réd.): *Agorregiko burdinola eta errotak (Aia, Gipuzkoa). La ferreria y los molinos de Agorregi II, Arkeologia experimental*. Gipuzkoako Foru Aldundia, Donostia, p. 93-121.
 2002b 10 années de recherches archéométrurgiques en Suisse. *HA* 131/132, p. 100-110.
- Serneels Vincent et Beck Barbara
 1998 Les scories du Mont Chemin et l'utilisation de la magnétite pour fabriquer du fer par la méthode directe de réduction. *Minaria Helvetica* 18b, p. 43-65, 13 fig.
- Serneels Vincent et Crew Peter
 1997 Ore-slag relationships from experimentally smelted bog-iron ore. In: Crew Peter and Crew Susan (réd.): *Early ironworking in Europe*. Plas Tan y Bwlch Occasional Paper 3, p. 78-82.
- Serneels Vincent et Mangin Michel
 1996 Sidérurgie ancienne (Age du Fer - Moyen Age): les zones productives principales entre le Rhin, les Alpes et les Pyrénées. *RAE* 47, p. 193-198, 2 fig.
- Serneels Vincent et Perret Sébastien
 2003 Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains. In: *Archaeometallurgy in Europe*. Proceedings of the international conference, Milano, 24-26 september 2003 (vol. 1). Associazione italiana di metallurgia, Milano, p. 469-478.
- Servat Edmond
 1973 Ensembles archéologiques mérovingiens de la région ardennaise: 2 - Le site de Lumes. *Revue historique ardennaise* 8, p. 1-47, 11 fig., 16 pl.
- Simondon Gilbert
 1969 *Du mode d'existence des objets techniques*. Aubier, Paris, 265 p., ill. (Analyse et raisons 1).
- Speller Anne
 1993 Forges «Maupertuis» (Seine-et-Marne). In: Petit et Depraetère-Dargery (réd.) 1993, p. 209-210.
- Spycher Hanspeter
 1988 *La Suisse médiévale. Des Romains aux Carolingiens: le haut Moyen-Age*. 24 Heures, Lausanne, 160 p., ill. (L'Histoire suisse en images 4).
- Steiner Lucie et Menna François
 2000 *La nécropole du Pré de la Cure à Yverdon-les-Bains (IV^e-VII^e s. ap. J.-C.)*. Volume I: texte. *CAR* 75, 352 p., 270 fig.; Volume II: annexes et planches. *CAR* 76, 311 p., 495 fig., 45 pl.
- Stékoffer Sarah
 1996 *La crose mérovingienne de saint Germain, premier abbé de Moutier-Grandval (Suisse)*. *CAJ* 6, 184 p., 149 fig.
- Stoll Hermann
 1939 *Die Alamannengräber von Hailfingen in Württemberg*. Walter de Gruyter, Berlin, 83 p., 5 fig., 36 pl., 1 annexe, 3 plans. (GDV 4).
- Straube Harald
 1986 Kritische Gegenüberstellung der Theorien über die Metallurgie des Rennfeuers. *Ferrum* 57, p. 20-28.
- Stümpel Bernhard
 1974 Lörzweiler, Kr. Mainz-Bingen. *Mainzer Zeitschrift* 69, p. 253-257, 2 fig.
- Tauber Jürg
 1998 Die Eisenwerker im Röserntal. In: Ewald et Tauber (réd.) 1998, p. 241-266.

- Teichner Félix
1997 *Kahl am Main. Siedlung und Gräberfeld der Völkerwanderungszeit.* Michael Lassleben, Kallmünz, 252 p. (Materialhefte zur bayerischen Vorgeschichte A 80).
- Theune Claudia
1999 *Frühmittelalterliche Grabfunde im Hegau.* Rudolf Habelt, Bonn, 232 p., 72 fig., 31 tab., 77 pl. (Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 54; Schriften zur Archäologie der germanischen und slawischen Frühgeschichte 4).
- Thévenin André
1968 *Les cimetières mérovingiens de la Haute-Saône.* ALUB 89 (Archéologie 20), 123 p., 34 pl., 4 fig.
- Thörle Stefan
2001 *Gleicharmige Bügelfibeln des frühen Mittelalters.* Rudolf Habelt, Bonn, 394 p., 11 fig., 61 pl., ill. (Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 81).
- Thouvenin Aimé
1977 *Nouvelles observations concernant le prétendu porte-équipement mérovingien.* RAE 28.3-4, p. 387-389, 1 fig.
- Trenteseau Berthie
1966 *La damasquinure mérovingienne en Belgique. Plaques-boucles et autres accessoires de buffleterie.* De Tempel, Brugge, 206 p., 45 fig., 16 pl. (Dissertationes archaeologicae Gandenses 9).
- Troyon Frédéric-Louis
1841 *Description des tombeaux de Bel-Air près Cheseaux-sur-Lausanne.* Ducloux, Lausanne, 18 p., 5 pl., 2 plans.
- Trüllinger Samuel et Zraggen Markus
2002 *Neues zu asiatischen Krisen.* HA 131/132, p. 144-150, 16 fig.
- Tschumi Otto
1940 *Beiträge zur Siedlungsgeschichte des Aargebietes im Frühmittelalter.* *Jahrbuch des bernischen historischen Museums* 19, p. 99-168, 12 fig.
- 1945 *Burgunder, Alamannen und Langobarden in der Schweiz auf Grund der Funde im historischen Museum Bern.* Wyss, Bern, 267 p., 71 fig., 27 pl.
- 1953 *Urgeschichte des Kantons Bern (alter Kantonsteil). Einführung und Fundstatistik bis 1950.* Hans Huber, Bern et Stuttgart, 415 p., 232 fig.
- Tylecote Ronald F.
1976 *A history of metallurgy.* The metals society, London, 182 p.
- 1986 *The prehistory of metallurgy in the british isles.* The institute of metals, London, 171 p.
- 1987 *The early history of metallurgy in Europe.* Longman, London et New York, 391 p. (Archaeology series).
- Urbon Benno
1997 *Die hohe Kunst der Tauschierung bei Alamannen und Franken. Untersuchung zur Technik und ein Katalog aller tauschierten Funde in Württemberg und Hohenzollern.* Selbstverlag, Stuttgart, 230 p., 42 pl., ill.
- Urlacher Jean-Pierre, Passard Françoise et Manfredi-Gisard Sophie
1998 *La nécropole mérovingienne de la Grande Oye à Doubs, département du Doubs, VI^e - VII^e siècles après J.-C.* AFAM et RAE, 440 p., 193 fig., 57 pl., ill. (Mémoires de l'AFAM 10).
- Valais Alain
1997 *Mazé (Maine-et-Loire).* Senneçay. AM 26, p. 353.
- Vallet Françoise
1995 *De Clovis à Dagobert: les Mérovingiens.* Gallimard et Réunion des musées nationaux, Paris, 176 p., ill. (Découvertes Gallimard 268).
- Veck Walther
1931 *Die Alamannen in Württemberg. Textband.* 387 p., 15 fig.; *Tafelband.* 100 pl., 2 plans, 2 cartes. Walter de Gruyter, Berlin et Leipzig. (GDV 1).
- Vega E., Dillmann Philippe et Fluzin Philippe
2002 *Contribution à l'étude de fers phosphoreux en sidérurgie ancienne.* *La revue d'archéométrie* 26, p. 197-208.
- Viollier David
1911 *Le cimetière barbare de Beringen (Ct. de Schaffhouse).* *Indicateur d'antiquités suisses* 13.1, p. 19-37, 25 fig., 2 pl.
- Wanner Bettina
1996 *Entwicklung von Probeneinführungssystemen für die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie zur Spurenelementanalytik mit kleinen Probenmengen.* *Empa Bericht* 236, p. 124.
- Wegst C. W.
1992 *Stahlschlüssel.* Stahlschlüssel Wegst, Marbach, 612 p.
- Werner Joachim
1953 *Das alamannische Gräberfeld von Bülach.* Birkhäuser, Basel, 144 p., 14 fig., 34 pl. (Monographien zur Ur- und Frühgeschichte der Schweiz 9).
- 1961 *Katalog der Sammlung Diergardt (völkerwanderungszeitlicher Schmuck). Band 1: die Fibeln.* Mann, Berlin, 80 p., 56 pl.
- 1970 *Zur Verbreitung frühgeschichtlicher Metallarbeiten (Werkstatt – Wanderhandwerk – Handel – Familienverbindung).* *Early Medieval Studies* 1, p. 65-91, 7 fig., 9 pl.
- Wigren Sonja et Lamm Kristina
1984 *Excavations at Helgö IX. Finds, features and functions.* Kungliga Vitterhets Historica och Antikvitets Akademien, Stockholm, 98 p.
- Willems Jacques
1973 *Le quartier artisanal gallo-romain et mérovingien de «Batta» à Huy.* Service national des fouilles, Bruxelles, 64 p., 22 fig., 47 pl. (Archaeologia Belgica 148).
- Windler Renata
1992 *Das Inventar des Männergrabes 38.* In: Marti Reto et al.: *Ein frühmittelalterliches Gräberfeld bei Erlach.* SSPA, p. 53-55. (Antiqua 23).
- 1994 *Das Gräberfeld von Elgg und die Besiedlung der Nordostschweiz im 5.-7. Jh.* Kantonsarchäologie, Zürich und Egg, 356 p., 206 fig., 103 pl. (Zürcher Denkmalpflege, Archäologische Monographien 13).
- Winkelmann Wilhelm
1958 *Die Ausgrabungen in der frühmittelalterlichen Siedlung bei Warendorf (Westfalen).* In: Krämer Werner (red.): *Neue Ausgrabungen in Deutschland.* Mann, Berlin, p. 492-517.
- 1977 *Archäologische Zeugnisse zum frühmittelalterlichen Handwerk in Westfalen.* *Frühmittelalterliche Studien* 11, p. 92-126.
- Wührer Barbara
2000 *Merowingerzeitlicher Armschmuck aus Metall.* Monique Mergoïl, Montagnac, 197 p., 119 fig. (Europe médiévale 2).
- Zehner Muriel
1998 *Le Haut-Rhin.* Académie des inscriptions et belles-lettres, Paris, 375 p., 235 fig. (Carte archéologique de la Gaule 68).
- Zeiss Hans
1938 *Studien zu den Grabfunden aus dem Burgundenreich an der Rhône.* Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, 120 p., 8 pl. (Sitzungsberichte der bayerischen Akademie der Wissenschaften 7).
- Zimmermann Karl
1978 *Die frühmittelalterlichen Grabfunde von Bern-Bümpliz.* Selbstverlag, Bern, 786 p., 59 pl., 25 plans.

Catalogue

Introduction

Le catalogue comporte deux volets :

- le catalogue analytique, qui détaille les objets ou les déchets les plus significatifs ayant été analysés en laboratoire. Dans cette partie du catalogue, la présentation se déroule en fonction, soit de critères typo-technologiques (calottes, scories ferrugineuses, battitures: n° 1 à 80), soit de la localisation (déchets de forge et objets en fer: n° 81 à 864). Quelques déchets de travail des alliages cuivreux et objets en bronze ont également été analysés; ils sont signalés dans le chapitre 5 et les résultats analytiques figurent dans l'annexe 5. L'annexe 8 regroupe les 1432 calottes classées et présentant une conservation de plus de 50%: on y retrouve toutes les données chiffrées les concernant [type, longueur (cm), largeur (cm), épaisseur (cm), conservation (%), poids (g)] de même que des indications concernant la localisation, ainsi que les analyses et le calcul de la densité effectués;
- le catalogue descriptif du mobilier, dont les planches décrivent une large sélection des déchets de forge et de la métallurgie des alliages, et des objets et fragments d'objets métalliques. La présentation s'y organise en fonction de la localisation.

Catalogue analytique des calottes, scories ferrugineuses, battitures, déchets de forge et objets en fer

Chaque entrée de cette première partie du catalogue comporte la catégorie de déchet ou d'objet analysé, son numéro d'inventaire cantonal, ainsi que sa localisation sur le site (par ex. F2/Z1 = ferme 2 et zone d'activité 1; CAJ 13, chap. 4). Une iconographie complète chacune de ces entrées; en ce qui concerne les scories ferrugineuses et les déchets, se référer à leur publication exhaustive (Senn 2005).

Les numéros 1 à 25 regroupent les analyses de calottes (chap. 3.2), les numéros 26 à 70 les scories ferrugineuses (chap. 3.3.2; n° 26-47: scories ferrugineuses non travaillées; n° 48-64: scories ferrugineuses travaillées; n° 65-70: déchets en fer peu élaborés) et les numéros 71 à 80 les battitures (chap. 3.4.1).

Les numéros discontinus compris entre 81 et 864 regroupent les 22 déchets de forge (chap. 3.3.1) et les 63 objets en fer (chap. 4) analysés. Cette rupture dans la numérotation est due au fait que seul le mobilier analysé apparaît ici. Cette sélection de déchets de forge et d'objets en fer analysés se retrouve dans les planches de la seconde partie du catalogue spécifiquement dédiée à la présentation du mobilier métallique.

L'illustration des calottes 1 à 25 correspond approximativement à la moitié de la taille des pièces. Pour connaître leurs dimensions exactes, le lecteur est prié de se référer à l'annexe 8.

Préparation des calottes (n° 1 à 25)

Environ dix calottes de chaque type ont été sciées suivant leur axe principal. On a ensuite procédé, d'après leur étude morphologique, à la sélection des échantillons destinés à l'analyse chimique globale par WD-XRF. Dans chaque type, à deux exceptions près (nombre trop faible), deux échantillons au minimum ont été choisis afin d'effectuer une étude minéralogique. Pour cela, des sections polies jusqu'à 1 µm et enrobées de résine époxy ont été examinées sous le microscope à platine inversée. En fonction des besoins, ces sections polies ont été divisées en plusieurs parties. Pour l'examen métallographique, les sections polies ont subi au préalable une attaque au Nital (2%). Sur certains échantillons, on a procédé à la détermination des éléments traces dans le métal par ICP-MS, couplée avec l'ablation laser (LA-ICP-MS). Sur quelques échantillons sélectionnés à cet effet, on a enfin effectué l'examen des phases minérales sous le microscope électronique à balayage (MEB/EDS, méthode semi-quantitative) et par diffraction des rayons X (XRD), ainsi que des analyses quantitatives ponctuelles par microsonde électronique.

Type	Nb	MEB/EDS	XRD	XRF	LA-ICP-MS	Microsonde	
Aplatie	AP	147	2	1	11	2	1
Dense petite	DP	212		1	7	3	
Fluide	FL	113	2		8		2
Vitrifiée	VI	136	1		16	1	1
Bourrelet	BO	132	2	1	21	2	2
Charbonneuse	CH	118	1		7		1
Circulaire	CI	114			12	1	1
Concave	CO	115			11		
Convexe	CX	58			12		
Quille	QU	23					
Dense	DE	4			3		
Non classée	NC	260					
Total		1432	8	3	109	9	8

Fig. 258 Analyses effectuées sur les calottes (fig. 6 et 34; annexes 2 à 4).

Préparation des scories ferrugineuses (n° 26 à 70)

Les scories ferrugineuses sont avant tout composées de métal, comme cela apparaît dans les coupes, ces dernières suivant plus ou moins leur axe central. Afin de procéder à l'examen métallographique, ces sections ont été enrobées dans de la résine époxy, puis polies jusqu'à une finesse de grain de 1 µm. Elles ont ensuite été examinées sous le microscope à platine inversée. Après une attaque au Nital (2%), l'examen micrographique a été effectué sous le microscope. La teneur en carbone a alors été estimée. La structure du métal et ses propriétés mécaniques ont été régulièrement contrôlées par des mesures de dureté Vickers. Certains éléments traces dans le métal ont été déterminés par ICP-MS avec ablation laser (LA-ICP-MS). Sur quelques échantillons contenant des quantités non négligeables de scorie, on a étudié les phases minérales au microscope, plus rarement au microscope électronique à balayage (MEB/EDS, méthode semi-quantitative), et par diffraction des rayons X (XRD). Une grande partie de ces objets ont été publiés exhaustivement (Senn 2005).

Préparation des déchets de forge et des objets en fer analysés (numérotation discontinue entre 81 et 864)

A une exception près, la préparation suit celle des scories ferrugineuses. Les sections polies réalisées à partir des objets ont pour une grande partie d'entre elles été soumises à une attaque au réactif de Oberhoffer afin de mettre en évidence les ségrégations de phosphore le long des soudures.

	porosité		phosphore		acier hypereutoïde C 0,9-1,9%	
	paroi		ou	limite		fonte C 2-4%
	matériel adhérent		soudure		fonte hypereutoïde C >4%	
	ou		fer C 0%		bronze	
	corrosion		acier hypoeutoïde C 0,1-0,3%		wustite (trame 10%)	
	scorie		acier hypoeutoïde C 0,4-0,7%		leucite (trame 30%)	
	scorie vitrifiée		acier eutoïde C 0,8%		fayalite (trame 50%)	
	tache					

Fig. 259 Trames utilisées pour les dessins de coupes analytiques.

1 AP – Raffinage – DEV 994/54641 PR – F2/Z1

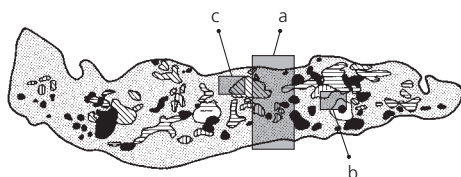
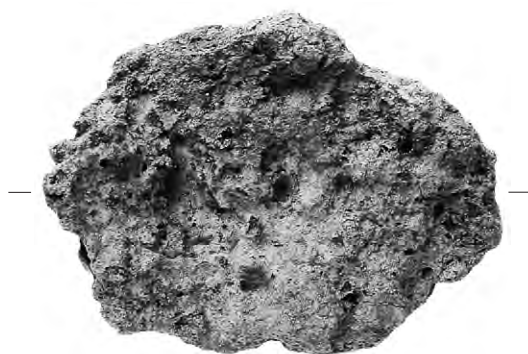
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV54641 : métal).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ovale, à surface fortement rouillée. Coupe polie permettant de distinguer une partie gris foncé formée de scorie vers la face inférieure et une partie riche en inclusions de métal vers la surface; porosité moyenne; densité élevée 3,1.

Scorie:

- scorie riche en wustite présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; partie inférieure de la calotte contenant nettement plus de wustite que la partie riche en métal (fig. a), ainsi que des dendrites grossières avec une deuxième génération de wustite fine dans la matrice, indiquant la présence de davantage de wustite; partie supérieure riche en métal avec moins de wustite, se présentant à cet endroit sous forme de fines dendrites réparties autour du métal;
- composition minéralogique, estimation visuelle:

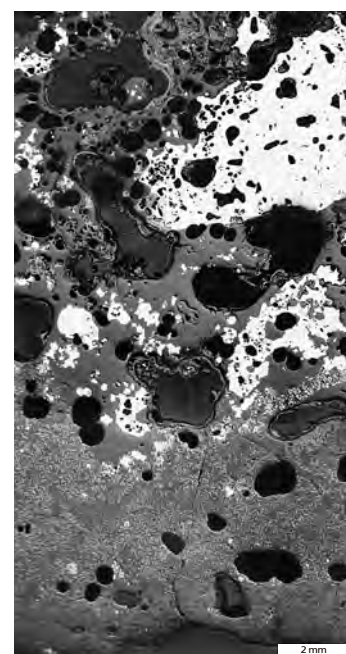
%	wustite	matrice vitreuse	métal
couche gris sombre, inférieure	40	60	-
couche gris sombre, supérieure	15	55	30



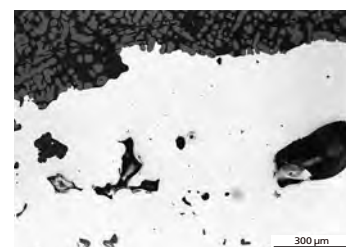
Métal:

- concentré dans la partie supérieure de la scorie; réparti sous forme de taches, de filaments et de gouttes dans la scorie; contient des replis non déformés (fig. b); structure variant de la ferrite à la bainite nodulaire vers la surface de la calotte (fig. c), indiquant un refroidissement rapide de cette surface; teneur moyenne en C du métal: environ 0,5% masse; les gouttes de wustite entourant partiellement le métal sont le signe d'une réoxydation à chaud;
- analyses LA-ICP-MS: métal pauvre en Co; par sa composition et son rapport Ni/Co, il ne correspond pas au métal typique local.

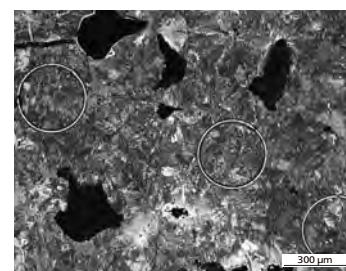
Conclusion: de par son abondance en oxydes de fer, cette calotte se rapproche des scories de raffinage (type coulée, type fluide). Une partie du métal s'est formée dans la scorie (filaments et gouttes), tandis que les taches sont des inclusions formées à partir de métal perdu durant le travail. La grande quantité de métal perdu est typique du travail d'un métal poreux: il s'agit donc d'une calotte de raffinage. La composition chimique du métal ne correspond pas à la composition typique du métal local.



a. Gris: scorie; blanc: métal; noir: porosités.



b. Blanc: métal à replis non déformés. Au-dessus, scorie à structure de dendrites de wustite, dans la matrice vitreuse.



c. Métal présentant une structure de bainite nodulaire vers la surface de la calotte; replis non déformés. Cercles: analyses LA-ICP-MS.

2 AP – Forge – DEV 995/50520 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP519: partie centrale).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ovale, non stratifiée en coupe; scorie de couleur gris moyen avec inclusions formant des taches plus sombres; scorie contenant quelques inclusions de charbon de bois dans sa partie proximale; partie distale présentant vers la surface une inclusion riche en charbon de bois, en produits de corrosion et en quartz; faible porosité; densité élevée 3.

Scorie:

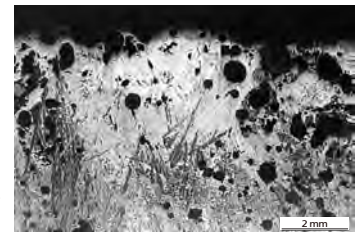
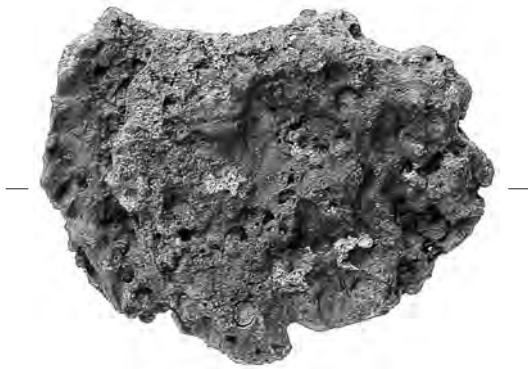
- section polie révélant la présence de nombreuses gerbes d'olivines sur la partie inférieure; également présence d'olivine équi-granulaire; taches sombres formées d'accumulations de wustite vermiculaire (fig. a), interprétées comme des reliquats de battitures oxydées; structure typique de la scorie prenant la forme de dendrites de wustite sur des olivines allongées dans une matrice vitreuse (fig. b); entre les lattes d'olivine, on trouve encore de l'olivine de deuxième génération dans la matrice vitreuse; en surface de la wustite, localement, association symplectique entre wustite et leucite;

- composition minéralogique, estimation visuelle:

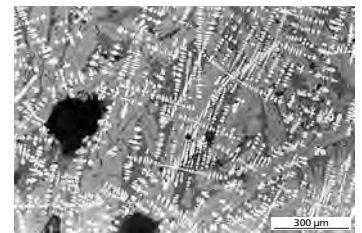
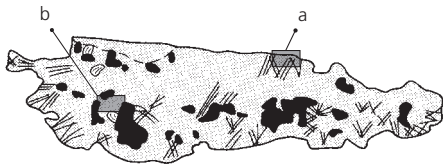
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
scorie gris moyen	55	15	30	localement

- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie plutôt riche en oxydes de fer; teneurs en CaO et MgO élevées; Ba, Co et Cr dominant parmi les éléments traces; teneur en Sr élevée; composition indiquant une influence importante du charbon de bois, par ses constituants CaO, K₂O et Sr; influence du métal se manifestant dans les éléments traces Ni et Co. La teneur en Cr étant plus importante que celle en V, la composition se rapproche de celle du matériau des parois de foyer dans lesquelles dominent Ba, Ni et Cr ou Co.

Conclusion: les inclusions de battitures et la composition chimique indiquent que cette calotte est issue du forgeage. On dénote une influence importante du métal dans sa composition. La cendre et la paroi ont également fortement contribué à la formation de la scorie.



a. Porosités en noir, gerbes d'olivines en gris foncé, et en blanc l'îlot de wustite.



b. Scorie présentant une structure de dendrites grossières de wustite, sur des olivines allongées dans la matrice vitreuse. Noir: porosités.



3 AP – Réduction – CTT 995/51924 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT549: partie centrale inférieure).

Morphologie, macrographie: composition d'après la coupe polie: environ 30% de métal (fig. a), le solde en scorie; scorie très dense; pas de stratification, couleur foncée; sur la partie proximale, matériel adhérent composé de battitures et de petites pierres; porosité moyenne; densité élevée 3,2.

Scorie:

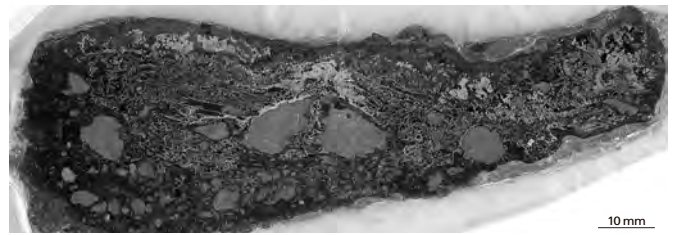
- partie inférieure riche en wustite sur olivines; solde de la scorie présentant une structure de spinelles d'hercynite sur des olivines équi-granulaires ou allongées dans une matrice vitreuse (fig. b); partie distale formée d'une matrice vitreuse contenant de nombreuses fines aiguilles d'olivine;
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	spinelle	métal
couche gris sombre, inférieure	25-40	20-50	25-40	-	-
couche gris sombre, supérieure	35	-	30	2-5	30

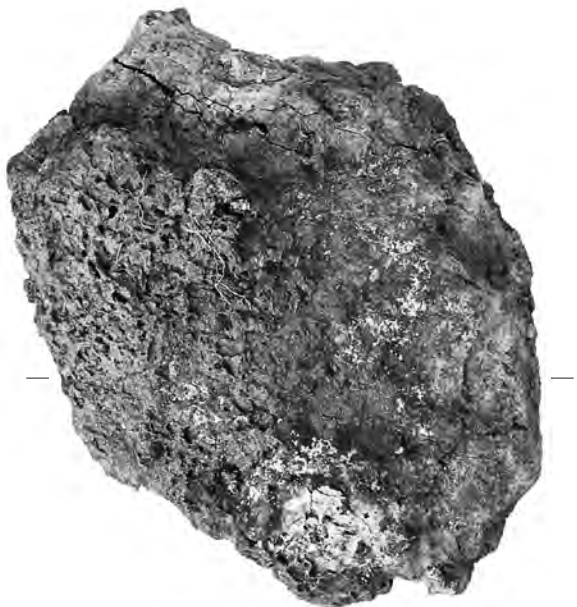
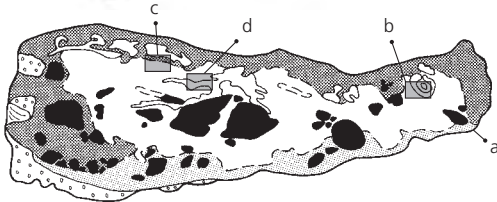
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, teneurs élevées en composants SiO₂, CaO et K₂O; V, Ba et Ni dominant parmi les éléments traces. Les éléments V et Cr, typiques des scories de réduction, se trouvent en concentrations plus élevées par rapport à celles typiques du métal et du travail de forge (Ni, Co); contribution élevée de matière sableuse, de cendre, et faible apport de scorie de réduction à la formation de la scorie.

Métal: en filaments et en gouttes (fig. c), formant des taches vers la surface. Il est en phase de formation et présente une structure ferritique (fig. d).

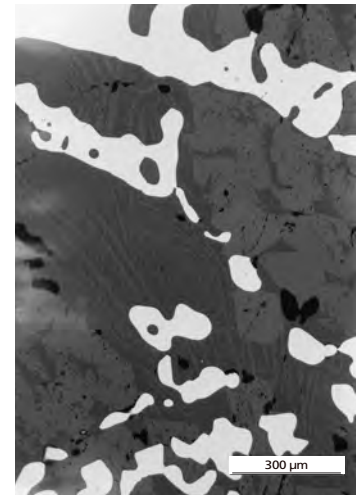
Conclusion: par sa forme ainsi que par sa composition chimique et minéralogique, cette calotte se classe parmi les scories de raffinage, tandis que la structure du métal en cours de formation évoque la réduction. Il s'agit probablement d'un fragment d'éponge de fer travaillée puis abandonnée, car trop pauvre en métal.



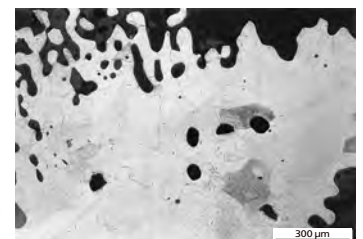
a. Coupe à travers la calotte. Gris clair: métal; gris moyen: porosités; noir: scorie.



b. Scorie à structure de spinelles sur des olivines dans la matrice vitreuse. En blanc, le métal en cours de formation.



c. En blanc, le métal. Autour, la scorie à structure d'olivine dans la matrice vitreuse.



d. En blanc, le métal présentant une structure ferritique.

4 AP – Forgeage – DEV 994/55658 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP508 : ensemble de la pièce).

Morphologie, macrographie : surface rouillée; scorie de couleur gris moyen; étude minéralogique révélant une stratification, avec trois couches séparées par des zones où les porosités se concentrent; porosité faible; peu de métal; densité élevée 3,2.

Scorie :

– entre la face inférieure et la première zone de porosité, scorie formée de grosses dendrites vermiculaires de wustite sur des olivines équi-granulaires et allongées; entre les olivines, taches de wustite et leucite en association symplectique, et olivines de deuxième génération formant de fines aiguilles et des colonies vermiculaires dans la matrice vitreuse (fig. a); au centre, couche plus riche en matrice vitreuse, présentant une structure de wustite vermiculaire partiellement transformée en métal sur des olivines allongées (plus de 400 µm) (fig. b); entre les aiguilles d’olivine, deuxième génération d’olivines formant de fines aiguilles dans la matrice vitreuse. La couche située vers la face supérieure contient moins de wustite et présente une structure de

dendrites de wustite sur des olivines allongées, plus courtes que dans la couche précédente (230 µm), et noyées dans la matrice vitreuse.

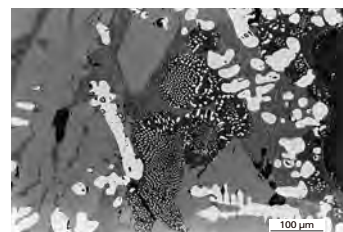
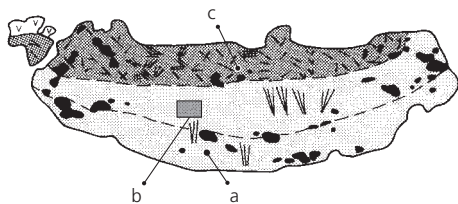
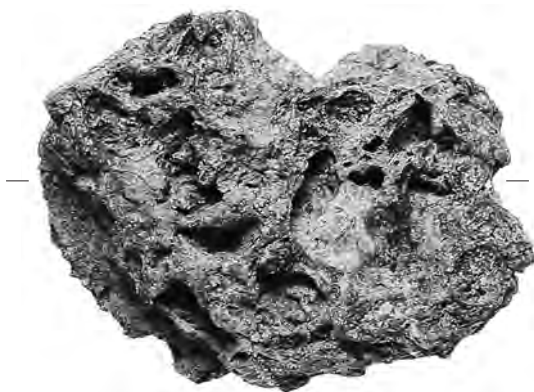
Entre les aiguilles d’olivine, on trouve également, comme précédemment, de fines aiguilles d’olivine de deuxième génération (fig. c);

– composition minéralogique, estimation visuelle:

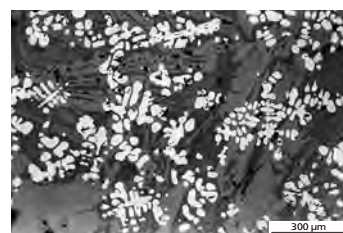
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
couche gris moyen, inférieure	60	25	10	5
couche gris moyen, centrale	50	25	25	-
couche gris moyen, supérieure	50	10	35	-

– composition chimique: d’après l’analyse WD-XRF, la calotte est relativement riche en oxydes de fer. La composition en Ni, As et Co dominant parmi les éléments traces indique que le métal y joue une grande part. Ce dernier est de composition similaire à celle du métal typique local.

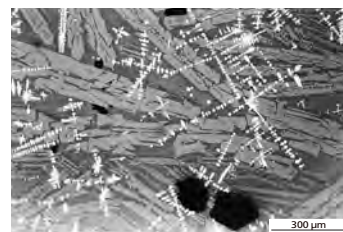
Conclusion : la composition chimique et la morphologie de la calotte indiquent qu’elle est issue d’un travail de forge en trois étapes.



a. Couche inférieure: dendrites de wustite sur olivines et taches de leucite symplectique avec la wustite, dans la matrice vitreuse.



b. Couche centrale: dendrites de wustite et fer sur des olivines allongées, dans la matrice vitreuse.



c. Couche supérieure: dendrites de wustite sur des olivines allongées, dans la matrice vitreuse.

5 AP – Raffinage – DEV 994/54674 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude métallographique avec attaque du métal aux réactifs de Nital et de Oberhoffer pour la mise en évidence du P, MEB/EDS des phosphures dans le métal.

Morphologie, macrographie: calotte très riche en métal et contenant peu de scorie vitreuse (fig. a); surface fortement rouillée; agglomérats de métal très poreux, attaqués par la corrosion en surface et dans les cavités, signes d'une oxydation à chaud; zone riche en charbon de bois vers la face inférieure de la scorie; cavités contenant des inclusions de type agglomérat, avec métal corrodé, métal, un peu de quartz ainsi que du charbon; autour du métal et dans quelques cavités, scorie vitreuse ne formant qu'exceptionnellement des aiguilles d'olivine; scorie vitreuse ne remplissant que partiellement les cavités; densité élevée 3,6.

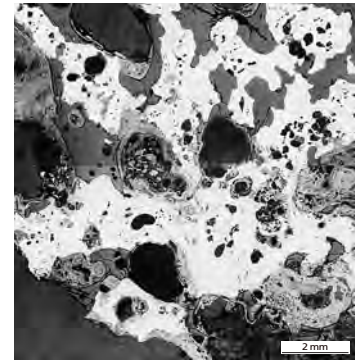
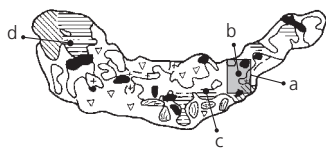
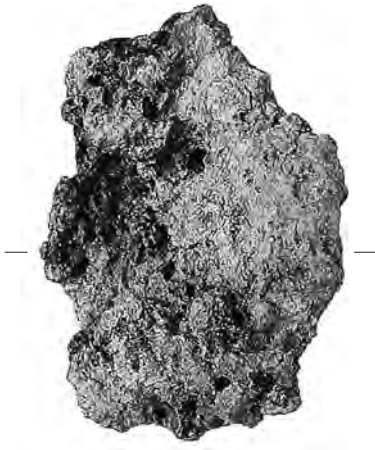
Métal:

- à l'état non attaqué, métal contenant un réseau de couleur foncée, dans la partie inférieure duquel se trouvent des phosphures (l'attaque au réactif d'Oberhoffer confirme cette interprétation); vers la face inférieure de la pièce, on trouve également localement des reliquats de lédéburite dans les produits de corrosion. La structure du métal est la suivante: partie inférieure fortement attaquée par la

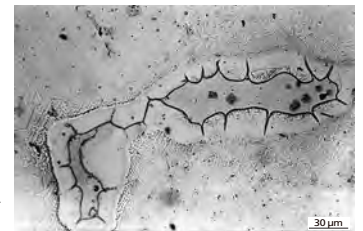
corrosion et présentant une structure perlitique avec présence locale de lédéburite (C: env. 0,6% masse), signe d'une forte cémentation; vers l'intérieur, on trouve ensuite un acier hypoeutectoïde (ferrite aciculaire et perlite, C: jusqu'à 0,4% masse, fig. d) contenant par endroits des phosphures; le solde présente une structure de ferrite, avec peu de cémentite aux joints de grains (C: env. 0,1% masse), la ferrite contenant des phosphures de forme réticulaire (fig. c);

- composition chimique: d'après l'analyse MEB/EDS des inclusions biphasées riches en phosphore (fig. b), ces phosphures (composants: Fe, traces de P) contiennent souvent des noyaux de sulfures (composants: Fe, O, traces de S).

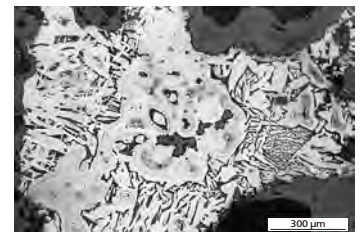
Conclusion: la qualité du métal correspond à celle d'un fragment d'éponge de fer sur laquelle on a commencé un travail de raffinage. Les pores ne sont pas fermés. Le métal présente des signes d'une oxydation à chaud. L'ensemble de la pièce a subi une forte cémentation, qui part de la face inférieure et qui a dû être de longue durée. La scorie vitreuse indique que ce processus s'est déroulé à haute température: il est probable que ce métal s'est aggloméré, lors d'une phase secondaire, dans un foyer de forge.



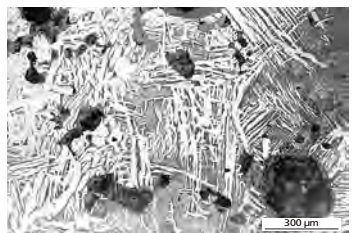
a. Blanc: métal; gris clair: produits de corrosion; gris sombre: scorie (matrice vitreuse).



b. Métal non attaqué, avec une inclusion biphasée (phosphure et sulfate).



c. Ferrite et perlite avec des phosphures, autour des produits de corrosion.



d. Perlite et ferrite aciculaire.

6 AP – Début de raffinage – DEV 994/50397 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude métallographique, mesure de dureté Vickers (métal).

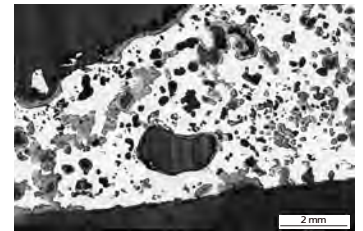
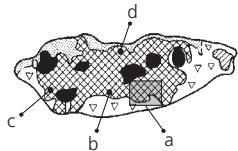
Morphologie, macrographie : calotte formée de métal; surface corrodée et partiellement enrobée de scorie; densité élevée 4,1.

Scorie : surface du métal partiellement enrobée d'une couche de scorie riche en oxydes de fer, ces derniers se présentant sous la forme de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse (fig. d).

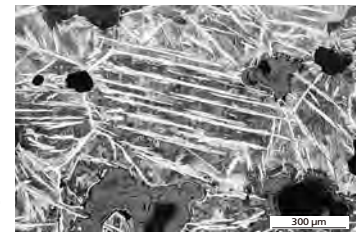
Métal : innombrables replis (fig. a), les plus petits étant très souvent déformés – la calotte peut cependant provenir du tout début des opérations de raffinage, ses grands replis n'étant pas touchés par la déformation;

produits de corrosions contenant des reliquats d'aiguilles de cémentite; qualité du métal: acier hypereutectoïde (C: 0,9% masse; fig. b et c) avec structure de cémentite secondaire (HV0.1 230-320) et de ferrite aciculaire (HV0.1 176) dans une perlite lamellaire (HV0.1 189-230); surface décarburée formée de perlite très fine (HV0.1 243; fig. d); partie inférieure de la calotte contenant des aiguilles de cémentite plus grossières que celles de la partie supérieure.

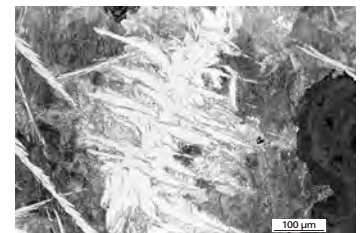
Conclusion : fragment d'éponge témoignant d'une décarburation d'un acier hypereutectoïde (C: 0,9% masse) non élaboré. La décarburation insuffisante est certainement la cause de son abandon.



a. Métal à nombreux replis peu déformés, et produits de corrosion dans les porosités.



b. Aiguilles de cémentite secondaire et perlite, replis et produits de corrosion.



c. Ferrite aciculaire, cémentite secondaire et perlite.



d. Surface décarburée à structure de perlite, enrobée de scorie (wustite dans la matrice vitreuse).

7 AP – Raffinage – DEV 994/50221 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP5051 : partie supérieure claire, DLP5052 : partie inférieure riche en métal), MEB/EDS (partie supérieure), XRD (partie supérieure), microsonde (partie supérieure), LA-ICP-MS (DEV66a, métal).

Morphologie, macrographie : calotte de forme circulaire, avec petit bourrelet sur le bord, faiblement rouillée. Stratification en coupe : sur la partie inférieure, strate riche en métal et en produits de corrosion, avec de la scorie gris foncée ; au-dessus, formation au centre d'un noyau de scorie dense de couleur gris moyen, enrobé de scorie poreuse de couleur gris clair ; pores contenant des matériaux non fondus (battitures lamellaires, quartz) ; très rares inclusions de charbon de bois ; densité faible 2,6.

Scorie :

- phases minérales ne reflétant pas nettement la stratification : la scorie contient partout les mêmes phases minérales (olivine, leucite, matrice vitreuse, peu d'oxydes de fer), avec de petites variations dues aux changements de vitesse de refroidissement et à l'augmentation de la teneur en matrice vitreuse vers la surface (fig. a, b) ; olivines à bords zonés riches en CaO (composition entre la fayalite et la kirschsteinite, fig. c), sauf dans la partie inférieure, sans bords zonés ; oxydes de fer se situant entre la wustite et le spinelle (enrichissement en Al et Ti) ; olivines souvent en association symplectique avec la leucite, elle-même en association symplectique avec les oxydes de fer ; dans la couche supérieure, leucite formant des cercles et des taches, et des

cristaux presque prismatiques dans le noyau dense ; olivines très allongées vers la surface et autour du plus grand noyau, où la leucite se cristallise entre les lattes d'olivines ;

- composition minéralogique, estimation visuelle :

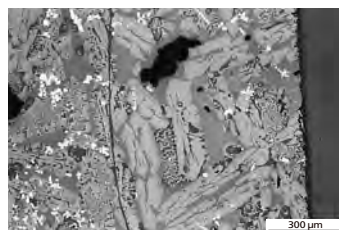
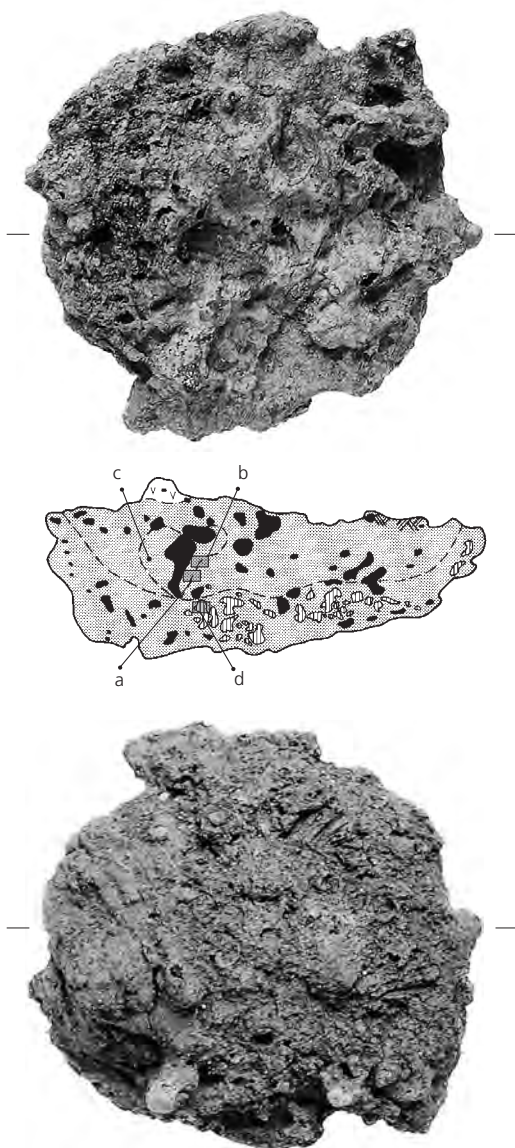
%	olivine	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
couche gris sombre, inférieure	65	1	4	10	20
couche gris clair, supérieure	55	5	15	25	-

- composition chimique : analyse WD-XRF de la couche inférieure riche en métal indiquant sa teneur élevée en oxydes de fer ; parmi les éléments traces, teneurs en As et Ni très élevées, et basse en Co, composition témoignant d'une importante contribution du métal dans la formation de cette couche ; partie supérieure claire riche en SiO₂, CaO et K₂O ; Ba, Cr et Co dominant parmi les éléments traces, composition témoignant d'une contribution de la cendre (CaO et K₂O) et de la paroi (SiO₂, Ba, Cr, Co) dans la formation de la couche.

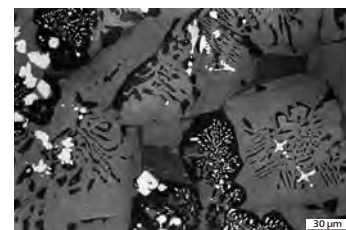
Métal :

- présent sous forme de gouttes et souvent, également, sous forme de fragments plus ou moins corrodés et oxydés à chaud ; pas de replis semi-fermés (dû à la corrosion) ; acier hypoeutectoïde avec très peu de cémentite aux joints de grains, ou structure de Widmannstätten plus riche en C (C : 0,1-0,4% masse ; fig. d) ;
- analyse LA-ICP-MS : riche en As, Ni et Co ; rapport Ni/Co typique du métal local, mais les concentrations en ces éléments sont ici plus élevées ; P bas.

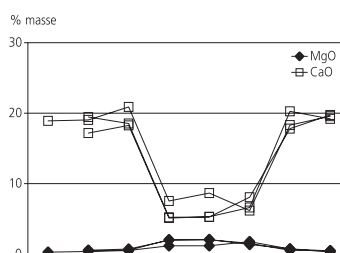
Conclusion : l'examen de la calotte indique que l'on a travaillé un acier non élaboré dans des conditions oxydantes (couche inférieure). Dans la deuxième phase de travail (couche supérieure), le métal semble avoir été protégé d'une trop forte oxydation par un mélange d'argile et de cendre.



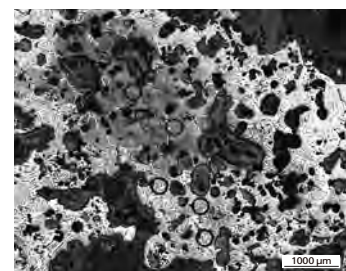
a. Spinelles et dendrites (blanc) sur olivines (gris moyen) et leucite (gris sombre) dans la matrice vitreuse.



b. Spinelles et dendrites (blanc) sur olivines à bord zoné (gris moyen), et leucite (gris sombre) dans la matrice vitreuse.



c. Analyses microsonde. Répartition des oxydes de Mg et de Ca dans les olivines à bord zoné : bords enrichis en CaO.



d. Dans la scorie, tache de métal à structure de ferrite (blanc) et de perlite (gris). La zone proche de la scorie semble décarburée.

8 DP – Forgeage – DEV 994/54720 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP5101 : couche supérieure, DLP5102 : couche inférieure), XRD (couche supérieure), LA-ICP-MS (DEV1190 : métal).

Morphologie, macrographie : on distingue dans la partie inférieure une couche dense gris sombre et en surface une couche gris clair riche en métal ; sur le plan microscopique, différenciation de 2 à 4 couches différentes ; densité moyenne 2,8.

Scorie :

- partie inférieure : couche riche en olivines et métal corrodé ; olivine équigranulaire ; fragments de métal inclus ; entre les cristaux d'olivine, leucite en association symplectique avec la wustite ; le tout est noyé dans la matrice vitreuse (fig. a). Au centre, zone plus riche en wustite ; dans une première phase, il s'est formé à cet endroit de la wustite dendritique, sous laquelle se trouve comme phase dominante de l'olivine équigranulaire ou en prismes courts allongés ; entre les prismes, leucite en association symplectique avec la wustite et peu de matrice. Couche supérieure de couleur gris clair, riche en métal ; l'olivine reste la phase dominante et se présente à cet endroit dans tous ses habitus : équigranulaire, allongée (fig. b), en association symplectique ; couche plus riche en leucite que les autres couches ; leucite formant des taches et des cercles ; la wustite dendritique n'est plus présente que sous forme de reliquats de battitures non dissoutes dans la scorie ; analyse XRD confirmant la présence des phases minérales fayalite et leucite ; la quantité de wustite est trop faible (limite de détection 5%) pour être décelée ;

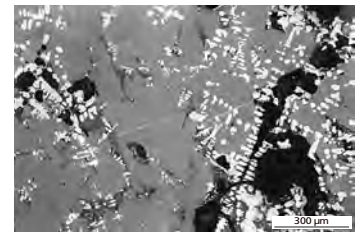
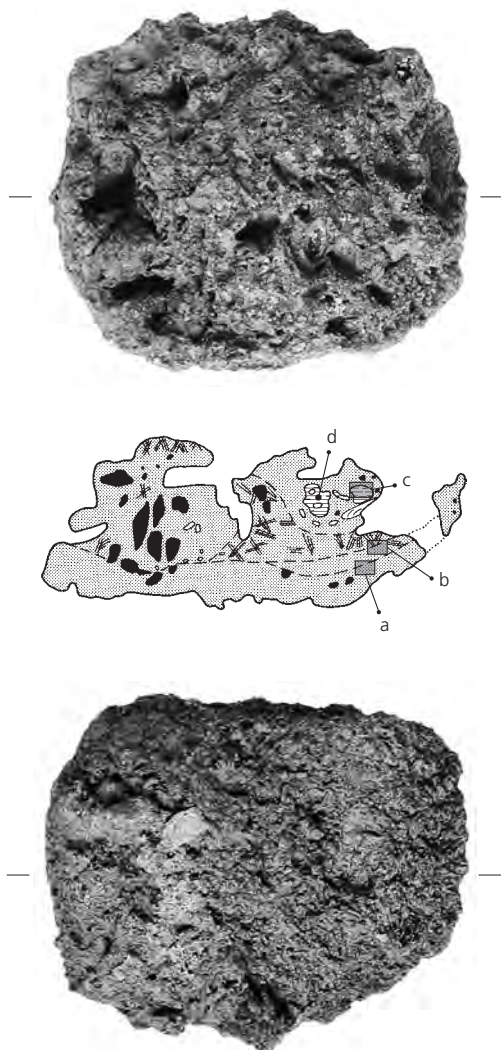
- composition minéralogique, estimation visuelle :

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
couche inférieure, gris sombre	70-80	5-10	5-20	5-15
couche supérieure, gris clair	60	5	15	20

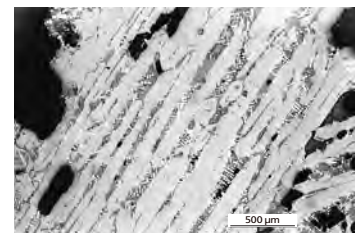
- composition chimique : d'après l'analyse WD-XRF effectuée sur la couche inférieure, elle est riche en oxydes de fer ; dominance des éléments traces As et Ni, éléments indiquant une influence du métal dans la formation de la scorie, ce qui la classe parmi les scories de forge ; l'analyse effectuée sur la partie supérieure, à l'exclusion des parties métalliques, montre que cette couche contient moins d'oxydes de fer que la couche inférieure, mais qu'elle est par contre plus riche en éléments K et P, signes d'une influence de la cendre lors de sa formation ; As, Ba et Ni dominant parmi les éléments traces ; on constate dans cette couche, en plus de l'apport du métal, l'influence d'un décapant (matériau argilo-sableux et cendre) dans la formation de la scorie.

Métal : métal de la couche supérieure contenant des replis (fig. c), dont quelques-uns fermés ou demi-fermés, attestant ainsi d'un léger travail du métal ; ce dernier présente la qualité d'un acier eutectoïde et d'un acier hypoeutectoïde (fig. d ; C : 0,8% masse, perlite lamellaire, et C : 0,4% masse, perlite et ferrite aciculaire, dans les deux inclusions métalliques) ; dans la partie analysée par LA-ICP-MS, teneur en C plus basse, signe d'une décarburation plus forte ; cette analyse montre que le métal est riche en As, Ni et P ; contenu en As très élevé.

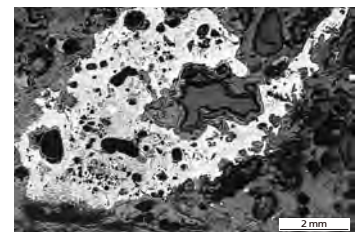
Conclusion : scorie de fin de forgeage, témoignant de plusieurs étapes de travail contenant un acier non élaboré.



a. Couche gris sombre : dendrites de wustite sur olivines, leucite symplectique avec la wustite. Noir : porosités.



b. Couche gris clair : dendrites de wustite sur olivines allongées, leucite symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.



c. Inclusion d'acier hypoeutectoïde ; nombreux replis non déformés dans la scorie.



d. Acier eutectoïde à bord décarburé : perlite lamellaire et ferrite aciculaire.

9 DP – Raffinage – DEV 994/54872 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP502 : ensemble de la calotte), LA-ICP-MS (DEV994/1525 : métal), mesure de dureté Vickers (métal).

Morphologie, macrographie: face inférieure fortement rouillée; calotte non stratifiée, mais très poreuse; métal se concentrant dans la partie inférieure; partie supérieure contenant plusieurs inclusions de charbon de bois de feuillus; scorie de couleur gris moyen contenant des inclusions de déchets de forge non fondus (battitures, quartz) et des reliquats de battitures sous forme d'oxydes de fer; densité moyenne 2,9.

Scorie:

- scorie riche en olivines, présentant souvent une structure en dendrites de wustite sur olivines dans la matrice vitreuse (fig. a); localement, près de la surface, oxydes de fer formant des vermicules tandis que les olivines en forme de prismes allongés formant des branches dominant, indiquant une fin de travail avec refroidissement rapide de la scorie; dans le reste de la scorie, habitus contenant des olivines variant des aiguilles très fines jusqu'aux cristaux équigranulaires: les températures de croissance des cristaux différent donc sans règle précise; dans la partie inférieure, autour du métal, dendrites de wustite très fines; olivines et wustite en association symplectique avec la leucite très rares;

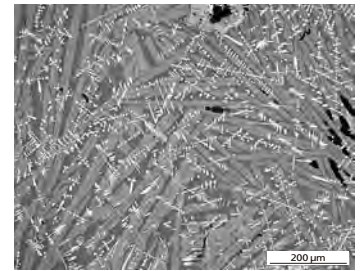
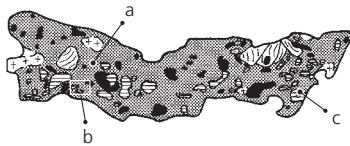
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
scorie gris moyen	50	5	25	localement	20

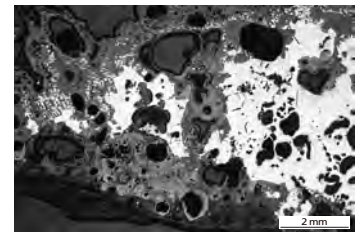
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie riche en oxydes de fer; As et Ni dominant parmi les éléments traces; composition témoignant d'une forte contribution du métal dans la formation de la scorie.

Métal: forme des filaments et des fragments (fig. b): filaments autour du charbon de bois, corrodés où il y a contact direct, et fragments vers la face inférieure; à côté de replis non déformés, replis à demi-fermés témoins d'un léger travail du métal; métal attaqué localement par la corrosion intergranulaire; grandes parties du métal corrodées. Le métal s'est perdu dans des conditions oxydantes à chaud, car les bords présentent des alignements de wustite pénétrant dans le métal; métal de qualité d'un fer et d'un acier hypoeutectoïde (C moyen: 0,4% masse, fig. c); structure variant de la ferrite écrouie, témoignant d'un martelage, à la perlite avec ferrite aciculaire (HV0.2 95-213); analyse LA-ICP-MS effectuée sur l'acier hypoeutectoïde (C: 0,7% masse): métal riche en Ni et As, mais pauvre en P, typique du métal présent dans les calottes.

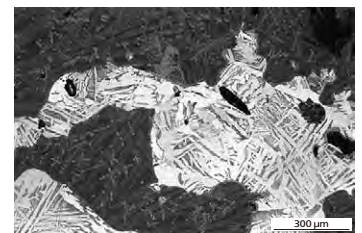
Conclusion: il s'agit d'un déchet provenant du compactage d'un acier non élaboré, mais martelé, qui a été travaillé dans un milieu oxydant.



a. Scorie gris moyen. Dendrites de wustite sur olivines allongées, dans la matrice vitreuse.



b. Inclusions de métal à replis non déformés, dans la scorie poreuse.



c. Inclusion d'acier hypoeutectoïde à structure de Widmannstätten dans la scorie.

10 DP – Forgeage – DEV 994/54485 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP504: ensemble de la calotte), LA-ICP-MS (DEV700: métal).

Morphologie, macrographie: orientation difficile à trouver: face supérieure probablement localisée là où la calotte présente un aspect plus liquide, se manifestant par une zone à grandes aiguilles d'olivines. Sur la coupe polie, forte porosité, mais pas de stratification; métal concentré au centre; scorie et métal fortement attaqués par la corrosion; partie inférieure de la scorie, de couleur gris clair, contenant plusieurs inclusions de charbon de bois résineux et de quartz; densité moyenne 2,8.

Scorie:

- riche en fayalite, peu d'oxydes de fer et peu de leucite (fig. a); olivines se présentant surtout sous forme d'aiguilles; une petite partie est équi-granulaire ou en association symplectique avec la leucite; aiguilles d'olivine plus longues (refroidissement plus rapide) vers la face inférieure; wustite en dendrites ou en association symplectique avec la leucite;

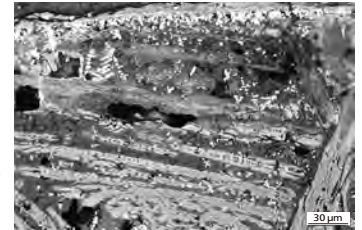
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
scorie gris clair	49-58	1-10	40	1

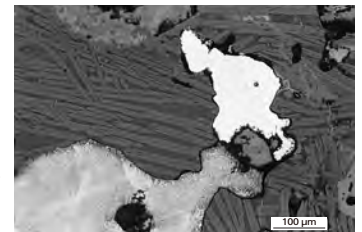
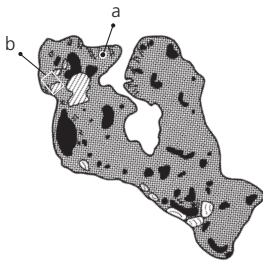
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, le métal a contribué fortement à la formation de la scorie; teneurs élevées en oxydes de fer, Ni et As.

Métal: métal inclus contenant d'innombrables replis non déformés avec oxydation interne; aucune trace de déformation; a subi une oxydation à chaud; principalement composé d'acier eutectoïde (90%), avec un peu d'acier hypoeutectoïde et de ferrite (fig. b); d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en As, typique du métal présent dans les calottes.

Conclusion: scorie de forgeage témoignant du travail d'un acier non élaboré, dans des conditions oxydantes.



a. Scorie gris clair, attaquée par la corrosion. Dendrites de wustite sur olivines allongées, dans la matrice vitreuse.



b. Inclusions d'acier eutectoïde et de fer (en blanc), dans de la scorie purement fayalitique.



11 FL – Forgeage – DEV 994/56393 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP535 : centre), MEB/EDS (partie supérieure).

Morphologie, macrographie : surface d'aspect fluide et noir ; stratification en coupe ; couleur gris foncé ; partie inférieure plus dense que le reste de la scorie, contenant une grosse inclusion de charbon de bois de conifère ; riche en métal corrodé ; vers la surface, inclusions contenant des fragments de scorie et de métal ; densité élevée 3,1.

Scorie :

- essentiellement structure de dendrites de wustite grossières sur olivines allongées riches en CaO dans la matrice vitreuse ; vers la surface, aiguilles d'olivine devenant très fines, témoignant d'un refroidissement plus rapide (fig. b) ; certaines zones présentent une structure uniquement fayalitique ; dans la partie inférieure, zone riche en

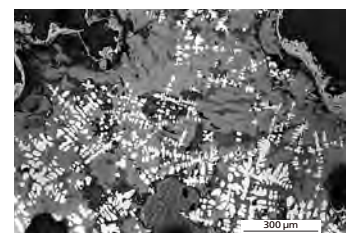
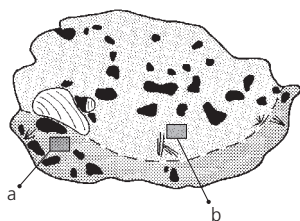
métal corrodé, également leucite idiomorphe et en forme de cercles : l'olivine est ici équi-granulaire (fig. a) ;

- composition minéralogique, estimation visuelle :

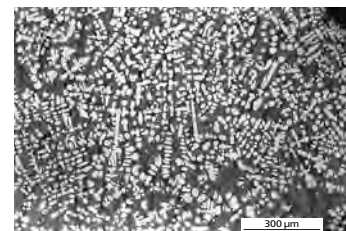
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
partie inférieure, gris sombre	80	10	5	5
partie supérieure, gris sombre	35-45	40-50	15	-

- composition chimique : d'après l'analyse WD-XRF, il s'agit d'une scorie riche en fer, sans indicateurs plus précis ; Ba, Co et V dominent parmi les éléments traces.

Conclusion : la scorie témoigne d'une forte influence du métal dans sa formation. Il s'agit d'une scorie de forge.



a. Partie inférieure : dendrites de wustite (blanc) sur olivines équi-granulaires (gris clair) et leucite symplectique (gris sombre) avec la wustite dans la matrice vitreuse.



b. Partie supérieure : dendrites de wustite (blanc) sur olivines allongées (gris clair) dans la matrice vitreuse (gris sombre).

12 FL – Fin de raffinage – DEV 995/50192 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, XRF (DLP536 : ensemble de la calotte), MEB/EDS et microsonde (P. Kresten, Uppsala, sur l'ensemble de la calotte).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ovale. Coupe d'aspect irrégulier; surface foncée, liquéfiée; sur la section polie, scorie stratifiée, de couleur foncée; dans sa partie inférieure, couche riche en charbon de bois et en métal corrodé; inclusions de gravier; forte porosité; densité basse 2,4.

Scorie:

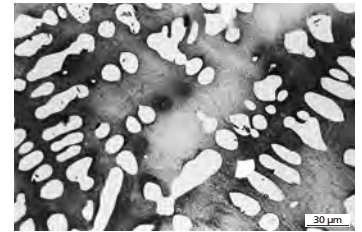
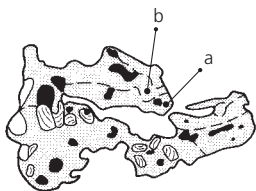
- au centre, couche contenant une matrice vitreuse riche en wustite (fig. a); localement, wustite associée avec hercynite; on trouve dans la matrice vitreuse une phase très fine (olivines allongées?); vers la surface, scorie à structure de wustite dendritique et vermiculaire fine sur olivines allongées (fig. b); localement, également hercynite et inclusions de scorie présentant une structure de leucite avec fayalite grossière;

- composition minéralogique, estimation visuelle:

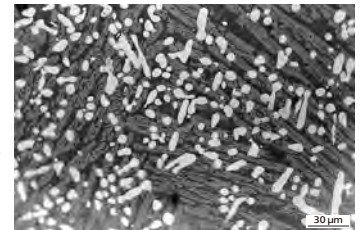
%	fayalite	wustite	matrice vitreuse	hercynite	leucite
couche centrale, gris sombre	- (?)	40	60	(1)	-
couche supérieure, gris sombre	40	40-50	10	(1)	(5)

- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, il s'agit d'une scorie riche en fer et en Al₂O₃; V, Ba et Co dominant parmi les éléments traces; rapport entre V et Cr est de 1/2; la dominance des composants typiques des scories de réduction (Al₂O₃, V, Cr) indique qu'elles ont contribué à la formation de la calotte.

Conclusion: la présence d'hercynite et la composition chimique de la scorie révèlent qu'une faible quantité de scorie de réduction a contribué à la formation de la calotte. Il s'agit donc d'une scorie de fin de raffinage.



a. Scorie sombre, partie centrale: dendrites de wustite dans la matrice vitreuse, avec phase fine non identifiée.



b. Scorie sombre, partie supérieure: wustite vermiculaire (gris clair) sur des olivines allongées (gris moyen), dans la matrice vitreuse (gris sombre).

13 FL – Intermédiaire raffinage / forgeage – CTT 994/53730 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT541 : ensemble de la calotte), microsonde (partie latérale).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ovale, épaisse, avec de nombreuses empreintes de charbon de bois en surface. Non stratifiée en coupe, mais nombreuses inclusions de charbon de bois et d'un mélange d'argile, de quartz, de battitures lamellaires (fig. a) et de métal corrodé vers la surface; couleur foncée; forte porosité; densité moyenne 2,8.

Scorie:

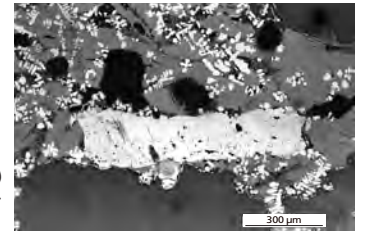
– structure riche en wustite sur olivines de forme allongée, riches en CaO (fig. b, c); olivines équi-granulaires souvent zonées, avec inclusions de spinelle (hercynite) dans le bord; entre les olivines, leucite en association symplectique avec la wustite et la matrice vitreuse; localement, matrice vitreuse enrichie en Al₂O₃ contenant de la rhönite;

– composition minéralogique, estimation visuelle:

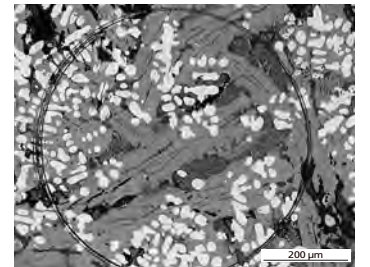
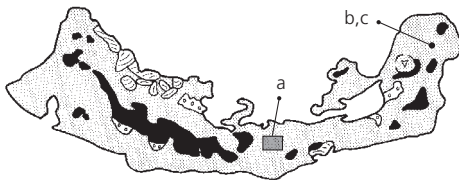
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	hercynite	rhönite
scorie gris sombre	60	30	5	3	1	1

– composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie riche en oxydes de fer; Ba, Co et Cr dominant parmi les éléments traces: ces traces sont typiques de la paroi qui a contribué pour une part importante, en plus du métal, à la formation de la scorie.

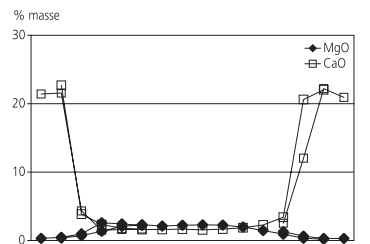
Conclusion: la composition minéralogique (richesse en wustite) est typique des calottes de type fluide. De par sa composition chimique, cette calotte est proche de la forge, mais sa composition minéralogique indique également l'influence du raffinage. Il s'agit d'une scorie intermédiaire.



a. Inclusion d'une battiture (blanc) dans de la scorie fayalitique; noir: porosités.



b. Dendrites de wustite (gris clair) sur des olivines allongées avec un bord zoné (gris moyen), et taches de leucite symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.



c. Analyses microsonde. Répartition des oxydes de Mg et de Ca dans les olivines étudiées. Les bords des olivines sont enrichis en CaO.

14 VI – Forgeage – CTT 995/50516 TI – Z4

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (CTT5641 : parties gris clair et gris moyen; CTT5642 : partie gris foncé).

Morphologie, macrographie : calotte de forme ovale, à surface d’aspect vitrifié; poids d’environ 1 kg, ce qui est relativement lourd pour une calotte de cette catégorie. Stratification en coupe; partie inférieure formée d’une couche sombre à faible porosité et contenant du métal en grande partie corrodé; partie centrale de couleur gris clair contenant de grosses inclusions de charbon de bois; couleur passant au gris moyen vers la face supérieure; parties centrale et supérieure à porosité moyenne; quasi-totalité de la surface recouverte d’une couche vitrifiée, riche en petites inclusions de quartz; densité basse 2,5.

Scorie :

- couche inférieure : structure de wustite sur olivines allongées et équi-granulaires (fig. a), wustite en association symplectique dans leucite idiomorphe, dans une faible quantité de matrice vitreuse; teneur en wustite diminuant et prenant une forme plus fine vers l’intérieur de la scorie; couche centrale : structure de leucite idiomorphe et symplectique avec les olivines allongées dans la matrice vitreuse (fig. b); couche supérieure : structure d’olivine allongée avec quelques îlots de leucite et un peu de spinelles ou d’oxydes de fer dans la matrice vitreuse (fig. c, d); en surface, dans les parties entièrement fondues,

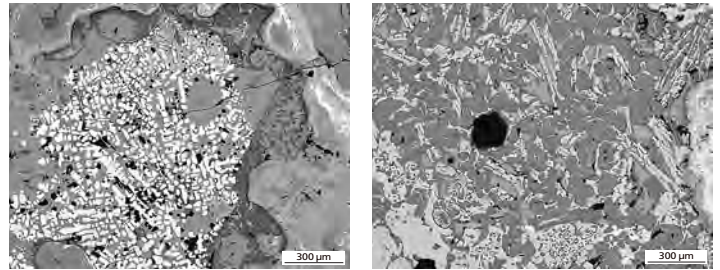
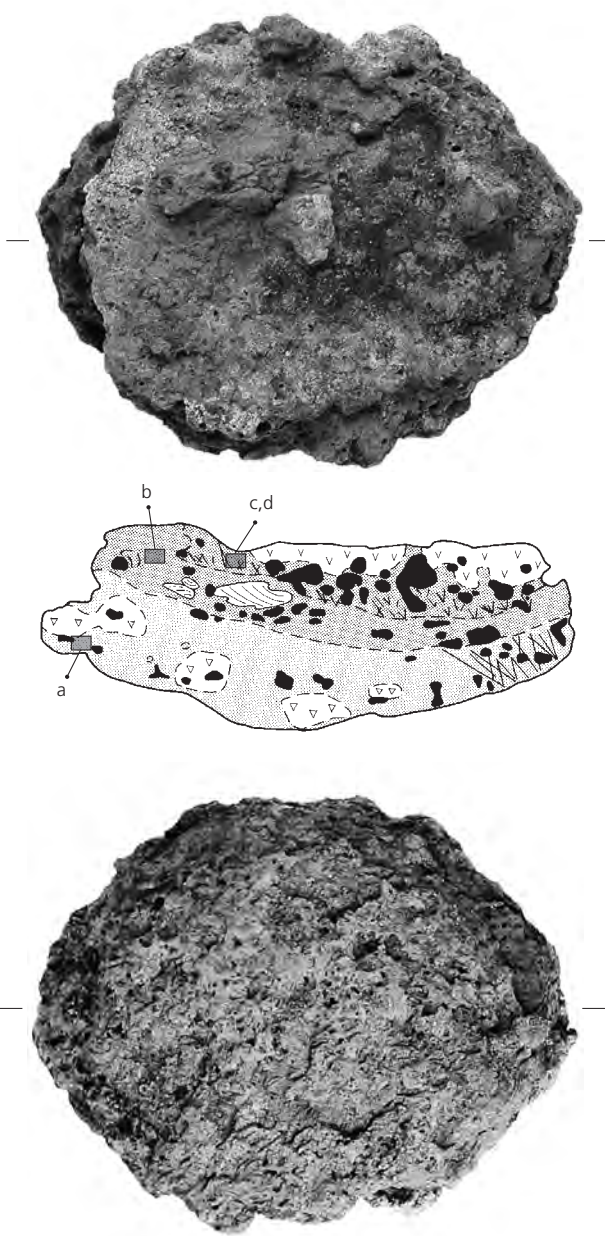
matrice vitreuse prenant une couleur bleuâtre à l’examen en lumière polarisée;

- composition minéralogique, estimation visuelle:

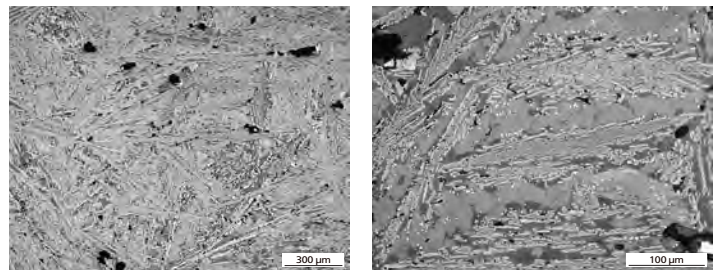
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal corrodé
couche inférieure, gris sombre	30 (60)	30 (6)	5	10	20
couche centrale, gris clair	30	-	50	20	-
couche supérieure, gris moyen	30	-	65	5	-

- composition chimique : analyse WD-XRF de la couche inférieure révélant une couche riche en oxydes de fer et pauvre en SiO₂; concernant les éléments traces, teneur en Cr un peu plus élevée que celle en V et teneur en Co plus élevée que celle en Ni; composition typique de la paroi indiquant que du métal et de la paroi ont contribué à la formation de cette scorie de forge; analyse effectuée sur les couches supérieures révélant une teneur élevée en SiO₂ et faible en oxydes de fer; olivines probablement enrichies en CaO et MgO car ces couches présentent des teneurs élevées en ces deux oxydes; teneur élevée en K₂O indiquant un apport possible de cendre lors de la formation de la scorie; concernant les éléments traces, la teneur en Cr est toutefois trois fois plus élevée que celle en V, indiquant que ces éléments proviennent probablement de la paroi, cela d’autant plus que les teneurs en Rb et Ba sont elles aussi élevées; il s’agit donc d’une scorie de forge présentant un fort apport en paroi et en cendre.

Conclusion : scorie de forge présentant une première étape de travail avec adjonction de paroi. Dans une deuxième étape, le travail s’est poursuivi en utilisant un décapant argilo-sableux et de la cendre.



a. Couche gris sombre : dendrites de wustite sur des olivines et de la leucite, et produits de corrosion. b. Couche gris clair : leucite idiomorphe et symplectique avec les olivines, dans la matrice vitreuse.



c. Couche gris moyen : olivines très fines avec de la leucite dans la matrice vitreuse. Noir : porosités. d. Détail de la couche gris moyen : olivines très fines avec de la leucite en bordure, dans la matrice vitreuse.

15 VI – Forgeage – DEV 994/54723 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, XRF (DLP5091 : bourrelet, DLP5092 : couche inférieure), analyses MEB/EDS (ensemble de la calotte), LA-ICP-MS (DEV994-1197B : métal), mesure de dureté Vickers (métal), microsonde (ensemble de la calotte).

Morphologie, macrographie: calotte de forme circulaire, à surface vitrifiée, se présentant en coupe comme un agglomérat de scorie et de matériel vitrifié; partie inférieure: couche de scorie de couleur gris clair à blanche, renfermant une grosse inclusion de métal ainsi que des taches sombres formées d'îlots de wustite, reliquats de croûtes de métal oxydées; calotte recouverte d'une couche argilo-sableuse riche en inclusions de quartz et de verre; surface recouverte d'une mince couche de scorie; densité basse 2,4.

Scorie:

- couche inférieure contenant de grandes olivines riches en Mg, allongées, en gerbe (fig. a) et partiellement en association symplectique avec la leucite; par endroits, cette dernière forme également des cristaux équigranulaires (fig. b); différences de couleur entre les couches dues à des différences dans la composition de la matrice vitreuse, très riche en SiO₂; partie de couleur gris clair contenant deux fois moins de CaO que la partie blanche; cette couche est formée d'une matrice vitreuse contenant des inclusions de quartz; surface recouverte d'une fine couche de scorie, constituée d'une matrice vitreuse renfermant des olivines et des oxydes de fer;

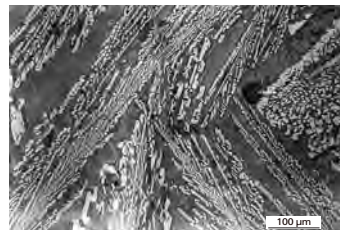
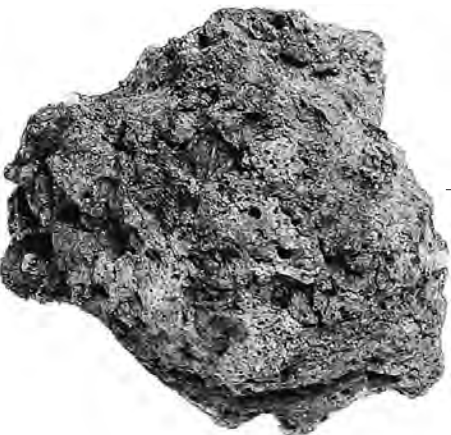
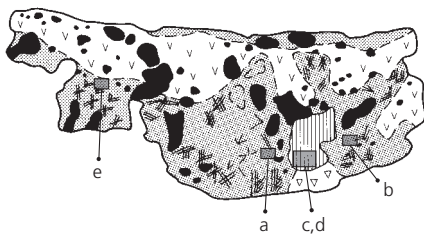
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	fayalite	wustite	matrice vitreuse	leucite
scorie gris clair	40-50	-	35-50	0-25

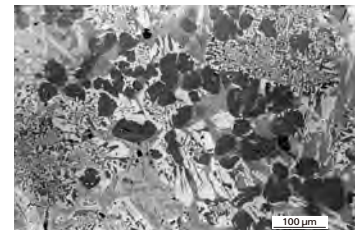
- composition chimique: l'analyse WD-XRF effectuée sur la partie inférieure: riche en SiO₂; As, Ni et Ba dominant parmi les éléments traces; composition indiquant l'apport d'un décapant riche en SiO₂ (sable?) et une contribution du métal à la formation de la scorie. Analyse effectuée sur la partie supérieure: très riche en SiO₂ et riche en K₂O; Ba, As et Cr dominant parmi les éléments traces; teneur en Zr élevée; composition correspondant à un matériel argilo-sableux avec apport de cendre.

Métal: partie inférieure contenant une grosse inclusion de métal, fortement corrodé et présentant de nombreux replis (fig. c); très peu d'inclusions de scorie; quelques replis à demi fermés; le métal a donc été travaillé, mais non élaboré: il présente une structure de ferrite à gros grains (ASTM 1-2, HV0.2 111-117) avec cémentite aux joints de grains (C: 0,1% masse, HV0.2 129; fig. d); d'après l'analyse LA-ICP-MS, le métal est riche en As, mais pauvre en Co; l'enrichissement en As est typique du métal présent dans les calottes.

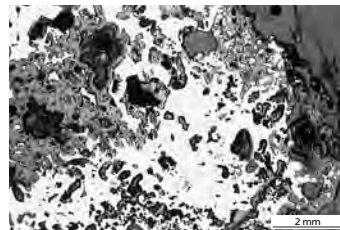
Conclusion: scorie de forge d'un acier pauvre en carbone non élaboré, sur laquelle on a utilisé un décapant riche en matériaux argilo-sableux et en cendre. Les olivines de cette scorie sont les seules pour lesquelles l'analyse a révélé une teneur en MgO, signe d'une température de travail élevée (fig. e).



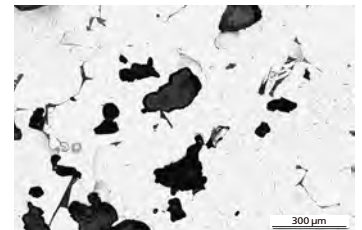
a. Scorie gris clair. Olivines très fines dans la matrice vitreuse.



b. Couche gris clair: leucite équigranulaire (gris sombre) ou symplectique avec l'olivine (gris clair), dans la matrice vitreuse.

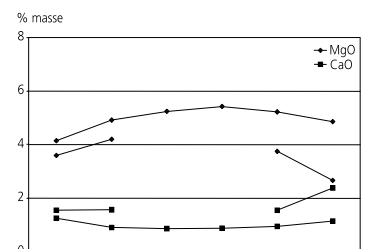


c. Blanc: inclusions de métal, avec de nombreux replis non déformés.



d. Blanc: acier hypoeutectoïde. Noir: replis. Structure de ferrite avec de la cémentite aux joints des grains.

e. Analyses microsonde. Distribution de MgO et de CaO dans les olivines, avec composition proche de la fayalite (FeSiO₄).



16 BO – Raffinage – CTT 994/52838 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT5351 : surface argilo-sableuse, CTT5352 : centre clair, CTT5353 : face inférieure sombre), MEB/EDS (vers face inférieure), microsonde (près de la surface), LA-ICP-MS (CTT52838 : métal).

Morphologie, macrographie: surface à bourrelet vitrifié de forme arrondie, avec dépression; partie proximale avec paroi argileuse. Trois couches distinctes dans la scorie; couche supérieure avec inclusions vitrifiées argilo-sableuses, poreuse et de couleur claire; inclusions de métal à la limite de la couche supérieure et dans la couche moyenne; strates de couleur gris foncé à gris clair vers la surface; densité basse 2,5.

Scorie:

- couche supérieure: vers le bas, gerbes de fayalites allongées riches en MgO, se raccourcissant vers la surface où elles peuvent alors présenter des formes équigranulaires; sur les bords, fayalites allongées en association symplectique avec la leucite (fig. b). Couche centrale (représentant la couche inférieure dans la plus grande partie de la scorie) contenant de la wustite: les olivines y apparaissent dans tous leurs stades de développement; cette couche est plus riche en olivines et contient très peu de matrice vitreuse. Partie distale, couche encore plus riche en oxydes de fer que la couche centrale, avec olivines allongées et symplectiques riches en CaO dans la matrice vitreuse riche en leucite (fig. a);

- composition minéralogique, estimation visuelle:

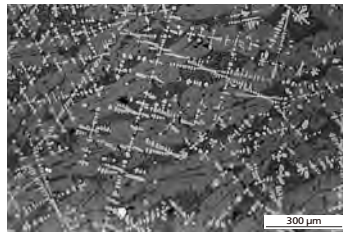
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
couche gris sombre, inférieure	60	15	5	20	-
couche gris clair, centrale	60	5	5	10	20
couche argilo-sableuse, supérieure	25	-	50	25	-

- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, couche inférieure riche en oxydes de fer, teneur en P₂O₅ élevée; Ba, Cr et V dominant parmi les éléments traces; composition témoignant d'un faible apport de la paroi à la formation de la calotte. Couche centrale riche en SiO₂, CaO et K₂O; Ba, Sr et Cr dominant parmi les éléments traces; contribution de la paroi à la formation de la scorie plus forte, et apport de cendre. Analyse de la surface: contribution de la paroi plus importante, confirmant la présence des inclusions argilo-sableuses constatées à l'examen morphologique.

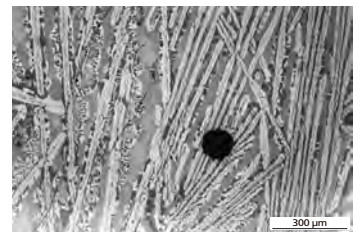
Métal: nombreux replis en cours de fermeture; travaillé (fig. c, d); structure ferritique; contient de la ferrite avec cémentite aux joints de grains et de la perlite lamellaire à globulaire; formé de 35% d'acier hypoeutectoïde (C: 0,1-0,3% masse, fig. d), de 25% d'acier eutectoïde, et de 40% de fer; acier décarburé sur les bords; d'après l'analyse LA-ICP-MS, contient une teneur en Cu élevée; As, Ni et P présents dans des concentrations moyennes: cette composition ne correspond ni par son rapport Ni/Co, ni par ses teneurs au métal local.

Conclusion: la formation de cette scorie de raffinage a débuté par un travail dans une atmosphère réductrice, suivi d'une phase accompagnée d'une grande perte de métal. Le dernier stade comporte un travail avec différents décapants (matériaux argilo-sableux, cendre).

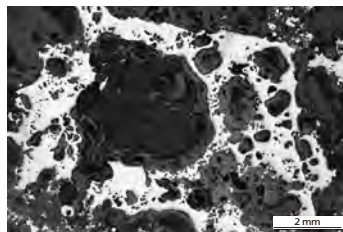
a. Couche inférieure gris sombre: scorie à structure de dendrites de wustite sur des olivines de forme allongée, dans la matrice vitreuse.



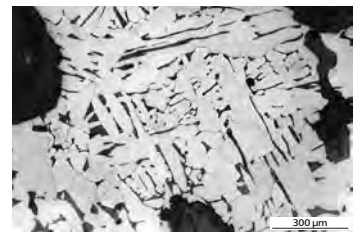
b. Couche supérieure argilo-sableuse: scorie à structure d'olivines allongées formant des gerbes, bords symplectiques avec la leucite.

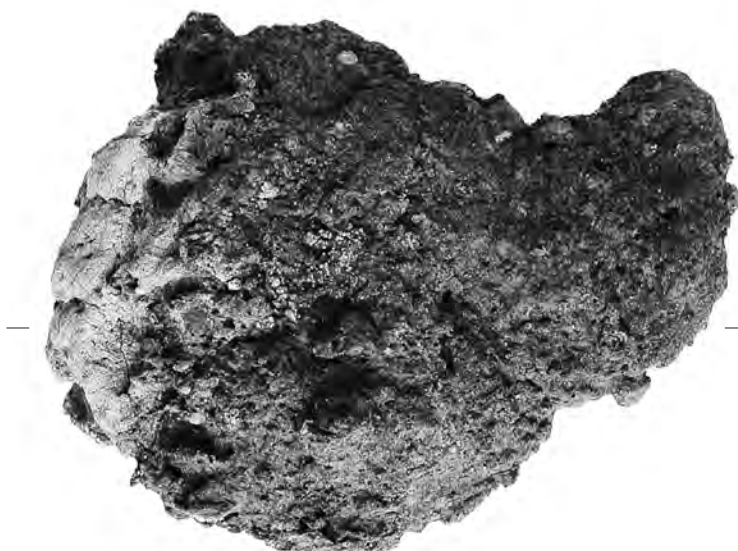
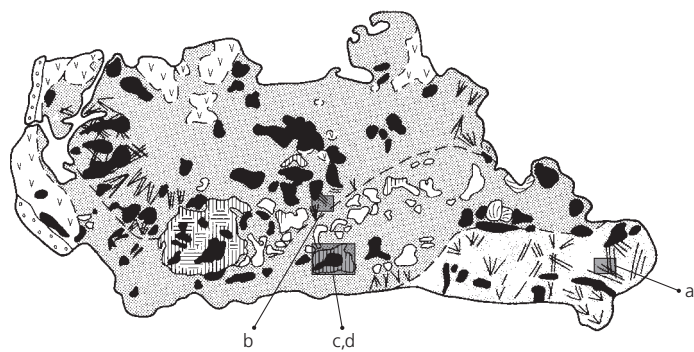


c. Inclusion de métal dans la scorie, contenant de nombreux replis non déformés.



d. Acier hypoeutectoïde à structure de ferrite et perlite. Les grains allongés présentent une faible trace de déformation.





17 BO – Fin de raffinage – DEV 994/55614 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP5061 : bourrelet, DLP5062 : couche centrale sombre), MEB/EDS (couche inférieure), XRD (couche inférieure), microsonde (couche centrale), LA-ICP-MS (DEV51 : métal).

Morphologie, macrographie : calotte de forme ovale, avec bourrelet argilo-sableux au centre de la surface; traces du bord argileux adhérent à la partie proximale. En coupe, scorie présentant une porosité radiale; métal se concentrant dans la partie inférieure et au centre de la pièce; scorie de couleur foncée, avec olivines allongées nettes; densité moyenne 2,8.

Scorie :

- bord argileux de la scorie formé de quartz et de matrice vitreuse; vers l'intérieur, scorie contenant des oxydes de fer, souvent sous forme de magnétite de par la proximité de la ventilation; bourrelet formé de quartz et de matrice vitreuse. Vers la face inférieure de la scorie, couche riche en métal oxydé et en oxydes de fer sur olivines allongées dans la matrice vitreuse (fig. a), zone devenant plus épaisse vers les parties latérales de la scorie mais disparaissant dans la partie proximale; à côté, olivines courtes, en partie avec bord zoné, rhönite et wustite en forme de dendrites dans la matrice vitreuse (fig. c); vers le bord et autour de la zone à porosité radiale, olivines disposées sous des dendrites de wustite, puis zone de fayalite très allongée, la longueur atteignant l'épaisseur de la pièce (fig. b); au centre de la pièce, couche contenant du métal; aiguilles d'olivines devenant plus courtes à mesure que l'on s'éloigne de la partie proximale; entre les olivines allongées, matrice vitreuse et aiguilles de rhönite; dans cette couche, d'après l'analyse XRD, la fayalite prédomine sur la wustite, alors que la rhönite est très rare; d'après l'analyse à la microsonde, la fayalite n'est guère zonée dans cette partie de la scorie, mais la wustite est riche en Al et Ti; vers la surface, deuxième génération d'olivines en forme de plumes entre les grandes aiguilles d'olivine et les olivines partiellement équigranulaires; au-dessus de la zone riche en métal, olivines restant courtes, toujours accompagnées de rhönite dans la matrice vitreuse;

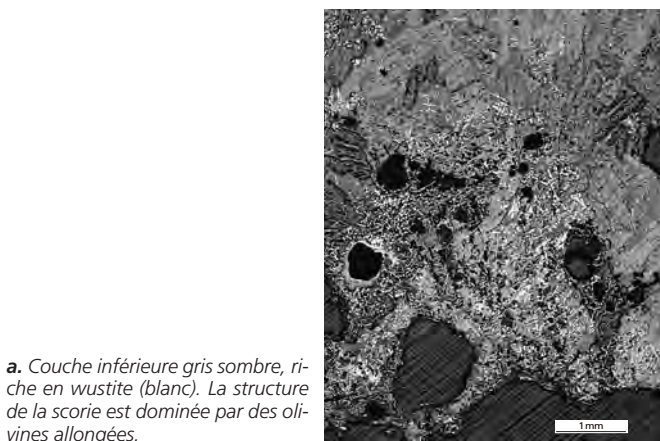
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	rhönite	métal
couche gris sombre, inférieure	30	30	30	-	-
couche gris sombre, centrale	35	4	40	1	25
couche argilo-sableuse, sup.	55	1	40	4	-

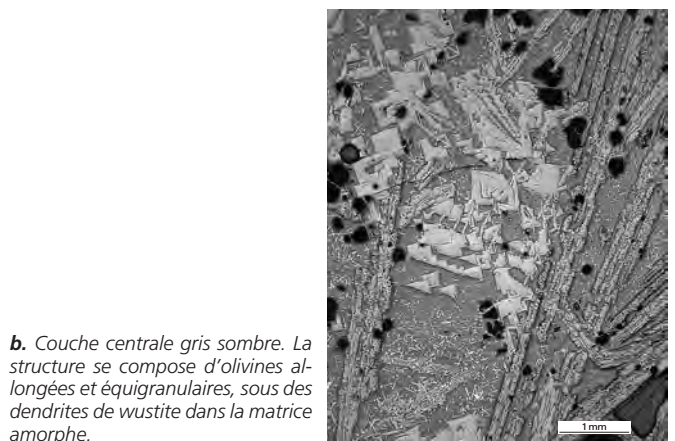
- composition chimique: analyse WD-XRF de la couche centrale montrant qu'elle contient essentiellement des oxydes de fer et qu'elle est riche en CaO; teneurs élevées en Ba, V et As; composition indiquant un faible apport de scorie de réduction à la formation de la scorie, mais également l'influence d'un décapant riche en CaO, tel la cendre; analyse du bourrelet révélant des teneurs élevées en SiO₂ et en Al₂O₃; Ba, Cr et As dominant parmi les éléments traces; également teneur élevée en Zr; composition confirmant l'impression donnée par l'examen morphologique d'une forte influence de matériau argilo-sableux dans la formation de la scorie.

Métal : fortement poreux (fig. d), contenant des inclusions de scorie riches en olivines; les produits de corrosion remplissant les replis indiquent l'action d'une oxydation à chaud; métal formé principalement d'acier eutectoïde, ce dernier étant décarburé vers la partie inférieure où il présente une structure de ferrite aciculaire et de perlite; dans la zone supérieure à olivines courtes, on trouve souvent du métal en cours de formation, prenant alors la forme de gouttes; analyse LA-ICP-MS indiquant que le métal est riche en Ni; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local, mais P très bas.

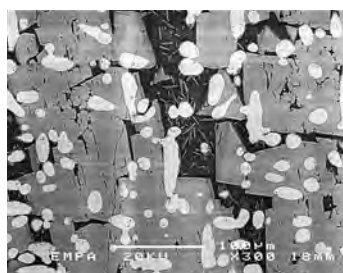
Conclusion : d'après sa composition chimique, cette calotte vient se classer dans les scories de raffinage final. Sur le plan minéralogique, l'absence de leucite et la présence de rhönite confirment cette interprétation. L'acier des inclusions métalliques est non élaboré et partiellement décarburé. Ces indices révèlent que l'on se trouve en fin de raffinage avec un travail effectué dans différentes atmosphères, comme par exemple dans une atmosphère oxydante à haute température lors de la formation de la couche centrale.



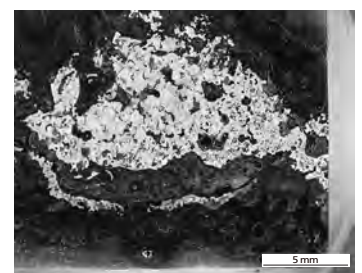
a. Couche inférieure gris sombre, riche en wustite (blanc). La structure de la scorie est dominée par des olivines allongées.



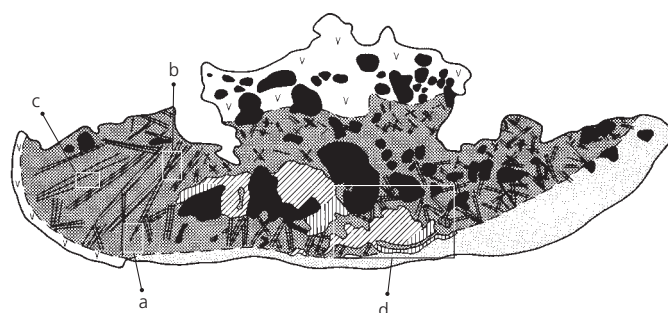
b. Couche centrale gris sombre. La structure se compose d'olivines allongées et équigranulaires, sous des dendrites de wustite dans la matrice amorphe.



c. Dendrites de wustite sur des olivines riches en CaO, avec bord zoné. Aiguilles de rhönite dans la matrice amorphe. Images MEB, mode SE.



d. Inclusion d'acier eutectoïde dans la couche centrale de la scorie. Le métal poreux ne présente aucune trace de déformation.



18 CH – Forgeage – CTT 994/56367 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT534: partie centrale inférieure).

Morphologie, macrographie: nombreuses empreintes de charbon de bois sur la surface plane. Coupe polie mettant en évidence une stratification des coulées de scorie, séparées par des lisières de refroidissement (fig. b); scorie de couleur gris foncé à gris moyen, à porosité moyenne; vers la surface, plusieurs inclusions de charbon de bois combinées avec du métal corrodé (oxydé); densité moyenne 2,8.

Scorie:

– structure de wustite dendritique sur olivines partiellement zonées et de leucite en association symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse (fig. c); partie inférieure riche en wustite (fig. a); partie centrale renfermant davantage de matrice vitreuse;

– composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
couche gris sombre, inférieure	40	45	5	10
couche gris moyen, supérieure	50	10	20	20

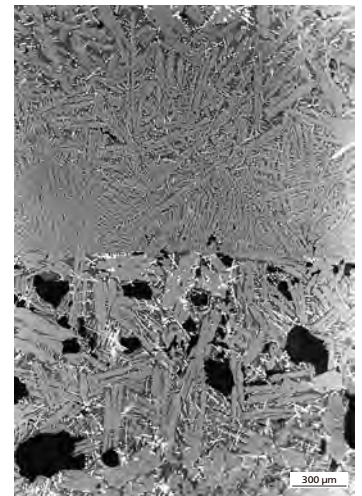
– composition chimique: d’après l’analyse WD-XRF, la partie centrale est riche en oxyde de fer; Ba, Cr et Co, éléments typiques de la paroi, dominant parmi les éléments traces, indiquant que la paroi a contribué à la formation de la scorie.

Métal: vers la surface, inclusions de charbon de bois enrobées de métal en cours de formation, composé soit de fer, soit d’acier hypoeutectoïde (fig. d).

Conclusion: d’après sa composition chimique et minéralogique, il s’agit d’une scorie de forge, formée à partir de métal et de paroi.



a. Couche inférieure gris sombre. La scorie présente une structure de dendrites de wustite sur des olivines et de leucite symplectique avec la wustite.



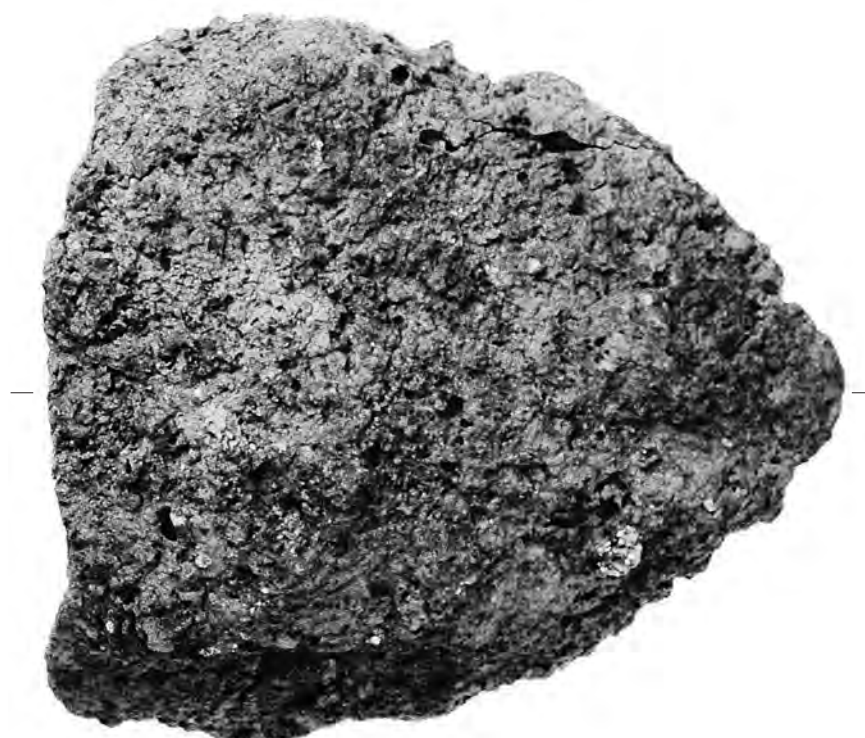
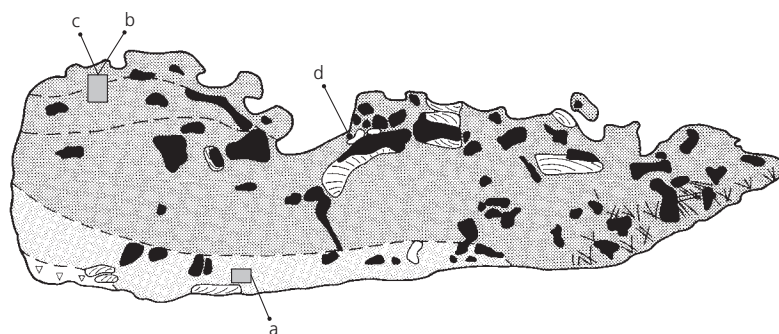
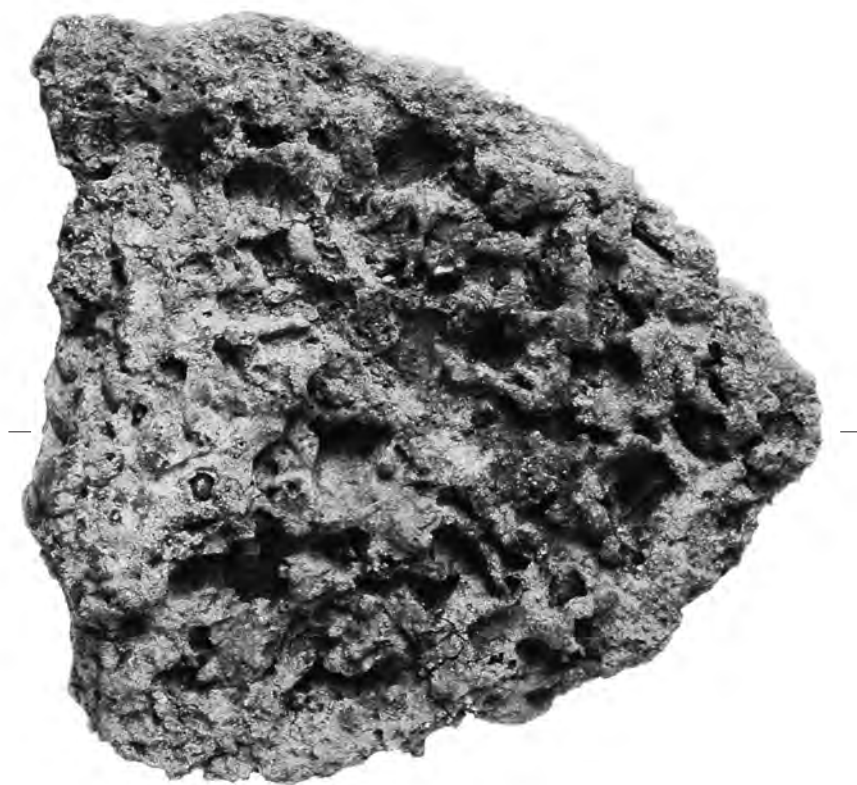
b. Couche supérieure gris moyen, avec lisière de refroidissement dans la scorie riche en olivines.



c. Scorie riche en olivine à structure de dendrites de wustite sur des olivines allongées, et leucite symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.



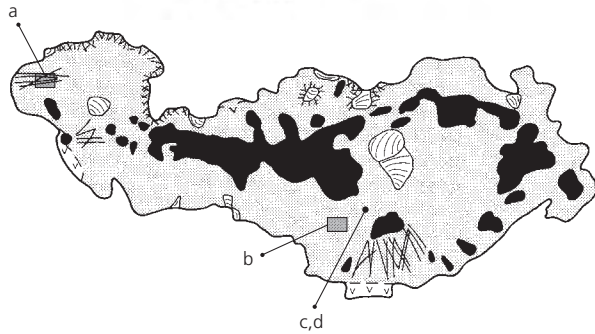
d. Inclusions d’acier à structure de ferrite et de perlite lamellaire dans la scorie. Le bord du métal, couronné d’oxydes de fer, témoigne d’un milieu oxydant.



19 CH – Forgeage – DEV 994/54768 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP501 : partie inférieure centrale), MEB/EDS (partie proximale, partie inférieure centrale), microsonde (partie inférieure centrale).

Morphologie, macrographie: traces de paroi argilo-sableuse bien scoriacée, de couleur grise, adhérent sur la partie proximale et sur la partie inférieure de la scorie; quelques empreintes de charbon de bois; surface riche en charbon de bois, présentant une forte dépression, de couleur foncée et d'aspect pouvant indiquer qu'elle a passé par un état fluide et donc été peut-être chauffée lors d'un événement secondaire. Pas de stratification distincte en coupe, mais zones ayant été exposées à différentes températures; partie centrale de couleur gris foncé, fortement poreuse; vers la surface, nombreuses inclusions de charbon de bois de conifères et inclusions de reliquats de battitures; densité moyenne 2,7.



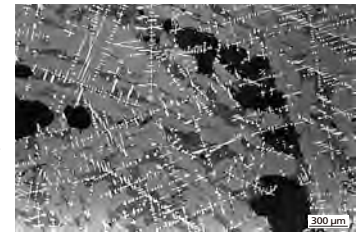
Scorie:

- matériel argilo-sableux présentant une structure d'olivines allongées et équi-granulaires dans une matrice vitreuse; scorie à structure de dendrites de wustite sur fayalite allongée ou équi-granulaire avec des taches de leucite en association symplectique avec la wustite (fig. a, d), ou en forme de cercles dans la matrice vitreuse; proportion de wustite élevée par endroits (jusqu'à 20%) (fig. b); présence locale de rhönite; d'après l'analyse à la microsonde, matrice vitreuse riche en Al₂O₃; bords des olivines enrichis en CaO (fig. c); en surface, couche de fayalites fines contenant une proportion variable de wustite et localement de leucite; fayalite parfois également de forme équi-granulaire; scorie ne présentant aucune différence dans sa composition minéralogique, sauf en surface;
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	rhönite
scorie gris sombre	60	5-20	20-30	5-10	localement

- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, partie inférieure riche en oxydes de fer; Cr, V et Ba dominant parmi les éléments traces; Cr plus abondant que V. Il est ainsi probable que du métal et de la paroi ont contribué à la formation de cette scorie.

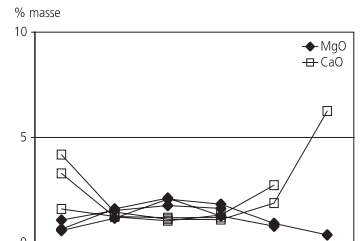
Conclusion: il s'agit probablement d'une scorie de forge, car elle contient des composants chimiques pouvant être interprétés comme représentatifs d'un apport de métal et de paroi à sa formation.



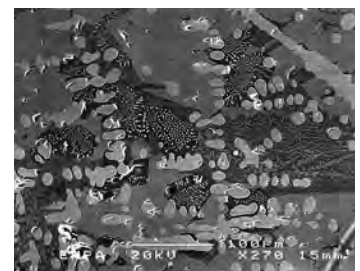
a. Dendrites de wustite (blanc) sur de la fayalite allongée, avec des taches de leucite dans la matrice vitreuse.



b. Dendrites de wustite (blanc) sur la fayalite équi-granulaire dans la matrice vitreuse.



c. Analyses microsonde. Répartition des oxydes de Mg et de Ca dans les olivines étudiées: les bords sont légèrement enrichis en CaO.



d. Images MEB, mode SE. Dendrites de wustite sur de la fayalite équi-granulaire, et taches de leucite symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.

20 CI – Raffinage final – DEV 994/50337 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP531 : partie inférieure), microsonde (partie inférieure), LA-ICP-MS (DEV50337D : métal).

Morphologie, macrographie: surface plate fortement rouillée. En coupe, scorie de couleur gris foncé, riche en métal à proximité de la surface; porosité moyenne; non stratifiée, présence de taches sombres; densité élevée 3,2.

Scorie:

- les taches sombres sont des reliquats de croûte de métal oxydé; la structure dominante dans la scorie est la wustite en forme de dendrites ou de forme ovale à ronde sur des olivines allongées riches en CaO (fig. a, b), noyées dans la matrice vitreuse; dans sa partie supérieure, scorie présentant autour du métal une structure d'olivines allongées ou équi-granulaires dans la matrice vitreuse; vers la surface, scorie contenant également de petites quantités de leucite en association symplectique avec la wustite ou l'olivine;

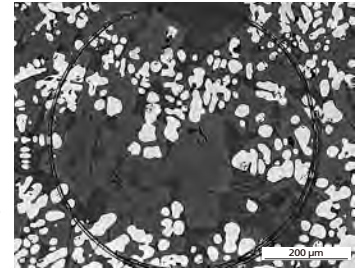
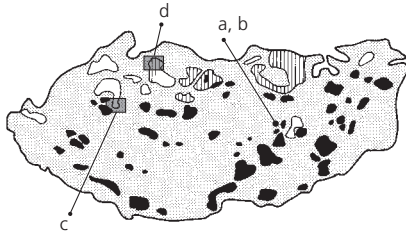
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	fayalite	wustite	matrice vitreuse	métal
scorie gris sombre	40	45	5	10

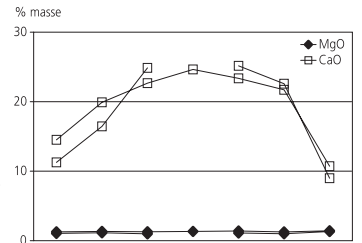
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie riche en oxydes de fer et en CaO; Ba, Ni et Co, éléments typiques du travail de forgeage, dominant parmi les éléments traces.

Métal: vers la surface, métal travaillé, mais non entièrement compacté, seules quelques inclusions de scories et replis étant déformés; métal formé de ferrite légèrement écrouie (ASTM 3; fig. c) et d'acier hypoeutectoïde (C: 0,2% masse, structure de Widmannstätten; fig. d), à raison de 60% de fer et 40% d'acier hypoeutectoïde; d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en Ni et As, mais pauvre en P, typique du métal présent dans les calottes.

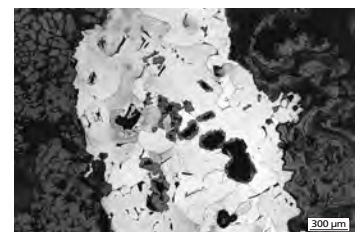
Conclusion: l'analyse chimique révèle une forte contribution du métal à la formation de la scorie, ce qui est typique du travail de forge. Le métal inclus est peu élaboré. On peut en conclure qu'il s'agit d'une calotte de fin de raffinage.



a. Dendrites de wustite (blanc) sur des olivines équi-granulaires dans la matrice vitreuse.



b. Analyses microsonde. Répartition des oxydes de Mg et de Ca dans les olivines étudiées. Les olivines sont riches en CaO, avec des bords zonés, appauvris.



c. Inclusion de fer dans la scorie. La ferrite est légèrement écrouie.



d. Inclusion d'acier hypoeutectoïde dans la scorie. L'acier présente une structure de Widmannstätten.

21 CI – Forgeage – CTT 994/55480 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT566: partie centrale).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ronde et aplatie. En coupe, stratification incomplète rappelant davantage des inclusions; scorie de couleur gris foncé contenant des inclusions de métal corrodé (fig. a) et de charbon de bois; surface modifiée par la présence d'agglomérats de quartz, de charbon de bois, de battitures et de produits de corrosion; densité 2,8.

Scorie:

– scorie riche en olivines formant de longues gerbes, surtout dans la partie inférieure; structure en dendrites grossières de wustite sur des olivines allongées, entre lesquelles sont disposés des ilots

de leucite souvent en association symplectique avec la wustite (fig. b); très peu de matrice vitreuse; scorie plus riche en wustite dans sa partie inférieure que vers son centre;

– composition minéralogique, estimation visuelle:

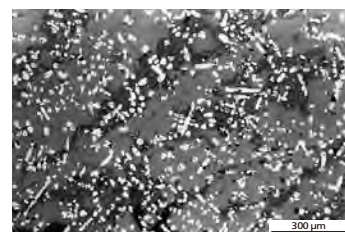
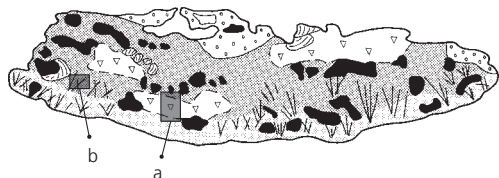
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite
scorie gris sombre	70 (50)	20 (40)	2	8

– composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie riche en oxydes de fer; Co, Cr et Ba (As) dominant parmi les éléments traces; composition révélant que la scorie est formée de métal, avec apport de paroi.

Conclusion: d'après sa composition chimique, il s'agit d'une scorie de forge formée de métal et de paroi.



a. Couche de métal corrodé (blanc) dans de la scorie fayalitique.

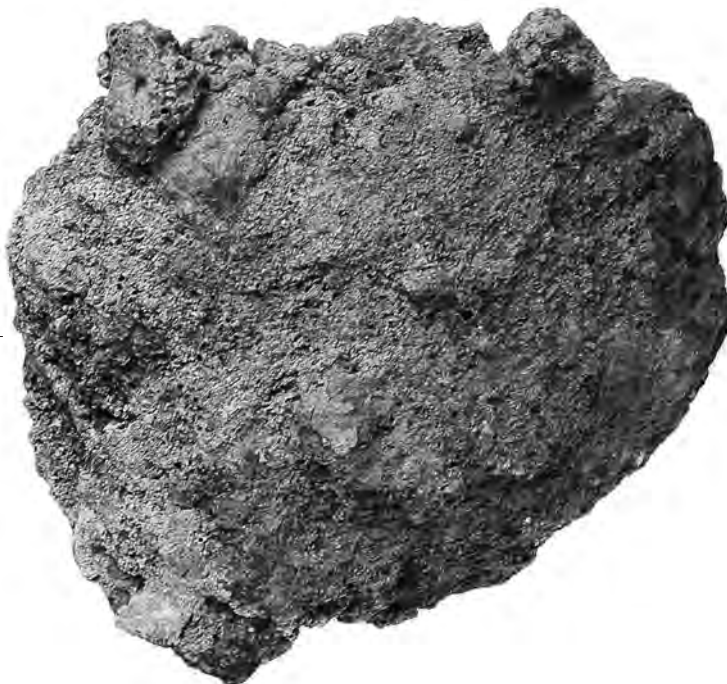
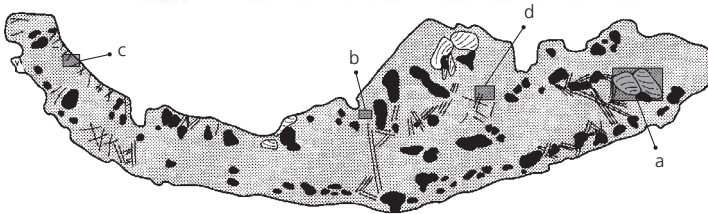


b. Dendrites de wustite (blanc) sur de la fayalite en latte (gris clair), et taches de leucite (gris sombre) symplectique avec la wustite dans du verre amorphe.

22 CO – Forgeage – CTT 994/54357 T1 – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT528: partie centrale la plus étroite).

Morphologie, macrographie: surface présentant une forte dépression. Pas de stratification en coupe, couleur gris foncé; porosité élevée à proximité des faces inférieure et supérieure; scorie attaquée par la corrosion et contenant de nombreuses inclusions non fondues; celles dont on a pu déterminer la composition sont formées de quartz (sable), mais on trouve également des reliquats de croûte de métal (fig. b) et des inclusions de charbon de bois de conifère (fig. a); vers le bas, couche riche en métal corrodé en forme de gouttes alignées en chaîne; densité basse 2,5.



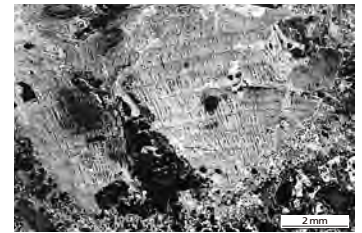
Scorie:

- scorie présentant une structure d'olivine avec très peu de wustite et de leucite dans la matrice vitreuse (fig. d), dans laquelle on trouve localement de la rhönite; les plus grandes aiguilles d'olivine se trouvent dans la partie inférieure de la pièce; elles sont plus courtes vers la surface (fig. c), où elles peuvent aussi présenter une forme équi-granulaire et se trouver en association symplectique avec la leucite; l'olivine est la phase dominante; leucite formant surtout des taches en association symplectique avec la wustite, mais se trouvant également entre les aiguilles d'olivine; wustite prenant une forme vermiculaire dans les reliquats de croûte de métal oxydé et se présentant sous forme de fines dendrites dans la scorie;
- composition minéralogique, estimation visuelle:

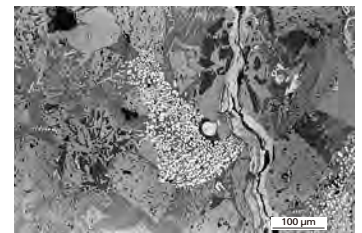
%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	rhönite
scorie gris sombre	50-70	1	10-30	10-20	localement

- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, scorie riche en oxydes de fer; teneur en Na₂O élevée; Ba, Ni et As dominant parmi les éléments traces; composition révélant une contribution importante du métal dans la formation de cette scorie.

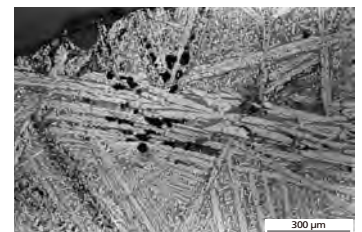
Conclusion: la présence de nombreuses inclusions de quartz indique une utilisation de ce dernier comme décapant lors du travail de forge, notamment lors du soudage. La composition chimique confirme le classement dans les scories de forge.



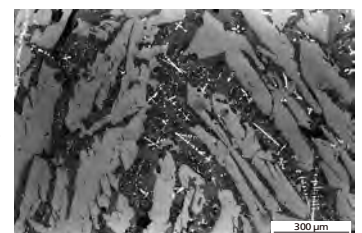
a. Inclusion de charbon de bois dans la scorie.



b. Reliquat de battiture (blanc) à structure de wustite dans de la scorie à structure d'olivines (gris clair), et leucite (gris sombre) dans la matrice vitreuse (gris moyen).



c. Couche supérieure: structure d'olivines en lattes en deux générations, et dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.



d. Olivines en lattes (gris clair), dendrites de wustite (en blanc) et taches de leucite (gris sombre) symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.

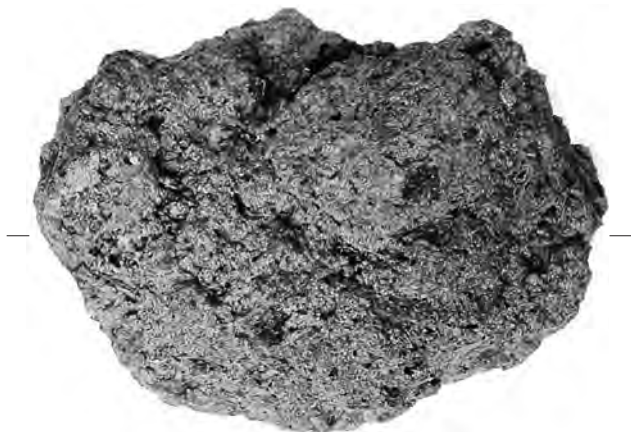
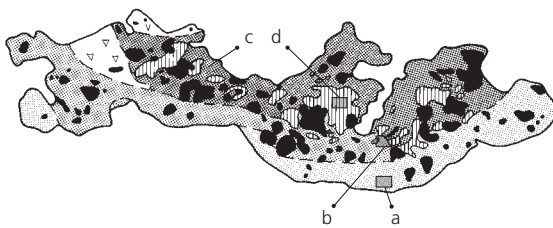
23 CO – Raffinage – DEV 994/54669 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (DLP5031 : partie gris clair avec bourrelet; DLP5032 : partie foncée centrale).

Morphologie, macrographie : surface présentant une concavité circulaire; petit bourrelet recouvrant en partie la surface. Scorie stratifiée et riche en métal dans la partie centrale; métal et scorie fortement attaqués par la corrosion; dans la partie inférieure, scorie de couleur gris foncé; zone supérieure riche en métal, de couleur gris clair; stratification se reflétant dans les variations de la composition minéralogique; densité 2,8.

Scorie :

- bourrelet formé de quartz et de verre contenant des gouttes remplies d'oxydes de fer, probablement formées de métal oxydé; présence de métal oxydé de forme lamellaire; dans sa partie inférieure, scorie riche en oxydes de fer sur olivines et leucite dans la matrice vitreuse (fig. a); oxydes disparaissant et olivine prenant une forme symplectique avec la leucite à proximité de la couche centrale (fig. b); autour du métal et à proximité de la surface, scorie présentant une structure d'olivines allongées noyées dans la matrice vitreuse (fig. c);



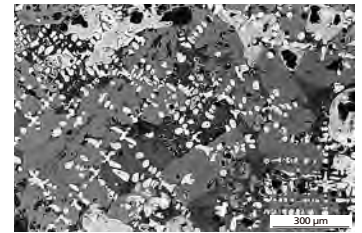
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
couche gris sombre, inférieure	50	15	20	15	-
couche gris clair, supérieure	35	-	35	-	30

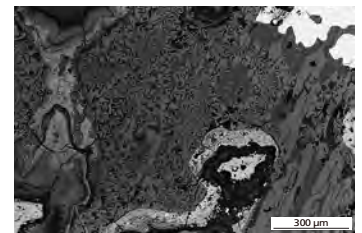
- composition chimique: analyse WD-XRF effectuée sur la zone inférieure gris sombre riche en wustite, révélant que la scorie est riche en oxydes de fer; As et Ni dominant parmi les éléments traces; composition indiquant un apport du métal à la formation de la scorie; analyse effectuée sur la zone supérieure gris clair riche en olivines révélant que cette partie est encore plus riche en oxydes de fer et en Ni et As; apport du métal plus élevé que dans la couche inférieure; teneurs en éléments traces dans le métal typiques du métal local.

Métal : vers la face inférieure, métal formant des filaments en grande partie oxydés, alors qu'au centre il est conservé et forme de grandes fragments angulaires; contient des replis non déformés partiellement remplis de produits de corrosion, témoignant d'une oxydation à chaud; 70% du métal présentant en majeure partie une structure Widmannstätten (fig. d; C: 0,2% masse); acier eutectoïde avec structure de perlite lamellaire et globulaire dominant dans la partie proximale (fig. c; 30%).

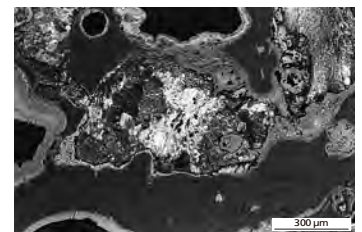
Conclusion : l'examen montre qu'il s'agit d'une scorie présentant deux phases du travail d'un acier non élaboré: la première a eu lieu dans une atmosphère réductrice, la deuxième dans une atmosphère oxydante avec une grande perte de métal.



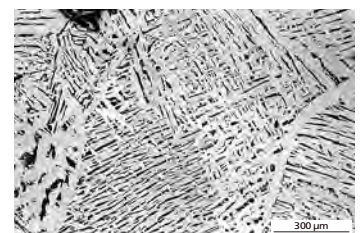
a. Couche gris sombre: scorie à structure de dendrites de wustite sur du métal corrodé (gris clair), olivines équi-granulaires et leucite symplectique avec la wustite dans la matrice vitreuse.



b. Couche centrale: olivines symplectiques avec la leucite dans la matrice, produits de corrosion (gris clair), métal (blanc).



c. Couche gris clair: inclusion d'acier eutectoïde dans la scorie riche en fayalite, produits de corrosion (gris clair), porosités (noir).



d. Inclusion d'acier hypoeutectoïde avec structure de Widmannstätten.

24 CX – Raffinage – CTT 994/56642 T1 – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT524: couche supérieure au-dessus du métal).

Morphologie, macrographie: calotte à surface convexe. Pas de stratification en coupe, mais zonée; dans sa partie inférieure, scorie sombre contenant une zone riche en métal (acier eutectoïde, décarburé et oxydé à chaud) et présentant une forte porosité; vers la surface, pores également nombreux, mais plus petits; scorie sombre; densité basse 2,5.

Scorie:

- scorie à structure de dendrites de wustite sur olivines allongées et zonées (fig. a), surtout vers la surface, dans la matrice vitreuse; localement, leucite; scorie plus riche en matrice vitreuse dans sa partie supérieure (fig. b);

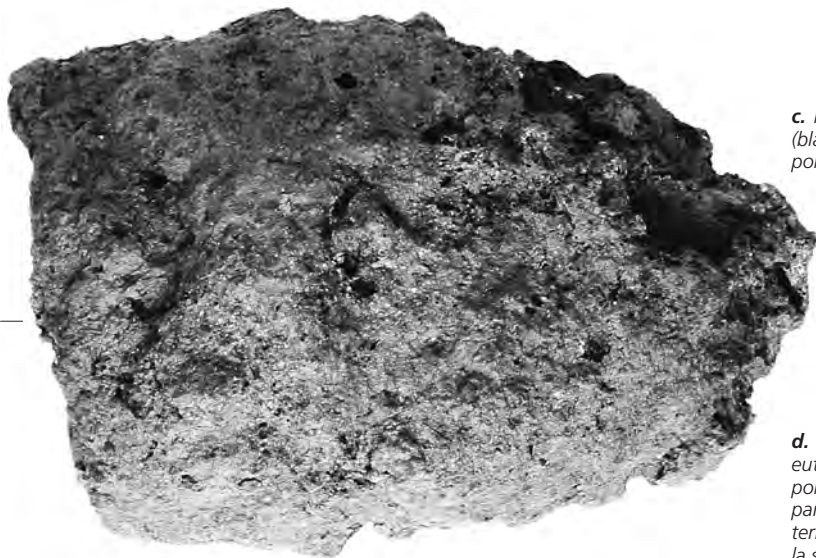
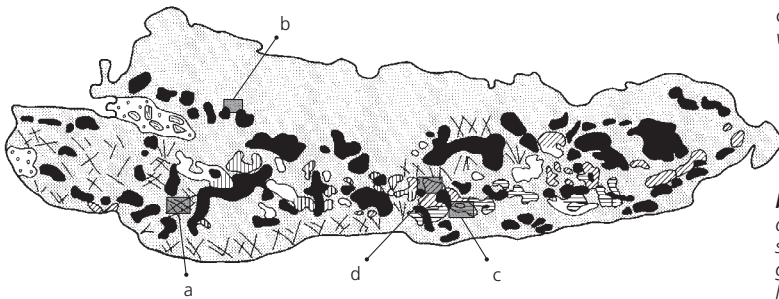
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
partie inférieure, gris sombre	55	10	15	localement	20
partie supérieure, gris sombre	60	10	30	localement	-

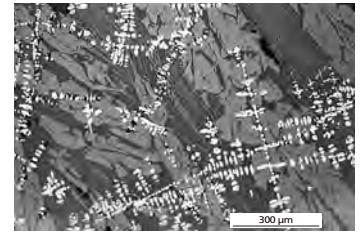
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF effectuée sur la partie supérieure de la scorie, les oxydes de fer et le CaO dominent parmi les composants principaux, alors que Ba, Ni et Co dominent parmi les éléments traces; composition menant à des olivines zonées enrichies en CaO sur leurs bords, comme le montre l'exemple des autres scories étudiées à la microsonde; en plus du métal, paroi ayant également contribué à la formation de la scorie.

Métal: dans sa partie inférieure, scorie incluant une grande quantité de métal en forme de fragments (fig. c), fortement attaqués intérieurement et extérieurement par la corrosion; replis non déformés, mais corrodés; ce type de corrosion est consécutif à une oxydation à chaud du métal; métal principalement sous forme d'acier eutectoïde décarburé (fig. d); partie inférieure moins décarburée, car peu de ferrite; partie supérieure contenant davantage de ferrite, signe d'une plus forte décarburation.

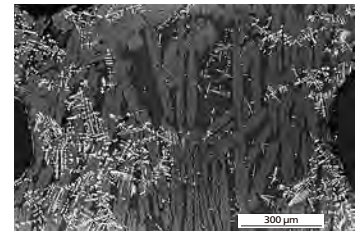
Conclusion: scorie de raffinage. Dans une première étape du travail, un acier non élaboré a été décarburé, ce qui a provoqué une grande perte en métal.



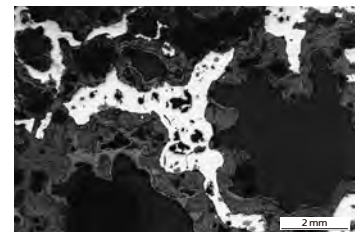
a. Couche gris sombre: scorie à structure de dendrites de wustite (blanc), sur des olivines allongées en deux générations (gris clair) dans la matrice vitreuse.



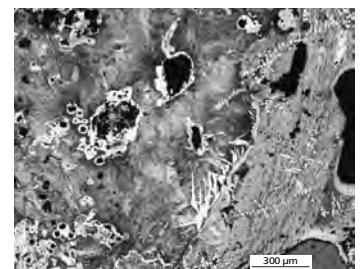
b. Couche gris clair: dendrites de wustite sur des olivines allongées et équi-granulaires dans la matrice vitreuse.



c. Inclusions de métal (blanc), scorie (gris), porosités (noir).



d. Inclusion d'acier eutectoïde avec des porosités attaquées par de la corrosion interne (gris clair), dans la scorie.



25 CX – Raffinage – DEV 995/50246 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP507: partie inférieure).

Morphologie, macrographie: calotte de forme ovale, à fond convexe; surface présentant quelques empreintes de charbon de bois. Métal se concentrant dans la partie inférieure de la scorie, augmentant à mesure que l'on s'éloigne de la partie proximale; corrodé vers le bord; scorie sans stratification, mais s'étant formée à des températures très différentes; couleur foncée, porosité moyenne; densité élevée 3.

Scorie:

- vers la surface, dans la partie distale, inclusions de déchets de forge (croûte de métal oxydé sous forme lamellaire, inclusions riches en oxydes de fer, un peu de quartz); scorie à structure de wustite sur olivines, avec la leucite en partie en association symplectique avec la wustite ou l'olivine, le tout noyé dans la matrice vitreuse (fig. a); dans la partie latérale, scorie contenant des olivines en forme d'aiguilles de grande taille;

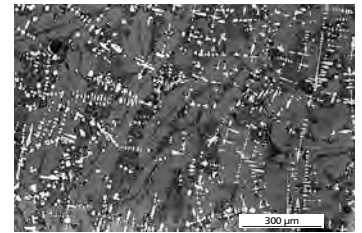
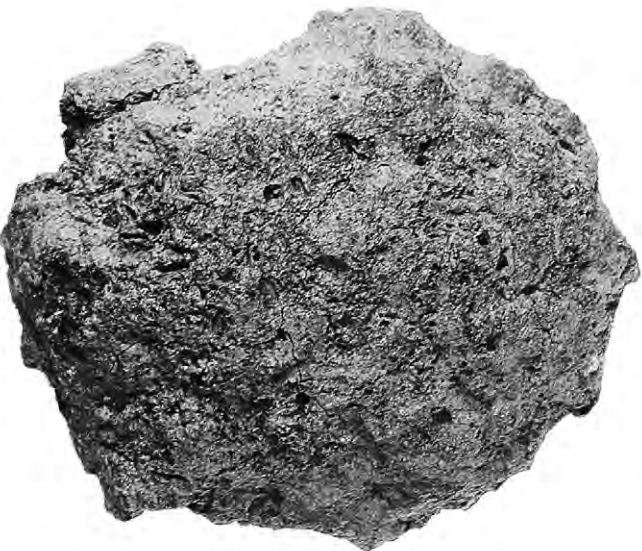
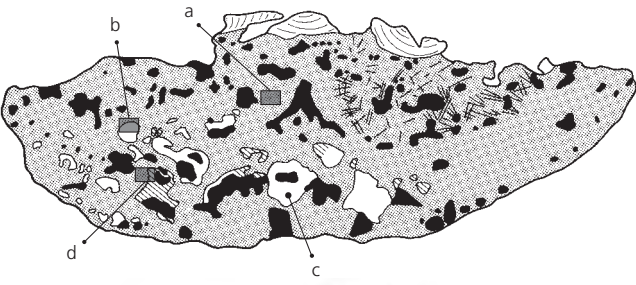
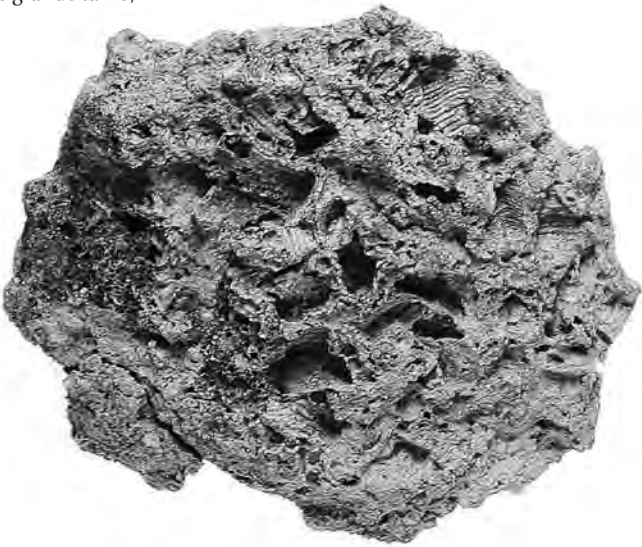
- composition minéralogique, estimation visuelle:

%	olivines	wustite	matrice vitreuse	leucite	métal
scorie gris sombre	60	5-15	5-15	5-25	5

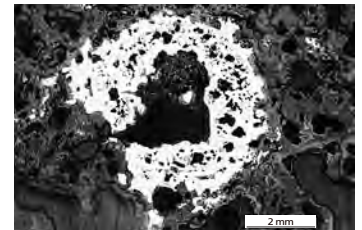
- composition chimique: d'après l'analyse WD-XRF, effectuée sur la partie inférieure riche en métal corrodé, forte teneur en oxydes de fer et teneur très élevée en As; somme en V et Cr un peu plus élevée que celle en Ni et Co, mais teneur en Cr plus grande que celle en V, indiquant un apport de la paroi lors de la formation de la scorie.

Métal: formé de fragments informes, contenant de nombreuses cavités (fig. b); fortement corrodé; inclusions de scorie à structure de wustite ou de wustite sur olivines dans la matrice vitreuse (fig. c); replis partiellement fermés; grains de ferrite écrouie: le métal a donc été travaillé; structure ferritique très impure et riche en inclusions, avec par endroits un peu de perlite aux joints de grains (fig. d); vers la surface, les bords du métal sont un peu cimentés et contiennent jusqu'à 0,4% masse C.

Conclusion: d'après les examens effectués, il s'agit d'une scorie de raffinage. Le fer inclus est non élaboré, mais travaillé. La composition chimique indique que du métal et de la paroi ont contribué à la formation de la scorie.



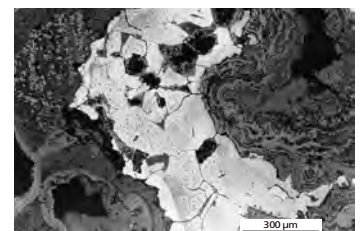
a. Scorie gris sombre: dendrites de wustite (blanc) sur des olivines allongées (gris clair), et leucite symplectique (gris sombre) avec la wustite dans la matrice vitreuse.



b. Inclusion de métal (blanc) avec des replis en grande partie non déformés, dans la scorie.



c. Inclusion non déformée de scorie (gris sombre), dans le métal (blanc).



d. Inclusion d'acier hypoeutectoïde avec des porosités attaquées par de la corrosion interne, entourée de scorie et de produits de corrosion.

26 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56596 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 54)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV19), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse en forme de coulée; longueur 3,7 cm; poids 20 g; entièrement constituée de métal; non conservée.

Conclusion: fragment d'éponge de fer non travaillé en fonte hypoeutectique (C: env. 2,5% masse), ayant passé par l'état liquide; surface partiellement décarburée; décarburation et formation de graphite dans la structure: conséquences d'un recuit (accidentel?). D'après l'analyse chimique, métal riche en P, Ni et Cu: par son contenu élevé en Cu, il n'appartient pas au groupe de référence du métal local.

27 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56601 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 43)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV384), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse informe; longueur 2,9 cm; poids 20 g; non conservée; coupe polie entièrement constituée de métal.

Conclusion: fragment d'éponge de fer non travaillé; forme du fragment de métal et des porosités confirmant cette interprétation; métal contenant de grands replis non déformés renfermant souvent des

produits de corrosion dans les replis, conséquence d'un traitement à chaud dans un milieu oxydant; métal: qualité d'un acier hypoeutectoïde (C: env. 0,6% masse) riche en P, souvent présent sous forme d'inclusions (ferro-phosphures) empêchant un travail mécanique du métal; une partie de la surface est cimentée. D'après l'analyse chimique: acier riche en P, concentrations élevées en Ni et en As; la composition chimique et les rapports élémentaires sont typiques du métal local.

28 Déchet de raffinage – DEV 994/53614 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 44)

Analyses effectuées: étude au microscope optique.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse en forme de «calotte aplatie»; longueur 4,8 cm; poids 35 g; non conservée; la coupe polie est composée de 50% de métal sous forme corrodée et métallique, et de 50% de scorie, cette dernière entourant le métal.

Conclusion: métal contenant un grand nombre de replis non déformés: il s'agit probablement d'un déchet de raffinage; scorie présentant une structure de fayalite allongée sous des dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; le métal a en moyenne la qualité d'un acier hypoeutectoïde (C: env. 0,3% masse); il est cimenté vers la surface.

29 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52556 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 48)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV62), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 4 cm; poids 30 g; non conservée; sur la coupe polie, métal sous forme corrodée et métallique; métal et produits de corrosion contenant de nombreux replis non déformés: il s'agit donc d'une éponge en fer non travaillée.

Conclusion: le métal a principalement la qualité d'un acier eutectoïde riche en P (inclusions de ferro-phosphures); teneur en C s'enrichissant jusqu'à celle d'une fonte autour des porosités; métal abandonné à cause de l'hétérogénéité de sa teneur en C et P; sa composition chimique riche en P, avec des teneurs en Ni et As élevées, est typique du métal travaillé localement.

30 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52555 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 49)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV57), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 4 cm; poids 40 g; non conservée; coupe polie avec métal partiellement corrodé et inclusion de charbon de bois.

Conclusion: inclusion de scorie présentant une structure d'oxydes de fer en forme de vermicules dans la matrice vitreuse partiellement

corrodée; métal contenant de nombreux replis non déformés et un grand morceau de charbon de bois: il s'agit d'un fragment d'éponge de fer non travaillé; métal: qualité d'un acier hypereutectoïde (C: 1,9% masse) présentant de légères traces de décarburation; hétérogénéité provoquée par les inclusions de ferro-phosphures et de charbon de bois empêchant l'élaboration du métal; composition chimique riche en P, avec des teneurs élevées en Ni et en As, typique du métal local.

31 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52568 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 50)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,8 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie renfermant du métal, dont un tiers présent sous forme métallique et le reste sous forme corrodée; métal corrodé contenant des fragments de charbon de bois, dont certains de très grande taille; gros fragment de bois de conifère présentant plus de douze cernes annuels.

Conclusion: dans une grande partie de la pièce, fraction corrodée contenant des aiguilles de cémentite secondaire; porosités informes et non déformées dans le métal indiquant qu'il s'agit d'un fragment d'éponge de fer non travaillé; métal composé d'acier hypereutectoïde (C: 1,1-1,3% masse) contenant des inclusions de ferro-phosphures; bord partiellement décarburé; acier hétérogène difficile à travailler.

32 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56594 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 51)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV64.2), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, angulaire; longueur 2,7 cm; poids 20 g; non conservée; aspect cunéiforme, avec un prolongement torsadé détaché; coupe polie consistant en métal avec surface corrodée.

Conclusion: nombreux replis non déformés de petite taille dans le métal; absence de traces de travail sur les replis, indiquant qu'il s'agit

d'un fragment d'éponge de fer non travaillé; métal composé d'acier eutectoïde (80%), avec inclusions de fonte blanche, ces dernières étant tombées après coup dans l'acier; localement, et souvent sur le bord extérieur, décarburation; composition chimique de l'acier, riche en P, ainsi que sa teneur en Ni élevée, typiques du métal forgé localement; hétérogénéité provoquée par la distribution du C ayant empêché l'élaboration du métal.

33 Déchet de réduction riche en métal – DEV 994/52581 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 52)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, MEB/EDS, XRD, LA-ICP-MS (DEV39), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse avec surface rouillée; longueur 4,3 cm; poids 50 g; non conservée; coupe polie formée de scorie, dans laquelle se trouve une grande inclusion métallique de forme triangulaire (60 % métal, 30 % scorie).

Conclusion: métal contenant des replis non déformés et des inclusions de scorie; fayalite, hercynite et alumine dominant dans la scorie, indiquant qu'il s'agit probablement d'une scorie de réduction; fer inclus non travaillé: il doit s'agir d'un déchet de réduction riche en métal, mais dont la composition chimique riche en P diffère de celle de la majorité du métal travaillé sur place.

34 Déchet de réduction – DEV 994/52600 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 55)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, MEB/EDS.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, longueur 2,6 cm; poids 25 g; non conservée; deux des surfaces donnant l'impression d'avoir été martelées, mais également petites parties à structure fine et bosselée; coupe polie contenant surtout de la scorie, avec de fins filaments de fer (30 % de métal).

Conclusion: scorie à structure d'olivine allongée avec spinelles accrochés dans la matrice vitreuse; composition chimique et minéralogique: probablement produit provenant de la réduction; le métal inclus s'est formé dans la scorie.

35 Déchet de raffinage riche en métal – DEV 994/52602 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 56)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, MEB/EDS, LA-ICP-MS (DEV45.1), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 3,4 cm; poids 30 g; non conservée; une surface est plate, l'autre concave, comme sur les calottes; coupe polie: 50 % de scorie et 50 % de métal.

Conclusion: une partie de la scorie très riche en oxydes de fer en forme de vermicules (surtout autour du métal), mais également riche en fayalite allongée sous de la wustite dendritique dans la matrice vitreuse;

autre partie de la scorie contenant, à côté de la wustite, des spinelles d'hercynite sur la fayalite; scorie contenant de grandes inclusions de métal et un filament de gouttes de métal; métal: qualité du fer, très riche en As, Ni et P: ces teneurs élevées ont exclu ce métal du groupe de référence du métal local; inclusions de scorie dans le métal non déformées: fragment de scorie de raffinage riche en métal; métal, scorie de réduction et charbon de bois ayant joué un rôle important lors de sa formation.

36 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56597 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 57)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,5 cm; poids 20 g; non conservée; une surface est plate, l'autre convexe et fragmentée; coupe polie presque entièrement corrodée et contenant encore un peu de métal et de scorie.

Conclusion: scorie attaquée par la corrosion et présentant une structure en spinelles et dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; métal contenant des replis non fermés: probablement fragment d'éponge de fer non travaillé; qualité du métal: essentiellement acier hypoeutectoïde pouvant varier localement vers un acier beaucoup plus riche en C; matériel adhérent à la couche de produits de corrosion et contenant des particules de roche, des battitures, des fibres organiques et des fragments de charbon de bois.

37 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52609 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 59)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV37), microsonde.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 4 cm; poids 40 g; non conservée; partie supérieure aplatie, partie inférieure convexe; coupe polie contenant du métal à porosités arrondies et non déformées, entourées de produits de corrosion: il s'agit donc d'un fragment d'éponge de fer non travaillé.

Conclusion: qualité du métal: fonte hypoeutectique (C: env. 2,2 % masse); composition chimique indiquant que la fonte est riche en Ni, As et Co; de par son contenu très élevé en Ni et son rapport Ni/Co un peu élevé, il n'appartient pas au groupe de référence du métal local.

38 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52698 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 65)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV42), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macroscopie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,7 cm; poids 10 g; non conservée; coupe polie contenant du métal et des produits de corrosion.

Conclusion: métal contenant des inclusions de scorie non déformées à l'intérieur et vers la surface; replis dans le métal informes et non travaillés; scorie consistant en matrice vitreuse contenant des billes métalliques; fragment d'éponge de fer non travaillé, composition chimique typique du métal local; qualité du métal: acier eutectoïde et fonte; distribution hétérogène du C dans le métal ayant empêché son élaboration.

39 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/52701 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 66)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté de Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,6 cm; poids 5 g; non conservée; rouille ayant fait éclater l'objet; coupe polie contenant du métal et des produits de corrosion.

Conclusion: métal parsemé d'innombrables cavités informes: fragment d'éponge de fer non travaillé; bord partiellement cimenté; qualité du métal: acier eutectoïde; zones cimentées légèrement hypereutectoïdes.

40 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56600 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 67)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV26.2).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,9 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie composée de métal enrobé d'une couche de corrosion.

Conclusion: fragment d'éponge de fer non travaillé; qualité du métal: fonte hypoeutectique (C: 3% masse), décarburée en surface; analyse chimique: métal riche en P; teneurs en Cu, As et Ni élevées; teneurs élevées en Cu et P l'excluant du groupe de référence du métal local.

41 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 994/56602 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 68)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,7 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie comportant du métal avec de nombreux replis non déformés et du matériel adhérent, principalement du charbon de bois.

Conclusion: zone extérieure: métal corrodé se présentant avant tout sous forme de nuages d'oxydes et de structure fantôme; nombreux replis non déformés: fragment d'éponge de fer non travaillé; au centre, acier eutectoïde dont la teneur en C augmente vers la surface: métal probablement cimenté.

42 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 995/51155 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 79)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV995/273.1), microsonde à Oxford, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme irrégulière; longueur 6,5 cm; poids 50 g; non conservée; coupe polie révélant une surface en partie fortement corrodée; peu de replis non déformés.

Conclusion: à l'état non attaqué, on distingue du graphite lamellaire dans le métal; coulure de fonte ayant la qualité d'une fonte grise hypereutectique (C: < 4,3% masse); absence de décarburation sur les bords confirmant cette interprétation; l'analyse chimique indiquant que cette fonte est très riche en P, avec une teneur élevée en Ni; teneurs élevées en P et Mn l'excluant du groupe de référence du métal local.

43 Fragment d'éponge de fer non travaillé – DEV 995/51156 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 80)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV172.1), MEB/EDS, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse à surface corrodée; longueur 2,1 cm; poids 5 g; non conservée; coupe polie révélant du métal incluant des billes et des inclusions de scorie.

Conclusion: métal enrobé de produits de corrosion; scorie présentant une structure de wustite dans la matrice vitreuse; métal ne présentant aucune trace de travail: certainement fragment d'éponge de fer non travaillé; très nombreuses impuretés formant des billes dans le fer; analyse MEB/EDS: ces billes comportent deux phases et se composent de ferro-phosphates avec inclusions de sulfates; analyse LA-ICP-MS: fer riche en P et en Ni, composition typique du métal local.

44 Fragment d'éponge de fer pauvre en métal – CTT 995/51152 TI – Z3 (Senn 2005, n° 85)

Analyses effectuées: étude au microscope optique.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, avec une extrémité allongée en forme de barre; surface plate et partie inférieure convexe; longueur 7,2 cm, largeur 4,4 cm, épaisseur 2 cm; poids 95 g; coupe polie comportant une scorie riche en métal, en cours de formation (20% de métal).

Conclusion: fer formant des chaînes et des fragments; partiellement corrodé, avec replis partiellement fermés; scorie présentant une structure soit d'olivine allongée avec rhönite, soit d'hercynite sur olivine, ou encore de wustite sur olivine avec wustite, le tout se trouvant dans la matrice vitreuse: éponge de fer pauvre en métal.

45 Fragment d'éponge de fer non travaillé – CTT 994/58352 TI – Z4 (Senn 2005, n° 88)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT58352).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 4,9 cm, largeur 3,7 cm, épaisseur 2,7 cm; poids 55 g; non conservée; coupe polie comportant du métal corrodé le long du bord.

Conclusion: produits de corrosion contenant par endroits une structure fantôme de ferrite aciculaire; métal renfermant de grands replis non déformés; étude métallographique: fragment d'éponge de fer non travaillé; qualité du métal: acier hypereutectoïde (C: 0,9% masse); analyse chimique indiquant un acier riche en As et Ni, composition typique du métal local.

46 Fragment d'éponge de fer non travaillé – CTT 994/58349 TI – Z4 (Senn 2005, n° 90)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT994/339.1), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; partie inférieure plate, surface convexe; longueur 4 cm, largeur 3,4 cm, épaisseur 2,4 cm; poids 60 g; coupe polie consistant en matériel adhérent, matrice vitreuse et métal en grande partie corrodé.

Conclusion: à la limite entre produits de corrosion et métal, aiguilles de cémentite et ferrite aciculaire dans le métal corrodé de manière sélective; métal contenant de nombreux replis non déformés; examen métallographique: fragment d'éponge en acier non travaillé (C: env. 0,3% masse) ayant subi une cémentation expliquant la formation du verre adhérent; acier comportant des ferro-phosphures; composition chimique riche en As et Ni typique du métal local.

47 Fragment d'éponge de fer non travaillé – CTT 994/58346 TI – Z4 (Senn 2005, n° 91)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT2).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,8 cm; poids 30 g; non conservée; coupe polie composée de métal et de produits de corrosion; matériel enrobant la scorie et contenant du charbon de bois.

Conclusion: présence de replis non fermés, indiquant qu'il s'agit de métal non travaillé; fragment d'éponge de fer non travaillé, formé de 30% d'acier eutectoïde et de 60% d'acier hypereutectoïde, dont la composition chimique riche en Ni et As correspond à celle du métal local.

48 Fragment d'éponge de fer peu travaillé – DEV 994/52694 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 64)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV16: métal), MEB/EDS et XRD (scorie).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 3,3 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie contenant de la scorie, dans laquelle se trouve le métal en position oblique.

Conclusion: métal ne présentant que peu de traces de traitement mécanique, sous forme de replis demi-fermés; entouré d'une zone de corrosion à laquelle adhère de la scorie; composition chimique de la scorie n'indiquant aucune influence de la scorie de réduction dans sa formation: fragment formé durant une phase avancée du raffinage; qualité du métal: acier eutectoïde avec traces de décarburation: fragment d'éponge de fer peu travaillé, résultant d'un travail de raffinage d'un métal déjà libéré de la scorie, et que l'on a probablement cherché à décarburer; contenu élevé en Mn excluant cet acier du groupe de référence du métal local.

49 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 994/53626 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 45)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV671), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 2,7 cm; poids 35 g; non conservée; deux faces aplaties; coupe polie comportant du métal compacté, entouré de produits de corrosion; face aplatie résultant d'un martelage.

Conclusion: replis informes à l'intérieur du métal indiquant que le travail de compactage n'est pas achevé; fragment d'éponge de fer travaillé, ayant la qualité d'un acier hypoeutectoïde (C: env. 0,4% masse), martelé d'un côté, et dont la composition chimique riche en P, As et Ni est typique du métal local.

50 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 994/53629 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 46)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV692), MEB/EDS.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 3 cm; poids 25 g; non conservée; coupe polie formée de métal entouré de produits de corrosion; une face aplatie.

Conclusion: métal contenant des replis non déformés et vides, ou remplis de matrice vitreuse; quelques replis en cours de fermeture, indiquant que le métal a été travaillé; fragment d'éponge travaillé en acier hypereutectoïde (C: env. 1% masse), riche en ferro-phosphures; composition chimique du métal typique du matériau travaillé localement; ferro-phosphures ayant provoqué une hétérogénéité si forte que l'élaboration d'un tel matériau n'était guère possible.

51 Fragment d'éponge de fer fortement martelé – DEV 994/56595 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 53)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV24).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 4,4 cm; poids 70 g; non conservée; faces aplaties martelées; coupe polie révélant du métal enrobé de produits de corrosion.

Conclusion: métal contenant de nombreuses fissures intergranulaires, suivant partiellement les joints de grains; fissures et petite quan-

tité de replis témoignant d'un martelage; examen métallographique: fragment d'éponge fortement martelé; fissures thermomécaniques dues à la présence d'inclusions riches en P; fragilité due à la répartition irrégulière du P ayant probablement provoqué l'abandon de la pièce; qualité du métal: acier eutectoïde; une partie de la surface est décarburée; composition chimique riche en P et Ni, typique du métal travaillé local.

52 Déchet de raffinage – DEV 994/56598 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 60)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV46).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 4,2 cm; poids 20 g; non conservée; surface présentant par endroits une structure fine et bosselée de scorie; coupe polie indiquant un agglomérat consistant surtout en produits de corrosion et en métal, avec des inclusions de scorie.

Conclusion: présence de nombreux replis non déformés dans le fer: métal peu élaboré; replis remplis de produits de corrosion, témoignant d'une oxydation à chaud; également inclusions de scorie non

déformées; d'autre part encore, inclusions contenant des battitures et du quartz; matériau de ces dernières inclusions identique à celui adhérent à la surface de la pièce, mais ici noyé dans le métal et la scorie; fer entouré d'une scorie riche en oxydes de fer, se présentant sous forme de dendrites avec une corrosion en cours de progression; oxydation interne des replis du métal, ainsi que présence d'inclusions de déchets de forge (battitures, quartz), indiquant qu'il s'agit d'un déchet dérivant du raffinage final; inclusions non fondues: il s'agit d'un agglomérat; composition chimique du fer typique du métal local.

53 Déchet de raffinage – DEV 994/56599 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 61)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, MEB/EDS.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse en forme de «calotte»; longueur 5 cm; poids 10 g; non conservée; coupe polie stratifiée, avec une zone corrodée contenant peu de métal vers la surface, et une zone riche en scorie dans la partie inférieure.

Conclusion: qualité du métal inclus près de la surface: acier hypoeutectoïde; zone inférieure de la scorie consistant en oxydes de fer de grande taille en forme de vermicules et en globules mixtes, avec des

produits de corrosion dans la matrice vitreuse; de par leur forme, inclusions ressemblant fortement aux inclusions de battitures dans les scories de forge (îlots de wustite en forme de vermicules); également en quelques rares endroits de la wustite en forme de dendrites; composition chimique de la scorie riche en Fe et pauvre en Al indiquant que seul du métal a contribué à sa formation. La grande quantité de métal inclus définit cette calotte comme étant un déchet issu du raffinage.

54 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 995/51159 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 71)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV995/14.4B), MEB/EDS.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 2,4 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie consistant en métal et produits de corrosion, ces derniers contenant par endroits de la scorie formée d'oxydes de fer dans la matrice vitreuse.

Conclusion: métal contenant des replis en forme d'alignements et présentant des fissures intergranulaires; corrosion attaquant les joints de grains; ces indices indiquent que la pièce a été travaillée, mais que ce travail a échoué à cause de la structure hétérogène du métal. Il s'agit d'un fragment d'éponge en acier hypoeutectoïde travaillé (C: env. 0,4 à 0,6 % masse), mais raté, puis abandonné à cause de l'hétérogénéité du métal provoquée par les inclusions de ferro-phosphures; composition chimique riche en Ni et As, typique du métal local.

55 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 994/56605 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 74)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV994/73).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; deux faces aplaties, présentant des traces de martelage; diamètre 2,8 cm; poids 10 g; non conservée; sur la coupe polie, d'aspect anguleux, métal enrobé d'une épaisse couche de produits de corrosion.

Conclusion: métal contenant de nombreux replis et inclusions de scorie; quelques replis à demi ou entièrement fermés; scorie ayant presque entièrement été débarrassée de ses inclusions et présentant une structure de wustite dendritique dans la matrice vitreuse; éponge de fer travaillée avec une composition chimique riche en P, As et Ni, typique du métal local; métal ayant la qualité d'un fer riche en P et en As, avec inclusion d'acier eutectoïde (20%) et cémentation partielle de la surface.

56 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 995/51151 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 75)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV995/44).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse; diamètre 1,8 cm; poids 10 g; non conservée; une face aplatie et martelée.

Conclusion: métal ne contenant que très peu d'inclusions de scorie; métal fortement corrodé, la corrosion attaquant partiellement les joints

de grains; localement, fissuration intergranulaire; grands replis non fermés, et quelques replis plus ou moins fermés, indiquant que la pièce n'a été que partiellement travaillée; éponge de fer travaillée en acier hypoeutectoïde (C: 0,5 % masse), probablement abandonnée à cause de l'hétérogénéité chimique provoquée par le P et l'As; composition chimique typique du métal local.

57 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 995/51152 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 76)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV995/20).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 2,6 cm; poids 10 g; non conservée; sur la coupe polie, métal enrobé de produits de corrosion.

Conclusion: replis dans le métal non déformés; seule une zone de la partie corrodée contient des replis à demi fermés près de sa surface; partie moins corrodée contenant de nombreuses et grandes inclusions de scorie; scorie présentant une structure de wustite dendritique sur fayalite allongée et fine dans la matrice vitreuse; fragment d'éponge de fer travaillé; fer très riche en arsenic; de par sa composition chimique, exception parmi les matériaux travaillés localement.

58 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 995/51154 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 78)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV995/117.1B).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse; longueur 3,4 cm; poids 20 g; non conservée; coupe polie composée de métal (70%) et de scorie (30%).

Conclusion: scorie enrobant le métal, ce dernier renfermant également de la scorie sous forme de grosses inclusions; métal contenant

de nombreux replis à demi fermés, preuve que la pièce a été travaillée; scorie présentant une structure d'oxydes de fer de forme dendritique dans la matrice vitreuse, et en partie d'oxydes de fer et d'olivines de deuxième génération dans la matrice vitreuse; fragment d'éponge de fer travaillé, mais non épurée de sa scorie; métal ayant la qualité d'un fer; composition chimique riche en As typique du métal travaillé localement.

59 Fragment d'éponge de fer travaillé – DEV 995/51157 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 81)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV192.1).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse aplatie sur une face; longueur 2,1 cm; poids 10 g; non conservée; coupe polie contenant du métal enrobé de produits de corrosion.

Conclusion: partie aplatie comportant une lisière de scorie à structure riche en oxydes de fer, probablement produite par l'oxydation de la

surface du métal, preuve qu'un travail y a été effectué; métal contenant de nombreuses et grandes porosités; très peu de replis en cours de fermeture, ou oblongs; structures fantômes de cémentite secondaire; fragment d'éponge de fer travaillé en acier hypereutectoïde (C: 0,9 % masse); composition chimique riche en Cu et Ni, excluant ce métal du groupe de référence local.

60 Déchet de raffinage – CTT 995/51773 TI – Z3 (Senn 2005, n° 84)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe, légèrement quadrangulaire; longueur 4 cm, largeur 3,6 cm, épaisseur 2 cm; poids 40 g, non conservée; coupe polie contenant 50 % de scorie et 50 % de métal.

Conclusion: métal entouré de scorie et présentant peu de replis, fortement attaqué par la corrosion; scorie présentant une structure d'olivines allongées avec et sans leucite sur leurs bords dans la matrice vitreuse, typique des scories de postréduction; partie contenant du matériel adhérent riche en quartz; examen microscopique: scorie de postréduction avec une grande inclusion de métal; métal composé de fer peu travaillé à bords cémentés. D'après la grande quantité de métal inclus, il s'agit d'un déchet issu du raffinage.

61 Fragment d'éponge de fer travaillé – CTT 994/58351 TI – Z4 (Senn 2005, n° 86)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT58351).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, angulaire, en forme de barre de coupe trapézoïdale; longueur 6,3 cm, largeur 4,1 cm, épaisseur 2,1 cm; poids 195 g; déformé par la corrosion; coupe polie présentant la structure d'une éponge peu travaillée contenant de nombreuses inclusions de scorie et des replis en partie de forme allongée.

Conclusion: inclusions de scorie présentant une structure de wustite dendritique sur olivines allongées dans la matrice vitreuse ou de wustite dans la matrice vitreuse; fragment d'éponge de fer travaillé contenant un grand nombre de replis et d'inclusions de scorie partiellement déformés; métal formé pour l'essentiel de fer mais également de 40 % d'acier hypoeutectoïde à teneur en C variable; composition chimique non typique du métal travaillé localement.

62 Fragment d'éponge de fer travaillé – CTT 994/58350 TI – Z4 (Senn 2005, n° 89)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT994/382.2), microsonde;

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; longueur 3,3 cm; poids 20 g; non conservée; coupe polie ne présentant que peu de traces de travail.

Conclusion: quelques grandes inclusions dans le métal sont encore entièrement remplies de scorie, très peu sont presque vides; seuls de

très petits replis sont en cours de fermeture; battitures présentes dans les produits de corrosion adhérents; grains du métal plus petits vers la surface; scorie présentant une structure de wustite en forme de dendrites très fines dans la matrice vitreuse; fragment d'éponge de fer travaillé consistant en fer partiellement cémenté, dont la composition chimique riche en Ni, As et Co est typique du métal travaillé localement.

63 Déchet de raffinage – CTT 994/58347 TI – Z4 (Senn 2005, n° 92)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse informe, avec forte rouille extérieure, bosselée sur une face; longueur 5,5 cm, largeur 5,9 cm; épaisseur 4 cm; poids 95 g; forme de « calotte ».

Conclusion: coupe polie contenant de la scorie, et vers la surface des inclusions de métal (fer partiellement cémenté) et de charbon de bois; en général, scorie à structure de dendrites de wustite sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse; inclusions de charbon de résineux; de par sa forme extérieure et sa structure, scorie typique des scories de post-réduction; métal ne présentant que peu de traces d'élaboration: il doit s'agir d'une scorie de raffinage.

64 Déchet de raffinage – CTT 994/58348 TI – Z4 (Senn 2005, n° 93)

Analyses effectuées: étude au microscope optique.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse en forme de « calotte », avec surface fortement corrodée; longueur 6 cm; largeur 6,2 cm; épaisseur 3,5 cm; poids 130 g; partie supérieure plane, partie inférieure convexe; coupe polie consistant en scorie poreuse renfermant des inclusions de métal vers la surface (acier eutectoïde); le charbon de bois de résineux.

Conclusion: scorie présentant une structure composée de dendrites de wustite dans une matrice vitreuse et localement, de dendrites de wustites sur des lattes de fayalites dans une matrice vitreuse; contient des inclusions de quartz non dissoutes. Forme « en calotte » de la scorie indiquant qu'il s'agit d'une scorie de post-réduction; le métal inclus n'étant que peu travaillé, il doit s'agir d'une scorie de raffinage.

65 Chute d'objet non fini – DEV 994/52630 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 62)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV36), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse aplatie; longueur 2,9 cm; poids 10 g; non conservée; coupe polie révélant la présence de métal enrobé de produits de corrosion.

Conclusion: métal contenant de petites inclusions non déformées de scorie et de nombreux replis non déformés; couche de scorie riche en wustite, souvent en forme de pavé, entourant le métal, couche se

formant lorsque du métal est oxydé dans le feu de la forge; inclusions de scorie dans le métal ayant par contre une structure riche en wustite dendritique dans la matrice vitreuse; forme extérieure de l'objet: plaque; fer présentant des traces de martelage, mais contenant encore des porosités et des inclusions peu déformées: le raffinage du métal n'est donc pas encore achevé; l'objet étant enrobé de produits d'oxydation du métal, il doit être interprété comme une chute d'objet non fini et abandonné durant l'élaboration; composition chimique riche en As et Ni, typique du métal travaillé localement.

66 Déchet de forge peu élaboré – DEV 994/56604 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 69)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV78), MEB/EDS.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 2,3 cm; poids 15 g; non conservée; couche polie révélant du métal enrobé dans des produits de corrosion.

Conclusion: métal contenant des fissures intergranulaires et de rares inclusions de scorie allongées; le nombre de replis, souvent vides, est

important; présence de produits de corrosion à l'intérieur des replis, témoignant d'une oxydation à chaud; forme de l'objet et qualité du métal avec ses porosités non fermées le classant comme un déchet de forge peu élaboré; métal ayant la qualité d'un acier hypo-eutectoïde (C: env. 0,4% masse), renfermant de très nombreuses inclusions de ferro-phosphures; il s'agit donc d'un métal très hétérogène, abandonné car trop difficile à travailler.

67 Déchet de raffinage – DEV 995/51158 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 70)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme angulaire; longueur 3 cm; poids 15 g; non conservée; coupe polie révélant du métal pris dans une couche de produits de corrosion.

Conclusion: partie inférieure du métal contenant de grandes fissures intergranulaires; partie supérieure très riche en inclusions de scorie qui ne sont qu'en partie allongées; entre la partie supérieure et la partie

inférieure, soudure marquée par des inclusions de scorie, ces dernières présentant une structure d'oxydes de fer sur olivines équigranulaires à allongées; olivines prises dans de la leucite, le tout se trouvant dans la matrice vitreuse; olivines dominant la structure; déchet peu élaboré, soudé, formé de fer riche en P partiellement écroui; une surface est cémentée; déchet de raffinage, dans lequel la scorie n'a pas encore été suffisamment évacuée.

68 Déchet de forge peu élaboré – DEV 994/50600 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 72)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV994/266).

Morphologie, macrographie: scorie informe ferrugineuse; diamètre 2,1 cm; poids 10 g; non conservée; coupe polie révélant une tôle pliée entourée de produits de corrosion, du quartz et de la scorie.

Conclusion: par endroits, couche de métal oxydé adhérent encore au métal; forte corrosion suivant partiellement les joints de grains, pas d'inclusions de scorie, mais replis non déformés; déchet de forge peu élaboré, en forme de tôle pliée; métal présentant la qualité d'un fer et d'un acier hypoeutectoïde; composition chimique riche en Ni et P, typique du métal local.

69 Déchet peu élaboré, fin de raffinage – DEV 995/51153 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 77)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV117.1).

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse de forme peu angulaire; longueur 3,3 cm; largeur 3 cm; poids 25 g; non conservée; pièce de coupe trapézoïdale, formée par allongement et pliage du métal durant le raffinage.

Conclusion: métal contenant de nombreuses inclusions, allongées et parfois de grande taille; inclusions remplies de scorie, ou partiellement vidées de leur scorie, très rarement entièrement vides; la présence de ces grandes inclusions de forme irrégulière a conduit à l'abandon de la pièce à un stade avancé du raffinage; scorie présentant toujours une structure d'oxydes de fer en forme de dendrites fines dans la matrice vitreuse; déchet peu élaboré en fer, abandonné à un stade avancé du raffinage; composition chimique riche en As, Ni et P, typique du métal local.

70 Déchet de forge peu élaboré – CTT 996/50235 TI – F5 (Senn 2005, n° 96)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/196), mesure de dureté Vickers.

Morphologie, macrographie: scorie ferrugineuse, informe; largeur 3,9 cm; épaisseur 3,5 cm; poids 50 g; non conservée; coupe polie consistant en métal, dont la surface et les fissures intérieures sont fortement corrodées.

Conclusion: à l'intérieur, nombreux replis presque entièrement fermés; déchet de forge peu élaboré, car non entièrement compacté; métal ayant la qualité d'un acier eutectoïde; surfaces partiellement décarburrées; composition chimique riche en As, typique du métal travaillé localement; les fissures sont la conséquence d'un travail mécanique à des températures inadaptées.

71 Battitures lamellaires: forgeage – DEV 994/56615 TI – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, XRD, WD-XRF (DLP901).

Morphologie: matériel étudié au microscope optique, formé de battitures lamellaires d'une longueur variant de 1 à 3 mm, de charbon de bois, d'agglomérats de produits de corrosion et de quartz; rares cailloux et minerai (pisolithes); battitures lamellaires devenant informes lorsqu'elles sont en cours de dissolution.

Analyse chimique: seules les battitures lamellaires ont été analysées par WD-XRF; il en ressort qu'elles se composent principalement de FeO; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; parmi les éléments traces, As, Ni et Co dominent; composition reflétant le

travail et l'oxydation d'un fer riche en As, P et Ni; analyse XRD effectuée sur le complexe hétérogène étudié par étude au microscope optique ayant permis de déterminer la présence des phases minérales quartz et wustite comme composants moyens, et hématite, magnétite, goethite et fayalite comme composants mineurs; quartz ayant pour origine le sable contenu dans l'échantillon; wustite se formant par contre dans les battitures, de même que la magnétite et la fayalite; goethite et hématite provenant soit du métal corrodé, soit du minerai.

Conclusion: ces battitures reflètent l'oxydation d'un fer riche en P, As et Ni, durant un travail de forgeage. Les déchets présents à proximité (sable, charbon de bois, métal oxydé) sont typiques de ce travail.

72 Battitures lamellaires: forgeage – CTT 994/58375 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9101).

Morphologie: battitures lamellaires épaisses; longueur supérieure à 3 mm (entre 3 et 7 mm dans l'exemple étudié).

Etude au microscope optique: deux battitures, d'une longueur de 3 à 7 mm, ont été étudiées; structure en dendrites de wustite sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse, avec des inclusions de lamelle de magnétite massive et en pavé.

Analyse chimique: d'après l'analyse WD-XRF, ces échantillons sont riches en FeO; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; Co, Ni et V dominant parmi les éléments traces.

Conclusion: ces battitures reflètent l'oxydation d'un fer riche en Co durant un travail de forgeage.

73 Battitures lamellaires: forgeage – CTT 994/58376 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9102).

Morphologie: battitures lamellaires fines; longueur inférieure à 3 mm.

Etude au microscope optique: 90% des battitures lamellaires fines présentant surtout une structure d'oxydes de fer massive (magnétite?) avec bord différent (hématite?); seulement 10% des battitures consistent en scorie à structure de dendrites de wustite sur olivine allongée

dans la matrice vitreuse, ou simplement de dendrites de wustite dans la matrice.

Analyse chimique: d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; Co, Ni et Pb dominant parmi les éléments traces.

Conclusion: ces battitures reflètent l'oxydation d'un fer riche en Co, durant un travail de forgeage.

74 Battitures lamellaires: forgeage – CTT 994/58363 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT 9201), analyses à la microsonde de deux lamelles.

Morphologie: battitures lamellaires épaisses; longueur entre 3 et 5 mm.

Etude au microscope optique: 25 lamelles ont été étudiées; 80 % sont formées de scorie et 20 % d'oxyde de fer massif (magnétite?); celles contenant de la scorie présentent dans 75 % des cas une structure de dendrite de wustite sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse; sur celles examinées à la microsonde, on trouve également des spinelles d'hercynite sur de la fayalite; les 25 % restants présentent une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

Analyse chimique: d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; V, Co et Ba dominant parmi les éléments traces; métal prédominant dans la composition chimique de ces objets, mais rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et éléments traces indiquant que ces battitures se sont formées avec une faible contribution de scorie de réduction; présence d'hercynite comme composant exceptionnel; matrice vitreuse riche en K_2O .

Conclusion: ces battitures reflètent l'oxydation d'un fer riche en Co, dans lequel on trouve encore des restes de scorie de réduction, durant un travail de raffinage.

75 Battitures lamellaires: forgeage – CTT 994/58364 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9202).

Morphologie: battitures lamellaires fines; longueur variant entre 1 et 4 mm.

Etude au microscope optique: 15 battitures étudiées; 80 % des battitures lamellaires fines consistent surtout en scorie présentant presque toujours une structure de wustite dans la matrice vitreuse (exceptionnellement en combinaison avec de la fayalite allongée); 20 % des battitures massives sont formées d'oxydes de fer (magnétite?).

Analyse chimique: d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; Ni, Co et V dominant parmi les éléments traces; métal prédominant dans la composition chimique de ces objets, mais rapport mentionné et éléments traces indiquant que ces battitures se sont formées avec une faible contribution de scorie de réduction.

Conclusion: ces battitures reflètent l'oxydation d'un fer riche en P et Ni, dans lequel se trouvent encore des restes de scorie de réduction, durant un travail de raffinage.

76 Battitures globulaires: raffinage – DEV 994/56613 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (DLP 902).

Morphologie: battitures globulaires rondes et brillantes; diamètre de 2 à 5 mm.

Etude au microscope optique: 14 échantillons étudiés: trois sont des pisolithes, le solde est composé de battitures globulaires, certaines creuses, d'autres massives; parmi ces dernières, quelques-unes présentent une structure de matrice vitreuse pure, les autres une structure de dendrites de wustite très fines dans la matrice vitreuse, avec par endroits des inclusions de métal; les creuses contiennent une grande bulle d'air; la scorie présente une structure de dendrites très fines de wustite dans la matrice vitreuse; on trouve également des agglomérats de quartz, pouvant provenir d'un décapage avec du sable.

Analyse chimique: l'analyse WD-XRF, effectuée uniquement sur des battitures, indiquant qu'elles sont riches en FeO, mais contiennent des quantités non négligeables de SiO_2 ; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; V, Cr et As dominant parmi les éléments traces; métal dominant la composition chimique de ces objets, mais le rapport mentionné, ainsi que les éléments traces, indiquent que ces battitures se sont formées avec un apport élevé de scorie de réduction; charbon de bois ayant lui aussi joué un rôle dans leur formation, ainsi que le révèlent les concentrations élevées en CaO et K_2O .

Conclusion: ces battitures se sont formées à partir d'un métal oxydé riche en P et As, de scorie de réduction et de charbon de bois. Cette composition indique qu'il s'agit de déchets de raffinage.

77 Battitures globulaires: raffinage – CTT 994/58377 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9103).

Morphologie: battitures globulaires, diamètre 1 à 5 mm.

Etude au microscope optique: les 40 battitures globulaires étudiées présentent surtout une structure de dendrites de wustite sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse (65%); 25 % d'entre elles révèlent une structure de dendrite de wustite et d'un autre oxyde de fer (magnétite?) dans la matrice vitreuse; 10 % seulement de ces battitures sont formées uniquement de matrice vitreuse.

Analyse chimique: d'après l'analyse WD-XRF, battitures globulaires riches en FeO mais contenant des quantités non négligeables de SiO_2 ; rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ bas comparé à celui des calottes; Cr, V et Ni dominant parmi les éléments traces; métal dominant la composition chimique de ces objets, mais rapport mentionné et éléments traces indiquant que ces battitures se sont formées avec un apport prononcé de scorie de réduction; charbon de bois ayant lui aussi joué un rôle dans leur formation, ainsi que le révèlent les concentrations élevées en CaO et K_2O .

Conclusion: ces battitures se sont formées à partir d'un métal oxydé riche en P, de scorie de réduction et de charbon de bois. Cette composition indique qu'il s'agit de déchets de raffinage.

78 Battitures globulaires : raffinage – CTT 994/58365 TI – Z4

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9203), microsonde.

Morphologie : battitures globulaires, diamètre 1 à 5 mm.

Etude au microscope optique : les 80 battitures globulaires étudiées sont poreuses et contiennent en partie des fragments de quartz; elles présentent avant tout une structure de wustite dendritique dans la matrice vitreuse (60%), mais souvent aussi une structure de dendrites de wustite sur fayalite allongée dans la matrice (39%); exceptionnellement, elles peuvent être formées uniquement de matrice vitreuse.

Analyse chimique : d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO, mais contenant des quantités non négligeables de SiO₂; rapport SiO₂/Al₂O₃ bas comparé à celui des calottes; V, Cr et Ni dominant

parmi les éléments traces; métal dominant la composition chimique de ces objets, mais rapport mentionné et éléments traces indiquant que ces battitures se sont formées avec un apport prononcé de scorie de réduction; charbon de bois ayant lui aussi joué un rôle dans leur formation, ainsi que le révèlent les concentrations élevées en CaO et K₂O; analyse à la microsonde effectuée sur des lattes fines d'olivines et des spinelles zonés; olivine de composition très proche de la fayalite, celle des spinelles proche de l'hercynite.

Conclusion : ces battitures se sont formées à partir d'un métal oxydé riche en P, de scorie de réduction et de charbon de bois. Cette composition indique qu'il s'agit d'un déchet de raffinage.

79 Battitures rouillées : forgeage – CTT 994/58366 TI – Z4

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9204).

Morphologie : battitures rouillées; fragments angulaires, mais allongés; taille supérieure à 5 mm.

Etude au microscope optique : quatre battitures ont été étudiées; trois d'entre elles sont formées d'agglomérats de charbon de bois, de fragments de quartz et de battitures lamellaires et globulaires; battitures globulaires agglomérées consistant en scorie à structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; un fragment formé de métal en grande partie oxydé; métal intact révélant une structure de perlite avec inclusions de phosphures.

Analyse chimique : d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO, mais contenant des quantités non négligeables de SiO₂; rapport SiO₂/Al₂O₃ proche de celui des calottes; As, Co et Ba dominant parmi les éléments traces; métal dominant la composition chimique de ces objets; apport d'argile.

Conclusions : ces battitures se sont formées à partir d'un métal oxydé riche en P, As et Co et d'argile. Cette composition indique qu'il s'agit de déchets de forge au stade de l'élaboration du métal.

80 Battitures scoriacées : raffinage – CTT 994/58367 TI – Z4

Analyses effectuées : étude au microscope optique, WD-XRF (CTT9205), analyse d'une « bille » à la microsonde.

Morphologie : battitures scoriacées; billes de scories ovales; longueur inférieure au centimètre.

Etude au microscope optique : quatre billes étudiées; trois formées de scorie présentant une structure de dendrites de wustite sur fayalite allongée, parfois équigranulaire, squelettique, dans la matrice vitreuse; fayalite dominant la structure entre 60 à 80%, le solde consistant principalement en matrice vitreuse; oxydes de fer représentant une part inférieure à 5%; dans un cas, des spinelles d'hercynite et de la leucite en forme de segments de cercles viennent s'associer à cette composition; une bille formée essentiellement de matrice vitreuse avec de fines olivines en formes de plumes localisées; toutes les billes contiennent des inclusions non fondues, formées de battitures lamellaires, de fragments de charbon de bois et de quartz.

Analyse chimique : d'après l'analyse WD-XRF, battitures riches en FeO mais contenant des quantités non négligeables de SiO₂; rapport SiO₂/Al₂O₃ bas comparé à celui des calottes; V, Cr et Ni dominant parmi les éléments traces; métal dominant la composition chimique de ces objets, mais rapport mentionné et éléments traces indiquant que ces battitures se sont formées avec un apport élevé de scorie de réduction; charbon de bois ayant lui aussi joué un rôle dans leur formation, ainsi que le révèlent les concentrations élevées en CaO et K₂O; analyse à la microsonde effectuée sur des olivines allongées squelettiques, des spinelles et la matrice vitreuse; olivine de composition proche de la fayalite, spinelles de composition proche de l'hercynite; matrice riche en FeO.

Conclusions : ces battitures se sont formées à partir d'un métal oxydé riche en P, de scorie de réduction et de charbon de bois. Cette composition indique qu'il s'agit d'un déchet de raffinage.

81 Chute – DEV 993/1664 PR – F1 (Senn 2005, n° 42)

Analyses effectuées : étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1664).

Macrographie : coupe polie contenant du métal avec fissure de corrosion remplie de quartz et d'oxyde de fer dans sa partie centrale; localement, également fissures intergranulaires; métal contenant des inclusions de scorie allongées remplies de matrice vitreuse; ni les inclusions, ni les ségrégations de P rendues visibles par l'attaque au réactif d'Oberhoffer ne forment de traces claires de soudure.

Micrographie : métal présentant une structure de ferrite à gros grains (ASTM n° 0) et à petits grains; gros grains contenant partiellement des bandes de Neumann.

Conclusion : l'objet est formé de fer élaboré, riche en P. On n'observe aucune trace de travail qui le classerait dans les déchets de forge, mais la présence de défauts (fissures intergranulaires) pourrait signifier son abandon à l'état de chute. Les grands grains et macles sont typiques d'un métal riche en P. Il n'est pas produit à partir du métal local.

86 Ebauche – DEV 995/901 PR – F1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, MEB/EDS, LA-ICP-MS (DEV995/901A et B).

Macrographie : deux coupes polies effectuées, à travers la pointe et à travers la bande (fig. a); sur les coupes polies examinées, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées marquant les soudures; dans ces inclusions, scorie présentant une structure de spinelles sur wustite dans la matrice vitreuse (fig. d), ou de spinelles avec rhönite dans la matrice vitreuse.

Micrographie : métal présentant une structure de ferrite à gros grains (ASTM n° 4) et de ferrite à petits grains, dans des zones différentes; un bord de la pointe est cémenté sur une profondeur de 700 µm et présente une structure presque perlitique vers la surface (fig. c); teneur en C diminuant progressivement vers l'intérieur de l'objet; extrémité de la bande constitué d'acier hypoeutectoïde, également cémentée dans les parties superficielles; la distribution des teneurs en C dans les deux échantillons semble accidentelle.

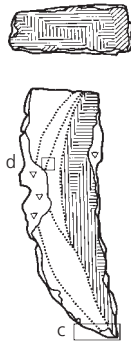
Analyse chimique :

- analyses MEB/EDS effectuées sur les inclusions de scorie pour identifier les spinelles; ces derniers contiennent Al_2O_3 et FeO comme composants majeurs, et V_2O_5 , MgO et Cr_2O_3 comme composants mineurs; cette composition est proche de l'hercynite; cette composition minéralogique riche en hercynite est typique des scories de réduction;
- analyses LA-ICP-MS effectuées sur le métal; la composition des deux échantillons étant plus ou moins identique, il s'agit donc d'un seul métal; la ferrite à gros grains est riche en P (jusqu'à 0,4 % masse); la composition et le rapport Ni/Co sont typiques du métal local.

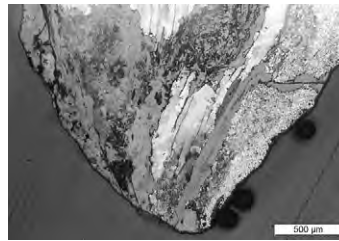
Conclusion : la bande a été produite directement à partir d'un morceau d'éponge de fer, car les scories incluses possèdent la composition minéralogique d'une scorie de réduction. L'objet a été recuit, car la structure est recristallisée. La surface est partiellement cémentée. Le métal a la qualité du fer dans la pointe, et de l'acier hypoeutectoïde à l'autre extrémité. D'après sa composition chimique, il s'agit d'un produit local.



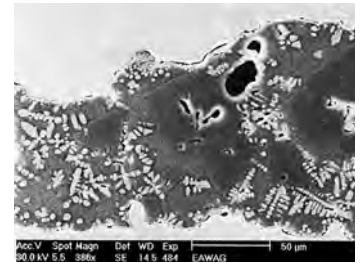
a. Ebauche avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Pointe de la section longitudinale (attaque au Nital). Produits de corrosion (gris), couche de fer (clair) et couche d'acier hypoeutectoïde (sombre).



d. Inclusion de scorie (gris) dans du fer (blanc). L'inclusion montre une structure de wustite dendritique sur cristaux équi-granulaires d'hercynite dans une matrice vitreuse. Image MEB, mode SE.

89 Matière de récupération – DEV 996/1890 PR – F1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1890).

Macrographie : coupe polie dévoilant du métal avec inclusions de scorie et ségrégations de P marquant les soudures d'une tôle en damas de corroyage (fig. b); partiellement fissurée par la corrosion le long des soudures; inclusions de scorie en grande partie corrodées; leur structure encore décelable est celle d'une wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie : métal comportant plusieurs couches, avec traces d'un écrouissage dans les parties pliées (fig. d); couches soit en acier hypoeutectoïde (C: 0,2-0,3% masse), soit en ferrite recristallisée (ASTM n° 7-10; fig. c).

Analyse chimique : d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P; rapport Ni/Co élevé, ne se retrouvant pas dans le métal local.

Conclusion : il s'agit de matière de récupération en forme de tôle pliée à froid, fabriquée en damas de corroyage, partiellement fissurée par la corrosion le long des soudures. La qualité du métal varie, suivant les couches, de l'acier hypoeutectoïde au fer. Il ne s'agit pas d'un produit local.



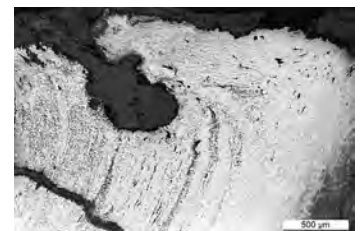
a. Matière de récupération avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété des sections métallographiques.



c. Couches soudées d'acier hypoeutectoïde (sombre) et de ferrite à gros grains (clair) (attaque au Nital).



d. Couches soudées avec écrouissage de la ferrite (en haut de l'image) (attaque au Nital).

95 Chute – DEV 994/1287 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 47)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Macrographie: coupe polie examinée révélant un corroyage de plusieurs couches; partie entourée par des produits de corrosion présentant une rupture mécanique; plusieurs couches contenant de nombreuses inclusions de scorie; inclusions de scorie allongées marquant le tracé

des soudures; scorie présentant une structure de deux phases d'oxyde de fer (gris foncé, gris clair) dans la matrice vitreuse.

Conclusion: il s'agit d'un déchet élaboré en fer, soudé en plusieurs couches. La grandeur des grains et la difficulté de l'attaque démontrent, tout comme la dureté de la ferrite, qu'il s'agit d'un fer de composition chimique particulière (riche en P ou en As).

96 Chute – DEV 994/1771 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 58)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1771).

Macrographie: coupe polie examinée présentant du métal enrobé de produits de corrosion; métal contenant des soudures marquées par des fissures de corrosion et des inclusions de scorie; porosités emplies de produits de corrosion.

Micrographie: métal à structure de ferrite à petits grains (ASTM n° 10), recristallisée.

Conclusion: il s'agit d'une chute élaborée en fer, soudée en plusieurs couches. La composition chimique du fer, riche en P et Ni, est typique du métal travaillé localement.

101 Chute – DEV 995/1016 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 83)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1016).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal enrobé d'une faible quantité de produits de corrosion, ne présentant pas de soudures et renfermant vers sa surface concave de nombreuses inclusions de scorie allongées, parfois de grande taille; scorie possédant une structure de matrice vitreuse, avec par endroits de la wustite dendritique; une face

est absolument rectiligne, avec une direction de travail horizontale, témoignant d'une découpe.

Micrographie: métal à structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains.

Conclusion: il s'agit d'une chute élaborée et découpée en acier hypoeutectoïde (C: env. 0,1% masse). La composition chimique riche en P, Ni et As de l'acier est typique du métal travaillé localement.

107 Raté – DEV 994/110 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 63)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV994/29);

Macrographie: métal étudié présentant une soudure primaire; inclusions de scorie contenant surtout de la matrice vitreuse, sauf le long de la soudure où se trouvent de grandes inclusions remplies de calamine.

Micrographie: tôle présentant la qualité d'un acier hypoeutectoïde (C: env. 0,1% masse), avec structure de ferrite et cémentite aux joints des grains (HV0.2 134-145), partiellement cémenté.

Conclusion: la composition chimique riche en P, Ni et As est typique du métal travaillé localement. Une cémentation le long des soudures et une décarburation autour de certaines fissures témoignent d'un traitement thermique mal effectué. Ces éléments conduisent à interpréter cet objet comme une pièce ratée.

108 Raté – DEV 994/1157 PR – F2/Z1

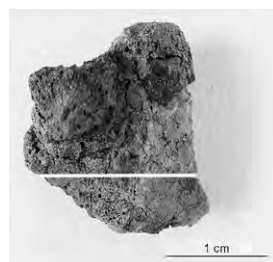
Analyses effectuées: étude au microscope optique avec attaque au FeCl₃/HCl aqueux.

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal dispersé dans des produits de corrosion (fig. b et c).

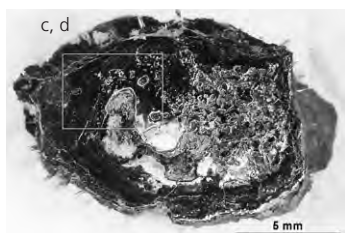
Micrographie: métal ne se laissant pas attaquer par le Nital. Si on l'attaque avec un réactif acide pour les alliages cuivreux, on constate qu'il s'agit d'un mélange de fer et d'un alliage cuivreux (fig. d). La température nécessaire pour qu'un tel mélange puisse se former est élevée (point

de fusion du bronze: 1083°C). L'alliage cuivreux se présente sous forme de cristaux mixtes α (phase riche en cuivre) avec l'eutectoïde ($\alpha+\delta$, phase riche en étain), et forme des gouttes et des coins dans le fer, sans qu'il y ait d'alliage avec ce dernier. Etant plus noble que le fer, l'alliage cuivreux a survécu à ce dernier, qui s'est corrodé plus rapidement.

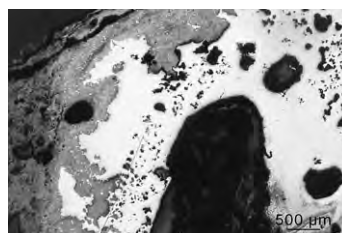
Conclusion: l'objet a subi, durant sa production, une surchauffe qui a conduit à la formation d'un mélange de fer et d'alliage cuivreux. Il s'agit d'un objet raté.



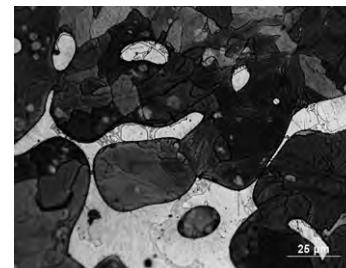
a. Raté avec localisation de prise d'échantillon.



b. Micrographie de la section métallographique. Métal et produits de corrosion (sombre), porosité (clair).



c. Métal (blanc), produit de corrosion (gris) et porosité (noir; non attaqué).



d. Composition mixte de fer (noir) et d'alliage cuivreux (gris clair: phase riche en cuivre, gris sombre: phase riche en étain; attaque au réactif FeCl₃/HCl).

109 Raté – DEV 994/1366 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 73)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal avec fortes traces de corrosion; peu d'inclusions de scorie, et très peu de replis; une partie des inclusions de scorie ne contenant que de la matrice vitreuse sont allongées, preuve que le métal a été travaillé.

Conclusion: il doit s'agir d'un objet raté en acier hypereutectoïde (C: env. 1 % masse), décarburé sur une de ses extrémités. Une cémentation trop forte durant son élaboration a probablement conduit à son abandon.

110 Raté – DEV 995/754 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV175).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comprenant cinq couches soudées entre elles, et repliées; soudures de très mauvaise qualité, car contenant de nombreuses grandes inclusions de matrice vitreuse, ou n'étant que partiellement fermées; elles sont décarburées.

Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde, avec une structure de Widmannstätten (fig. c); localement, surface cémentée avec une structure de perlite (acier eutectoïde; fig. d); le long des soudures,

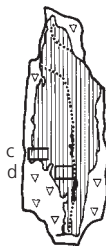
métal dévoilant en partie une structure de ferrite avec peu de cémentite secondaire aux joints des grains, conséquence d'une décarburation.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, effectuée sur deux couches, métal riche en As, P et Ni; rapport Ni/Co et composition du métal typiques du métal local.

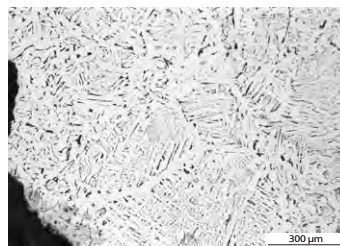
Conclusion: il s'agit d'un objet en acier hypoeutectoïde avec des soudures de très mauvaise qualité, indiquant une pièce ratée. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



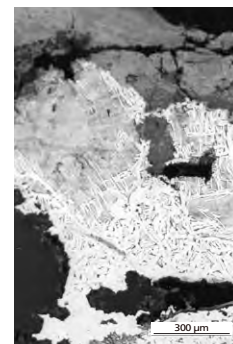
a. Raté avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Acier hypoeutectoïde avec structure de Widmannstätten (attaque au Nital).



d. Acier avec surface cémentée montrant une structure de perlite (sombre; attaque au Nital).

111 Raté – DEV 995/1004 PR – F2/Z1 (Senn 2005, n° 82)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1004).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal enrobé de produits de corrosion et présentant de nombreuses fissures intergranulaires; inclusions allongées toutes vides; attaque au réactif d'Oberhoffer mettant en évidence de fortes traces de déformation.

Conclusion: il s'agit d'un objet raté en acier hypoeutectoïde (C: env. 0,6 % masse), sur lequel on a effectué un fort martelage ayant provoqué sa fissuration lors de l'élaboration. L'objet a donc été abandonné avant son achèvement. D'après sa composition chimique, une production locale est à exclure.

112 Matière de récupération – DEV 995/1015 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1015).

Morphologie, macrographie: tôle repliée deux fois sur elle-même, réalisée à partir de matériel de récupération; sur la coupe polie examinée, on observe que la tôle est formée de quatre couches soudées ensemble (fig. b); soudure centrale fortement attaquée par la corrosion, ce qui a provoqué une fissuration de la tôle; là où elles sont encore visibles, les petites inclusions de scorie contiennent de la wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse.

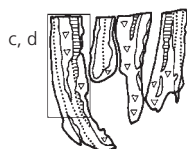
Micrographie: métal de la tôle présentant une structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 8; fig. d), cémentée sur une des faces sur une profondeur de 600 µm en un acier hypoeutectoïde (C: 0,4 % masse; fig. c); acier dévoilant une structure de ferrite aciculaire et de perlite.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en As; partie cémentée contenant davantage de P, de Cu et surtout de As que la partie en fer; rapport Ni/Co élevé; cette composition et ce rapport ne sont pas typiques du métal local.

Conclusion: tôle fabriquée à partir de quatre couches de fer riche en As, cémentée d'un côté. La composition chimique indique que le métal n'est pas d'origine locale.



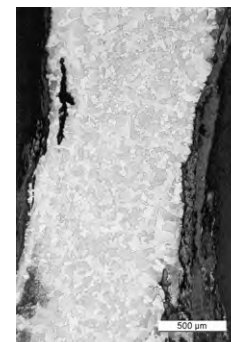
a. Matière de récupération repliée avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section montrant une ligne de soudure (attaque au Nital). Fer (clair), acier hypoeutectoïde (sombre) et parties corrodées (gris).



d. Métal avec structure de ferrite recristallisée (attaque au Nital).

117 Chute – CTT 994/2206 TI – Z4 (Senn 2005, n° 94)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT69).

Macrographie: métal examiné soudé en cinq couches; soudures marquées en partie par des inclusions de scorie; couches contenant du métal de différentes étapes de l'élaboration: au centre, métal de moins bonne qualité et moins élaboré que dans le reste de la pièce; soudure centrale fortement cémentée; la fabrication par corroyage indique un travail de récupération.

Conclusion: il s'agit d'une chute d'un objet corroyé à partir de métal récupéré, d'acier manufacturé, et d'acier partiellement raffiné (C: 0,2 à 0,3% masse). Deux compositions chimiques différentes ont été décelées avec des couches riches en Ni et As et d'autres riches en Cu et P. Elles ne sont pas typiques du métal local.

121 Chute – CTT 994/2123 TI – Z4 (Senn 2005, n° 87)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT1).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant quatre soudures, réunies par des soudures mises en évidence par la présence de scorie ou de fissures remplies de produits de corrosion; inclusions de scorie localisées uniquement le long des soudures.

Conclusion: il s'agit d'une chute en fer, à extrémité cassée et partie découpée vers la lame. Sa composition chimique riche en As, Ni et P est typique du métal travaillé localement.

122 Raté – CTT 994/2208 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT503).

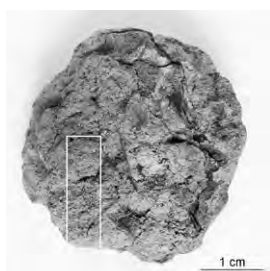
Macrographie: grandes quantités de produits de corrosion adhérent en surface; sur la coupe polie examinée, métal contenant un grand nombre de fissures au voisinage d'une des surfaces.

Micrographie: qualité du métal: fer et acier hypoeutectoïde (HV0.5 195); l'acier ayant été trempé, la partie superficielle de cette face est composée de bainite (HV0.5 420; fig. d); dans la partie ferritique, structures fantômes (fig. c) indiquant la présence d'un fer riche en P, recristallisé après un travail à chaud effectué à des températures

supérieures à 1050°C; teneur en P expliquant également la dureté élevée du fer (HV0.5 189-200, ASTM n° 8); la déformation à chaud est pratiquée lorsque l'on cherche à obtenir une grande déformation, comme c'est le cas par exemple lors de la production d'une tôle.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P, Ni et As; cette composition, ainsi que le rapport Ni/Co, sont typiques du métal local.

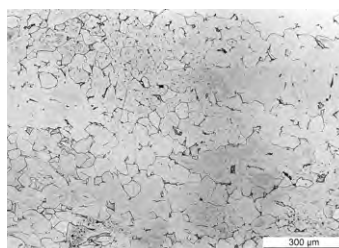
Conclusion: la tôle, obtenue par forgeage du fer, est trempée sur une de ses faces. Il s'agit d'un objet raté à cause de la fissuration, qui a été produit à partir de métal local.



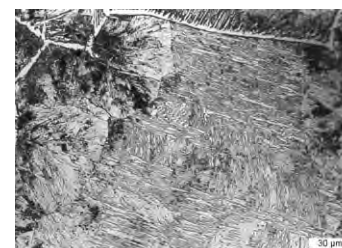
a. Raté avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer riche en phosphore avec structure fantôme (attaque au Nital).



d. Surface trempée avec structure de ferrite aciculaire et nodules de bainite (attaque au Nital).

126 Ebauche – CTT 994/8083 TI – F4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT994/8083).

Macrographie: une extrémité aplatie par découpe; sur la coupe polie examinée, métal contenant très peu d'inclusions de scorie, rendant difficile la détermination des soudures.

Micrographie: métal présentant une structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 7-8, HV0.2 117-121); le long de la soudure, on distingue des signes d'un écrouissage, et des grains plus petits témoignant d'un martelage (HV0.2 133); vers la pointe, ces signes, ainsi que la déformation, témoignent d'une découpe (fig. c); une partie de la surface étudiée est cémentée (fig. d); à la surface, perlite avec ferrite (HV0.2 146-150), passant à la ferrite avec cémentite aux joints des grains vers l'intérieur du métal (HV0.2 130).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en Ni et As; cette composition, ainsi que le rapport Ni/Co, sont typiques du métal local.

Conclusion: l'ébauche, en forme de barre, comprend deux couches soudées par forgeage à partir d'un métal bien élaboré. Elle est formée de fer, et sa surface est localement cémentée. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Ebauche avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Pointe découpée en fer, surface légèrement cémentée (à gauche de l'image; attaque au Nital).



d. Surface cémentée avec structure de ferrite (blanc) et perlite (noir; attaque au Nital).

129 Chute – CTT 996/4792 TI – F5 (Senn 2005, n° 97)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4792).

Macrographie: d'après la coupe polie examinée, l'extrémité taillée en biseau de la barre a été découpée; sur la coupe, métal ne contenant que peu d'inclusions de scorie, à structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal présentant une structure recristallisée de ferrite à gros et petits grains.

Conclusion: il s'agit d'une chute en forme de barre en fer avec une surface cémentée, découpée à une extrémité et avec de la ferrite écrouie à l'autre. D'après sa composition chimique riche en P et As, il s'agit d'un produit local.

135 Chute – CTT 996/4096 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/4096A et B).

Macrographie: deux coupes polies ont été réalisées, la première sur l'extrémité aplatie, l'autre à travers l'extrémité brisée (fig. a; b); dans la partie non examinée de l'extrémité aplatie, on distingue trois couches, dont une a probablement été découpée; dans la partie étudiée, il ne reste que les couches extérieures de la pointe; couche intérieure corrodée; seule l'attaque au réactif d'Oberhoffer confirme la présence de trois couches, par la mise en évidence de la répartition du P; on ne distingue pas de couches sur l'autre extrémité; métal ne contenant que très peu d'inclusions de scorie, mais étant fortement attaqué par la corrosion, créant de nombreuses fissures dans l'objet.

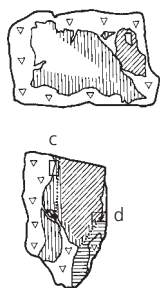
Micrographie: répartition du C irrégulière; tandis que les couches superficielles contiennent un acier hypoeutectoïde à teneur en C de 0,4-0,6% masse (fig. c), l'intérieur de la pièce présente une teneur en C variant de 0,02 à 0,7% masse (fig. d), mais ne contient en majeure partie pas ou peu de C.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal des deux coupes polies de composition identique; métal très riche en As et riche en Ni et Cu; rapport Ni/Co élevé; tous ces éléments ne sont pas typiques du métal local.

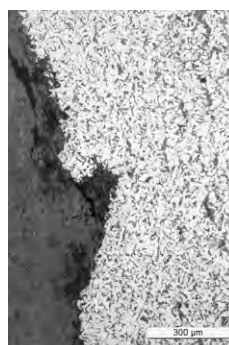
Conclusion: il s'agit d'une chute avec une extrémité aplatie par découpe. La partie découpée comprend, par endroits, trois couches soudées par forgeage. A l'autre extrémité, ces trois couches ne sont plus visibles. Le métal est bien élaboré, mais fortement attaqué par la corrosion. La teneur en C varie entre 50% de fer et 50% d'acier hypoeutectoïde (teneur en C moyenne: 0,3% masse) et 100% d'acier hypoeutectoïde (teneur en C moyenne: 0,45% masse). Aucune trace de traitement thermique n'est visible. D'après la composition chimique, il est exclu qu'il s'agisse d'un produit local.



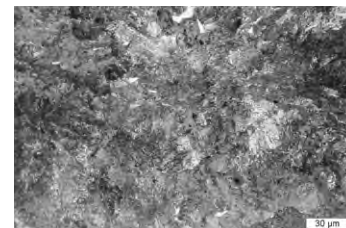
a. Chute avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Couche superficielle en acier hypoeutoïde: ferrite et perlite (attaque au Nital).



d. Partie centrale en acier presque eutoïde montrant une structure de perlite lamellaire et ferrite isolée (blanc; attaque au Nital).

138 Chute – CTT 996/4303 TI – F5 (Senn 2005, n° 95)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/4303).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal corroyé en au moins quatre couches; soudures marquées par des alignements d'inclusions de scorie allongées et sphériques de grande et de petite taille; dans les inclusions, scorie à structure de wustite sur fayalite allongée dans de la leucite en association symplectique avec la wustite; scorie attaquée par la corrosion; métal présentant par endroits des fissures intergranulaires.

Micrographie: métal à structure de ferrite avec structure fantôme et bandes de Neumann ou de ferrite avec aiguilles; une surface est légèrement cémentée et présente une structure de ferrite écrouie avec cémentite aux joints des grains.

Conclusion: il s'agit d'une chute d'une bande récupérée, car soudée en au moins quatre couches par corroyage. Le métal a la qualité d'un fer riche en P et As partiellement cémenté et travaillé à froid. Sa composition chimique riche en P, Cu, As et Ni, n'est pas typique du métal local.

142 Chute – CTT 996/4683 TI – F5 (Senn 2005, n° 98)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/4683).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant quatre couches soudées entre elles et pliées; métal contenant un faible nombre d'inclusions de scorie allongées et de grande taille, fortement attaquées par la corrosion; ces inclusions présentent une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 6).

Conclusion: il s'agit d'une chute en fer formée de trois à quatre couches pliées, produite avec du métal local riche en Ni, As et P.

157 Chute – CTT 996/4867 TI – F6 (Senn 2005, n° 99)

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4867).

Macrographie: coupe polie examinée réalisée par polissage de la surface de l'objet ne montrant par conséquent que cette surface; on y observe des ségrégations de P ainsi qu'une soudure; inclusions de scorie peu nombreuses, présentant une structure de dendrites de wustite sur olivines allongées dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal à structure de ferrite avec perlite.

Conclusion: il s'agit d'une chute dont la surface en acier hypoeutoïde (C: env. 0,2% masse) est soudée en plusieurs couches. L'acier est riche en As. Il ne s'agit pas d'un produit local.

160 Raté – CTT 995/5028 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT5028).

Macrographie: d'après la coupe polie examinée, barre comportant deux parties soudées, toutes deux en plusieurs couches; interfaces entre les couches se distinguant par la présence d'inclusions de scorie et de ségrégations de P; dans les inclusions, scorie présentant une structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse.

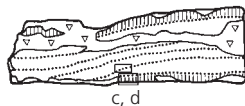
Micrographie: deux surfaces de la barre présentent une structure de Widmannstätten avec une teneur en C d'environ 0,3% masse (fig. d); elles sont cémentées; à l'intérieur, les deux parties sont formées de fer à structure de ferrite recristallisée à petits grains (ASTM n° 8; fig. c).

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, le métal des deux parties diffère par sa teneur en C et par sa composition générale, même si ces deux métaux restent très proches l'un de l'autre; la partie contenant peu de C est riche en P, alors que la couche riche en C proche de la surface est riche en Co; rapport Ni/Co variant entre 1,3 et 0,8; ni la composition, ni le rapport Ni/Co ne sont typiques du métal local.

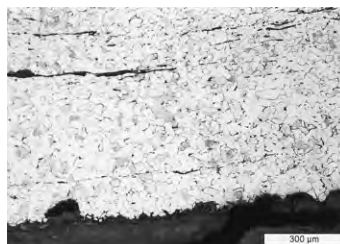
Conclusion: il s'agit d'un objet soudé en plusieurs couches, avec axe central ouvert sous l'effet de la corrosion. Les deux parties sont en fer avec une surface cémentée. D'après la composition chimique, il s'agit d'un métal de provenance étrangère.



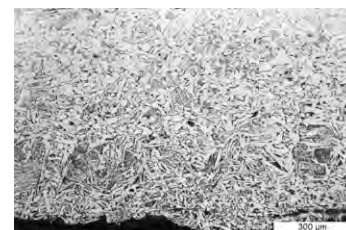
a. Raté avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Partie centrale avec structure de ferrite recristallisée (attaque au Nital).



d. Bord cémenté avec structure de Widmannstätten (attaque au Nital).

172 Ciseau à pointe – DEV 995/762 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV762).

Macrographie: coupe polie à travers la tête indiquant qu'elle a été obtenue par damas de plus de dix couches, présentant un axe central fissuré et corrodé (fig. b); sur cet axe se trouvent des inclusions de spinelles (magnétite?); autres couches séparées par des inclusions allongées, presque toujours vides; coupe polie à travers la pointe, mettant en évidence un damassage vertical (fig. c); inclusions de scorie présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: ciseau en acier hypoeutectoïde recristallisé à petits grains (fig. d); dans la tête, la teneur en C varie entre 0,2-0,3% masse, alors qu'elle est un peu plus basse dans la pointe (C: 0,1-0,2% masse); la tête possède des traces de déformation en surface.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS indiquant que le ciseau a été fabriqué à partir d'un métal riche en Ni, As et P; rapport Ni/Co et composition typiques du métal local.

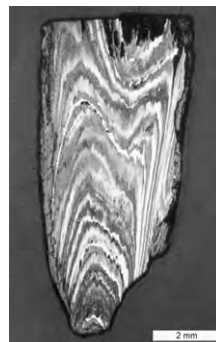
Conclusion: la pointe et la tête du ciseau sont forgées de deux manières différentes en damas: en bandes et en couches, à partir d'un acier hypoeutectoïde à teneur en C d'env. 0,2% masse. La structure du métal est recristallisée, mais contient encore des traces de déformation dans la tête. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Ciseau à pointe avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété des sections métallographiques.



c. Pointe montrant des ségrégations le long des soudures (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Couches soudées d'acier hypoeutectoïde dans la tête du ciseau (attaque au Nital).

175 Couteau – DEV 995/814 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV814).

Macrographie: la pointe du couteau, incluse dans la coupe polie examinée, est enrobée de produits de corrosion; des lignes de scorie marquent au moins cinq couches, mais les ségrégations de P révèlent une seule soudure dans la lame du couteau et une autre entre la lame et le tranchant (fig. c); inclusions de scorie plus nombreuses et moins larges sur le dos de la pièce, présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

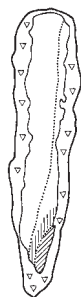
Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 7, HV0.1 148-160); le tranchant présente une structure de perlite très fine (HV0.1 340-390; fig. d).

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS indiquant que le tranchant et le corps de la lame sont formés de deux métaux différents; métal du corps contenant très peu d'éléments traces; sur le tranchant, métal riche en Cu; ces deux métaux possèdent une composition et un rapport Ni/Co qui diffèrent du métal local.

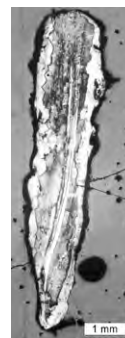
Conclusion: la pointe du couteau est en fer, avec un tranchant ajouté en acier eutectoïde. Les deux métaux sont de compositions chimiques différentes, aucune n'étant comparable à celle du métal local.



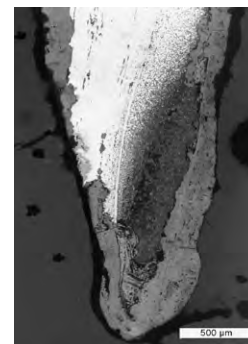
a. Couteau avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section montrant une ségrégation le long de la soudure (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Tranchant cémenté en acier eutectoïde (sombre) et lame en fer (blanc; attaque au Nital).

190 Ciseau droit – DEV 993/1700 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV993/1700).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées, rendant difficile la différenciation des couches; inclusions de scorie présentant une structure de wustite sur fayalite équi-granulaire dans la matrice vitreuse, ou de wustite dans la matrice vitreuse; attaque au réactif d'Oberhoffer indiquant que le métal comporte au moins huit couches, et qu'il présente un axe central (fig. c); les couches ont en partie été pliées, menant à la conclusion qu'il s'agit d'un damas d'assemblage; la pointe est légèrement déformée.

Micrographie: au centre de la pièce, métal présentant la qualité d'un acier hypoeutectoïde (fig. d), avec une teneur en C située entre 0,3 et 0,4% masse; couches situées vers l'extérieur contenant moins de

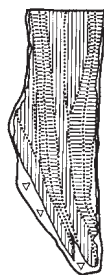
C (0-0,2% masse), tandis que celles proches de la surface en sont à nouveau un peu plus riches; la structure est recristallisée; des bandes de ferrite ou de la perlite orientée aux joints des grains indiquent un travail de déformation à chaud.

Analyse chimique: deux couches ont été analysées par LA-ICP-MS et présentent des compositions proches de celle du métal local: la médiane 1, analysée au centre, est riche en As, Ni et P, tandis que la médiane 2, analysée vers la surface, est riche en P et Ni.

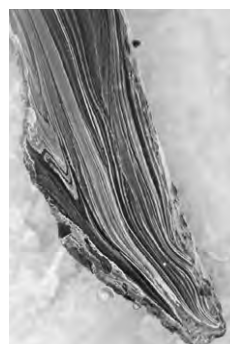
Conclusion: l'axe central, ainsi que les nombreuses soudures partiellement repliées sur elles-mêmes, indiquent que l'outil a été produit par damas d'assemblage. La pointe est déformée et divisée par la corrosion. Le métal a la qualité d'un acier hypoeutectoïde. Sa teneur en C varie entre 0,2 et 0,4% masse. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



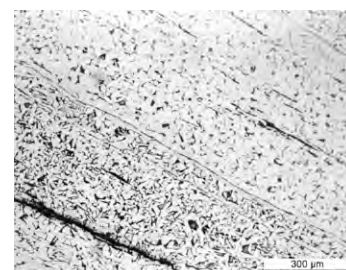
a. Ciseau droit avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique



c. Section montrant des ségrégations le long des soudures (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Partie centrale en acier hypoeutectoïde avec structure de perlite (sombre) et ferrite (clair; attaque au Nital).

196 Poinçon – DEV 995/817 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV817).

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal enrobé de produits de corrosion; métal présentant des inclusions de scorie allongées à structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse, ou de dendrites de wustite sur olivines allongées dans la matrice vitreuse; localement, métal contenant une zone très riche en inclusions de scories; ségrégations de P indiquant que le manche est soudé en différentes couches, avec une pointe élargie.

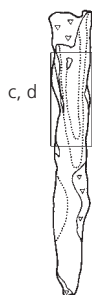
Micrographie: métal présentant une structure de ferrite ayant subi un recuit (fig. c); grains plus grands dans les couches extérieures (ASTM n° 5) qu'au centre (ASTM n° 8; fig. d); zone riche en inclusions de scorie, riche en P et contenant des petits grains; pointe présentant encore des traces de déformation, sous forme de grains allongés.

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS: fer très riche en As, teneur en Ni élevée; cette composition, ainsi que le rapport Ni/Co, différent du métal local.

Conclusion: le poinçon est forgé en différentes couches repliées, dans un fer riche en As. D'après la composition chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



a. Poinçon avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer (blanc) et produit de corrosion (gris; attaque au Nital).



d. Structure de ferrite avec grains de petite et de grande taille (attaque au Nital).

205 Fragment de sonnaile, plaquée d'alliage cuivreux – DEV 995/801 PR – F1

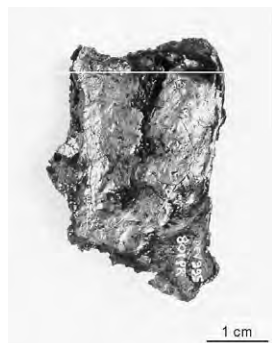
Analyses effectuées: étude au microscope optique avec attaque au FeCl_2/HCl aqueux, LA-ICP-MS (DEV801), MEB/EDS.

Macrographie: la coupe polie examinée, brisée, présente jusqu'à quatre couches de bronze et trois couches de fer (fig. b, c); dans une des couches de bronze se trouve une grande inclusion de scorie; le bronze enrobe le fer, dont la surface a fondu; le fer forme des grains arrondis en contact avec le bronze; on en trouve également dispersés dans le bronze.

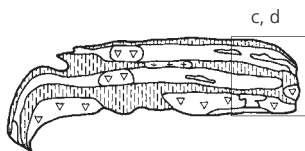
Micrographie: bronze présentant une structure de grains mixtes α avec des inclusions de grains de plomb et de grains de fer (fig. d); à la surface, grains localement allongés, indiquant un martelage.

Analyse chimique: d'après l'analyse MEB/EDS, le bord du fer formant des grains s'est enrichi en Cu; les inclusions de fer dans le bronze sont de même composition; en plus de l'étain et du cuivre, bronze contenant des inclusions de plomb et de fer; analyse LA-ICP-MS du fer indiquant que l'As et le Cu dominant la composition, ce qui est probablement dû à l'influence du bronze sur le fer et n'est pas lié à l'origine du fer; rapport Ni/Co élevé; la composition, ainsi que le rapport Ni/Co, n'ont pas de similitude avec le métal local.

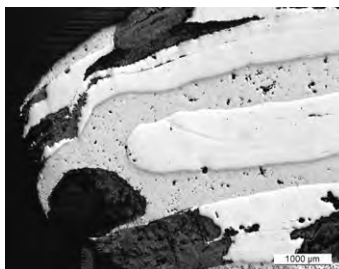
Conclusion: il s'agit d'un fragment de sonnaile avec placage de bronze riche en plomb (Cu + Sn + Pb), repliée deux fois sur elle-même. L'alliage cuivreux a fondu la surface du fer en le cuivrant, et s'est ainsi enrichi en fer. D'après la composition chimique du fer, il doit s'agir d'un produit étranger.



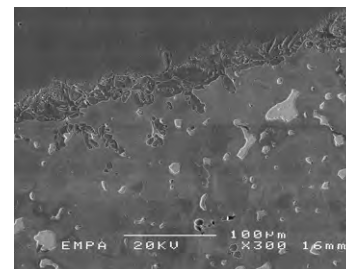
a. Fragment de sonnaile avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer (blanc), bronze (gris clair) et produit de corrosion (gris; attaque au réactif FeCl_2/HCl).



d. En haut de l'image, fer. En bas, cuivre avec inclusion de plomb (gris clair) et fer (gris foncé; attaque au réactif FeCl_2/HCl). Image MEB, mode SE.

207 Fragment de sonnaile, plaquée d'alliage cuivreux – DEV 995/862 PR – F1

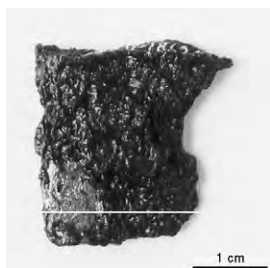
Analyses effectuées: étude au microscope optique avec attaque au FeCl_2/HCl aqueux, MEB/EDS du métal.

Macrographie: le bord examiné sur la coupe polie est replié sur lui-même (fig. b); les couches des différents métaux sont fondues ensemble (fig. c); aucune trace de soudure ni brasure.

Micrographie: le contact entre le fer et le bronze a fondu; fer formant des grains arrondis infiltrant le bronze; ce dernier contient de nombreuses inclusions de fer oxydé et présente des cristaux mixtes de la phase α avec une faible quantité de cristaux eutectoides de la phase ($\alpha+\delta$) sur le bord (fig. d); cristaux eutectoides riches en étain, contenant des inclusions mixtes riches en soufre.

Analyse chimique: analyse MEB/EDS révélant la composition de l'alliage cuivreux (Cu et Sn) ainsi que les phases de ce métal, et indiquant que le bronze est enrichi en fer, conséquence de la fusion du fer à l'interface avec le bronze.

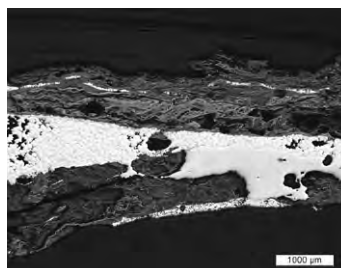
Conclusion: il s'agit d'un fragment de sonnaile avec placage de bronze (Cu + Sn). L'alliage cuivreux a fondu la surface du fer en le cuivrant et s'est mélangé au fer.



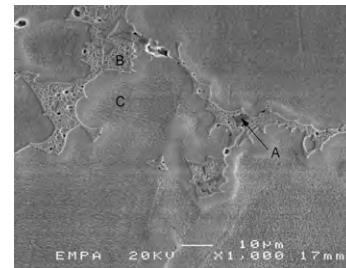
a. Fragment de sonnaïlle avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer (blanc), bronze (gris clair) et produit de corrosion (gris; attaque au réactif $FeCl_2/HCl$).



d. Bronze avec structure de A) inclusion riche en soufre, B) phase eutectoïde ($\alpha+\delta$) riche en étain et C) cristaux mixtes α (attaque au réactif $FeCl_2/HCl$). Image MEB, mode SE.

238 Terminaison de lanière de ceinture, damasquinée d'argent et de laiton – DEV 994/1969 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1969), microsonde (21, 22).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant de nombreuses inclusions (fig. c), et par endroits des scories de grande taille; scorie présentant une structure de matrice vitreuse ou de wustite et, dans un cas, de spinelles et de wustite dans la matrice vitreuse; inclusions de scorie révélant la présence de quatre couches, tandis que l'attaque au réactif d'Oberhoffer met en évidence encore davantage de lignes de soudure: la tôle a donc été obtenue par soudage d'au moins quatre couches.

Micrographie: métal présentant une structure de ferrite à grains grossiers (ASTM n° 1; fig. d), devenant un peu plus fine dans la zone riche en inclusions de scorie.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal très riche en P et en As; rapport Ni/Co élevé, de même que la teneur en Cu; la composition chimique n'est pas typique du métal local; analyses à la microsonde du damasquinage indiquant qu'il s'agit d'argent et de laiton; l'argent est très pur, alors que le laiton présente une teneur élevée en zinc pour sa méthode de production.

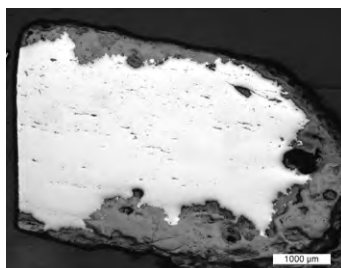
Conclusion: il s'agit d'un objet en fer riche en P et en As, comprenant au moins quatre couches soudées entre elles. Il ne s'agit pas d'un produit local.



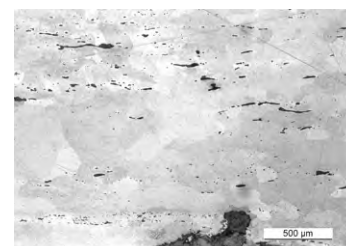
a. Terminaison de lanière de ceinture avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaqué): métal riche en inclusions de scorie et produits de corrosion (gris).



d. La ferrite à gros grains contient des nombreuses inclusions de scorie (attaque au Nital).

239 Ardillon de ceinture, damasquiné d'argent et de laiton – DEV994/1687 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1687), microsonde (18).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant plusieurs couches repliées (fig. b); certaines couches sont riches, d'autres pauvres en inclusions de scorie.

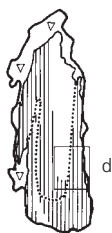
Micrographie: la pointe incurvée de l'ardillon forme deux couches soudées ensemble et repliées deux fois; l'une des couches est en fer, l'autre en acier hypoeutectoïde (C: 0,2-0,3% masse; fig. d); le C a en partie traversé la soudure par diffusion; décarburation le long de la soudure; ferrite pauvre en inclusions de scorie, présentant une structure primaire attaquée par le réactif d'Oberhoffer, tandis que les inclusions de scorie sont nombreuses dans l'acier hypoeutectoïde; ce dernier présente une structure de ferrite avec perlite globulaire aux joints des grains; la pièce a par conséquent subi un recuit.

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur les couches extérieure et intérieure indiquant une composition identique; métal analysé riche en P et As, Cu élevé; cette composition n'est pas typique du métal local; l'analyse à la microsonde du damasquinage n'a pu être effectuée que sur les parties en laiton, car les quantités d'argent restantes étaient trop faibles; le laiton est pur, avec une teneur élevée en zinc pour sa méthode de production.

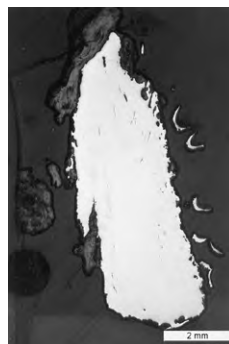
Conclusion: la pointe incurvée de l'ardillon consiste en deux tôles soudées ensemble et repliées sur elles-mêmes. L'une des tôles est en fer, l'autre présente la qualité d'un acier hypoeutectoïde. D'après l'analyse chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



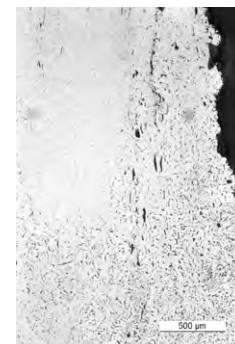
a. Ardillon de ceinture avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaqué): métal avec inclusions de scorie et produits de corrosion (gris).



d. Couches de fer et d'acier hypoeutectoïde. La soudure est marquée par des inclusions de scorie (attaque au Nital).

261 Élément de harnais, damasquiné d'argent et de laiton – DEV 995/778 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV778), microsonde (19, 20).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant très peu d'inclusions de scorie, présentant une structure de matrice vitreuse; ségrégations de P, rendues visibles par l'attaque au réactif d'Oberhoffer, indiquant que la pièce est soudée en trois couches (fig. b); les ségrégations suivent les quelques inclusions de scorie (fig. c).

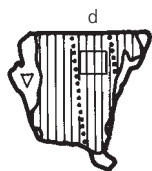
Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde à structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (C: 0,2-0,3% masse; fig. d); perlite en train de former des gouttes, indiquant que l'objet a subi un recuit.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS effectuée sur les couches inférieure et centrale; écart-type des mesures très élevé, car un des points mesurés est de composition différente (plus riche en P, Co, Ni et As) sans que l'on puisse trouver une raison pour l'expliquer; métal pauvre en éléments traces; cette composition, ainsi que le rapport Ni/Co, ne sont pas typiques du métal local; d'après l'analyse à la microsonde, le damasquinage a été réalisé avec de l'argent et du laiton; argent contenant du cuivre comme élément mineur, tandis que le laiton est pur et contient une quantité élevée de zinc.

Conclusion: la tôle du harnais est soudée en trois couches d'acier hypoeutectoïde. D'après l'analyse chimique de l'acier, une production locale est à exclure. Le laiton est de très bonne qualité.



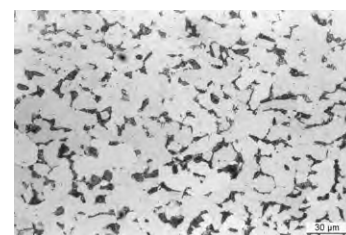
a. Élément de harnais avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaqué): métal avec inclusions de scorie et produits de corrosion (gris).



d. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite (attaque au Nital).

275 Clou – DEV 993/1693 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV1693).

Macrographie: coupe polie examinée englobant la totalité du clou; inclusions de scorie dans le métal indiquant la présence de cinq couches, tandis que les ségrégations de P révèlent huit couches dans la tête (fig. c), et deux seulement dans la tige (fig. b); le nombre de couches composant l'objet demeure ainsi incertain; la tête a été forgée par pliage, suivie d'un élargissement; inclusions de scorie présentant une structure de wustite dans la matrice vitreuse; dans certaines la wustite domine, et dans d'autres, la matrice; inclusions en partie brisées et de grande taille.

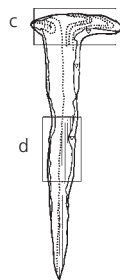
Micrographie: métal ferritique (fig. d) recristallisé et contenant quelques bandes de Neumann (ASTM n° 8, HV0.1 204); dans les zones à structure primaire, les grains sont grands et durs (HV0.1 267); dans la pointe, les grains sont écrouis suite à un martelage à froid (HV0.1 216-231); certaines couches présentent localement une basse teneur en C (C: env. 0,1% masse).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P, Ni et Co, ce qui s'exprime également dans la dureté élevée (voir HV) de la ferrite; rapport Ni/Co très bas comparé à celui du métal local.

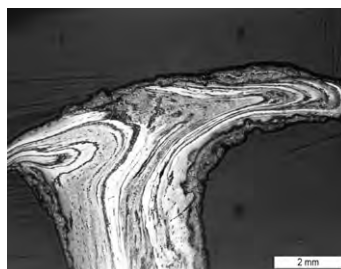
Conclusion: la tige du clou est formée par le soudage de plusieurs couches; la tête a été forgée par pliage et élargissement. Le matériel dans lequel le clou a été fabriqué est composé de fer riche en P. Une production à partir du métal local n'est pas probable.



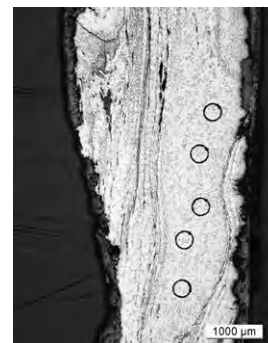
a. Clou avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Tête du clou (attaque au réactif d'Oberhoffer): les lignes de ségrégation montrent la direction de la déformation par martelage.



d. Le métal de la tige est surtout en fer (attaque au Nital). Les cercles marquent la localisation des analyses LA-ICP-MS.

319 Lame de couteau – DEV 995/1037 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV1037).

Macrographie: la soie sur laquelle la section polie examinée a été prélevée est formée de deux couches soudées entre elles (fig. b, c); le métal, enrobé de produits de corrosion, contient de nombreuses inclusions de scorie présentant en grande partie une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; une des soudures est marquée par un alignement de scories attaquées par la corrosion (fig. c).

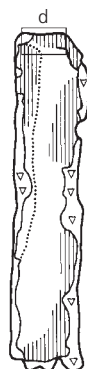
Micrographie: métal présentant avant tout une structure de ferrite à gros (HV0.1 264) et petits grains (ASTM n° 6), partiellement allongée (HV0.1 204); surface cémentée (fig. d) dévoilant une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (HV0.1 267); cémentation ayant provoqué en surface une recristallisation qui a détruit le fibrage du métal.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal très riche en P; rapport Ni/Co typique du métal local, mais pas la composition: métal pauvre en Ni et Co, mais très riche en P.

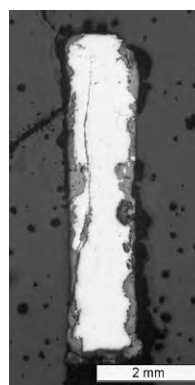
Conclusion: la surface de la soie en fer du couteau est partiellement cémentée. Le fer, très riche en P (0,6% masse), est par conséquent dur. Il peut s'agir d'un métal produit à partir d'un minerai riche en P, tel le minerai oolithique, ce qui exclut une production locale.



a. Lame de couteau avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaquée): métal (blanc) et produits de corrosion (gris).



d. Bord cémenté en acier hypoeutectoïde et fer avec inclusions de scorie (attaque au Nital).

321 Boucle de ceinture – DEV 994/1648 PR – F2/Z1

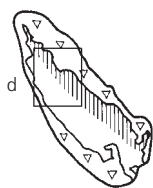
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1648).

Macrographie: sur la coupe polie effectuée à travers la boucle, métal ne contenant que peu d'inclusions de scorie (fig. c) à structure de wustite dans la matrice vitreuse.

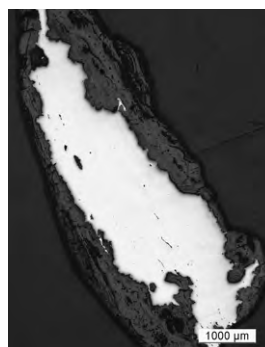
Micrographie: métal présentant une structure de ferrite (ASTM n° 8) et de ferrite avec perlite (C: env. 0,3% masse); la surface, en acier hypoeutectoïde, est cémentée (fig. d); grains non déformés indiquant que le métal a été soumis à un recuit.



a. Boucle de ceinture avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaqué): métal (blanc) et produits de corrosion (gris).



d. Bord cémenté en acier hypoeutectoïde et fer avec inclusions de scorie (attaque au Nital).

322 Bracelet – DEV 995/1032 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1032).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant de petites inclusions de scorie allongées ou sphériques (fig. c); scorie à structure de matrice vitreuse ou de wustite dans la matrice vitreuse; à l'intérieur, métal attaqué par la corrosion; objet forgé d'une seule pièce.

Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 6; fig. d).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, fer riche en As et Ni; le rapport Ni/Co, ainsi que la teneur élevée en Cu indiquent qu'il est peu probable qu'il s'agisse d'un produit local.

Conclusion: le fil du bracelet est formé d'une seule couche d'un fer riche en As. D'après l'analyse chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



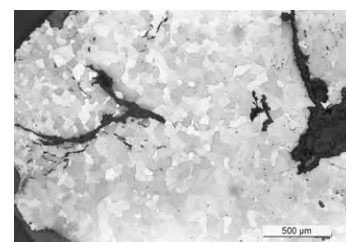
a. Bracelet avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (non attaqué): métal (blanc) et gris produits de corrosion (gris).



d. Fer avec inclusions de scorie (attaque au Nital).

329 Bande – DEV 995/1038 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1038).

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal avec des inclusions de scorie et des porosités, marquant deux soudures (fig. c); inclusions de scorie à structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse.

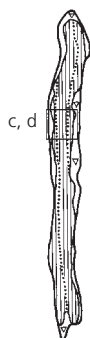
Micrographie: métal composé d'acier hypoeutectoïde (C: env. 0,3% masse), avec de fortes traces de déformation; la structure est cependant recristallisée et prend la forme de ferrite et de perlite très fine (fig. d).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P et As; rapport Ni/Co typique du métal local; bien que la teneur en Cu soit élevée pour la composition de ce dernier, cette appartenance est toutefois possible.

Conclusion: bande d'acier hypoeutectoïde formée de trois couches soudées entre elles. D'après l'analyse chimique, il s'agit probablement d'un produit local.



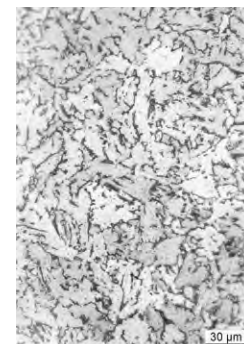
a. Bande avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Trois couches en acier hypoeutectoïde, séparées par des inclusions de scorie (attaque au Nital).



d. Acier hypoeutectoïde avec structure de ferrite et perlite (attaque au Nital).

336 Objet non défini (tranchant) – DEV 995/1043 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV1043.2).

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal avec des inclusions de scorie allongées; scorie présentant principalement une structure de matrice vitreuse qui n'est qu'exceptionnellement brisée; le long de la fissure de corrosion, inclusion à structure de wustite dans la matrice vitreuse indiquant que cette fissure se trouve le long d'une soudure: il s'agit de la soudure centrale; les ségrégations de P, rendues visibles par l'attaque au réactif d'Oberhoffer, indiquent que le tranchant est formé par soudage d'au moins cinq couches (fig. c).

Micrographie: métal présentant une teneur en C très variable suivant les différentes couches (fig. d): l'intérieur du tranchant est riche en C (C: 0,6-0,8% masse, HV0.1 perlite 271-307, ferrite aciculaire 228, fer-

rite 169), tandis que les couches extérieures conservées sont pauvres en C (C: 0,1-0,2% masse, HV0.1 157-168); par contre, la surface est cimentée sur une profondeur de 100 µm; structure très fine due à un martelage intensif suivi d'un recuit; soudures décarburrées; la structure très fine permet d'obtenir une bonne dureté, associée à une ductilité permettant d'obtenir un tranchant très acéré.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, couches extérieures en acier riches en As, Ni et P; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: le tranchant a été obtenu par soudage d'au moins cinq couches entre elles. Il est formé d'acier hypoeutectoïde et de fer fortement martelé. La composition chimique du métal indique qu'il s'agit d'un produit local.



a. Objet non défini (tranchant) avec localisation de prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Le réactif d'Oberhoffer rend visible les ségrégations le long des soudures qui forment cinq couches.



d. Fer (clair) et acier hypoeutectoïde (sombre; attaque au Nital).

340 Fragment d'outil (tête) – DEV 994/1388 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV44).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal renfermant de nombreuses fissures; on n'y décèle aucune inclusion de scorie; fissures de corrosion suivant les soudures (fig. b), qui sont presque invisibles.

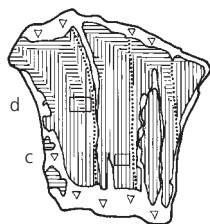
Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde (fig. c), allant par endroits jusqu'à un acier eutectoïde (fig. d); inclusion lenticulaire – provenant du forgeage de l'éponge – ne contenant que très peu de perlite; métal ne présentant aucune trace de martelage; son état actuel est plutôt la conséquence d'un traitement thermique, peut-être dû à un traitement de normalisation vu la petite taille et la régularité des grains; durant ce traitement, il s'est produit une légère décarburation de la surface.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en Ni et As; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local, mais teneur en Ni élevée.

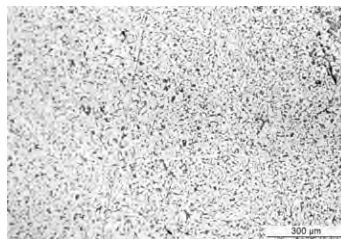
Conclusion: cet objet forgé se compose d'acier hypoeutectoïde. Il est formé par soudage de deux couches. Si la pièce provient d'un outil, il n'a probablement jamais été utilisé; si elle provient par exemple d'une tête de barre de balance, elle est mal formée mais utilisable. En raison des soudures mal effectuées, on peut également imaginer qu'il s'agit simplement d'un déchet de forge qui n'a jamais été utilisé, étant raté. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



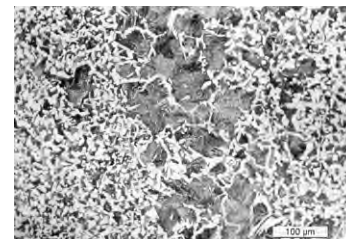
a. Fragment d'outil (tête) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite (attaque au Nital).



d. Perlite et ferrite: au centre, zone plus riche en carbone (attaque au Nital).

345 Couteau – DEV 994/1686 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1686).

Macrographie: sur la coupe polie examinée prise sur le dos du couteau, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie; dans les inclusions, scorie présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; soudures marquées par les inclusions de scorie ainsi que ségrégations de P indiquant que le métal est damassé (fig. b et c); dos martelé et plié.

Micrographie: métal de qualité variant du fer à l'acier hypoeutectoïde (fig. d), difficile à attaquer; fer à gros grains se concentrant le long des soudures décarburées; acier hypoeutectoïde à structure de perlite avec ferrite aciculaire se retrouvant dans les couches et présentant une structure de perlite avec ferrite aciculaire (C: env. 0,5% masse); localement, surface cémentée dévoilant une structure de perlite.

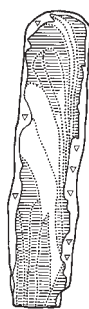
Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur trois couches:

- couche en acier hypoeutectoïde du dos riche en As (médiane 1); rapport Ni/Co et composition typiques du métal local, mais Ni et Co très bas;
- couche ferritique entre la lame et le dos très riche en P (médiane 2); ni cette composition, ni le rapport Ni/Co ne sont typiques du métal local;
- couche en acier hypoeutectoïde dans la lame très riche en As (médiane 3); une origine locale de cet acier est peu probable.

Conclusion: la lame a été formée selon la technique du damas d'assemblage. La teneur en C varie du fer à l'acier hypoeutectoïde selon les couches. Les soudures sont décarburées, tandis que la surface de la lame est cémentée. La lame a été réalisée par forgeage de trois matériaux différents, soit un fer riche en P et un acier riche en As, ainsi qu'un acier moins riche en As. Ce dernier pourrait avoir une origine locale, mais c'est peu probable: il s'agit plutôt d'un produit externe.



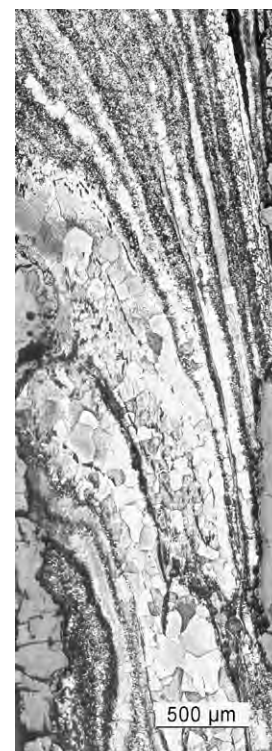
a. Couteau avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Section (attaque au réactif d'Oberhoffer): les parties riches en phosphore (blanc) marquent partiellement les soudures.



d. Fer avec structure de gros grains et acier hypoeutectoïde dans les parties sombres (attaque au Nital).

346 Alène – DEV 996/1964 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, MEB/EDS, LA-ICP-MS (DEV1964).

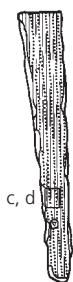
Macrographie : sur la coupe polie examinée, métal subdivisé en six couches par des inclusions de scorie et des ségrégations de P (fig. b); dans les inclusions, scorie présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice amorphe.

Micrographie : métal possédant la qualité d'un acier hypoeutectoïde, avec une teneur en C et une grandeur de grains variant selon les couches (C: 0,1-0,3% masse; fig. c); le long des soudures, ferrite à structures en bandes; acier présentant également partiellement cette structure, ces formations résultant d'un martelage à chaud; toute la pointe contient de grandes aiguilles de cémentite secondaire partant d'une des surfaces (fig. d).

Analyses chimiques : d'après les analyses MEB/EDS, teneur en C des aiguilles de cémentite plus élevée que celle de la ferrite, mais moins élevée que celle de l'acier hypoeutectoïde à petits grains; analyses LA-ICP-MS effectuées sur trois couches du métal, soit deux couches extérieures plus la couche centrale; exceptées quelques variations des teneurs en éléments P et As dues au forgeage, le métal est de composition uniforme dans ces trois couches; seule la teneur en P est un peu élevée, tandis que les autres éléments présentent des concentrations faibles à moyennes; ni cette composition, ni le rapport Ni/Co ne sont typiques du métal local. **Conclusion :** la partie étudiée de l'alène résulte d'un assemblage en damas d'un acier hypoeutectoïde, avec une teneur en C variable (C: 0,1-0,3% masse). D'après la composition chimique du métal, une origine locale du métal forgé est à exclure.



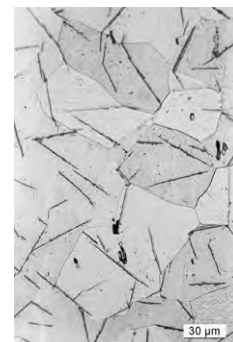
a. Alène avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Trois couches en acier hypoeutectoïde avec structure de perlite (sombre) et ferrite (claire; attaque au Nital).



d. Ferrite avec aiguilles de cémentite (attaque au Nital).

350 Lame de scramasaxe – DEV 995/1054 PR – F2/Z1

Analyses effectuées : étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1054).

Macrographie : sur la coupe polie examinée du dos de la lame, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie; toutes les grandes inclusions sont brisées et présentent une structure de matrice vitreuse, exceptionnellement de wustite dans la matrice vitreuse; l'attaque au réactif d'Oberhoffer met en évidence six couches par partie de lame; soudure centrale brisée et corrodée (fig. b); dans une partie de la lame, les couches sont repliées, indice que l'on a commencé le travail avec un «paquet» de trois couches.

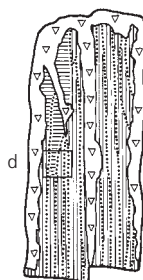
Micrographie : métal présentant une structure de perlite avec ferrite (fig. c, d); ferrite à structure en bandes, due à une forte déformation; la teneur en C la plus élevée se retrouve dans la couche à fissure (C: 0,6% masse, contre 0,3% masse dans le reste de la pièce).

Analyse chimique : analyse LA-ICP-MS effectuée sur l'acier hypoeutectoïde à 0,3% masse de C, le long de la fissure centrale; acier riche en As et Ni; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

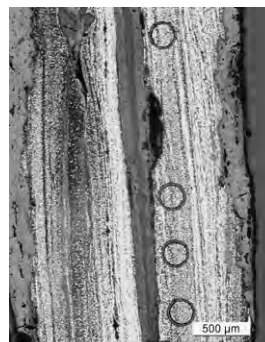
Conclusion : la lame a été soudée par damas de corroyage (trois couches ont été repliées une fois, puis la pièce a été coupée en deux parties qui ont par la suite été soudées ensemble). D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Lame de scramasaxe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Différentes couches en acier hypoeutectoïde avec structure de perlite (sombre) et ferrite (claire; attaque au Nital).



d. Ferrite et perlite en concentrations variable selon les couches (attaque au Nital).

353 Ciseau droit – DEV 993/1650 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV1650).

Macrographie: la coupe polie examinée englobe la tête du ciseau et comporte huit couches (fig. b, c), dont sept très riches en inclusions de scorie à structure de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde (C: env. 0,2% masse, HV0.1 124-138), avec traces de martelage vers la surface de la tête (HV0.1 204-215); structure de ferrite avec perlite aux joints des grains (fig. d), écroûie vers la surface de la tête; au centre, acier enrichi en C (C: env. 0,6% masse, HV0.1 200) le long d'une soudure.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS effectuée sur la couche de métal pauvre en inclusions de scorie: métal riche en As et Ni; l'écart type important (RSD) concernant les mesures des éléments P et As est la conséquence de leurs ségrégations provoquées par le forgeage; une production locale de cet objet est à exclure, car le rapport Ni/Co est trop bas comparé à celui du métal local.

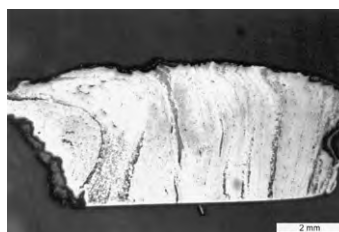
Conclusion: la tête du ciseau comporte huit couches de métal soudées ensemble et possédant la qualité d'un acier hypoeutectoïde. Elle présente des traces de martelage. D'après sa composition chimique, le métal n'est pas d'origine locale.



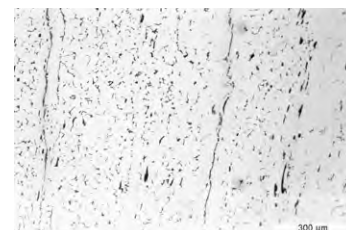
a. Ciseau droit avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Les ségrégations le long des soudures rendent visibles différentes couches (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Acier hypoeutectoïde avec bandes de ségrégation suivant les soudures (attaque au Nital).

356 Ciseau à pointe – DEV 995/1069 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV1069).

Macrographie: coupe polie examinée présentant du métal à nombreux replis pratiquement fermés, ainsi que des fissures de corrosion et inter-cristallines; rares inclusions de scorie allongées à structure de matrice vitreuse; certaines parties des produits de corrosion contiennent une structure fantôme d'acier hypereutectoïde.

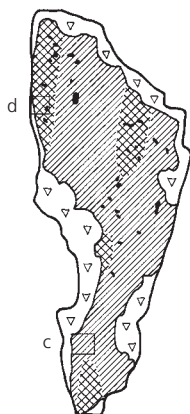
Micrographie: métal dévoilant principalement une structure de bainite (HV0.1 585-712) et de martensite (HV0.1 681-1089), partiellement de martensite avec bainite nodulaire (HV0.1 286-433; fig. c); zones riches en replis formées d'acier hypereutectoïde (C: env. 0,9% masse), contenant des inclusions de phosphures (fig. d); l'objet a subi une trempe totale, ce qui a créé un gradient de dureté, les parties les plus dures se trouvant vers le manche.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, acier ne contenant que peu d'éléments traces, à l'exception du Ni, présent en concentration moyenne; rapport Ni/Co très élevé; ni ce rapport, ni la composition ne sont typiques du métal local.

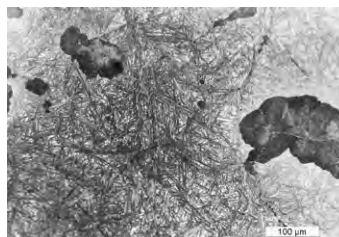
Conclusion: le ciseau est fabriqué à partir d'une pièce de métal composée d'acier eutectoïde à hypereutectoïde. Le métal est mal élaboré et a été travaillé d'une manière non adaptée, avec une trempe comme dernière étape de travail. La composition chimique du métal n'est pas typique du métal local.



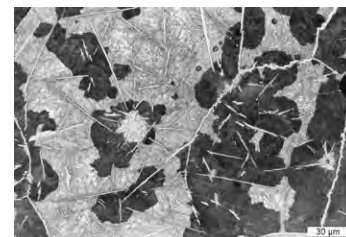
a. Ciseau à pointe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Aiguilles de martensite et bainite nodulaire (sombre; attaque au Nital).



d. Martensite (claire), aiguilles de cémentite secondaire et bainite nodulaire (sombre) avec inclusion de phosphure (attaque au Nital).

357 Ciseau à pointe – DEV 995/1096 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1096).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal composé de deux couches (fig. b); au centre, une couche riche en inclusions de scorie (fig. c) présentant une structure de matrice vitreuse.

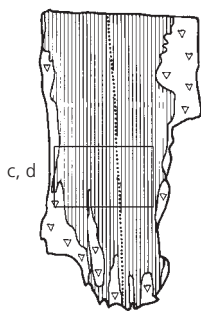
Micrographie: métal composé d'acier hypoeutectoïde (C: env. 0,3% masse), avec une structure de ferrite et de perlite (fig. d), ou une structure de Widmannstätten; une partie de la pointe est cémentée, jusqu'à 0,6% masse de C.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, acier riche en Ni et As; rapport Ni/Co et composition typiques du métal local.

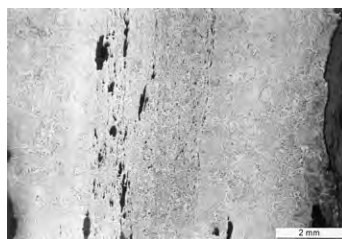
Conclusion: l'outil est forgé de deux couches d'acier hypoeutectoïde. La pointe est partiellement cémentée. Ce matériel est adapté à la confection d'outils destinés à travailler un matériau dur. D'après sa composition chimique, il s'agit d'un produit local.



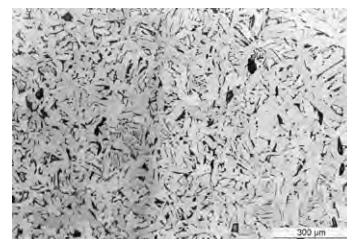
a. Ciseau à pointe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Le métal contient de nombreuses inclusions en son centre et montre une structure de Widmannstätten; le bord est cémenté (attaque au Nital).



d. Perlite et ferrite (attaque au Nital).

369 Spatule (?) – DEV 994/1759 PR – F2/Z1

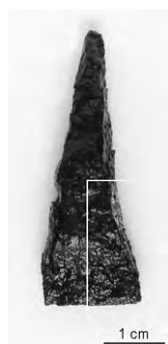
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV994/1759).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal forgé en forme de pointe (fig. b et c); en son centre, pointe contenant de nombreuses inclusions de scorie, dont plusieurs sont corrodées; les autres contiennent de la wustite dans la matrice vitreuse.

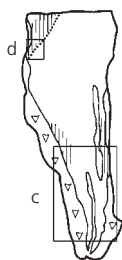
Micrographie: métal présentant une structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 5-6); surface cémentée localement (fig. d); on observe dans le métal une zone avec une teneur en C un peu plus élevée (C: env. 0,1% masse).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, fer riche en Ni; rapport Ni/Co et teneur en As bas comparés au métal local; composition tout de même proche du métal local.

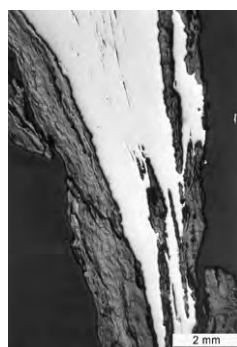
Conclusion: la pointe de la spatule examinée a été forgée à partir d'une seule couche de fer. L'objet a subi un recuit, car la structure est recristallisée. La surface est partiellement cémentée. D'après la composition chimique, une production locale est probable.



a. Spatule (?) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Pointe (non attaquée): métal avec inclusions (blanc) et produits de corrosion (gris).



d. Perlite et ferrite au bord, ferrite au centre (attaque au Nital).

375 Couteau – DEV 995/908 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV908);

Macrographie: sur la coupe polie examinée prise sur le dos du couteau, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie de formes allongées et sphériques; ces inclusions, ainsi que les ségrégations de P, permettent de distinguer au moins six couches dans le métal; dans les inclusions, scorie à structure de wustite dendritique dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal principalement composé d'acier hypoeutectoïde (fig. c), avec une teneur en C de 0,2-0,6% masse; soudures pouvant être marquées par une bande d'acier eutectoïde entre deux couches ferritiques (fig. d); ségrégations en lignes indiquant que le matériel a subi un travail à chaud: il s'agit d'un damas d'assemblage.



a. Couteau avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Les couches sombres contiennent plus de charbon que les couches claires (attaque au Nital).



d. Des bandes de ségrégations ferritiques marquent les soudures entre différentes couches en acier hypoeutectoïde (attaque au Nital).

377 Lame de couteau – DEV 993/1709 PR – F2/Z1

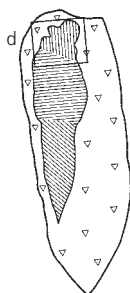
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1709).

Macrographie: sur la coupe polie examinée prise à travers la pointe du couteau, la moitié du métal est corrodée (fig. b); métal conservé contenant très peu d'inclusions, vides ou remplies de produits de corrosion; ségrégations de P rendant la direction de la déformation visible.

Micrographie: métal formé de 40% d'acier eutectoïde et de 60% d'acier hypoeutectoïde (C: env. 0,5% masse, fig. c); la variation de la teneur en C n'est pas la conséquence d'un traitement thermique; dos en acier hypoeutectoïde comportant des bandes de ferrite (fig. d), conséquence d'une déformation à chaud, et présentant une teneur en C plus basse (C: 0,2% masse), adaptée à sa fonction.



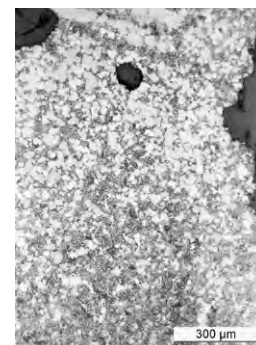
a. Lame de couteau avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Les parties sombres sont plus riches en carbone que les parties claires (attaque au Nital).



d. Vers le dos du couteau, l'acier contient moins de carbone et montre une structure de perlite et ferrite (attaque au Nital).

403 Terminaison de lanière de ceinture, damasquinée d'argent – DEV 995/830 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, microsonde (13), LA-ICP-MS (DEV830).

Macrographie: coupe polie examinée caractérisant la surface de l'angle coupé et non la coupe; métal ne contenant pas d'inclusions de scorie et ne comportant qu'une seule couche; attaque au réactif d'Oberhoffer indiquant la répartition de la bainite nodulaire (fig. c).

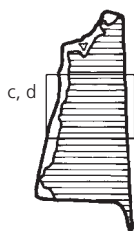
Micrographie: métal à structure de martensite (HV0.1 592-621) avec bainite nodulaire (HV0.1 266-293; fig. d): il est donc trempé.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, acier contenant très peu d'éléments traces; rapport Ni/Co bas; ni cette composition, ni ce rapport ne sont typiques du métal local; analyse à la microsonde du damasquinage indiquant qu'il s'agit d'argent contenant du cuivre comme composant mineur.

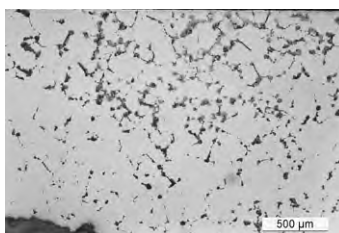
Conclusion: la surface étudiée de la terminaison est en acier hypoeutectoïde trempé (C: 0,3-0,5 % masse). D'après la composition chimique de l'acier, il s'agit d'un produit de provenance étrangère.



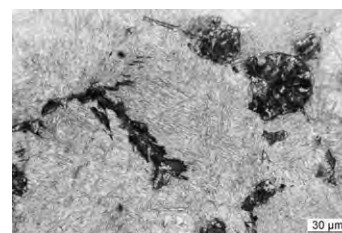
a. Terminaison de lanière de ceinture avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Les parties sombres reflètent la répartition de la bainite nodulaire (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Le métal est trempé accidentellement et montre une structure de martensite et bainite nodulaire (attaque au Nital).

415 Lame de scramasaxe – DEV 995/1095 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1095).

Macrographie: sur la coupe polie réalisée à travers la lame, métal contenant d'innombrables très petites inclusions de scorie le long des soudures; scorie présentant une structure de matrice vitreuse ou de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; soudures également visibles grâce aux ségrégations de P, et formant huit couches (fig. b); parties corrodées de la lame indiquant une structure fantôme et des ségrégations en bandes d'un acier hypoeutectoïde se transformant en acier eutectoïde vers la pointe; structure en bandes dues à la déformation à chaud.

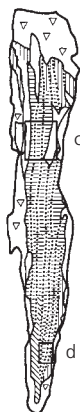
Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde (C: env. 0,3-0,4 % masse) à structure en bandes de ferrite et perlite lamellaire à globulaire (fig. c); bords décarburés présentant une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (C: env. 0,02-0,2 % masse); centre de la pointe cémenté à structure de perlite lamellaire à globulaire (fig. d).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, couche centrale, à teneur en C de 0,4 % masse, très riche en As et Ni et riche en Co; rapport Ni/Co élevé; couche extérieure contenant par contre moins de C et moins d'éléments traces, riche en Ni, à rapport Ni/Co plus bas; couche extérieure présentant une composition typique du métal local, alors que la couche centrale est de composition exceptionnelle.

Conclusion: la lame est soudée par damas d'assemblage. On compte huit couches: la zone centrale est formée par pliage de trois couches. On peut imaginer que la fabrication a eu lieu par soudage de trois tôles qui ont par la suite été pliées trois fois. Le métal est composé d'acier hypoeutectoïde, avec une teneur en C de 0,3-0,4 % masse. Les surfaces sont décarburées (C: 0,02-0,2 % masse). La pointe est cémentée dans sa partie centrale (C: 0,8 % masse). La lame a probablement été produite sur place.



a. Lame de scramasaxe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. L'acier hypoeutectoïde contient des soudures marquées par des ségrégations en bande (attaque au Nital).



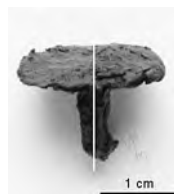
d. Le métal dans la pointe est un acier presque eutectoïde. La structure de perlite lamellaire et globulaire est due à un recuit (attaque au Nital).

428 Clou – DEV 994/1742 PR – F2/Z1

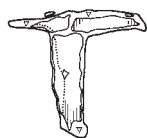
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1742).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant des inclusions de scorie allongées, en partie très grandes; des inclusions attaquées par la corrosion, ainsi qu'une ségrégation de P, subdivisent la tige en deux couches (fig. b); inclusions de scorie présentant une structure de wustite dans la matrice vitreuse.

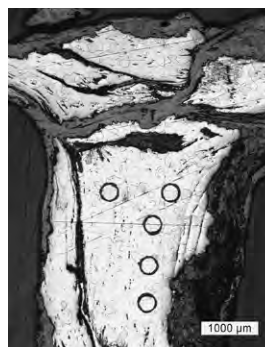
Micrographie: métal révélant une structure ferritique (grandeur de grain ASTM n° 5; fig. c); le bord de la tête, ainsi que la partie située vers la pointe, sont cémentés (C: env. 0,2% masse; fig. d).



a. Clou avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Le clou est en fer localement cémenté (partie sombre) (attaque au Nital).



d. La tige est elle aussi en fer, avec cémentation vers la pointe (attaque au Nital).

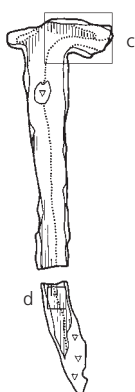
429 Clou – DEV 994/2006 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV2006).

Macrographie: sur les coupes polies examinées, métal enrobé de produits de corrosion; corrosion s'étendant jusqu'à l'intérieur de la pièce, à travers les soudures; plusieurs alignements d'inclusions de scorie; ségrégations de P marquant un axe central (fig. b) avec des lignes et replis, probablement dues à une opération antérieure au forgeage final; tête formée par pliage, suivi d'un élargissement; inclusions de scorie souvent brisées et présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.



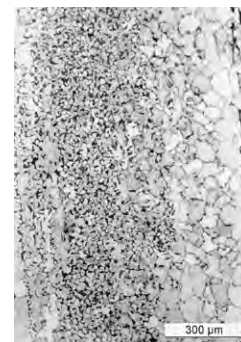
a. Clou avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. La tête consiste en deux parties soudées entre elles. Les zones sombres en haut de l'image sont plus riches en carbone (attaque au Nital).



d. Le centre de la tige consiste en perlite et ferrite, les bords sont en fer (attaque au Nital).

Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée, avec une grande variation de grandeur de grain (ASTM n° 1-8); gros grains présentant des structures en bandes; grains plus petits se trouvant dans la tête; couche centrale de la pointe (fig. d) et couche de la tête (fig. c) contenant du C et révélant une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (C: env. 0,3% masse); structure en bandes dues à la déformation à chaud; recristallisation ayant eu lieu dans un milieu non contrôlé.

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, fer riche en Ni et As; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: la tige du clou en fer est formée de plusieurs couches soudées et martelées à chaud, et la tête par pliage et élargissement. D'après la composition chimique du fer, il s'agit d'un produit local.

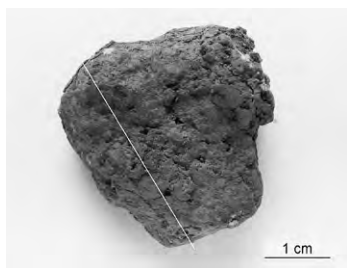
431 Objet non défini (tranchant) – DEV 994/1356 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique.

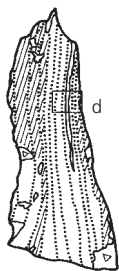
Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal soudé en neuf couches; en son centre, soudure axiale très nette (fig. c); dans une des couches, métal contenant de grandes inclusions de scorie à structure d'oxydes de fer sur fayalite allongée dans la matrice vitreuse (et leucite?).

Micrographie: en partant de l'axe central, six couches se succèdent (fig. d): première et deuxième pauvres en C (ferrite, ASTM n° 8-9), troisième contenant un peu de C (ferrite avec cémentite aux joints des grains, C: 0,1-0,2% masse); forte diffusion du C à travers les soudures de l'autre partie, rendant difficile la détermination de la teneur en C originale de ces couches.

Conclusion: l'objet comporte neuf couches soudées entre elles, dont la moitié environ sont composées de fer, et l'autre moitié d'acier hypoeutectoïde.



a. Objet non défini (tranchant) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Les ségrégations rendent visibles plusieurs couches (attaque au réactif d'Obendorffer).



d. Couches en fer et en acier hypoeutectoïde soudées entre elles (attaque au Nital).

432 Objet non défini – DEV 994/1693 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV994/1693).

Macrographie: signes extérieurs de découpe et de coupe au ciseau ne laissant aucune trace métallographique; coupe polie examinée révélant que l'objet est formé de plusieurs couches soudées (fig. c), mises en évidence par des ségrégations de P, des inclusions de scorie et des fissures de corrosion; inclusions de scorie présentant une structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse.

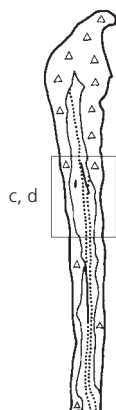
Micrographie: métal présentant une structure de ferrite recristallisée à petits grains (ASTM n° 7; fig. d).

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, métal riche en Ni et As; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

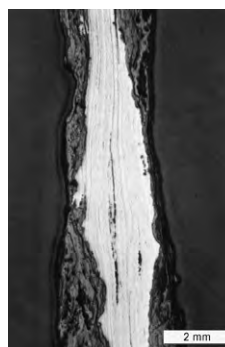
Conclusion: l'objet est formé de plusieurs couches de fer soudées entre elles. D'après sa composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Objet non défini avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. L'objet consiste en plusieurs couches de fer (attaque au Nital).



d. Grains de ferrite avec inclusions (attaque au Nital).

434 Objet non défini – DEV 995/808 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV995/808).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant peu d'inclusions; au centre, soudure marquée par des inclusions allongées (fig. b), ne contenant que des produits de corrosion; quelques inclusions renferment de la scorie à structure de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal à structure de perlite et de ferrite (fig. d), avec une teneur en C d'env. 0,3% masse; bord décarburé (fig. c); dans la zone marginale, ferrite légèrement écrouie.

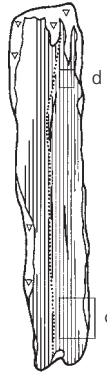
Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS indiquant que l'acier contient surtout du Co et du Ni; composition et rapport Ni/Co bas ne sont pas typiques du métal local.

Conclusion: la pointe de l'objet étudié est formée de deux couches soudées entre elles. Le métal possède la qualité d'un acier hypoeutectoïde. De grandes parties de la surface sont décarburées. D'après la composition chimique, ce métal ne ressemble pas au métal local.



1 cm

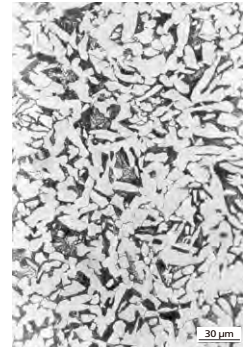
a. Objet non défini avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. L'objet consiste en acier hypoeutectoïde avec bord décarburé (attaque au Nital).



d. Perlite et ferrite (attaque au Nital).

443 Tôle – DEV 994/338 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV994/56).

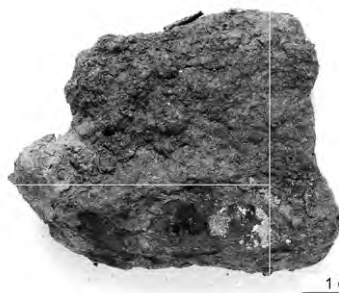
Macrographie: coupes polies révélant deux couches de métal (fig. b) séparées par des inclusions de scorie; vers la surface de l'une des coupes, une des couches renferme localement de nombreuses inclusions, vides ou avec de la matrice vitreuse.

Micrographie: l'une des couches est constituée de ferrite à gros grains (ASTM n° 1, HV0.2 168-171); l'autre présente des bandes dont la structure varie de la ferrite à gros grains à la ferrite à grains fins avec perlite aux joints des grains (ASTM n° 10, HV0.2 161-179, C: 0,15% masse; fig. d); bandes témoignant d'une déformation à chaud; localement, sur

la partie proche de la surface contenant de nombreuses inclusions, métal révélant des traces d'une forte cémentation (fig. c) se manifestant en surface par une zone de perlite, évoluant en une structure de Widmannstätten vers l'intérieur; petites aires présentant une structure allant de l'acier hypereutectoïde (cémentite secondaire) à la fonte (lédéburite).

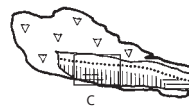
Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P; As et Ni élevés; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: la tôle est formée de deux couches soudées entre elles, dont l'une est en fer et l'autre en acier hypoeutectoïde travaillé à chaud, avec localement des défauts dus à une forte cémentation. Il s'agit d'un produit local.

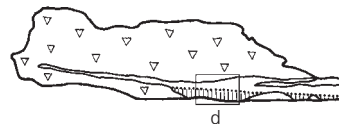


1 cm

a. Tôle avec localisation de la prise d'échantillon.



c



d

b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. La section montre du fer et de l'acier hypoeutectoïde fortement cémenté vers le bas de l'image (attaque au Nital).



d. Ferrite à gros grains et ferrite avec cémentite aux joints des grains (attaque au Nital).

454 Tôle – DEV 995/1002 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique;
Macrographie: sur la coupe sciée, on distingue trois couches, tandis que sur la coupe polie examinée, il n'en subsiste que deux (fig. b); métal en grande partie corrodé; les deux couches examinées sont elles-mêmes formées de plusieurs couches, marquées par des inclusions de scorie et des ségrégations de P rendues visibles par l'attaque au réactif d'Oberhoffer; inclusions de scorie présentant une structure de wustite dendritique dans la matrice vitreuse.

Micrographie: 50% du métal formé d'acier hypoeutectoïde en bandes (fig. c, d) à structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (C: env. 0,1% masse); solde consistant en ferrite (ASTM n° 6-8); structures en bandes indiquant un travail à chaud.

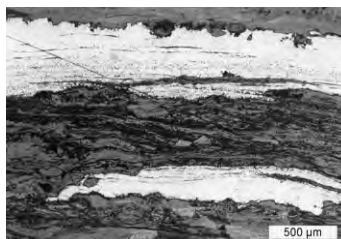
Conclusion: tôle en fer et en acier hypoeutectoïde formée de plusieurs couches; trois sont visibles sur la coupe sciée et seulement deux sur la coupe polie. Les couches sont rendues visibles soit par la fissuration le long des soudures, soit par le pliage.



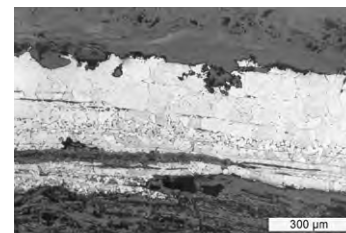
a. Tôle avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Les couches en fer et acier hypoeutectoïde sont séparées par des inclusions de scorie le long des soudures (attaque au Nital).



d. Ferrite ainsi que ferrite et perlite ségréguée en bandes (attaque au Nital).

455 Tôle – DEV 995/1094 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (DEV995/1094);

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant au moins cinq couches soudées ensemble (fig. b); soudures marquées par de nombreuses inclusions de scorie allongées; également grand nombre d'inclusions de grande et de petite tailles dans le reste du métal; inclusions de scorie présentant une structure de wustite dans la matrice vitreuse.

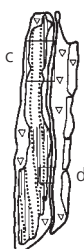
Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, riche en As et Ni; composition et rapport Ni/Co proches de la composition du métal local, mais teneur en Ni un peu élevée.

Conclusion: la tôle est formée d'au moins cinq couches soudées ensemble. Le métal porte des traces d'un travail à chaud. La répartition du C ne suit pas de règle: sur la coupe polie, le métal est formé pour moitié de fer, et pour moitié d'acier hypoeutectoïde. Seule une couche a été analysée chimiquement: il est peu probable qu'il s'agisse d'un produit local.

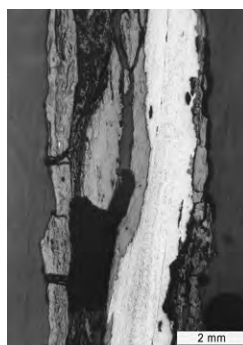
Micrographie: métal à structure de ferrite (HV0.2 124-131) et de perlite (HV0.2 140-163); dans l'acier hypoeutectoïde (C: env. 0,2-0,3% masse) déformé à chaud, perlite s'orientant en bandes et marquant en partie les soudures (fig. d), de même que les inclusions de scorie allongées; structure du fer et de l'acier hypoeutectoïde recristallisée (fig. c), car les grains ne sont plus allongés; dans la ferrite, les grains sont petits (ASTM n° 10); la teneur en C ne suit aucune règle.



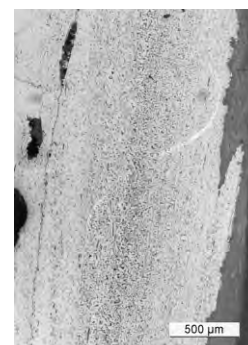
a. Tôle avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Les couches en fer et acier hypoeutectoïde sont séparées par des inclusions de scorie le long des soudures (attaque au Nital).



d. Ferrite et perlite avec soudure et bandes formées par l'écroutissage à chaud (attaque au Nital).

456 Tôle – DEV 995/1098 PR – F2/Z1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1098).

Macrographie: coupe polie examinée consistant pour moitié en produits de corrosion, et pour moitié en métal (fig. b); corrosion formant en partie des taches circulaires contenant des inclusions de scorie; métal possédant de nombreuses inclusions allongées de scorie, cette dernière présentant une structure de matrice vitreuse, avec de très rares dendrites de wustite.

Micrographie: répartition du C révélant la présence de plusieurs couches, également séparées par des bandes de scorie; couches d'acier hypoeuctoïde (C: 0,1-0,3% masse) à structure de ferrite et de perlite (fig. d) se trouvant à côté de couches de fer à structure de ferrite à gros grains (ASTM n° 2; fig. c) et à petits grains (ASTM n° 9); métal recristallisé.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en As, Ni et P; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: la tôle est forgée par corroyage de plusieurs couches d'acier hypoeuctoïde et de fer. D'après la composition chimique du métal, il s'agit d'un produit local.



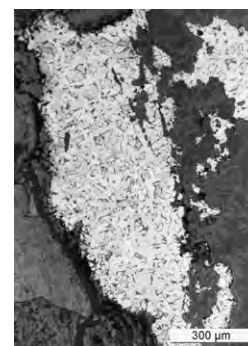
a. Tôle avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. La grandeur de grains varie suivant la teneur en carbone: les grains grossiers sont en fer, les petits en acier hypoeuctoïde (attaque au Nital). Lumière polarisée.



d. Ferrite et perlite avec structure Widmannstätten (attaque au Nital).

457 Tôle – DEV 996/1944 PR – F2/Z1

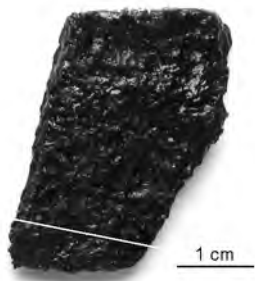
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1944).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal enrobé de produits de corrosion et présentant trois soudures marquées par des lignes d'inclusions de scorie allongées (fig. b); soudures non marquées par des ségrégations de P; inclusions de scorie se concentrant le long des soudures et présentant une structure de dendrites de wustite sur des olivines équi-granulaires (rarement des aiguilles) dans la matrice vitreuse.

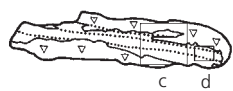
Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (fig. c, d); taille des grains variant de gros à fins (ASTM n° 3-6), mais gros grains dominants.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS du métal indiquant qu'il est très riche en Ni et As; rapport Ni/Co semblable à celui du métal local, mais Ni et As trop élevés.

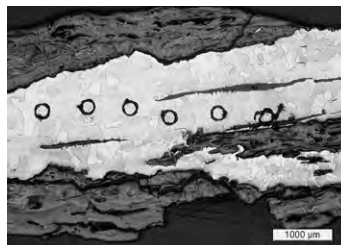
Conclusion: la plaque est formée de trois couches de fer soudées entre elles. Il ne s'agit pas d'un produit local.



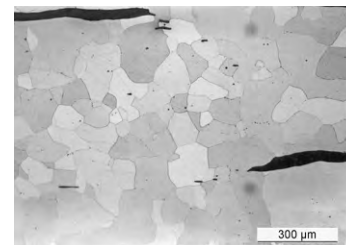
a. Tôle avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Métal (blanc) avec structure de ferrite et produits de corrosion (gris; attaque au Nital).



d. Ferrite à petits grains et inclusions allongées (attaque au Nital).

498 Ciseau à pointe – CTT 994/9799 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT9799).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, la plus grande partie du métal est corrodée (fig. b), car la coupe a été réalisée sur une partie de l'objet proche de sa surface; métal contenant des inclusions de scorie de forme allongée ou peu déformée, à structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse et de dendrites de wustite sur des olivines allongées dans la matrice vitreuse; traces de soudures provenant probablement du raffinage.

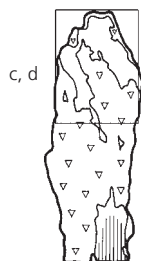
Micrographie: manche du ciseau contenant de la ferrite recristallisée à petits grains (ASTM n° 8; fig c), incluant quelques bandes de Neumann (fig. d); vers la pointe, métal présentant la structure d'un acier hypoeutectoïde (C: env. 0,2% masse) à surface décarburée; présence d'inclusions de scorie peu déformées indiquant que l'outil est incomplètement raffiné et qu'il a subi un recuit accidentel ayant provoqué une décarburation de sa surface.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS indiquant que la partie en acier hypoeutectoïde est riche en Cu; autres parties analysées de composition semblable; métal riche en As et Ni; rapport Ni/Co variant entre 4,7 et 5,6; la composition et le rapport divergent de ceux du métal local.

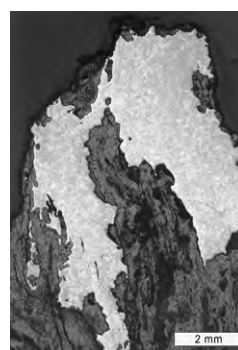
Conclusion: le manche du ciseau est en fer, il se transforme en acier hypoeutectoïde vers la pointe. L'objet a subi un recuit accidentel, ce qui a décarburé sa surface. D'après sa composition chimique, le métal n'est pas d'origine locale.



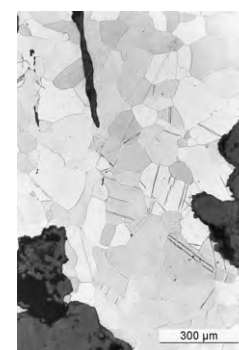
a. Ciseau à pointe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Métal (blanc) avec structure de ferrite et produits de corrosion (gris; attaque au Nital).



d. Ferrite avec bandes de Neumann, inclusions allongées et produits de corrosion (attaque au Nital).

511 Fragment d'outil (lame) – CTT 994/2124 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT697).

Macrographie: sur la coupe polie, métal comportant deux couches soudées entre elles; inclusions de scorie marquant les soudures.

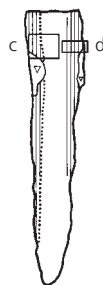
Micrographie: au centre de la pièce, métal présentant une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (ASTM n° 8), partiellement écrouie (HV0.1 130-140); surface en acier hypoeutectoïde (fig. c et d), avec structure de perlite très fine et de ferrite aciculaire (C: env. 0,5% masse, HV0.1 237-266); cémentation superficielle atteignant une profondeur de l'ordre de 300 µm; forme de la perlite due à des chocs; lame fortement martelée ayant ensuite subi un recuit partiel qui a laissé des traces d'érouissage.

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur la surface et sur la partie centrale de l'outil, indiquant que la composition des deux couches est identique; métal riche en Ni, As et P; surface enrichie en P, As et Ni, ce qui est dû au martelage plus fort subi par cette partie; rapport Ni/Co et composition typiques du métal local.

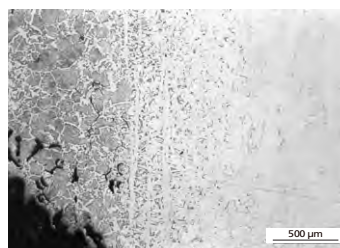
Conclusion: l'outil est composé de fer et d'acier hypoeutectoïde. Il est formé de trois couches soudées entre elles, et sa surface est cémentée. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



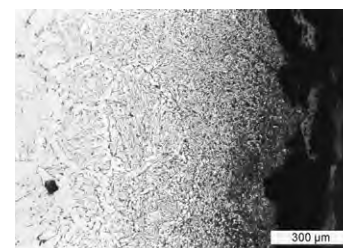
a. Fragment d'outil (lame) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer séparé de la surface cémentée en acier hypoeutectoïde par des bandes de ségrégation (attaque au Nital).



d. Surface cémentée en acier eutectoïde (attaque au Nital).

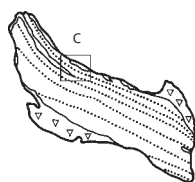
513 Objet non défini – CTT 994/2207 TI – Z4

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers.

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant au moins sept couches (fig. b); il pourrait avoir été produit à partir de quatre couches, qui ont par la suite été pliées; soudure au centre plus propre que les autres, laissant penser qu'il s'agit de l'axe central; la plupart des inclusions de scorie le long des soudures contiennent de la matrice vitreuse, et peu de wustite dendritique; dans un cas, la scorie présente une structure de fayalite allongée dans la matrice vitreuse.



a. Objet non défini avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer séparé par des produits de corrosion et des inclusions de scorie le long des soudures (attaque au Nital).

524 Barre – CTT 994/9715 TI – F3

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT9715).

Macrographie: seule une des deux parties soudées de la barre a été étudiée sur la coupe polie réalisée; métal de cette couche contenant de petites inclusions allongées et vides; ces inclusions, ainsi que les ségrégations de P, marquent la direction de l'allongement de l'objet.

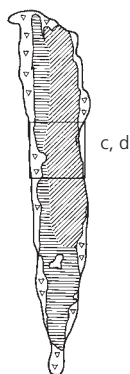
Micrographie: métal composé d'acier eutectoïde à structure de perlite en cours de formation (fig. d); de grandes parties de la surface sont en acier hypoeutectoïde (C: env. 0,4% masse; fig. c), conséquence d'une décarburation.

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, métal pauvre en éléments traces; rapport Ni/Co bas; ni cette composition, ni le rapport Ni/Co ne sont typiques du métal local.

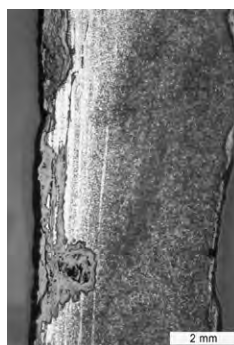
Conclusion: la partie de l'objet examinée est composée d'acier eutectoïde, avec une surface partiellement décarburrée. La composition chimique n'est pas typique du métal local.



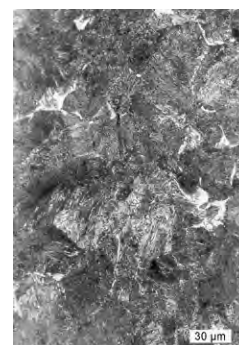
a. Barre avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Partie en acier eutectoïde (sombre) et surface décarburrée en acier hypoeutectoïde (claire) (attaque au Nital).



d. Perlite lamellaire (sombre) et restes de ferrite (claire; attaque au Nital).

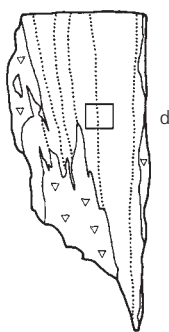
590 Ciseau à pointe – CTT 996/4239 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4239).

Macrographie: coupe polie examinée indiquant que la pointe du ciseau est fortement attaquée par la corrosion (fig. b); métal contenant des bandes d'inclusions de scorie, délimitant au moins huit couches soudées ensemble; soudure centrale marquée par une zone riche en inclusions de scorie, ces dernières présentant une structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse (fig. d).



a. Ciseau à pointe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Le métal montre une structure de ferrite (attaque au Nital).



d. Inclusions de scorie avec structure de wustite vermiculaire dans une matrice amorphe (attaque au Nital).

Micrographie: métal à structure recristallisée en ferrite avec filigrane (fig. c) et contenant des aiguilles; ferrite présentant des grains de petite et de grande tailles (ASTM n° 3-8); structure et taille irrégulières des grains typiques d'un fer riche en P ayant subi un échauffement à une température supérieure à 1050°C; ferrite avec structure en bandes partielle; surface présentant localement des traces de cémentation (C: env. 0,1 % masse).

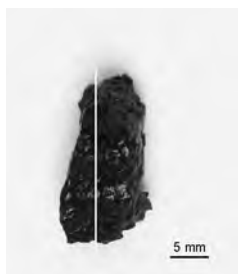
Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P, As et Ni; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: il s'agit d'un ciseau soudé en différentes couches d'un fer riche en P. Ce dernier peut avoir la même dureté que l'acier. D'après la composition chimique, il s'agit probablement d'un produit local.

592 Spatule (?) – CTT 996/4780 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4780).

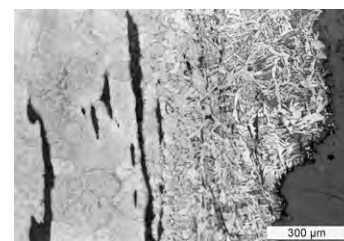
Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal enrobé de produits de corrosion; présence d'une soudure unique, se situant près de la surface (fig. b); métal ne contenant que peu d'inclusions de scorie, parfois de grande taille; scorie à structure de spinelles (hercynite) dans la matrice vitreuse; cette structure, typique de la scorie de réduction, indique que l'objet a été forgé directement à partir d'une éponge.



a. Spatule (?) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer avec structure fantôme due à la teneur élevée en phosphore; bord en acier hypoeutectoïde (attaque au Nital).

Micrographie: métal à structure ferritique en bandes; grains recristallisés (ASTM n° 4-7) contenant des filigranes typiques du fer riche en P (fig. c); couche superficielle cémentée séparée du reste de la pièce par une soudure à structure de Widmannstätten (C: env. 0,3 % masse);

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P, Ni et As; soudure enrichie en P et As; P plus élevé.

Conclusion: il s'agit éventuellement d'une spatule en fer, riche en P, avec une surface partiellement cémentée. L'objet a été travaillé à chaud. D'après sa composition chimique, il est peu probable qu'il s'agisse d'une production locale.

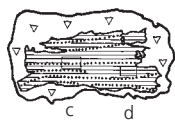
612 Objet non défini – CTT 996/176 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/2).

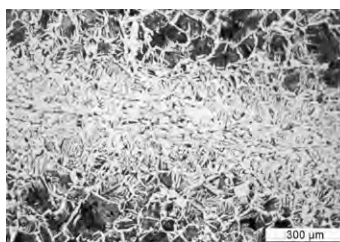
Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant plusieurs couches, soudées de manière symétrique (fig. b); on distingue six lignes de soudure, dont deux marquées par des alignements de scories allongées, remplies de matrice vitreuse; les autres, dont une uniquement partielle, se présentent sous forme de décarburation associée à des grains allongés; le métal n'est pas trop compacté car on distingue de nombreux petits replis non fermés.



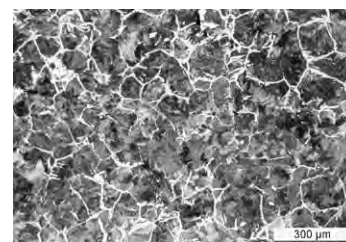
a. Objet non défini avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Soudure avec structure surtout ferritique et grains écrouis (attaque au Nital).



d. Ferrite aciculaire et perlite (attaque au Nital).

Micrographie: métal à structure de perlite lamellaire et de ferrite aciculaire (acier hypoeutectoïde; C: env. 0,6% masse; fig. d), sauf dans les parties décarburees le long des soudures où c'est la ferrite aciculaire qui domine.

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur une couche extérieure (médiane 2) et sur une couche centrale (médiane 1); métal de ces couches de composition comparable, soit un acier très riche en Cu; couche extérieure enrichie en Ni, situation découlant de la déformation; teneur élevée en Mn restant à expliquer; composition non typique du métal local, même si le rapport Ni/Co est identique.

Conclusion: la barre consiste en plusieurs couches d'acier soudées ensemble. Sa composition chimique n'est pas typique du métal local.

644 Alêne – CTT 996/2880 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT2880).

Macrographie: coupe polie examinée présentant plusieurs couches issues d'un travail d'élaboration du métal; elles sont séparées par des inclusions le plus souvent vides, ou remplies de matrice vitreuse.



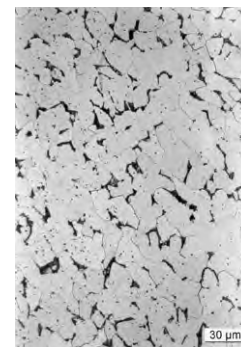
a. Alêne avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Bord en acier hypoeutectoïde avec ségrégations en ligne dues au martelage à chaud (attaque au Nital).



d. Ferrite avec cémentite aux joints des grains (attaque au Nital).

Micrographie: métal: acier hypoeutectoïde (C: env. 0,2% masse; fig. c), avec une structure recristallisée à grains très fins de ferrite avec cémentite aux joints des grains (fig. d); localement, inclusions ferritiques.

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, métal riche en Ni, As et P; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: la partie étudiée de l'alêne est constituée d'acier hypoeutectoïde. D'après sa composition chimique, il s'agit d'un produit local.

648 Ciseau droit – CTT 996/4708 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4708).

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal enrobé de produits de corrosion; couches de métal extérieures riches en inclusions de scorie et présentant une structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse; métal de la couche centrale contenant des replis déformés, mais ouverts et remplis de produits de corrosion; l'objet a donc passé par une étape d'oxydation à chaud durant son élaboration.

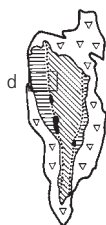
Micrographie: au centre de la pièce, métal composé d'acier eutectoïde (fig. c) avec une structure de perlite globulaire; surfaces à structure de Widmannstätten composées d'acier hypoeutectoïde décarburé jusqu'à 0,1% masse de C (fig. d);

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS de la couche centrale et d'une des couches extérieures indiquant que leurs compositions diffèrent; couche extérieure riche en Ni et Co, couche centrale présentant des teneurs plus faibles en ces éléments; rapport Ni/Co variant de 1.2 à l'extérieur à 3.7 à l'intérieur de la pièce; ni la composition, ni les rapports Ni/Co de ces deux métaux ne sont typiques du métal local.

Conclusion: la partie centrale du ciseau est composée d'acier eutectoïde qui forme le tranchant. Les surfaces sont décarburées. D'après la composition chimique, les métaux ne sont pas d'origine locale.



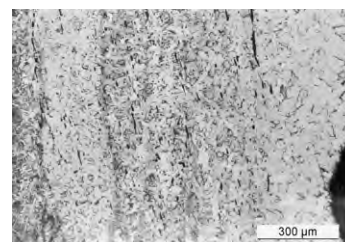
a. Ciseau droit avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Centre en acier eutectoïde (sombre), surfaces en acier hypoeutectoïde (clair; attaque au Nital).



d. Surface avec structure de perlite et ferrite (attaque au Nital).

665 Spatule (?) – CTT 996/4145 TI – F5

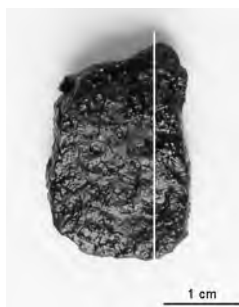
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/4145).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal présentant un axe central avec une soudure marquée par une fissure remplie de produit de corrosion et débutant dans la pointe (fig. b); de part et d'autre de cet axe central, présence d'au minimum quatre couches de métal: l'objet comporte ainsi au moins huit couches; métal contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées, marquant en partie les soudures; inclusions de scorie attaquées par la corrosion et dévoilant une structure de wustite dans la matrice vitreuse.

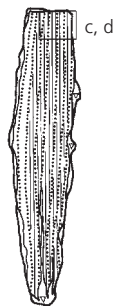
Micrographie: métal à structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains (fig. d); il s'agit d'un acier hypoeutectoïde (C: 0,1-0,3% masse); une surface est décarburée (fig. c) et présente une structure de ferrite (ASTM n° 8-9); métal ayant subi un recuit car on ne distingue plus de traces d'écroutissage.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS effectuée sur l'acier hypoeutectoïde avec une teneur en C de 0,3% masse, et cela directement sur une soudure peu visible, mais de très bonne qualité; soudure entraînant des écarts-types des mesures des éléments typiques du métal Co et Ni très élevés, tandis que les teneurs des éléments liés dans la soudure, comme As et P, demeurent plutôt stables; dans le métal, As domine; rapport Ni/Co et composition typiques du métal local.

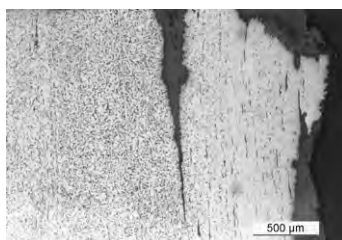
Conclusion: il s'agit d'un outil fragmenté, forgé en acier hypoeutectoïde partiellement décarburé. Il est composé d'un damas d'assemblage. D'après la composition chimique du métal, une production locale est probable.



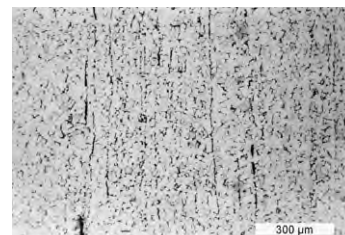
a. Spatule (?) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Bord en fer et centre en acier hypoeutectoïde (attaque au Nital).



d. Ferrite avec cémentite aux joints des grains (attaque au Nital).

666 Spatule (?) – CTT 996/4704 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4704).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant quelques inclusions de scorie marquant une soudure; scorie à structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse, ou de spinelles et wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 7-8) et de ferrite avec cémentite aux joints des grains (C: env. 0,1 % masse), le long de la soudure (fig. c).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal très riche en As, Ni et P; rapport Ni/Co, et composition chimique proches du métal local, même si l'As est un peu élevé.

Conclusion: la partie étudiée de la spatule est constituée de fer légèrement cémenté le long de la soudure. D'après sa composition chimique, il est probable qu'il s'agisse d'un produit local.



a. Spatule (?) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale avec soudure: fer et acier hypoeutectoïde (attaque au Nital).

669 Fragment d'outil (manche) – CTT 996/4227 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, analyse de traces LA-ICP-MS (CTT441);

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal comportant trois couches (fig. b); qualité plutôt mauvaise car contenant de nombreuses inclusions de scorie en partie incomplètement allongées; scorie présentant une structure riche en wustite et ne contenant que de la matrice vitreuse le long des soudures.

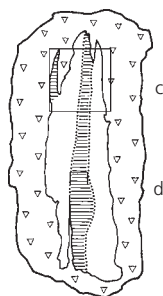
Micrographie: au centre, couche d'acier hypoeutectoïde, tandis que les couches extérieures sont en fer (fig. c); fer présentant des traces de martelage, les grains devenant plus petits vers la surface (ASTM n° 6 à l'intérieur, ASTM n° 8 à l'extérieur); fer à structure de ferrite (HV0.2 93-103) et acier hypoeutectoïde à structure de ferrite aciculaire avec perlite lamellaire (C: env. 0,6 % masse, HV0.2 151; fig. d).

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur les couches constituées de ferrite; teneur en éléments traces moyenne, mais pauvre en Co; rapport Ni/Co non typique du métal local.

Conclusion: l'objet est composé de couches alternées de fer et d'acier hypoeutectoïde. Ce mode de production est adapté au forgeage d'un outil. D'après la composition chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



a. Fragment d'outil (manche) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Fer et acier hypoeutectoïde au centre (attaque au Nital).



d. Perlite et ferrite aciculaire dans la couche centrale (attaque au Nital).

670 Fragment d'outil (manche) – CTT 996/4228 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT154).

Macrographie: aucune trace de l'empreinte de coupe ou du martelage, car les extrémités sont trop attaquées par la corrosion; sur la coupe polie examinée, métal présentant quatre soudures (fig. b) et contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées; dans ces inclusions, scorie présentant principalement une structure de wustite dans la matrice vitreuse (fig. d); dans l'acier, leur structure est uniquement celle d'une matrice vitreuse.

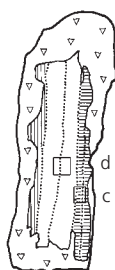
Micrographie: une des surfaces de l'objet est en acier eutectoïde, se transformant en acier hypoeutectoïde (C: env. 0,6% masse) avec une structure de perlite et ferrite aciculaire vers l'intérieur de la pièce (fig. c); les deux couches intérieures sont en fer (fig. d), tandis que l'autre surface est en acier très doux (ferrite avec perlite aux joints des grains, C: env. 0,1% masse); la pièce indique une organisation symétrique des soudures, probablement due à un pliage des couches soudées; elle aurait donc été fabriquée à partir de trois tôles.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, les deux couches analysées sont de composition identique; métal riche en Ni et As; la pauvreté en Co, et par conséquent le rapport élevé en Ni/Co différent fortement de ceux du métal local.

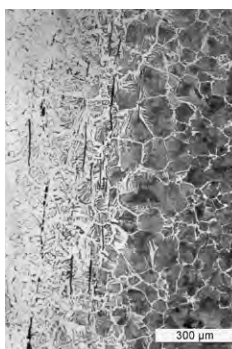
Conclusion: il s'agit probablement d'un manche d'outil obtenu par soudage de plusieurs couches. La surface est en acier, tandis que l'intérieur est en fer. D'après la composition chimique, le métal utilisé n'est pas d'origine locale.



a. Fragment d'outil (manche) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite aciculaire et inclusions allongées de scorie (attaque au Nital).



d. Ferrite impure et inclusion de scorie avec structure de wustite dendritique (attaque au Nital).

671 Fragment d'outil (lame) – CTT 996/4200 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4200).

Macrographie: coupe polie examinée contenant du métal, avec des inclusions de scorie marquant deux soudures (fig. b; c); scorie présentant une structure de fayalite équi-granulaire et allongée sous des dendrites de wustite dans la matrice vitreuse.

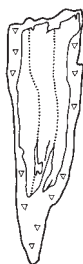
Micrographie: métal dévoilant une structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 7; fig. d): l'objet a donc subi un recuit.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en Co; autres éléments présents dans des concentrations faibles à moyennes; composition et rapport Ni/Co non typiques du métal local.

Conclusion: en raison de la qualité du métal (du fer), il est probable que l'objet a rempli la fonction d'une spatule, car un métal aussi facile à déformer est mal adapté pour confectionner un ciseau. Il a été réalisé dans un métal non local.



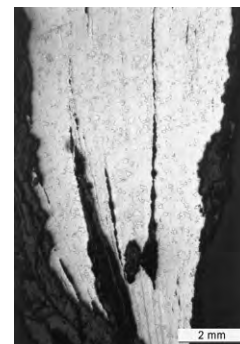
a. Fragment d'outil (lame) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Des ségrégations sombres marquent les soudures (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Ferrite impure, inclusions de scorie et produit de corrosion (attaque au Nital).

672 Fragment d'outil (tranchant), probable ciseau droit – CTT 996/4229 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT423).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal se composant de différentes couches soudées entre elles (fig. b); peu d'inclusions de scorie, contenant surtout de la matrice vitreuse.

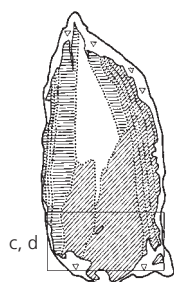
Micrographie: qualité du métal: acier hypoeutectoïde à structure de perlite lamellaire et de ferrite aciculaire (C: env. 0,6% masse, HV1 314; fig. d) dans les parties externes (fig. c); teneur en C diminuant vers l'intérieur: acier hypoeutectoïde contenant env. 0,4% masse de C (augmentation de la ferrite aciculaire), pour reprendre vers le centre la même structure qu'à l'extérieur (C: 0,6% masse, HV1 309-315); fer vers la pointe (ASTM n° 8-9, HV1 105-137); teneur en C augmentant vers la surface et présentant une structure de ferrite avec perlite aux joints des grains et de ferrite aciculaire avec perlite lamellaire.

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS des différentes couches: métal de toutes les couches riche en As et Ni; les médianes 1 et 3 dérivent des couches extérieures, tandis que la médiane 2 se réfère à la couche centrale; cette dernière est également riche en P; les variations dans la composition sont typiques du métal local.

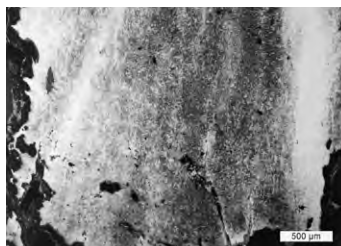
Conclusion: en direction du tranchant, la partie centrale du ciseau est en fer doux, tandis que la partie extérieure plus dure est en acier eutectoïde martelé et recuit. Une grande partie du centre du manche est dure. La pièce a été forgée à l'état austénitique, car les grains ne sont pas déformés. Le martelage a tout de même laissé des traces, surtout sur les parties externes. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Fragment d'outil (tranchant) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Les zones sombres sont plus riches en carbone que les claires (attaque au Nital).



d. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite lamellaire et ferrite aciculaire (attaque au Nital).

763 Clou – CTT 996/4211 TI – F5

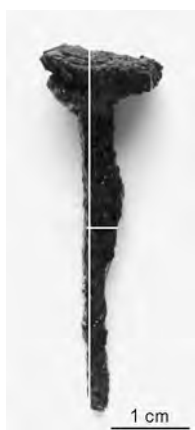
Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4211).

Macrographie: sur les coupes polies examinées, tête et épaulement du clou contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées; tige subdivisée en plusieurs parties par des fissures de corrosion; inclusions de scorie présentant une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; inclusions de scorie et ségrégations de P, rendues visibles par l'attaque au réactif d'Oberhoffer, révélant la présence de plusieurs soudures plutôt dues à une étape de forge préliminaire; tête forgée par un refoulement de la tige, suivi d'un élargissement.

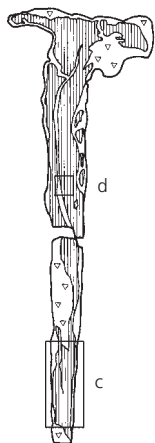
Micrographie: métal consistant en acier hypoeutectoïde (fig. d) dévoilant une structure de ferrite et de perlite globulaire (C: env. 0,2% masse): il est donc recristallisé; teneur en C augmentant vers la pointe de la tige (C: env. 0,3% masse); acier possédant de nombreuses structures en bandes témoignant d'un travail de déformation à chaud (fig. c); surface en grande partie décarburée.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

Conclusion: le clou est formé de plusieurs couches, plutôt dues au raffinage qu'à la forge finale. Le clou a été forgé à chaud, et la tête formée par refoulement. Le métal possède la qualité d'un acier hypoeutectoïde, cémenté à la pointe du clou. Il est probable qu'il s'agisse d'un produit local.



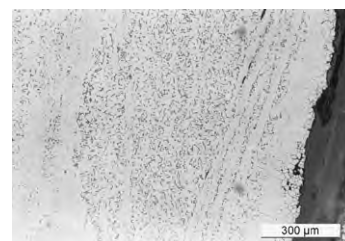
a. Clou avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Vue générale. Des ségrégations divisent le fer (blanc) et l'acier hypoeutectoïde (gris) (attaque au Nital).



d. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite et bandes de ségrégation (attaque au Nital).

767 Clou – CTT 996/4462 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, analyse LA-ICP-MS (CTT4462).

Macrographie: coupes polies examinées, réalisées sur la tige, subdivisées en trois ou quatre couches par des inclusions de scorie et des ségrégations de P (fig. b); inclusions de scorie présentant une structure de dendrites fines de wustite dans la matrice vitreuse.

Micrographie: métal à structure de bandes de fer et d'acier hypoeutectoïde (C: env. 0,2% masse; fig. c), suite à un martelage à chaud; il y a encore des grains allongés de ferrite dans la tête (fig. d); teneur en C diminuant vers la pointe; acier hypoeutectoïde révélant une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal très riche en P; autres éléments présents dans des concentrations moyennes à faibles; ni cette composition, ni le rapport Ni/Co ne sont typiques du métal local.

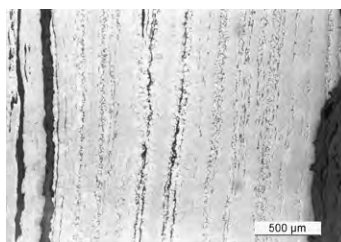
Conclusion: la tige est formée de trois à quatre couches soudées entre elles; la tête a été forgée par refoulement et élargissement. Le clou a été forgé à chaud. Le métal présente la qualité d'un acier hypoeutectoïde (en moyenne 0,1% masse de C), riche en P. La teneur élevée en P indique que le clou a probablement été produit à partir d'un métal obtenu par réduction d'un minerai riche en P, comme le minerai oolithique.



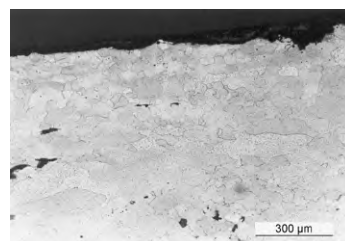
a. Clou avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Des ségrégations divisent le fer (blanc) et l'acier hypoeutectoïde (gris; attaque au Nital).



d. Fer dans la tête du clou (attaque au Nital).

772 Objet non défini (tranchant) – CTT 995/5024 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT995/5024).

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal enrobé de produits de corrosion et présence de grandes cavités allongées marquant probablement une soudure (fig. b); dans la partie dorsale, une grande partie du métal est corrodé mais présente encore une structure fantôme de bainite.

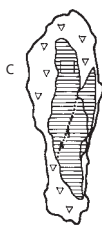
Micrographie: métal à structure de bainite avec îlots de ferrite (HV0.2 282-342; fig. c); restes de martensite à proximité de la surface encore conservée.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal contenant beaucoup d'As et de Ni; rapport Ni/Co non typique du métal local, de même que sa teneur en As, trop élevée pour le métal local.

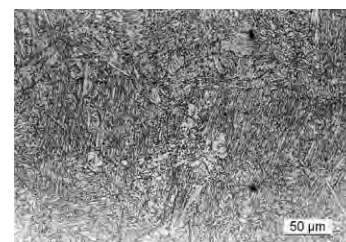
Conclusion: la lame a été obtenue par soudage de deux couches ou par pliage d'une couche. Elle est entièrement trempée. Le métal a la qualité d'un acier hypoeutectoïde (C: 0,3-0,5% masse). D'après la composition chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



a. Objet non défini (tranchant) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Le métal trempé montre une structure de bainite avec ilots de ferrite (attaque au Nital).

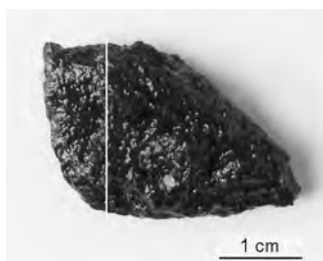
773 Objet non défini (tranchant) – CTT 996/4120 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique.

Macrographie: examen métallographique concernant uniquement la couche centrale du tranchant (fig. b); reste de métal corrodé; métal étudié rempli d'inclusions de scorie allongées; scorie présentant une structure de wustite dans la matrice vitreuse; attaque au réactif d'Oberhoffer indiquant la présence d'une soudure à la limite du métal conservé.

Micrographie: métal présentant une structure de ferrite recristallisée avec perlite aux joints des grains (teneur en C: env. 0,1% masse; fig. c); teneur en C plus élevée le long de la soudure et plus basse au centre de la couche.

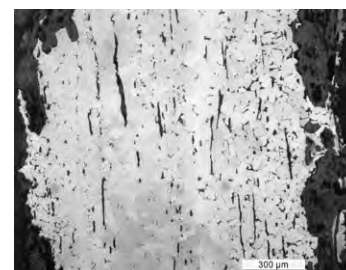
Conclusion: le tranchant a été formé par soudage de plusieurs couches. L'examen métallographique décrit seulement la couche centrale, qui est en acier hypoeutectoïde. La forme et le mode de fabrication étant semblables à ceux de l'objet cat. 336, il pourrait s'agir d'un tranchant.



a. Objet non défini (tranchant) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Acier hypoeutectoïde avec inclusions allongées de scorie (attaque au Nital).

793 Bande – CTT 995/5015 TI – F5

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT5015).

Macrographie: coupe polie examinée indiquant la présence de trois brins (fig. b) séparés par des produits de corrosion; métal contenant très peu d'inclusions de scorie à structure de wustite vermiculaire dans la matrice vitreuse; attaque au réactif d'Oberhoffer mettant en évidence la déformation due à la torsion, ainsi que les différentes couches de l'objet.

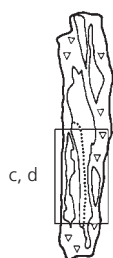
Micrographie: métal présentant avant tout une structure de ferrite recristallisée (fig. c); localement, cémentation jusqu'à C 0,1% masse; grains plus fins (ASTM n° 10) le long des soudures (fig. d) qu'à l'intérieur des couches (ASTM n° 7).

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P, As et Ni; composition et rapport Ni/Co typiques du métal local.

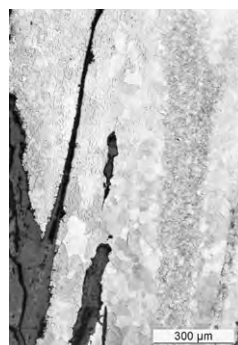
Conclusion: bande torsadée en fer avec cémentation locale. D'après la composition chimique, il s'agit d'un produit local.



a. Bande avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer avec soudures et produits de corrosion (attaque au Nital).



d. Ferrite recristallisée et grains fins le long de la soudure (attaque au Nital).

832 Boucle de ceinture – CTT 996/4726 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4726).

Macrographie: sur la coupe polie examinée dérivant de la boucle, métal contenant peu d'inclusions de scorie allongées, parfois de grande taille; scorie présentant une structure de matrice vitreuse; ségrégations de P mises en évidence par l'attaque au réactif d'Oberhoffer indiquant que la pièce comprend trois couches soudées entre elles (fig. b), déformées vers le bord arrondi.

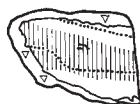
Micrographie: couches superficielles du métal composées de ferrite, le centre présentant une structure de ferrite avec perlite aux joints des grains (C: 0,1-0,3% masse; fig. c); la forme de la ferrite, de même que la perlite en formation indiquent que le dernier traitement subi était un recuit.

Analyse chimique: analyse LA-ICP-MS effectuée principalement sur la zone centrale, mais également sur un point de la zone superficielle; analyse ne révélant aucune différence de composition significative entre ces deux zones; métal riche en Ni, P et Cu; cette composition n'est pas typique du métal local.

Conclusion: la bande dont la boucle est forgée comporte probablement trois couches. Le centre de la bande est en acier hypoeutectoïde, tandis que l'extérieur est en fer. L'objet a subi un recuit comme dernier traitement. D'après l'analyse chimique, il ne s'agit pas d'un produit local.



a. Boucle (de ceinture) avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Répartition du carbone: ferrite en surface, acier hypoeutectoïde au centre (attaque au Nital).

844 Clou – CTT 996/4892 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4892.2).

Macrographie: sur les coupes polies examinées, métal contenant très peu d'inclusions de scorie, ces dernières marquant des soudures provenant du raffinage, et non du forgeage final; inclusions contenant souvent des produits de corrosion; lorsqu'elles renferment encore de la scorie, celle-ci présente une structure de wustite dans la matrice vitreuse, ou une structure de matrice vitreuse.

Micrographie: qualité du métal: principalement acier hypoeutectoïde (fig. d), avec une structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains; soudures marquées par des structures en bandes ferritiques riches en P (ASTM n° 7), comme le révèle l'attaque au réactif d'Oberhoffer; acier hypoeutectoïde dévoilant encore en partie une répartition du C due à la déformation, mais la majeure partie des grains est recristallisée.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, le métal est riche en P, surtout dans les structures en bandes ferritiques où la teneur en P augmente jusqu'à 0,5% masse; rapport Ni/Co bas; cette composition, ainsi que ce rapport, ne sont pas typiques du métal local.

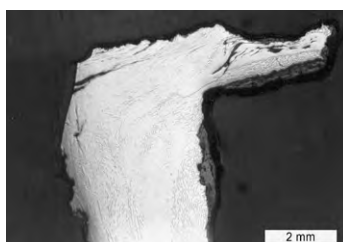
Conclusion: clou forgé d'une pièce composée d'acier hypoeutectoïde riche en P, avec tête réalisée par refoulement. Il ne s'agit pas d'un produit fabriqué à partir du métal local.



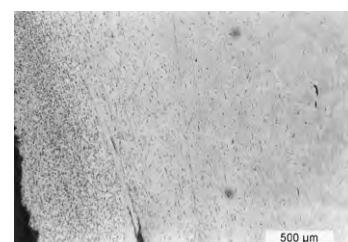
a. Clou avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Dans la partie centrale de la tête se trouve une bande ferritique due à la déformation (attaque au Nital).



d. Surface de la tige en acier hypoeutectoïde (attaque au Nital).

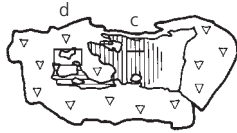
854 Bande – CTT 996/4896 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT996/4896).

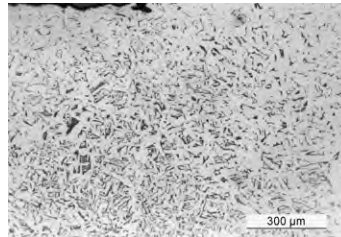
Macrographie: coupe polie examinée contenant peu d'inclusions de scorie à structure de wustite dans la matrice vitreuse; objet forgé d'une seule pièce.



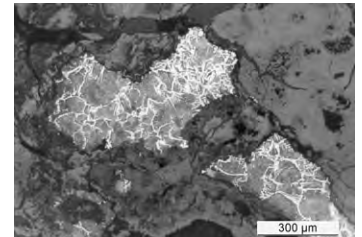
a. Bande avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite (attaque au Nital).



d. Acier hypoeutectoïde avec structure de perlite et ferrite aciculaire (attaque au Nital).

Micrographie: sur ses bords, métal renfermant en partie une structure de ferrite (ASTM n° 7) peu écrouie; au centre, structure de ferrite avec perlite (C: env. 0,3 % masse; fig. c); vers l'autre bord, de la perlite lamellaire très fine, ainsi que de la ferrite aciculaire se sont formées (fig. d); il est impossible de définir si la teneur en C est typique pour cette seule partie de l'objet, ou pour l'objet entier.

Analyse chimique: analyses LA-ICP-MS effectuées sur la zone décarburée du bord et sur la partie centrale en acier; métal riche en As; rapport Ni/Co peu élevé; la composition, ainsi que ce rapport, ne sont pas typiques du métal local.

Conclusion: sur la coupe polie examinée, la bande en acier hypoeutectoïde présente une surface partiellement décarburée. Il ne s'agit pas d'un produit local.

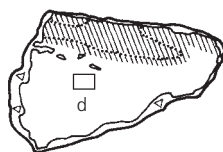
861 Fragment informe – CTT 995/5031 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, mesure de dureté Vickers, LA-ICP-MS (CTT5031).

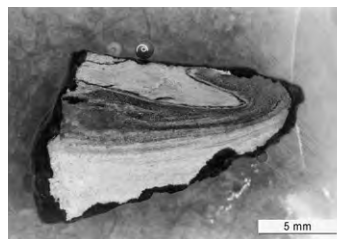
Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal renfermant deux soudures (fig. b), dont l'une marquée par des inclusions de scorie, et l'autre uniquement par une ségrégation de P (fig. c); les inclusions de scorie qui suivent la soudure révèlent une structure de dendrites de wustite dans la matrice vitreuse; parallèlement, inclusions de scorie à structure de dendrites de wustite sur olivines allongées dans la matrice vitreuse.



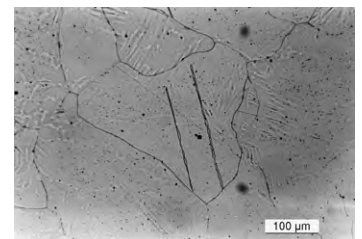
a. Fragment informe avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. La ségrégation sombre marque la soudure (attaque au réactif d'Oberhoffer).



d. Fer riche en phosphore avec bande de Neumann et structure fantôme (attaque au Nital).

Micrographie: métal présentant en majeure partie une structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 4-6, HV0.1 108), avec par endroits des bandes de Neumann (fig. d) et une structure fantôme (HV0.1 125-135), typique d'un fer riche en P (voir analyse chimique), chauffé et martelé à froid; la partie soudée sur le bord de la pièce est en acier hypoeutectoïde à structure de ferrite avec perlite lamellaire à globulaire (C: env. 0,2 % masse, HV0.1 132-157).

Analyse chimique: d'après les analyses LA-ICP-MS, couche centrale et couche extérieure ne sont pas de composition identique; au centre, fer riche en P; acier hypoeutectoïde proche de la surface riche en As; rapport Ni/Co variant de 3,5 à l'extérieur à 1,3 à l'intérieur; ces deux métaux ne sont pas d'origine locale.

Conclusion: l'objet est formé de trois couches soudées par forgeage selon l'axe longitudinal, et partiellement pliées. Il consiste pour les trois quarts en fer riche en P, et pour un quart en acier hypoeutectoïde riche en As. D'après leur composition chimique, les deux métaux sont de provenance externe.

863 Clou moderne – DEV 993/1841 PR – F1

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (DEV1841), MEB/EDS des inclusions de scorie.

Macrographie: sur la coupe polie examinée, métal contenant de nombreuses inclusions de scorie allongées (fig. c); scorie présentant une structure d'oxydes de fer vermiculaire sur des lattes isolées (pyroxènes?) dans la matrice vitreuse, cette dernière dominant la structure; alignements d'inclusions de scorie ne marquant pas de soudures, mais signalant la direction de la déformation; attaque au réactif d'Oberhofer révélant une structure primaire riche en P, avec ségrégation due au martelage.

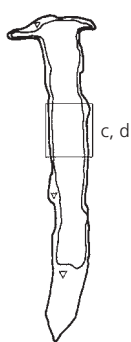
Micrographie: métal présentant une structure de ferrite (ASTM n° 6-7) avec structure fantôme (fig. d); grains recristallisés contenant en partie des bandes de Neumann; bandes et structures fantômes typiques du fer riche en P, d'abord chauffé à une température supérieure à 1050 °C, puis martelé à froid.

Analyse chimique: d'après l'analyse MEB/EDS de la scorie, matrice vitreuse ne contenant que de l'oxyde de fer, du fer et du P; oxyde de fer contenant également un peu de P; aiguilles trop petites pour être détectées. Analyse LA-ICP-MS indiquant que le métal est riche en P et très pauvre en autres éléments; même si le rapport Ni/Co est identique à celui du métal local, la composition chimique diffère.

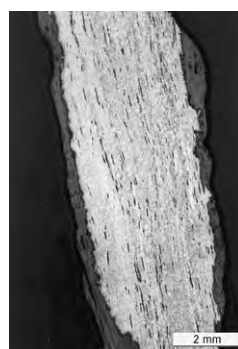
Conclusion: le fer contient plusieurs couches, probablement dues à un laminage. Le clou a été forgé à chaud, la tête formée par refoulement. Le fer riche en P présente une quantité extraordinaire d'inclusions de scorie. Ces caractéristiques sont typiques d'un fer puddlé moderne.



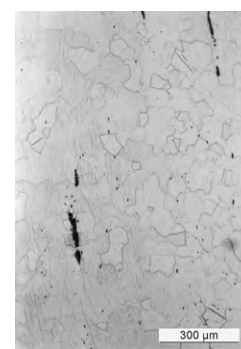
a. Clou moderne avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer puddlé riche en inclusions de scorie (attaque au Nital).



d. Fer riche en phosphore avec bande de Neumann et structure fantôme (attaque au Nital).

864 Clou moderne – CTT 996/4878 TI – F6

Analyses effectuées: étude au microscope optique, LA-ICP-MS (CTT4878).

Macrographie: sur les coupes polies examinées, métal contenant cinq couches marquées (fig. b) par des alignements des scories et des ségrégations de P; inclusions de scorie très nombreuses (fig. c) et présentant une structure d'oxyde de fer dans très peu de matrice vitreuse.

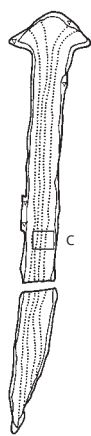
Micrographie: métal à structure de ferrite recristallisée (ASTM n° 6, fig. c), très impur; il s'agit probablement de fer puddlé et laminé.

Analyse chimique: d'après l'analyse LA-ICP-MS, métal riche en P. Ni et As présents dans des quantités moyennes; en comparaison avec les autres objets du site, la teneur en Cr est élevée; composition et rapport proches de ceux du métal local.

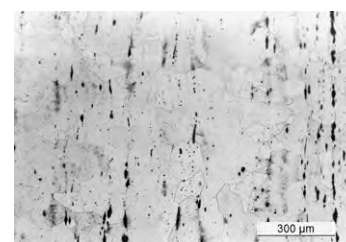
Conclusion: la tige du clou est laminée, et sa tête forgée par refoulement. Le fer contient un nombre extraordinaire d'inclusions de scorie et il est riche en P. Ces caractéristiques sont typiques d'un fer puddlé moderne.



a. Clou moderne avec localisation de la prise d'échantillon.



b. Dessin interprété de la section métallographique.



c. Fer puddlé riche en inclusions de scorie (attaque au Nital).

Catalogue

Catalogue descriptif du mobilier

Le second volet du catalogue rassemble le mobilier métallique du Haut Moyen Age, présenté par unités spatiales – fermes ou zones à vocation spécifique – qui se succèdent selon leur position géographique (CAJ 13, chap. 4). A l'intérieur de chaque unité, les pièces issues des structures sont présentées en premier, puis viennent celles dispersées à travers l'horizon archéologique ambiant. L'ordre de présentation est toujours déterminé par le cadre typologique établi dans les chapitres 3.3.1, 4 et 5. A l'intérieur de chaque catégorie typologique les pièces en fer viennent en premier, suivies de celles en métaux non ferreux.

Ce mobilier métallique comprend les déchets de forge et les déchets de la métallurgie des alliages à base de cuivre les plus caractéristiques (n° 81 à 164), l'essentiel des objets métalliques ainsi qu'une petite sélection de fragments d'objets (n° 165 à 862). Les deux dernières pièces (n° 863 et 864) font exception car l'analyse métallographique a démontré qu'il s'agit d'objets modernes.

Chaque entrée commence avec le numéro de catalogue, suivi de la dénomination typologique de l'objet. La description des particularités morphologiques et décoratives précède la mention des dimensions et du poids. L'entrée s'achève avec l'indication entre parenthèse du numéro d'inventaire cantonal et par la mention générique du métal dont est composé l'objet.

La technique de dessin a été adaptée au métal dont est composé l'objet: au trait pour le mobilier en fer, au point pour les autres métaux ou alliages. Les dessins sont en principe accompagnés d'une ou de plusieurs coupes réalisées en des endroits significatifs et, souvent aussi, d'une vue de côté selon un déroulement vers la droite de l'objet. En ce qui concerne les objets damasquinés, le motif est laissé en blanc pour le rendu de l'argent ou rehaussé de petits points pour celui du laiton; un procédé technique particulier sur un objet en fer (p. ex. brasure ou placage d'alliage cuivreux) est traité au point.

Quelques pièces n'ont pu être dessinées préalablement à l'analyse: le dessin est alors remplacé par une photographie en noir et blanc.

L'échelle est au 1:2, sauf exception signalée dans l'intitulé des planches.

L.	longueur
l.	largeur
ép.	épaisseur
h.	hauteur
diam.	diamètre
ext. / int.	externe / interne
max.:	maximal

Catalogue des déchets de forge et de la métallurgie des alliages**Ferme 1****Couche archéologique**

- 81 Chute. Tôle épaisse mise en forme, avec importants défauts de forgeage. L. 3,2 cm; ép. 0,5 cm; poids 19,5 g. (DEV 993/1664 PR). Fer.
- 82 Chute. Tôle coupée et mise en forme. L. 2,7 cm; ép. 0,5 cm; poids 10,5 g. (DEV 995/870 PR). Fer.
- 83 Chute. Bande coupée et vrillée. L. 4,5 cm; section 0,8x0,35 cm; poids 4,8 g. (DEV 995/874 PR). Fer.
- 84 Chute. Barre coupée. L. 3,8 cm; section 1x0,9 cm; poids 12,2 g. (DEV 996/1875 PR). Fer.
- 85 Chute. Barre coupée. L. 2,1 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 1,8 g. (DEV 996/1885 PR). Fer.
- 86 Ebauche. Barre étirée en longueur et vrillée. Produit directement à partir d'une éponge de fer. L. 7,9 cm; section 0,7x0,6 cm; poids 23,2 g. (DEV 995/901 PR). Fer.
- 87 Ebauche. Tôle légèrement bombée, avec un petit côté concave entre deux ressauts. Autre extrémité endommagée, peut-être arrondie. Traces très tenues d'incisions décoratives. L. 5,1 cm; ép. 0,3 cm; poids 22,1 g. (DEV 996/1950 PR). Fer.
- 88 Raté. Tôle amincie et vraisemblablement cassée après pliage. L. 4,4 cm; ép. 0,4 cm; poids 10,3 g. (DEV 995/845 PR). Fer.
- 89 Matière de récupération. Tôle ratée, pliée à froid. L. 6 cm; poids 30,2 g. (DEV 996/1890 PR). Fer.

Bâtiment Q, trou de poteau 368

- 90 Creuset à fondre les alliages cuivreux. Godet de petite taille, en forme de tonneau à base arrondie et à profil épais. Nombreuses gouttelettes de métal sur la paroi interne. H. 3,7 cm; diam. int. 2,1 cm; poids 26 g. (DEV 994/330 PR). Terre réfractaire.

Ferme 2 et zone d'activité 1**Cabane en fosse R**

- 91 Chute. Fragment allongé et fendu; traces de deux coups de ciseau droit. L. 3,5 cm; poids 4,4 g. (DEV 995/1031 PR). Fer.
- 92 Raté. Bande étirée en longueur, percée et pliée. L. 2,1 cm; section 0,5x0,2 cm; poids 1,5 g. (DEV 995/1028 PR). Fer.

Cabane en fosse S

- 93 Chute. Bande forgée en pointe et étirée en longueur à l'autre extrémité. Profil légèrement courbé. L. 2,4 cm; poids 1,5 g. (DEV 994/2073 PR). Fer.

Couche archéologique

- 94 Chute. Barre étirée en longueur et coupée (?). L. 3,5 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 1,5 g. (DEV 993/1785 PR). Fer.
- 95 Chute. Fragment issu d'un travail de récupération. L. 2,9 cm; poids 18 g. (DEV 994/1287 PR). Fer.
- 96 Chute. Bande étirée en longueur; traces de martelage très visibles (pas de frappe: env. 0,5 cm). L. 3,6 cm; poids 2,1 g. (DEV 994/1771 PR). Fer.
- 97 Chute. Tôle coupée. L. 3,4 cm; ép. 0,4 cm; poids 6,9 g. (DEV 994/1783 PR). Fer.
- 98 Chute. Fragment coupé; trace d'un coup de ciseau droit. L. 1,6 cm; poids 2,1 g. (DEV 994/1785 PR). Fer.
- 99 Chute. Bande coupée sur l'extrémité étirée en longueur. Traces de martelage. L. 5,3 cm; section 0,7x0,4 cm; poids 4,6 g. (DEV 994/1935 PR). Fer.
- 100 Chute. Bande coupée longitudinalement sur les deux longs côtés. L. 3,7 cm; section 2,3x0,7 cm; poids 26,9 g. (DEV 994/2051 PR). Fer.
- 101 Chute. Fragment coupé et martelé. L. 3,6 cm; ép. 1,2 cm; poids 23,6 g. (DEV 995/1016 PR). Fer.
- 102 Chute. Barre étirée en longueur. L. 2,7 cm; section 1,2x1 cm; poids 5,2 g. (DEV 995/1065 PR). Fer.
- 103 Chute. Barre fendue sur l'extrémité étirée; trace d'un coup de ciseau droit. L. 2,9 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 0,7 g. (DEV 995/1068 PR). Fer.

- 104 Ebauche. Tôle martelée; épaisseur irrégulière. L. 3,6 cm; l. 0,4 cm; ép. 0,4 cm; poids 13 g. (DEV 994/1678 PR). Fer.
- 105 Ebauche. Bande trapézoïdale amincie en longueur et en épaisseur, courbée. L. 6,9 cm; section 1,4x0,6 cm; poids 20,8 g. (DEV 994/1747 PR). Fer.
- 106 Ebauche. Bande étroite et irrégulière, courbée. L. 6,3 cm; section 0,7x0,35 cm; poids 7,3 g. (DEV 994/1766 PR). Fer.
- 107 Raté. Tôle de section triangulaire, avec importants défauts de forgeage (lame ratée?). L. 4,7 cm; poids 16 g. (DEV 994/110 PR). Fer.
- 108 Raté. Fragment angulaire avec présence d'un alliage cuivreux. L. 2,1 cm; poids 8 g. (DEV 994/1157 PR). Fer.
- 109 Raté. Tôle avec contour et profil irréguliers. L. 3,3 cm; poids 5 g. (DEV 994/1366 PR). Fer.
- 110 Raté. Tôle triangulaire épaisse, avec importants défauts de forgeage. L. 5 cm; poids 22 g. (DEV 995/754 PR). Fer.
- 111 Raté. Barre informe, avec importants défauts de forgeage. L. 4,4 cm; poids 5,2 g. (DEV 995/1004 PR). Fer.
- 112 Matière de récupération. Tôle ratée, repliée deux fois sur elle-même. L. 4,1 cm; poids 32,5 g. (DEV 995/1015 PR). Fer.

Cabane en fosse V

- 113 Fragment de creuset à fondre les alliages cuivreux. Partie de l'embouchure et de la panse. Profil épais et traces externes de vitrification. H. conservée 3,5 cm; ép. 1 cm; poids 8,9 g. (DEV 995/2156 PR). Terre réfractaire.

Zone d'activité 2**«Gué» 20**

- 114 Chute. Bande forgée en pointe, étirée en longueur et coupée à l'autre extrémité; traces de martelage. 4,1 cm; section 0,55x0,35 cm; poids 3,3 g. (CIT 994/9746 TI). Fer.
- 115 Matière de récupération (?). Barre semi-ouvrée de section circulaire et fendue à une extrémité, carrée à l'autre extrémité. L. 6,9 cm; poids 10,1 g. (CIT 995/2516 TI). Etain.

Zone d'activité 4**Fosse 13**

- 116 Ebauche. Barre forgée en pointe et vrillée; traces de martelage. L. 5,6 cm; poids 7,4 g. (CIT 994/8224 TI). Fer.

Aire de forge 14

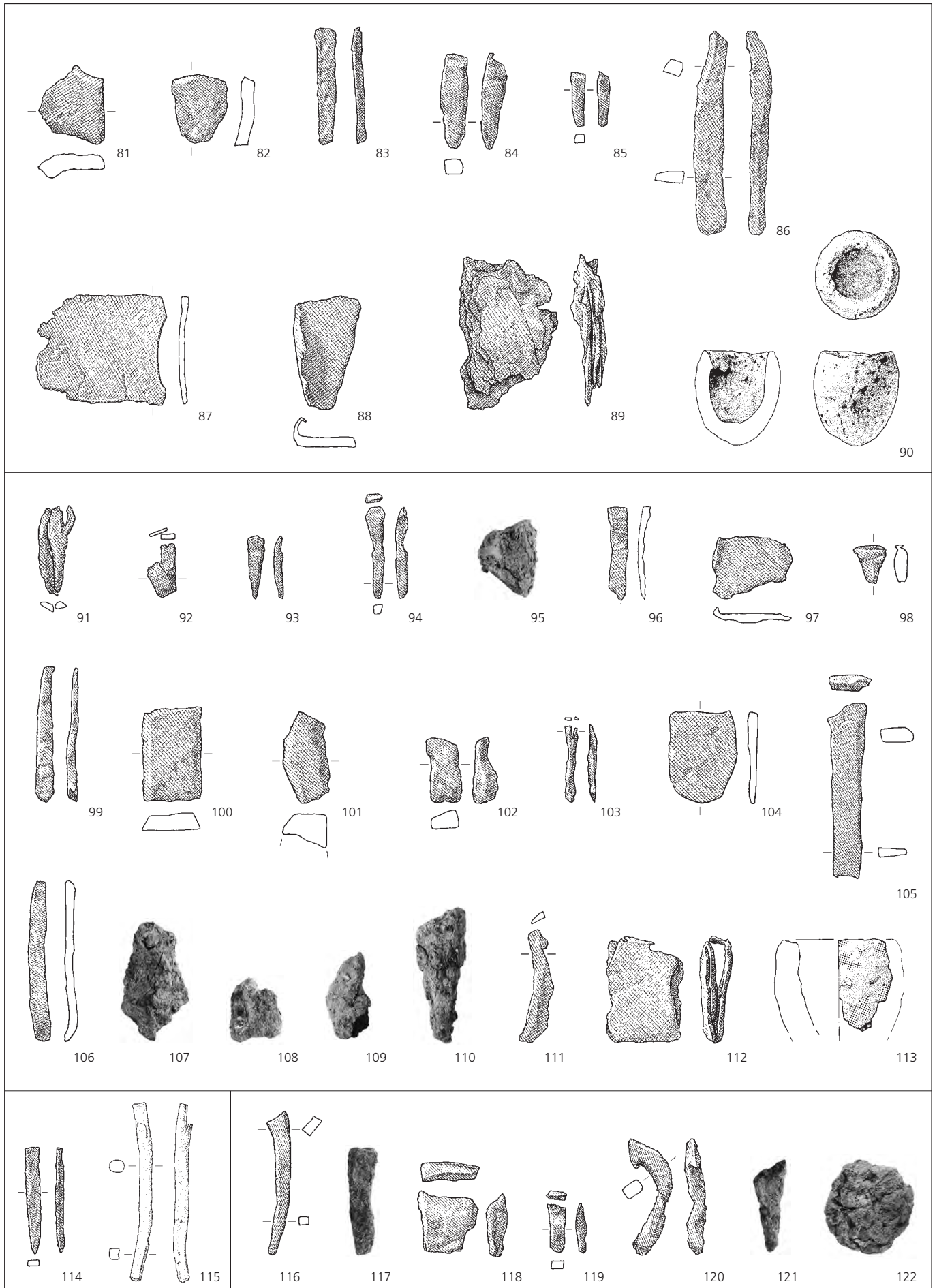
- 117 Chute. Barre coupée (?), produite par récupération de métal. L. 4 cm; section 0,7x0,7 cm; poids 10 g. (CIT 994/2206 TI). Fer.

Bassins

- 118 Chute. Fragment coupé et fortement martelé. Trace d'un coup de ciseau droit. L. 2,4 cm; l. 2,4 cm; ép. 0,7 cm; poids 10,4 g. (CIT 994/9800 TI). Fer.
- 119 Chute. Bande coupée. L. 1,9 cm; section 0,6x0,4 cm; poids 1,7 g. (CIT 995/1341 TI). Fer.
- 120 Chute. Barre courbée et légèrement vrillée, coupée à une extrémité. L. 4,5 cm; section 0,8x0,6 cm; poids 10,2 g. (CIT 995/2117 TI). Fer.

Couche archéologique

- 121 Chute. Fragment coupé de section trapézoïdale. L. 3,4 cm; poids 5 g. (CIT 994/2123 TI). Fer.
- 122 Raté. Tôle épaisse mise en forme, avec importants défauts de forgeage. L. 3,7 cm; ép. 0,7 cm; poids 30 g. (CIT 994/2208 TI). Fer.



Ferme 4**Couche archéologique**

- 123 Chute. Barre vrillée, étirée en longueur après un léger refoulement. L. 5,1 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 3,6 g. (CIT 994/9682 TI). Fer.
- 124 Chute. Bande coupée et étirée en longueur; traces de martelage. L. 3,3 cm; section 0,9x0,3 cm; poids 2,5 g. (CIT 994/9683 TI). Fer.
- 125 Chute. Barre étirée en longueur, probablement coupée à l'autre extrémité. L. 4 cm; section 1,1x0,9 cm; poids 9,3 g. (CIT 994/9694 TI). Fer.
- 126 Ebauche. Barre avec une extrémité aplatie et coupée; l'autre extrémité voit sa section carrée diminuer. L. 8,7 cm; section 1x0,8 cm; poids 29,6 g. (CIT 994/8083 TI). Fer.
- 127 Ebauche. Barre massive et courbée, angles chanfreinés. La partie étirée en longueur est asymétrique et légèrement vrillée. L. 7,8 cm; poids 68,6 g. (CIT 995/5007 TI). Fer.

Ferme 5**Bâtiment A**

- 128 Chute. Fragment coupé avec un petit épaulement. L. 2,2 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/4448 TI). Fer.
- 129 Chute. Barre coupée et étirée en longueur à l'autre extrémité. L. 3,4 cm; poids 4,6 g. (CIT 996/4792 TI). Fer.
- 130 Ebauche. Barre étirée en longueur et courbée. L. 3,6 cm; poids 4,3 g. (CIT 996/4791 TI). Fer.
- 131 Raté. Bande étirée en longueur, rétrécie et courbée. Scorée sur l'extrémité étroite. L. 7,6 cm; section 1,8x0,5 cm; poids 15,7 g. (CIT 996/4238 TI). Fer.

Puits 155

- 132 Chute. Barre coupée; traces de martelage sur 2 faces. L. 4,1 cm; section 0,9x0,9 cm; poids 14,3 g. (CIT 995/5106 TI). Fer.

Couche archéologique

- 133 Chute. Barre étirée en longueur et coupée. L. 2,7 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 0,7 g. (CIT 995/5022 TI). Fer.
- 134 Chute. Bande étirée en longueur; traces de martelage. L. 3,4 cm; section 1,4x0,5 cm; poids 6,6 g. (CIT 996/2871 TI). Fer.
- 135 Chute. Barre massive de section rectangulaire, coupée à une extrémité. L. 4,2 cm; section 1,3x1 cm; poids 23,3 g. (CIT 996/4096 TI). Fer.
- 136 Chute. Barre étirée en longueur. L. 4,3 cm; section 0,7x0,7 cm; poids 4,5 g. (CIT 996/4115 TI). Fer.
- 137 Chute. Barre étirée en longueur. L. 3,4 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 2,2 g. (CIT 996/4198 TI). Fer.
- 138 Chute. Bande légèrement vrillée et fortement martelée à une extrémité, produite par récupération de métal. L. 3,9 cm; section 1x0,7 cm; poids 11 g. (CIT 996/4303 TI). Fer.
- 139 Chute. Tôle coupée. L. 2,7 cm; ép. 0,3 cm; poids 3 g. (CIT 996/4343 TI). Fer.
- 140 Chute. Barre étirée en longueur à une extrémité et peut-être coupée à l'autre. L. 4,4 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 2,6 g. (CIT 996/4566 TI). Fer.
- 141 Chute. Barre courbée et étirée en longueur; traces de martelage. L. 3,9 cm; poids 14,8 g. (CIT 996/4587 TI). Fer.
- 142 Chute. Fragment plié selon l'axe longitudinal. L. 2,3 cm; poids 7,8 g. (CIT 996/4683 TI). Fer.
- 143 Chute. Tôle coupée. L. 2,5 cm; ép. 0,25 cm; poids 1,8 g. (CIT 996/4692 TI). Fer.
- 144 Raté. Barre étirée en longueur et percée à une extrémité. L. 5,6 cm; poids 26,9 g. (CIT 996/4905 TI). Fer.

Bâtiment A

- 145 Objet brut de coulée. Applique rectangulaire à 2 languettes de fixation non encore perforées au revers. Restes de coutures marquant l'utilisation d'un moule bivalve. L. 2,9 cm; poids 7,8 g. (CIT 996/2934 TI). Bronze.

Couche archéologique

- 146 Masselotte. Tige à extrémité ovale; dissymétrie longitudinale avec coutures marquant l'utilisation d'un moule bivalve. L. 1,2 cm; poids 0,3 g. (CIT 996/2900 TI). Bronze.
- 147 Goutte de coulée. Forme ramassée à l'aspect rugueux et une surface aplatie. L. 1,3 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/2910 TI). Bronze.
- 148 Goutte de coulée. Forme ramassée à l'aspect rugueux et une surface aplatie. L. 2,1 cm; poids 7,5 g. (CIT 996/2888 TI). Bronze.
- 149 Raté. Tôle repliée et probablement ratée en raison d'une brasure à l'étain mal réalisée. L. 1,4 cm; ép. 0,2 cm; poids 0,7 g. (CIT 996/2892 TI). Bronze.
- 150 Matière de récupération. Bande enroulée sur elle-même. L. 1,3 cm; l. 1,1 cm; poids 5,3 g. (CIT 996/2911 TI). Bronze.
- 151 Matière de récupération. Bande brisée à ses extrémités. L. 1,2 cm; l. 1,1 cm; poids 1,3 g. (CIT 996/2913 TI). Bronze.
- 152 Matière de récupération. Bande brisée à ses extrémités. L. 2,2 cm; l. 1,1 cm; poids 2,9 g. (CIT 996/2912 TI). Bronze.
- 153 Creuset à fondre les alliages cuivreux. Fragmenté mais avec profil complet; nombreuses gouttelettes de métal sur la paroi intérieure et sur la tranche. H. conservée 4,6 cm; diam. int. env. 2,5 cm; poids 22,2 g. (CIT 996/2823 TI). Terre réfractaire.
- 154 Fragment de creuset à fondre les alliages cuivreux. Partie de l'embouchure et de la panse; profil rectiligne, aminci sur la face interne de l'embouchure. Gouttelette de métal collée sur la tranche. H. conservée 2,5 cm; ép. 0,5 cm; poids 2,5 g. (CIT 996/1679 TI). Terre réfractaire.
- 155 Fragment de creuset à fondre les alliages cuivreux. Partie de l'embouchure, profil épais et traces externes de vitrification. Gros résidu de métal collé sur la paroi interne. H. conservée 1,5 cm; ép. 0,5 cm; poids 3 g. (CIT 996/4518 TI). Terre réfractaire.

Ferme 6**Couche archéologique**

- 156 Chute. Barre coupée; traces de martelage. L. 5 cm; section 0,7x0,6 cm; poids 9,7 g. (CIT 996/4856 TI). Fer.
- 157 Chute. Barre coupée. L. 2,2 cm; section 1,5x1,2 cm; poids 13,3 g. (CIT 996/4867 TI). Fer.
- 158 Chute. Bande coupée. L. 4,3 cm; section 0,6x0,4 cm; poids 4,8 g. (CIT 996/4868 TI). Fer.
- 159 Ebauche. Plaque trapézoïdale à extrémité arrondie. Mise en forme générale, épaisseur irrégulière. L. 5,8 cm; l. 3,7 cm; ép. 0,5 cm; poids 36,2 g. (CIT 996/4857 TI). Fer.
- 160 Raté. Barre courbée. L. 7,3 cm; poids 17,5 g. (CIT 995/5028 TI). Fer.
- 161 Raté. Tôle pliée sur elle-même. L. 3,5 cm; poids 2,6 g. (CIT 996/4890 TI). Fer.
- 162 Masselotte. Colonne de coulée fragmentée, en forme d'entonnoir. Aménagée dans la partie supérieure d'un moule pour la coulée du métal. L. 2,6 cm; poids 7,3 g. (CIT 996/2928 TI). Bronze.
- 163 Objet brut de coulée. Têtes de rivets hémisphériques coulés en grappe. Les tiges en fer, très mal conservées, furent solidarisées à l'ensemble lors de la coulée. Restes de coutures marquant l'utilisation d'un moule bivalve. L. 4,8 cm; poids 7,2 g. (CIT 996/2926 TI). Bronze.
- 164 Matière de récupération. Bande repliée longitudinalement; les deux perforations ne sont plus en correspondance. L. 3,2 cm; l. 1 cm; poids 4,5 g. (CIT 996/2958 TI). Bronze.



Catalogue des objets et fragments d'objets métalliques**Ferme 1****Bâtiment F, empierrement 129**

- 165 Sonnaile. Forme trapézoïdale basse et évasée, avec ouverture rectangulaire. L'anse brisée et les surfaces étaient entièrement plaquées d'un alliage cuivreux. H. 4,4 cm; ouverture 5x3,6 cm; poids 30,3 g. (DEV 993/1677 PR). Fer.
- 166 Barrette de suspension de fourreau de scramasaxe. Corps de section arrondie et 2 extrémités circulaires munies chacune d'un rivet en fer. L. restituée 5,4 cm; poids 2,8 g. (DEV 993/1839 PR). Fer.
- 167 Objet non défini. Tige repliée en crochet sur une traverse coudée et étirée à plat. L. 3,4 cm; poids 4 g. (DEV 993/1843 PR). Fer.
- 168 Bande. Fragment de section rectangulaire, courbé et replié à une extrémité. L. 4,7 cm; section 1,8x0,2 cm; poids 6,3 g. (DEV 993/1844 PR). Fer.

Cabane en fosse U

- 169 Poinçon. Le manche fin, de section quadrangulaire, présente un léger renflement au passage de la pointe. La tête manque. L. 10,2 cm; poids 7,2 g. (DEV 995/928 PR). Fer.
- 170 Anneau. Cercle ouvert et torsadé de section quadrangulaire. Diam. 3,2 cm; poids 7,1 g. (DEV 996/1920 PR). Fer.

Cabane en fosse V

- 171 Ferret de buffleterie. Corps légèrement arqué et extrémité distale arrondie. La base est manquante. L. 3,1 cm; ép. 0,3 cm; poids 3,8 g. (DEV 996/1863 PR). Fer.

Cabane en fosse W

- 172 Ciseau à pointe. La section carrée du manche s'arrondit à l'approche de la pointe. La tête massive et bombée porte des marques d'écrasement. L. 9,4 cm; poids 30 g. (DEV 995/762 PR). Fer.

Fosse 18

- 173 Tige. Fragment de section circulaire terminé en pointe. L. 4,3 cm; diam. 0,7 cm; poids 5,6 g. (DEV 993/1838 PR). Fer.

Four 345

- 174 Ciseau à pointe. Le manche de section carrée aux angles chanfreinés s'amincit régulièrement jusqu'à la pointe. Bien détachée, la tête circulaire est à peine bombée. L. 10,9 cm; poids 21,8 g. (DEV 996/1919 PR). Fer.

Foyer 322

- 175 Couteau. Forme 1B; rainures sur les 2 faces de la lame. L. 20,1 cm; poids 29,6 g. (DEV 995/814 PR). Fer.

Fossé 209

- 176 Ciseau à pointe. Le manche de section circulaire est tordu à la pointe. La tête bombée présente un très fort écrasement, avec une barbe abondante débordant le long du manche. L. 10,1 cm; poids 24,2 g. (DEV 994/1681 PR). Fer.
- 177 Lame de couteau. Forme 1A. L. 6,2 cm; l. 1,6 cm; poids 5,7 g. (DEV 993/1676 PR). Fer.
- 178 Maillon en 8. Ovale très resserré de section quadrangulaire. L. 4,8 cm; poids 7,3 g. (DEV 995/811 PR). Fer.

Empierrement 210

- 179 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 4,1 cm; poids 3,1 g. (DEV 993/1789 PR). Fer.
- 180 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate, terminée par une petite volute extérieure; tige brisée de section circulaire. L. 5,8 cm; poids 3,5 g. (DEV 993/1793 PR). Fer.
- 181 Contre-plaque de ceinture. Plaque triangulaire trilobée à bords rectilignes biseautés; encoche arrondie sur la base. Fixation par 3 petits rivets en fer. L. 6,7 cm; ép. 0,4 cm; poids 13,7 g. (DEV 993/1792 PR). Fer.

Empierrement 287

- 182 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; soie détachée de la lame. L. 3,9 cm; l. 1,9 cm; poids 7,1 g. (DEV 994/1682 PR). Fer.
- 183 Lame de forces. Poignée élargie dans le prolongement du dos rectiligne; tranchant convexe. L. 7,8 cm; l. 1,4 cm; poids 7,8 g. (DEV 994/2027 PR). Fer.
- 184 Objet non défini. Corps de section triangulaire; long côté arrondi et encoche sommitale. L. 4,4 cm; poids 10,2 g. (DEV 994/2030 PR). Fer.

Dépotoir 361

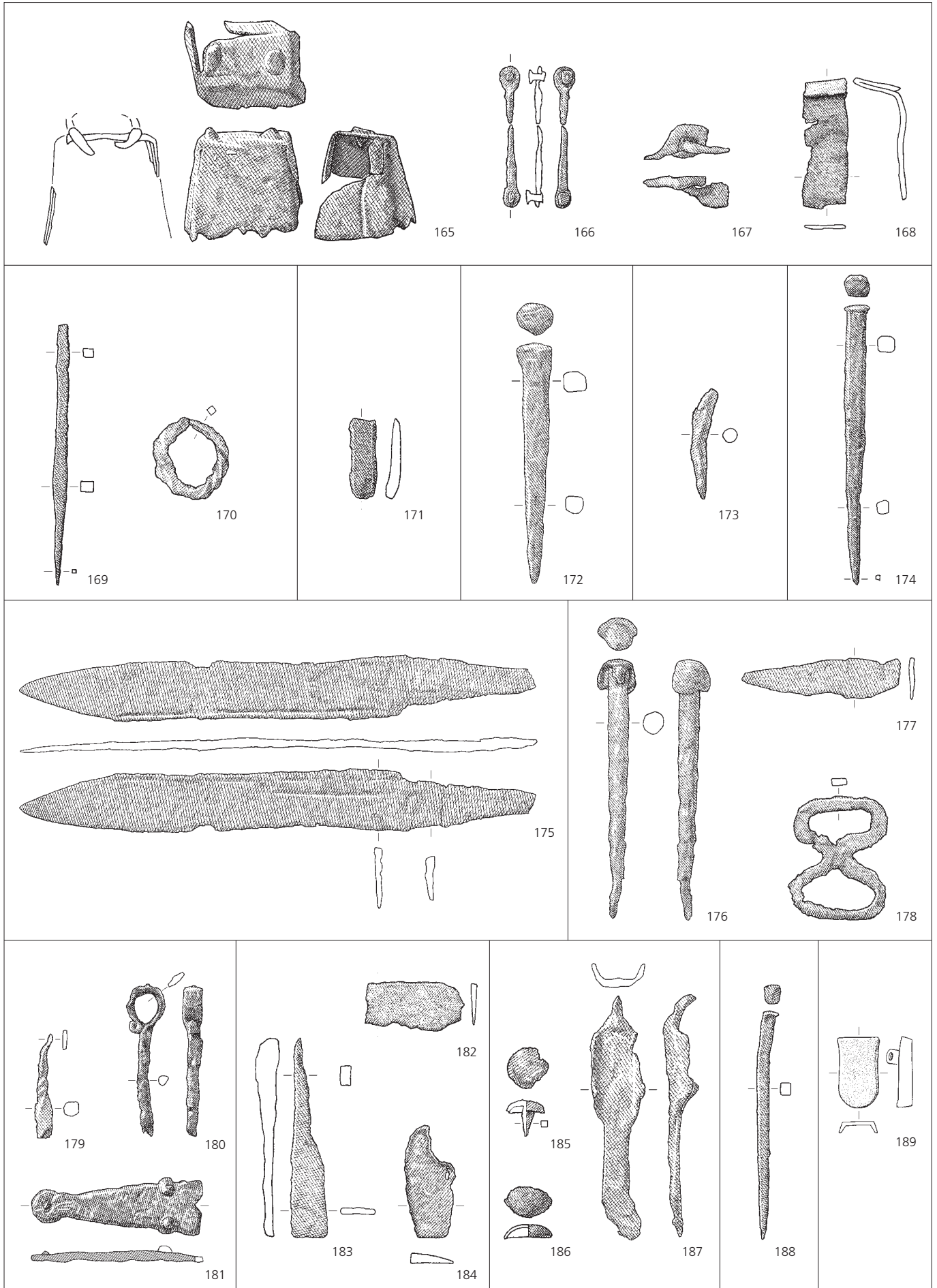
- 185 Rivet de buffleterie. Tête hémisphérique creuse et tige brisée de section carrée. L. 1,4 cm; diam. de la tête 1,7 cm; poids 1,5 g. (DEV 995/919 PR). Fer.
- 186 Rivet de buffleterie. Tête hémisphérique creuse. Diam. estimé de la tête 2 cm; poids 1 g. (DEV 995/920 PR). Fer.
- 187 Objet non défini. Fer plat à 2 rabats latéraux, prolongé par un manche coudé et une pointe courbée à l'autre extrémité. L. 9,5 cm; poids 17,5 g. (DEV 995/765 PR). Fer.

Trou de poteau 335 (structure isolée)

- 188 Clou. Tête plate. L. 8,8 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 9,7 g. (DEV 995/922 PR). Fer.

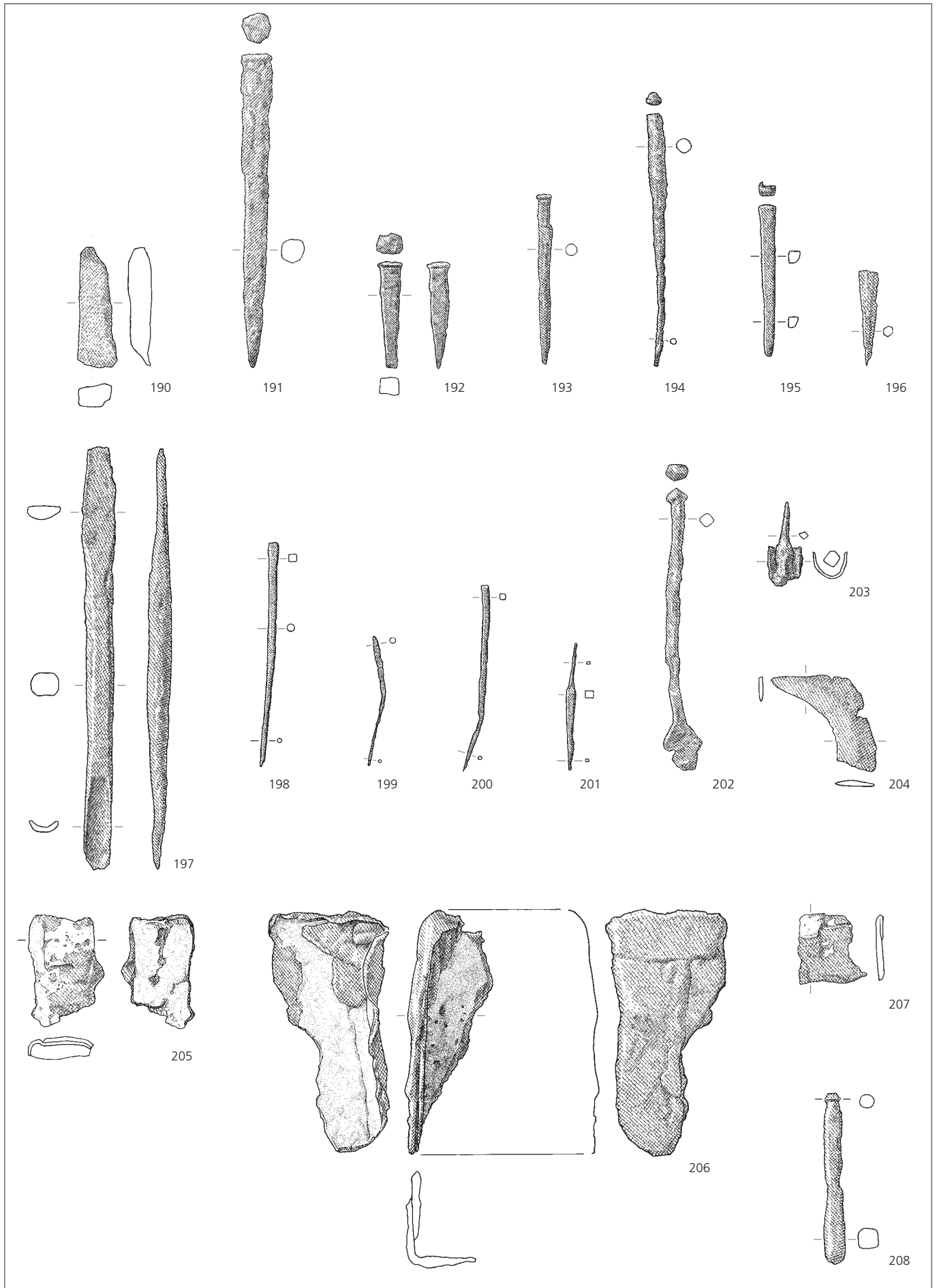
Trou de poteau 402 (structure isolée)

- 189 Plaquette verticale de ceinture. Corps en forme de langue, resserré en son milieu; base rectiligne et bords biseautés débordant au revers. Fixation par 2 languettes perforées au revers (une seule est conservée). L. 2,75 cm; l. 1,7 cm; ép. 0,2 cm; poids 8,2 g. (DEV 995/751 PR). Bronze.



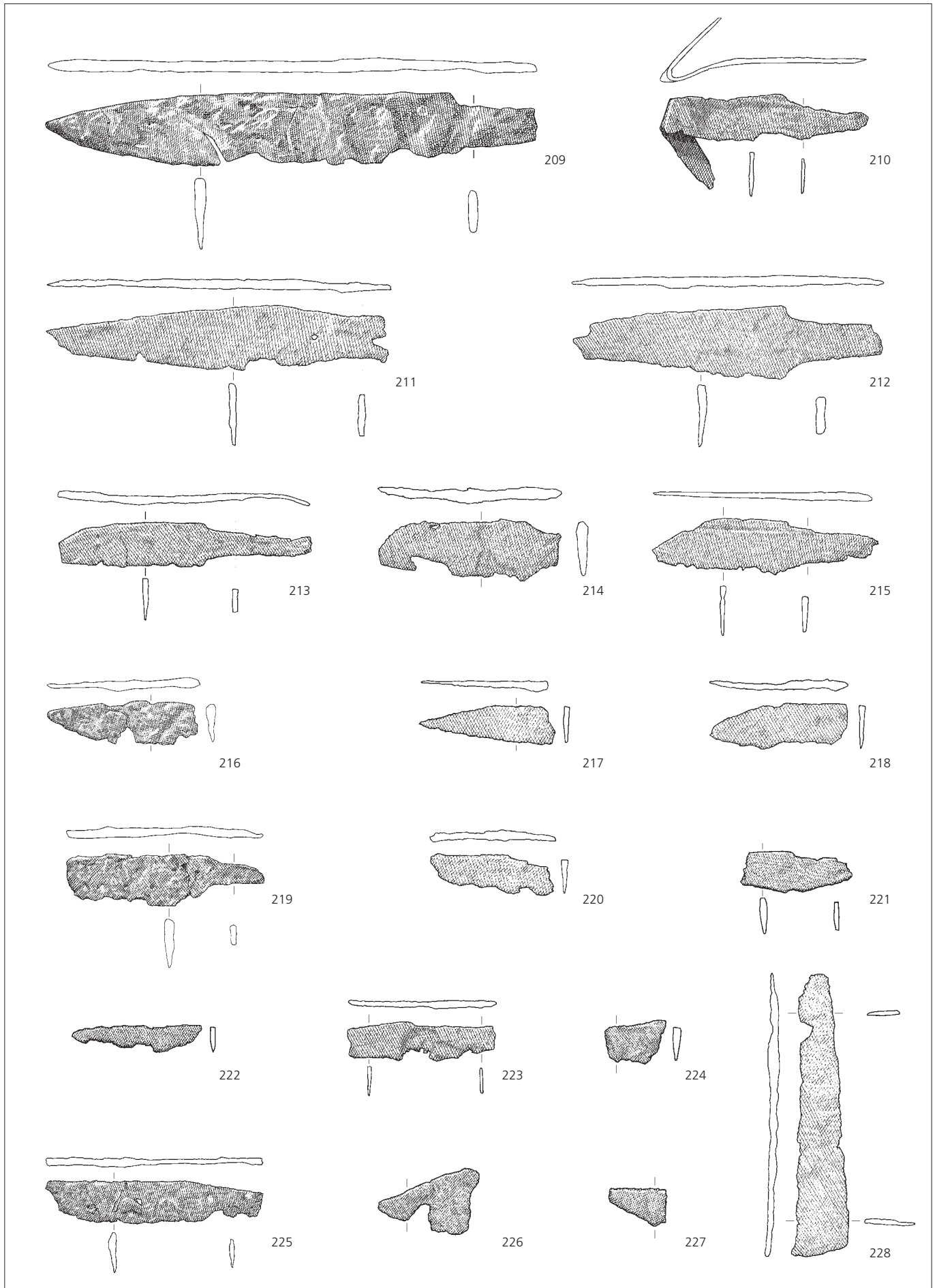
Ferme 1 (suite)**Couche archéologique**

- 190 Ciseau droit. Lame brisée, de section rectangulaire, s'évasant légèrement à l'approche du tranchant. Celui-ci est arrondi et écrasé. L. 4,7 cm; poids 20,8 g. (DEV 993/1700 PR). Fer.
- 191 Ciseau à pointe. Manche massif mais endommagé, surmonté d'une tête plate. Sa section est en tout cas circulaire à l'approche de la pointe. L. 12,1 cm; poids 39,9 g. (DEV 993/1695 PR). Fer.
- 192 Ciselet. Manche court de section carrée, surmonté d'une tête bien dégagée et bombée. La lame à 2 biseaux s'achève par un tranchant rectiligne. L. 4,2 cm; poids 7,8 g. (DEV 996/1895 PR). Fer.
- 193 Poinçon. Manche fin de section circulaire, surmonté d'une tête légèrement écrasée. La pointe manque. L. 6,7 cm; poids 7,2 g. (DEV 995/892 PR). Fer.
- 194 Poinçon. Manche de section circulaire avec léger décrochement au passage de la tige. La tête ne paraît pas conservée. L. 9,8 cm; poids 9,7 g. (DEV 996/1943 PR). Fer.
- 195 Poinçon. Manche à tête bombée, de section quadrangulaire endommagée sur une face. L'extrémité de la tige est brisée. L. 5,9 cm; poids 9,2 g. (DEV 996/1978 PR). Fer.
- 196 Poinçon. Pointe de section apparemment hexagonale. L. 3,6 cm; poids 2,8 g. (DEV 995/817 PR). Fer.
- 197 Mèche à cuiller. La cuiller ovale est dans le prolongement de la tige. De section carrée aux angles chanfreinés, celle-ci est étirée en longueur à l'autre extrémité pour former une soie plate. L. 16,6 cm; poids 60 g. (DEV 995/906 PR). Fer.
- 198 Aiguille. Fine tige de section carrée puis circulaire. La pointe manque. L. 8,8 cm; poids 4,2 g. (DEV 994/1674 PR). Fer.
- 199 Aiguille. Fine tige courbée de section circulaire. L. 5 cm; poids 0,9 g. (DEV 995/789 PR). Fer.
- 200 Aiguille. Fine tige courbée de section carrée puis circulaire. L. 7,3 cm; poids 2,4 g. (DEV 996/1880 PR). Fer.
- 201 Alène. Manche quadrangulaire étroit, prolongé asymétriquement par deux pointes effilées. L. 4,9 cm; poids 1,5 g. (DEV 996/1931 PR). Fer.
- 202 Spatule. Un épaulement oblique sépare la lame aplatie de la tige. Celle-ci est surmontée d'un petit bouton conique. L. 10,9 cm; poids 7,6 g. (DEV 994/1644 PR). Fer.
- 203 Virole (outil non défini). L. 3,3 cm; poids 3,8 g. (DEV 996/1947 PR). Fer.
- 204 Fragment de serpette. Lame courbée à taillant concave. L. 5,3 cm; l. de la lame 1,8 cm; poids 4,4 g. (DEV 996/1906 PR). Fer.
- 205 Fragment de sonnaille. Partie latérale avec replis d'un exemplaire trapézoïdal, probablement à ouverture rectangulaire. Placage intégral d'un alliage cuivreux. L. 4,3 cm; poids 17,9 g. (DEV 995/801 PR). Fer.
- 206 Fragment de sonnaille. Forme trapézoïdale haute, probablement à ouverture rectangulaire; les replis latéraux sont très visibles. Les surfaces externes et internes étaient plaquées d'un alliage cuivreux. H. conservée 9,5 cm; l. 4,5 cm; poids 80,1 g. (DEV 995/861 PR). Fer.
- 207 Fragment de sonnaille. Partie latérale avec replis d'un exemplaire trapézoïdal, probablement à ouverture rectangulaire. Placage intégral d'un alliage cuivreux. L. 2,7 cm; poids 6,6 g. (DEV 995/862 PR). Fer.
- 208 Battant de sonnaille. Tige de section circulaire coiffée d'une excroissance hémisphérique. L. 6,6 cm; poids 13,6 g. (DEV 996/1930 PR). Fer.



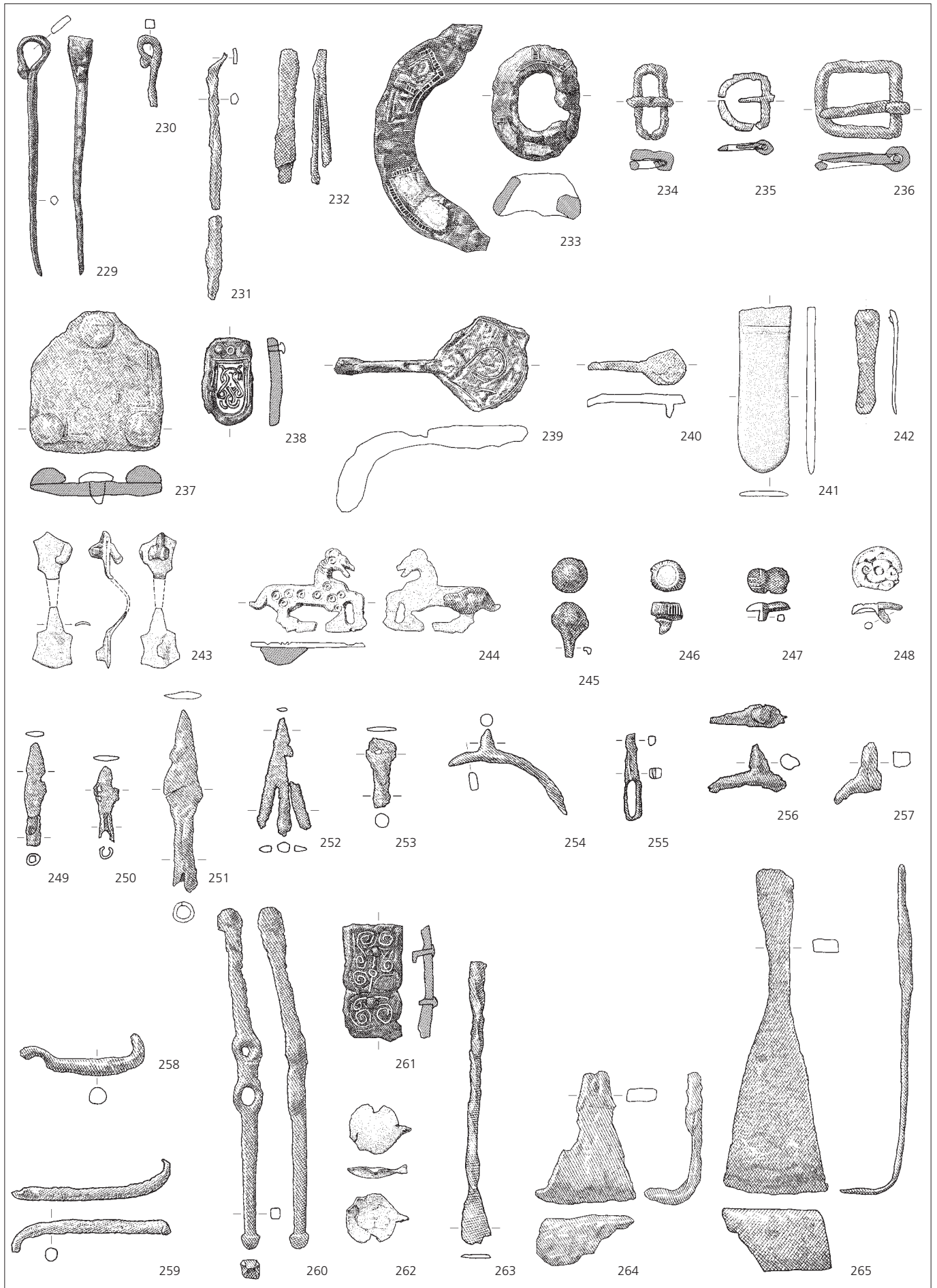
Ferme 1, couche archéologique (*suite*)

- 209 Couteau. Forme 1B. L. 19,1 cm; poids 46,3 g. (DEV 993/1692 PR). Fer.
- 210 Couteau. Forme 1B, la lame est repliée sur elle-même. L. 8,1 cm; l. de la lame 1,9 cm; poids 10,8 g. (DEV 996/1989 PR). Fer.
- 211 Couteau. Forme 2. L. 13,3 cm; poids 28,5 g. (DEV 993/1694 PR). Fer.
- 212 Couteau. Forme 2. L. 11,9 cm; poids 25 g. (DEV 995/895 PR). Fer.
- 213 Couteau. Forme 3A. L. 9,8 cm; poids 6,8 g. (DEV 994/1977 PR). Fer.
- 214 Couteau. Forme 3A. L. 7,1 cm; poids 9,8 g. (DEV 995/833 PR). Fer.
- 215 Couteau. Forme 3A; rainures sur les deux faces de la lame. L. 8,8 cm; poids 12,1 g. (DEV 995/902 PR). Fer.
- 216 Lame de couteau. Forme 1A. L. 5,9 cm; l. 1,7 cm; poids 4,6 g. (DEV 993/1652 PR). Fer.
- 217 Lame de couteau. Forme 1A. L. 5,2 cm; l. 1,5 cm; poids 4 g. (DEV 995/779 PR). Fer.
- 218 Lame de couteau. Forme 1B. L. 5,4 cm; l. 1,7 cm; poids 4,9 g. (DEV 994/1665 PR). Fer.
- 219 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 7,8 cm; l. 2 cm; poids 8,1 g. (DEV 993/1649 PR). Fer.
- 220 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé. L. 5 cm; l. 1,6 cm; poids 3,3 g. (DEV 993/1666 PR). Fer.
- 221 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant rendu concave par l'usure; la soie est détachée de la lame. L. 4,4 cm; l. 1,6 cm; poids 4,3 g. (DEV 993/1834 PR). Fer.
- 222 Lame de couteau. Lame très étroite avec au moins le tranchant courbé à la pointe. L. 5 cm; l. 1 cm; poids 1,3 g. (DEV 994/1698 PR). Fer.
- 223 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant rendu concave par l'usure; la soie est détachée de la lame. L. 5,8 cm; l. 1,5 cm; poids 4,2 g. (DEV 995/822 PR). Fer.
- 224 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé. L. 2,5 cm; l. 1,6 cm; poids 2,5 g. (DEV 995/1120 PR). Fer.
- 225 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant convexe; la soie n'est pas dans l'axe de la lame. L. 8,4 cm; l. 1,7 cm; poids 5,3 g. (DEV 996/1905 PR). Fer.
- 226 Pointe de couteau. L. 4,1 cm; poids 3,1 g. (DEV 995/838 PR). Fer.
- 227 Pointe de couteau. L. 2,3 cm; poids 1,5 g. (DEV 996/1888 PR). Fer.
- 228 Lame de forces. Longue lame à dos concave et tranchant rectiligne; la poignée manque. L. 10,9 cm; l. 2,2 cm; poids 11,7 g. (DEV 995/843 PR). Fer.



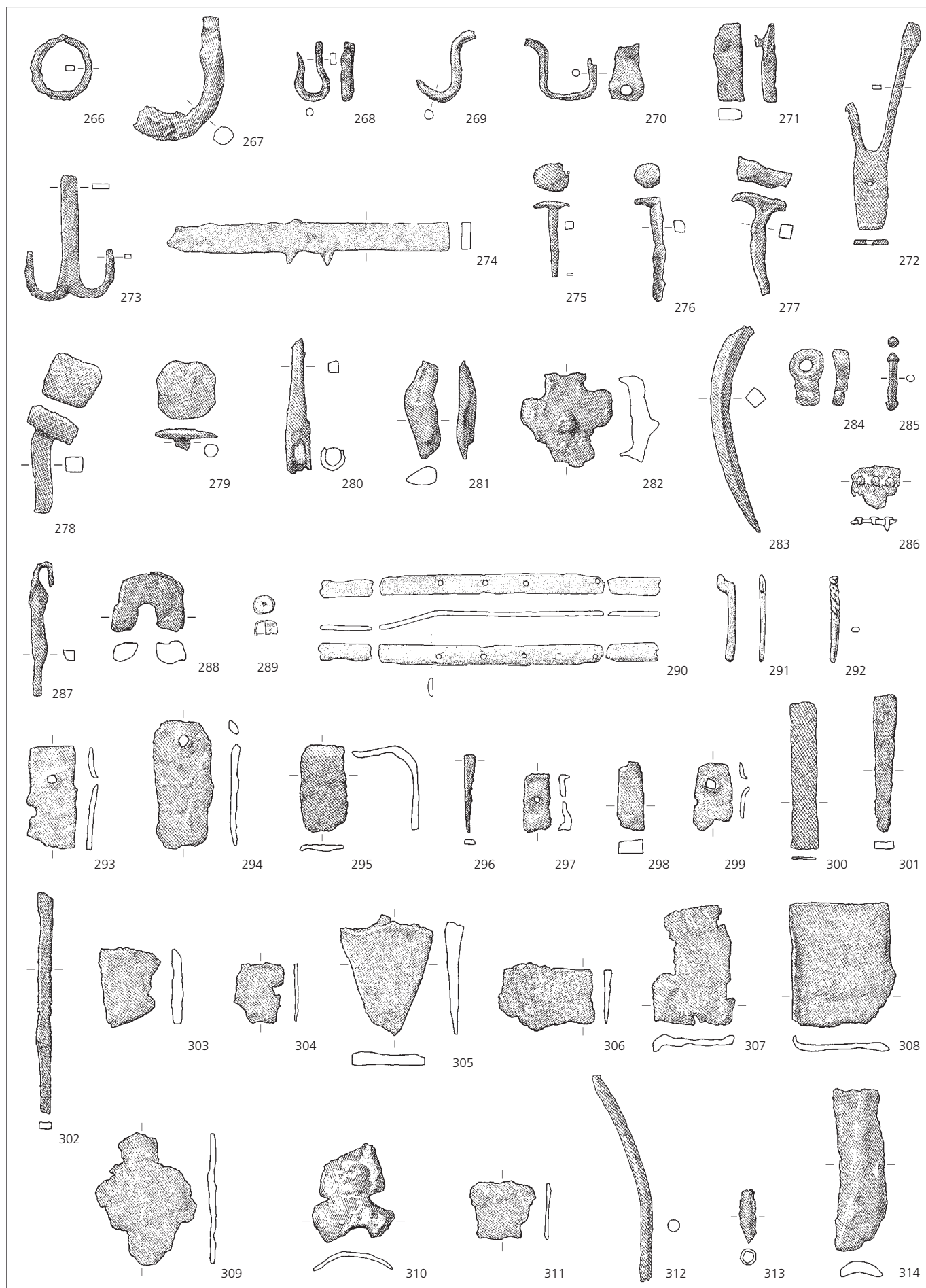
Ferme 1, couche archéologique (suite)

- 229 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate terminé par une petite volute extérieure; tige de section carrée puis circulaire. L. 9,4 cm; poids 5,4 g. (DEV 993/1708 PR). Fer.
- 230 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section carrée terminé par une petite volute extérieure; tige brisée de section carrée. L. 2,8 cm; poids 2,4 g. (DEV 995/794 PR). Fer.
- 231 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section circulaire. L. 6,1 cm; poids 5,3 g. (DEV 995/880 PR). Fer.
- 232 Pince à épiler. Les 2 branches légèrement concaves sont soudées à leur sommet. L. 5,3 cm; poids 4,7 g. (DEV 995/898 PR). Fer.
- 233 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section rectangulaire abrupte et haute, traverse amincie de section circulaire. Décor organisé en quatre compartiments trapézoïdaux encadrés d'échelles en argent, répartis de part et d'autre du repos de l'ardillon; 2 d'entre eux conservent encore une feuille en bronze estampée sans motifs décoratifs apparents. L. 3,6 cm; l. ext./int. 4,5/2,2 cm; h. 1,5 cm; poids 30,3 g. (DEV 995/777 PR). Fer.
- 234 Boucle de ceinture. Anneau ovale et traverse de section circulaire; ardillon sans base replié en crochet sur la traverse. L. 1,4 cm; l. ext./int. 3/2,2 cm; L. de l'ardillon 1,7 cm; poids 2,2 g. (DEV 995/820 PR). Fer.
- 235 Boucle de ceinture. Anneau en forme de D de section triangulaire plate, traverse amincie de section circulaire; ardillon sans base replié en crochet sur la traverse. L. 2 cm; l. ext./int. 2,3/1,7 cm; poids 1 g. (DEV 995/795 PR). Fer.
- 236 Boucle de ceinture. Anneau en forme de D et traverse de section circulaire; l'ardillon sans base est monté à l'envers sur la traverse. L. 3,5 cm; l. ext./int. 3,1/2,1 cm; L. de l'ardillon 3,6 cm; poids 11,4 g. (DEV 995/825 PR). Fer.
- 237 Plaque dorsale de ceinture. Forme hexagonale irrégulière avec 3 rivets en fer non décorés. Ne subsistent du décor damasquiné d'argent que quelques brins en dents de scie de l'encadrement périphérique. L. 5,2 cm; l. 5,5 cm; ép. 0,3 cm; poids 40,2 g. (DEV 995/1139 PR). Fer.
- 238 Terminaison de lanière de ceinture. Forme ramassée à extrémité arrondie et 2 rivets de fixation en fer. Décor damasquiné bichrome. Motif central de brins entrelacés imitant le style animalier II dans un placage d'argent avec encadrement double; 1 cercle d'argent et 2 de laiton au niveau des rivets. L. 3,4 cm; ép. 0,4 cm; poids 13,4 g. (DEV 994/1969 PR). Fer.
- 239 Ardillon de ceinture. Base triangulaire à extrémité curviligne, grande pointe fortement arquée. Base plaquée d'argent avec, incrustés en réserve, un brin de laiton ouvert traçant une boucle et un autre brin sur le pourtour. L. 7,5 cm; poids 25,6 g. (DEV 994/1687 PR). Fer.
- 240 Ardillon de buffleterie. Base triangulaire à extrémité curviligne avec traces de placage d'un alliage cuivreux; pointe arquée de section carrée. Le crochet de fixation est incomplet. L. 3,8 cm; poids 3,9 g. (DEV 994/2009 PR). Fer.
- 241 Ferret de ceinture. Base fendue mais incomplète; extrémité distale arrondie. Corps très plat avec un léger rétrécissement central; bords biseautés à partir de 2 incisions transversales. L. 6,5 cm; ép. 0,25 cm; poids 21,9 g. (DEV 996/1871 PR). Bronze.
- 242 Ferret de buffleterie. Corps plat avec un fort rétrécissement central et un rivet de fixation. L. 4,1 cm; ép. 0,2 cm; poids 2,2 g. (DEV 993/1782 PR). Fer.
- 243 Fibule ansée symétrique. Pieds scutiformes endommagés; anse brisée de section plate. Au revers: broche avec goupille en fer pour la fixation et l'articulation de l'ardillon en fer (brisé) et une autre languette repliée destinée au logement de sa pointe. L. 2,4 et 1,9 cm; poids 6,5 g. (DEV 995/749 PR). Bronze.
- 244 Fibule zoomorphe. Figuration stylisée d'un cheval au galop, vu de profil et tourné à droite. La barrette qui relie les membres matérialise le niveau du sol. Restes de la broche de fixation et d'articulation de l'ardillon en fer (brisé) au revers. Le rendu des détails anatomiques, notamment de la tête, est une première forme d'ornementation venue directement de fonderie; les ocelles pour le rendu de l'œil et de l'ornementation du corps ont par contre été appliqués par la suite. L. 4,6 cm; ép. 0,2 cm; poids 6,9 g. (DEV 995/748 PR). Bronze.
- 245 Epingle à tête sphérique. Tête pleine; tige arrondie mal conservée. L. 2,2 cm; diam. de la tête 1,5 cm; poids 8,4 g. (DEV 996/1937 PR). Fer.
- 246 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête tronconique; l'alliage cuivreux dans le creux sommital indique la présence initiale d'un élément rapporté par brasure. Le corps est incrusté de stries verticales en laiton. L. 1,3 cm; diam. de la tête 1,4 cm; poids 3,4 g. (DEV 993/1825 PR). Fer.
- 247 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire double à une seule tige de fixation. Décor incrusté de stries d'argent. L. de la tête 1,7 cm; poids 2,2 g. (DEV 996/1891 PR). Fer.
- 248 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire plate à pourtour biseauté débordant au revers. Décor incisé en style animalier II organisé autour d'un rond central. L. 0,8 cm; diam. de la tête 1,9 cm; poids 1,4 g. (DEV 995/746 PR). Bronze.
- 249 Pointe de flèche. Flamme losangique plate reliée à une douille fermée de section circulaire. L. 4 cm; poids 1,5 g. (DEV 993/1827 PR). Fer.
- 250 Pointe de flèche. Flamme losangique plate reliée à une douille ouverte de section circulaire. Très endommagée. L. 3 cm; poids 0,6 g. (DEV 994/2037 PR). Fer.
- 251 Pointe de flèche. Flamme losangique plate reliée à une douille fendue de section circulaire. L. 7 cm; poids 6,4 g. (DEV 995/761 PR). Fer.
- 252 Pointe de flèche. Pointe triangulaire à 2 barbelures, prolongée par une hampe brisée. L. 4,7 cm; poids 3,3 g. (DEV 995/860 PR). Fer.
- 253 Pointe de flèche. Flamme plate endommagée, reliée à une douille fermée de section circulaire. Très endommagée. L. 2,8 cm; poids 1 g. (DEV 995/1113 PR). Fer.
- 254 Eperon fragmenté. Branches de section rectangulaire et courte pointe conique. L. 3,4 cm; poids 4,7 g. (DEV 995/760 PR). Fer.
- 255 Eperon à passant fragmenté. Branche de section carrée; extrémité amincie, repliée et soudée au cuivre pour former le passant rectangulaire. L. 3,4 cm; poids 2 g. (DEV 995/893 PR). Fer.
- 256 Eperon fragmenté. Branche de section semi-circulaire, légèrement élargie au sommet de l'arc pour porter une courte pointe conique. L. 1,9 cm; poids 5,3 g. (DEV 995/1109 PR). Fer.
- 257 Eperon fragmenté. Branche de section semi-circulaire et courte pointe pyramidale. L. 2,4 cm; poids 4,3 g. (DEV 996/1907 PR). Fer.
- 258 Mors de filet (?). Tige circulaire recourbée en crochets dans un même plan. L. 4,8 cm; poids 9,3 g. (DEV 995/890 PR). Fer.
- 259 Mors de filet (?). Tige circulaire recourbée en crochets dans 2 plans perpendiculaires. L. 6,3 cm; poids 8 g. (DEV 995/1118 PR). Fer.
- 260 Branche de mors de bride (?). Tige quadrangulaire légèrement arquée avec 2 œillets circulaires à mi-hauteur et 2 boutons hémisphériques rainurés aux extrémités. L. 13,3 cm; poids 19,4 g. (DEV 995/1119 PR). Fer.
- 261 Élément de harnais. Applique rectangulaire à bords festonnés et 2 rivets de fixation. Décor incrusté bichrome, composition maladroitement de motifs en volutes dans une symétrie longitudinale. L. 4,6 cm; ép. 0,4 cm; poids 18 g. (DEV 995/778 PR). Fer.
- 262 Cuillère. Cuilleron circulaire; raccord avec le manche de section rectangulaire L. 2,4 cm; diam. du cuilleron 2 cm; poids 1,3 g. (DEV 994/1637 PR). Bronze.
- 263 Anse de seau (?). Tige torsadée et légèrement arquée; extrémité recourbée. L. 11 cm; poids 11,5 g. (DEV 994/1645 PR). Fer.
- 264 Raclette. Lame trapézoïdale plate, prolongée perpendiculairement par un manche brisé. L. 5,2 cm; poids 17,3 g. (DEV 993/1682 PR). Fer.
- 265 Raclette. Lame trapézoïdale plate, prolongée perpendiculairement par un manche et une soie d'emmanchement. L. 12,7 cm; poids 35,8 g. (DEV 995/1110 PR). Fer.



Ferme 1, couche archéologique (suite)

- 266 Anneau. Cercle ouvert de section quadrangulaire. Diam. 2,5 cm; poids 2,8 g. (DEV 996/1958 PR). Fer.
- 267 Maillon simple. Ovale brisé de section circulaire. L. 4,8 cm; poids 16,7 g. (DEV 996/1909 PR). Fer.
- 268 Crochet. Tige rectangulaire forgée en pointe. L. 2,3 cm; poids 2,2 g. (DEV 994/1656 PR). Fer.
- 269 Crochet. Tige circulaire forgée en pointe. L. 3,1 cm; poids 1,9 g. (DEV 995/788 PR). Fer.
- 270 Ferrure. Tige circulaire étirée à plat et coudée en U; une perforation circulaire. L. 2,9 cm; poids 2,6 g. (DEV 995/802 PR). Fer.
- 271 Ferrure. Bande massive à profil biseauté et un clou rivet de fixation. L. 3,1 cm; poids 8,2 g. (DEV 996/1892 PR). Fer.
- 272 Applique de coffret. Fer méplat à 1 perforation, fendu en deux branches aplaties à leurs extrémités. La base est brisée sur un retour perpendiculaire. L. 8,1 cm; poids 6,5 g. (DEV 995/896 PR). Fer.
- 273 Clé. Tige quadrangulaire avec panneton en T à 2 dents tournées vers le haut. L. 4,9 cm; poids 7,7 g. (DEV 996/1957 PR). Fer.
- 274 Pêne. Corps de section rectangulaire à deux barbes centrées. L. 22 cm; poids 210,2 g. (DEV 995/1112 PR). Fer.
- 275 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 3,1 cm; section 0,3x0,3 cm; poids 2,5 g. (DEV 993/1693 PR). Fer.
- 276 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 4,2 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 1,9 g. (DEV 995/877 PR). Fer.
- 277 Clou. Tête en ailes de papillon. L. 3,8 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 4,5 g. (DEV 995/849 PR). Fer.
- 278 Clou. Tête carrée épaisse décentrée. L. 4 cm; section 0,7x0,7 cm; poids 18,9 g. (DEV 996/1949 PR). Fer.
- 279 Tête de clou. Tête circulaire plate centrée. Diam. de la tête 2,5 cm; poids 3,8 g. (DEV 996/1959 PR). Fer.
- 280 Objet non défini. Tige prolongée par une douille d'emmanchement. L. 5,5 cm; poids 5,8 g. (DEV 993/1648 PR). Fer.
- 281 Objet non défini. Fer coudé de section triangulaire aux angles arrondis. L. 3,8 cm; poids 10,4 g. (DEV 993/1657 PR). Fer.
- 282 Objet non défini. Plaque découpée en forme de croix avec rivet de fixation centré. L. 3,7 cm; poids 16,3 g. (DEV 993/1703 PR). Fer.
- 283 Objet non défini. Barre de section losangique, courbée et terminée en pointe. L. 8,1 cm; poids 16,8 g. (DEV 995/806 PR). Fer.
- 284 Objet non défini. Corps cannelé et incurvé avec œillet de suspension. L. 2,3 cm; poids 3,4 g. (DEV 995/850 PR). Fer.
- 285 Objet non défini. Petit rivet à double tête? L. 2,2 cm; poids 1,3 g. (DEV 995/871 PR). Fer.
- 286 Objet non défini. Tôle rivetée où la fixation des 3 petits clous en fer a été renforcée par une soudure à l'étain. Traces d'un décor de fils de laiton incrustés. L. 1,9 cm; poids 1,4 g. (DEV 995/881 PR). Fer.
- 287 Objet non défini. Barre étirée et repliée en crochet. L. 5,2 cm; poids 6,4 g. (DEV 995/888 PR). Fer.
- 288 Objet non défini. Fer méplat brisé sur une perforation circulaire. L. 2,8 cm; poids 11,3 g. (DEV 996/1894 PR). Fer.
- 289 Objet non défini. Capsule circulaire perforée à son sommet. Diam. 0,8 cm; poids 0,4 g. (DEV 993/1643 PR). Bronze
- 290 Objet non défini. Bande plate en 3 fragments; 4 (?) perforations sur le long fragment. L. 8,8 cm; poids (total) 5,9 g. (DEV 993/1644 PR). Bronze.
- 291 Objet non défini. Bande coudée. L. 3,3 cm; poids 1,5 g. (DEV 996/1869 PR). Bronze.
- 292 Objet non défini. Tige partiellement torsadée. L. 3,3 cm; diam. 0,3 cm; poids 1,4 g. (DEV 996/1872 PR). Bronze.
- 293 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation carrée. L. 4,1 cm; section 1,8x0,2 cm; poids 7,2 g. (DEV 993/1656 PR). Fer.
- 294 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation circulaire. L. 5,1 cm; section 2,3x0,3 cm; poids 9,6 g. (DEV 994/1666 PR). Fer.
- 295 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,3 cm; section 1,8x0,25 cm; poids 9 g. (DEV 994/1970 PR). Fer.
- 296 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,1 cm; section 0,4x0,2 cm; poids 0,8 g. (DEV 995/883 PR). Fer.
- 297 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation circulaire. L. 2,3 cm; section 1x0,2 cm; poids 1,7 g. (DEV 995/1114 PR). Fer.
- 298 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,7 cm; section 1x0,6 cm; poids 7,2 g. (DEV 996/1878 PR). Fer.
- 299 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation carrée. L. 2,7 cm; section 1,6x0,15 cm; poids 1,7 g. (DEV 996/1904 PR). Fer.
- 300 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 5,7 cm; section 1x0,15 cm; poids 3,9 g. (DEV 996/1908 PR). Fer.
- 301 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 5,4 cm; section 0,9x0,3 cm; poids 2,6 g. (DEV 996/1940 PR). Fer.
- 302 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 8,6 cm; section 0,6x0,3 cm; poids 3,8 g. (DEV 996/1942 PR). Fer.
- 303 Tôle. Fragment plat. L. 3,1 cm; ép. 0,4 cm; poids 10,1 g. (DEV 993/1689 PR). Fer.
- 304 Tôle. Fragment plat. L. 2,3 cm; ép. 0,1 cm; poids 0,9 g. (DEV 994/1975 PR). Fer.
- 305 Tôle. Fragment triangulaire plat. L. 4,7 cm; ép. 0,6 cm; poids 23,2 g. (DEV 995/783 PR). Fer.
- 306 Tôle. Fragment plat. L. 4 cm; ép. 0,3 cm; poids 7,5 g. (DEV 995/800 PR). Fer.
- 307 Tôle. Fragment plat. L. 4,8 cm; ép. 0,2 cm; poids 6,5 g. (DEV 995/851 PR). Fer.
- 308 Tôle. Fragment rectangulaire plat avec un bord relevé. L. 4,9 cm; ép. 0,3 cm; poids 11,2 g. (DEV 995/852 PR). Fer.
- 309 Tôle. Fragment plat. L. 5,2 cm; ép. 0,2 cm; poids 7,7 g. (DEV 995/869 PR). Fer.
- 310 Tôle. Fragment plat avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 4,2 cm; ép. 0,2 cm; poids 9,5 g. (DEV 995/927 PR) Fer.
- 311 Tôle. Fragment plat. L. 2,6 cm; ép. 0,2 cm; poids 2,2 g. (DEV 996/1877 PR). Fer.
- 312 Tige. Fragment de section circulaire. L. 8,2 cm; diam. 0,5 cm; poids 10 g. (DEV 993/1784 PR). Fer.
- 313 Tube. Fragment de section circulaire creuse. L. 2,1 cm; diam. ext. 0,7 cm; ép. 0,1 cm; poids 0,6 g. (DEV 996/1926 PR). Fer.
- 314 Fragment informe. Corps allongé et bombé; traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 6,3 cm; poids 13,7 g. (DEV 993/1828 PR). Fer.



Ferme 2 et zone d'activité 1**Cabane en fosse P**

- 315 Couteau. Forme 3A. L. 7,8 cm; poids 6,6 g.
(DEV 995/813 PR). Fer.

Cabane en fosse R

- 316 Fer de rabot (?). Le corps à peine arqué, aminci à l'approche de l'extrémité travaillante malheureusement brisée. L'autre extrémité présente des traces de frappe. L. 8,3 cm; poids 20,8 g.
(DEV 994/1685 PR). Fer.
- 317 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées; celle de section circulaire est brisée. L. 6,3 cm; poids 3,8 g.
(DEV 995/1030 PR). Fer.
- 318 lame de couteau. Forme 3A. L. 5,4 cm; l. 1,4 cm; poids 6,6 g.
(DEV 994/1684 PR). Fer.
- 319 lame de couteau. Dos et tranchant rectilignes; la soie est détachée de la lame. L. 5,4 cm; l. 1,3 cm; poids 4,5 g.
(DEV 995/1037 PR). Fer.
- 320 Soie de couteau (?). Soie de section rectangulaire. L. 5,3 cm; section 1,5x0,2 cm; poids 3,8 g.
(DEV 995/1033 PR). Fer.
- 321 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section oblique assez massive et traverse amincie de section circulaire; ardiffon sans base replié en crochet sur la traverse. L. 2,5 cm; l. ext./int. 3,4/2 cm; L. de l'ardillon 3,4 cm; poids 10,5 g.
(DEV 994/1648 PR). Fer.
- 322 Bracelet. Anneau ouvert et déformé (?), de section circulaire décroissante. Décor incisé de rainures transversales regroupées. L. 4,4 cm; section 0,4-0,3 cm; poids 6,8 g.
(DEV 995/1032 PR). Fer.
- 323 Colerette de rivet de fourreau de scramasaxe. Corps annulaire; décor incisé de hachures transversales. Diam. estimé 2,5 cm; poids 0,7 g.
(DEV 994/1640 PR). Bronze.
- 324 Ferrure. Bande trapézoïdale plate à un clou de fixation. L. 8,9 cm; poids 10,1 g.
(DEV 995/1026 PR). Fer.
- 325 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 3,8 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 2,4 g.
(DEV 994/2060 PR). Fer.
- 326 Objet non défini. Bande repliée avec pièce intercalaire brasée au cuivre. L. 2,1 cm; poids 2,1 g.
(DEV 994/2061 PR). Fer.
- 327 Objet non défini. Fragment d'anneau plat et section en léger creux. L. 5,5 cm; h. 0,4 cm; poids 12,7 g.
(DEV 994/1662 PR). Bronze.
- 328 Bande. Fragment de section rectangulaire avec épaulement. L. 2,8 cm; section 1,1x0,3 cm; poids 1,5 g.
(DEV 995/1024 PR). Fer.
- 329 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3 cm; section 0,2x0,7 cm; poids 2,4 g.
(DEV 995/1038 PR). Fer.
- 330 Tige. Fragment de section circulaire terminé en pointe. L. 2,1 cm; diam. 0,3 cm; poids 0,8 g.
(DEV 994/2062 PR). Fer.

Cabane en fosse S

- 331 Briquet. lame triangulaire à extrémités recourbées; section rectangulaire. L. 7,1 cm; ép. 0,4 cm; poids 10,1 g.
(DEV 994/2063 PR). Fer.
- 332 Chaînette. Maillons à une tige de section circulaire et extrémités courbées en S dans un même plan. L. (maillon) 1,4 cm; diam. 0,1 cm; poids 0,6 g.
(DEV 994/1642 PR). Bronze.
- 333 Gâche de verrou. Fer plat avec décrochement oblique et tige semi-circulaire large. L. 5,1 cm; poids 13,6 g.
(DEV 994/2067 PR). Fer.
- 334 Tôle. Fragment plat. L. 3,7 cm; ép. 0,5 cm; poids 12,7 g.
(DEV 994/2065 PR). Fer.

Cabane en fosse V

- 335 lame de couteau. Forme 1A. L. 2,9 cm; l. 1,7 cm; poids 2,8 g.
(DEV 995/1039 PR). Fer.
- 336 Objet non défini (tranchant). lame à 2 biseaux terminée par un large tranchant arrondi. L. 2,9 cm; poids 5,5 g.
(DEV 995/1043 PR). Fer.
- 337 Objet non défini. Tige pointue de section ovale; possible crochet à l'autre extrémité. L. 5,7 cm; poids 5,1 g.
(DEV 995/1044 PR). Fer.
- 338 Bande. Fragment de section rectangulaire brisé sur une perforation circulaire. L. 1,8 cm; section 0,7x0,2 cm; poids 0,7 g.
(DEV 995/1042 PR). Fer.
- 339 Tôle. Fragment plat. L. 3,5 cm; ép. 0,5 cm; poids 12,7 g.
(DEV 995/1048 PR). Fer.

Bas foyer 187

- 340 Fragment d'outil (tête). L. 2,1 cm; poids 10 g.
(DEV 994/1388 PR). Fer.

Fosse 257

- 341 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,4 cm; section 0,5x0,15 cm; poids 0,6 g.
(DEV 996/1922 PR). Fer.

Four 271

- 342 Tige. Fragment de section circulaire. L. 9 cm; diam. 0,55 cm; poids 12,2 g.
(DEV 995/1052 PR). Fer.

Dépotoir 175

- 343 Eperon fragmenté. Branche de section semi-circulaire élargie sous la courte pointe conique. L. 5,5 cm; poids 8,4 g.
(DEV 994/1683 PR). Fer.

Empierrement 64

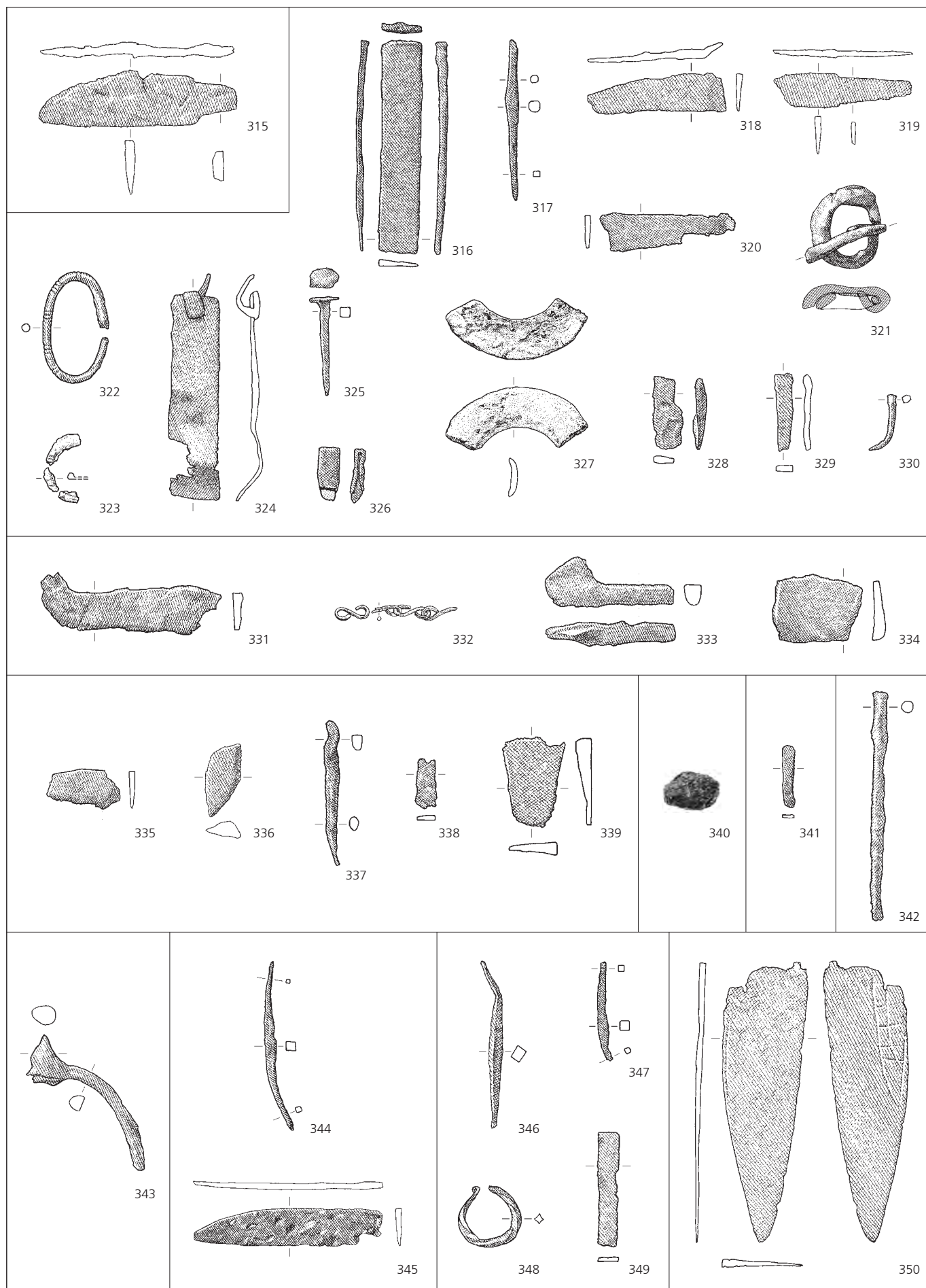
- 344 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées mais tordues. L. 6,7 cm; poids 3,7 g.
(DEV 994/2075 PR). Fer.
- 345 Couteau. Forme 3A. L. 7,3 cm; poids 6,9 g.
(DEV 994/1686 PR). Fer.

Dépression 1

- 346 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées dont une est tordue. L. 6,5 cm; poids 3,6 g.
(DEV 996/1964 PR). Fer.
- 347 Alène. Manche quadrangulaire prolongé asymétriquement (?) par 2 pointes effilées mais brisées. L. 3,9 cm; poids 1,7 g.
(DEV 996/1976 PR). Fer.
- 348 Fibule en oméga. Anneau circulaire ouvert, à section torsadée; une seule extrémité enroulée en volute est conservée. L. 2,5 cm; diam. int. 1,8 cm; poids 3,3 g.
(DEV 996/1973 PR). Fer.
- 349 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,5 cm; section 0,8x0,2 cm; poids 4,2 g.
(DEV 996/1967 PR). Fer.

Trou de poteau 83 (structure isolée)

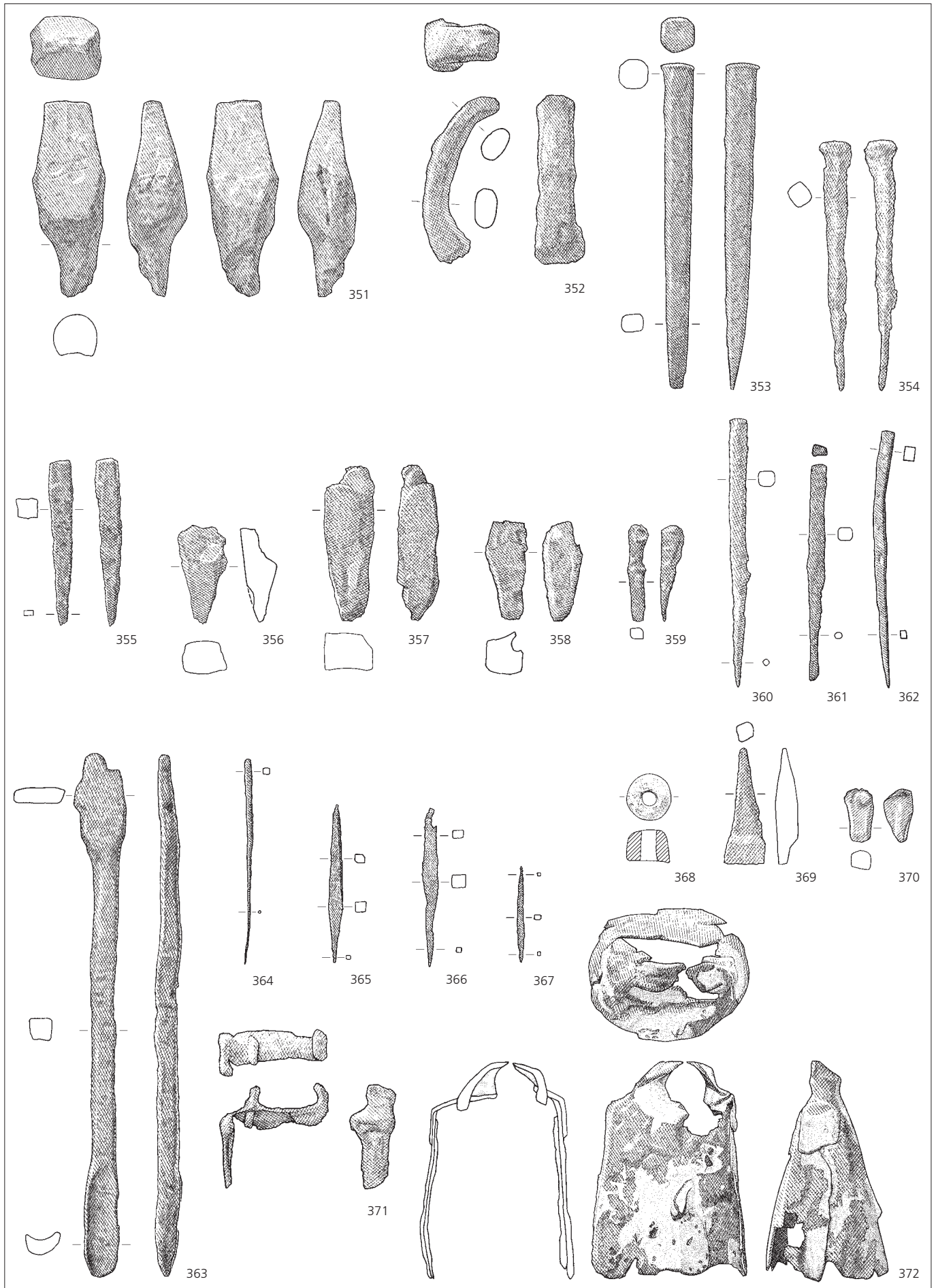
- 350 lame de scramasaxe. Dos rectiligne courbé à la pointe; le tranchant est lui aussi relevé à la pointe. Sur une face de la lame, une discrète rainure le long du dos; sur l'autre face, des rainures longitudinales et transversales forment un motif compartimenté. L. 11,1 cm; l. de la lame 3,2 cm; ép. du dos: 0,3 cm; poids 20,8 g.
(DEV 995/1054 PR). Fer.



Ferme 2 et zone d'activité 1 (suite)

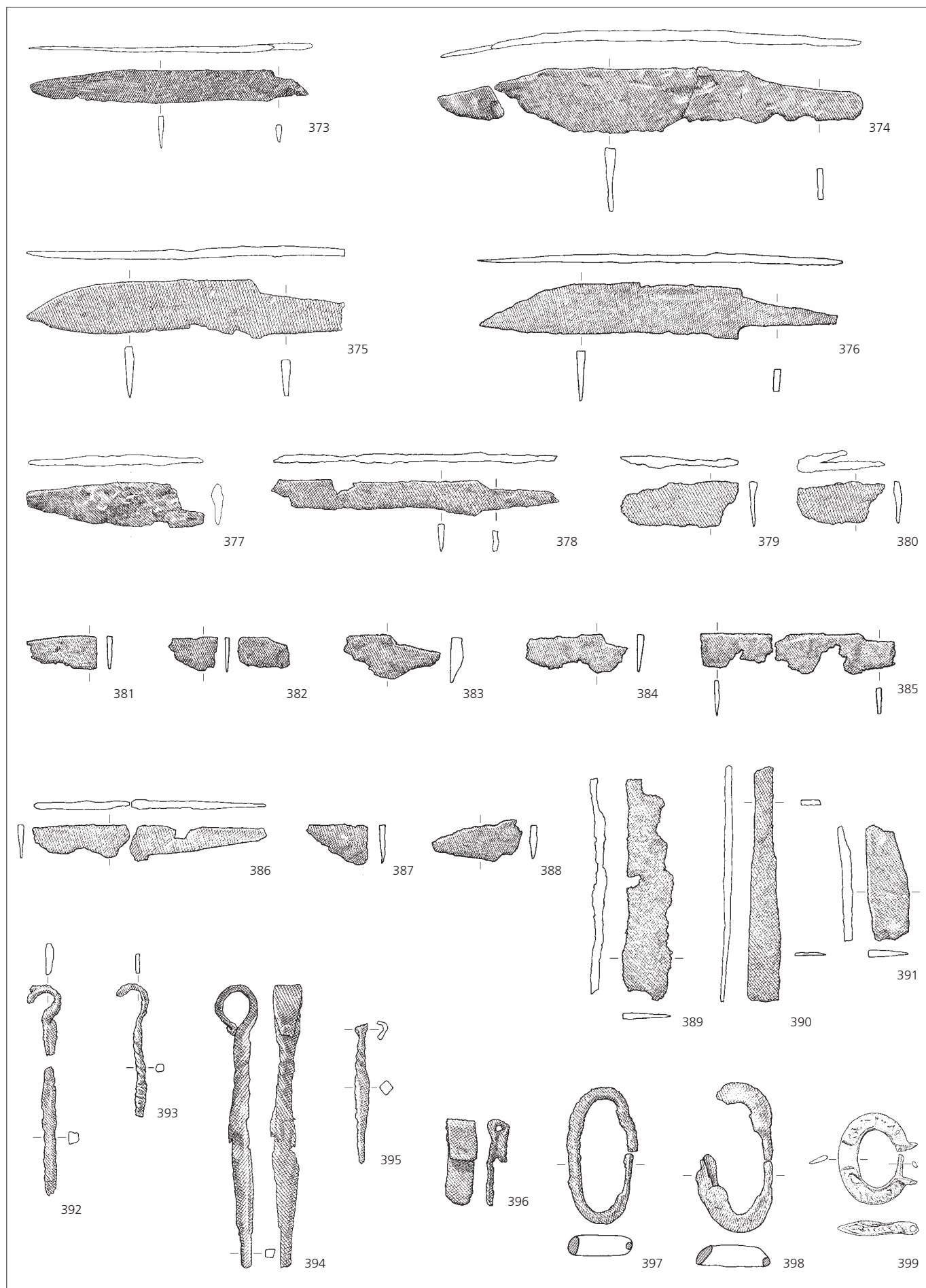
Couche archéologique

- 351 Enclume à tige. Le corps pyramidal, légèrement asymétrique, est surmonté d'une très petite table rectangulaire. Un décrochement à sa base marque le passage à une tige de section circulaire. L. 57,7 cm; poids 160,6 g. (DEV 995/763 PR). Fer.
- 352 Gueule de pince. Fragment d'une pince de forge cassée au niveau de l'articulation; la mâchoire n'est que le prolongement de l'arc dessiné par la gueule. L. 6,7 cm; poids 46,2 g. (DEV 993/1770 PR). Fer.
- 353 Ciseau droit. Le manche, de section carrée aux angles arrondis, est surmonté d'une tête bombée avec traces d'écrasement. La lame à 2 biseaux s'achève par un tranchant à peine arrondi. L. 12,7 cm; poids 77,4 g. (DEV 993/1650 PR). Fer.
- 354 Ciseau à pointe. Manche de section anguleuse, tordu à la pointe. La tête endommagée porte des traces d'écrasement. L. 9,8 cm; poids 20 g. (DEV 994/2008 PR). Fer.
- 355 Ciseau à pointe. Manche brisé de section carrée; la pointe est endommagée. L. 6,5 cm; poids 18,4 g. (DEV 994/2007 PR). Fer.
- 356 Ciseau à pointe. Pointe brisée de section anguleuse massive. L. 3,7 cm; poids 16,3 g. (DEV 995/1069 PR). Fer.
- 357 Ciseau à pointe. Manche brisé, massif, de section rectangulaire. La pointe est endommagée. L. 6,1 cm; poids 62 g. (DEV 995/1096 PR). Fer.
- 358 Ciseau à pointe. Pointe brisée de section anguleuse massive. L. 3,9 cm; poids 18,2 g. (DEV 993/1606 PR). Fer.
- 359 Ciselet. Lame à un seul biseau, terminée par un petit tranchant légèrement arrondi. L. 3,8 cm; poids 4,8 g. (DEV 994/1932 PR). Fer.
- 360 Poinçon. Manche long et fin, de section carrée aux angles arrondis. La tête bombée a été frappée. L. 10,5 cm; poids 17,9 g. (DEV 995/1005 PR). Fer.
- 361 Poinçon. Manche fin, de section carrée aux angles arrondis, avec un léger renflement au passage de la tige circulaire. Pointe et tête sont brisées. L. 8,5 cm; poids 12,6 g. (DEV 995/907 PR). Fer.
- 362 Poinçon. Manche long et très fin, de section rectangulaire; la tête manque. L. 10 cm; poids 9,4 g. (DEV 993/1651 PR). Fer.
- 363 Mèche à cuiller. La cuiller est large et ovale, avec un décrochement au passage de la tige. Cette dernière, de section carrée, est surmontée d'une soie plate et large. L. 20,7 cm; poids 71,3 g. (DEV 994/1671 PR). Fer.
- 364 Aiguille. Très fine tige, de section carrée puis circulaire en direction de la pointe. L. 7,9 cm; poids 1,7 g. (DEV 994/2012 PR). Fer.
- 365 Alène. Manche quadrangulaire prolongé asymétriquement par 2 pointes effilées. L. 6,2 cm; poids 4,6 g. (DEV 994/2052 PR). Fer.
- 366 Alène. Manche quadrangulaire; une des pointes effilées est brisée. L. 6,2 cm; poids 4,1 g. (DEV 996/1946 PR). Fer.
- 367 Alène. Court manche prolongé symétriquement par 2 pointes très effilées. L. 3,7 cm; poids 0,7 g. (DEV 996/1970 PR). Fer.
- 368 Fusaïole (?). Corps hémisphérique et perforation centrée. Diam. 1,8 cm; poids 20,3 g. (DEV 994/1643 PR). Plomb.
- 369 Spatule (?). De profil, une face de la lame triangulaire marque un décrochement avec le manche de section losangique. L. 4,5 cm; poids 12,1 g. (DEV 994/1759 PR). Fer.
- 370 Fragment d'outil (tranchant). Lame trapue à 2 biseaux, terminée par un tranchant arrondi. L. 2,1 cm; poids 7 g. (DEV 995/766 PR). Fer.
- 371 Fragment de sonnaïlle. Reste de l'anse d'une sonnaïlle de forme droite et de quelques fragments du corps de l'objet. L. 4,1 cm; poids 18,6 g. (DEV 994/1679 PR). Fer.
- 372 Sonnaïlle. Forme haute, bombée, à ouverture ovale. L'anse ainsi que les surfaces externes et internes étaient intégralement plaquées d'un alliage cuivreux. L. 8,6 cm; diam. de l'ouverture 6,2 cm; poids 81,1 g. (DEV 995/1137 PR). Fer.



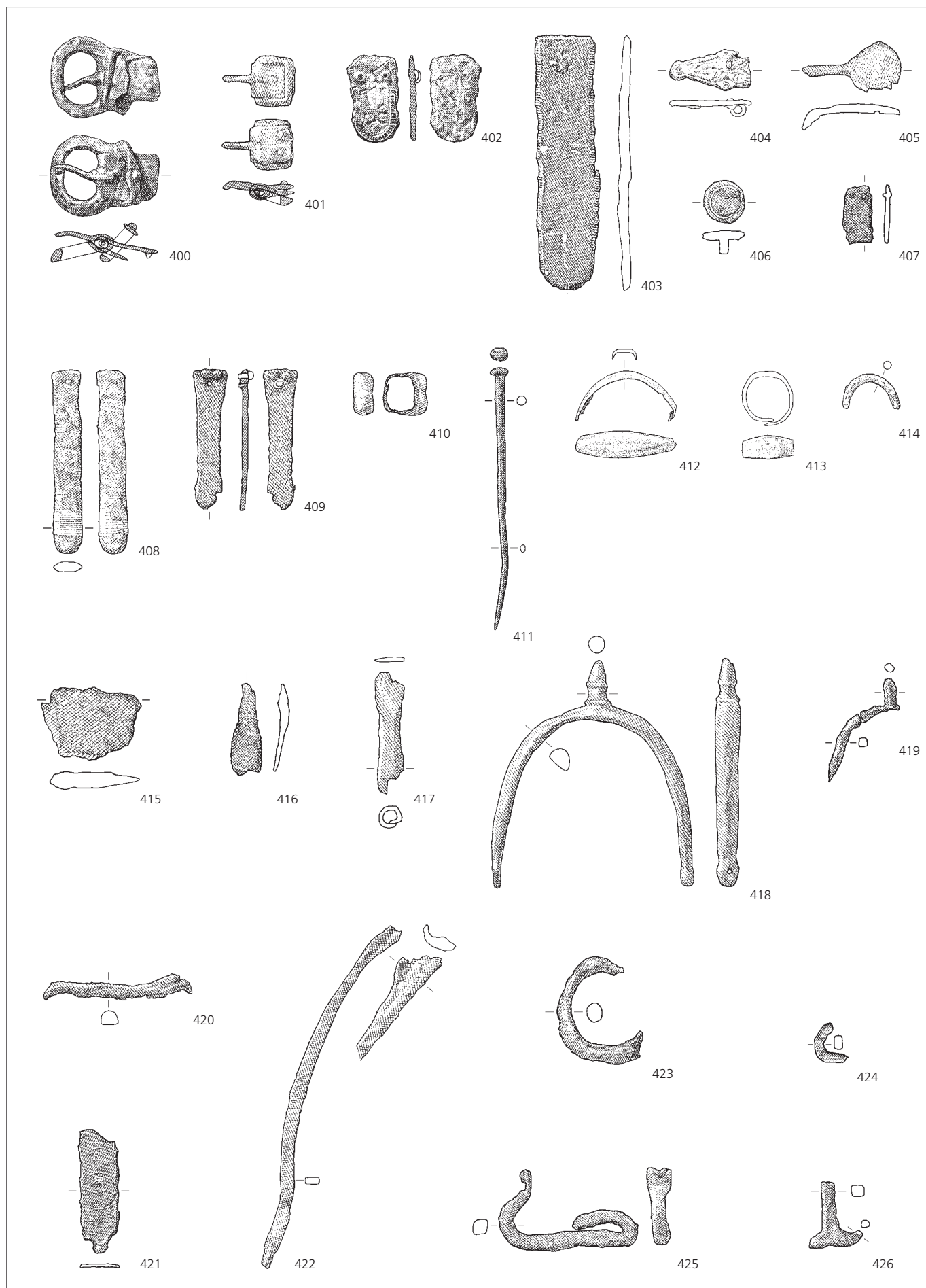
Ferme 2 et zone d'activité 1, couche archéologique (suite)

- 373 Couteau. Forme 1A. L. 10,9 cm; poids 9,7 g.
(DEV 993/1647 PR). Fer.
- 374 Couteau. Forme 1A. L. 14,4 cm; poids 28,5 g.
(DEV 994/1649 PR). Fer.
- 375 Couteau. Forme 1B. L. 12,4 cm; poids 27,3 g.
(DEV 995/908 PR). Fer.
- 376 Couteau. Forme 3A; rainures sur les 2 faces de la lame. L. 14,1 cm; poids 22,5 g.
(DEV 995/1001 PR). Fer.
- 377 lame de couteau. Forme 1A. L. 7 cm; l. 1,7 cm; poids 8,6 g.
(DEV 993/1709 PR). Fer.
- 378 lame de couteau. lame étroite à dos rectiligne et tranchant rendu concave par l'usure; la soie est bien détachée. L. 8,6 cm; l. 1,4 cm; poids 5,7 g.
(DEV 994/1762 PR). Fer.
- 379 lame de couteau. Dos et tranchant paraissent courbés en direction de la pointe. L. 4,6 cm; l. 1,8 cm; poids 3,9 g.
(DEV 993/1767 PR). Fer.
- 380 lame de couteau. lame à dos rectiligne, repliée sur elle-même. L. 3,5 cm; l. 1,5 cm; poids 4,3 g.
(DEV 993/1775 PR). Fer.
- 381 lame de couteau. Dos courbé et tranchant corrodé. L. 2,8 cm; l. 1,3 cm; poids 2,1 g.
(DEV 994/1675 PR). Fer.
- 382 lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé. L. 2 cm; l. 1,3 cm; poids 0,9 g.
(DEV 994/2002 PR). Fer.
- 383 lame de couteau. Dos rectiligne et soie détachée de la lame. L. 3,9 cm; l. 1,8 cm; poids 4 g.
(DEV 995/831 PR). Fer.
- 384 lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 4 cm; l. 1,6 cm; poids 2,1 g.
(DEV 995/958 PR). Fer.
- 385 lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 4,7 cm; l. 1,6 cm; poids 4,9 g.
(DEV 995/1055 PR). Fer.
- 386 lame de couteau. La soie est dans le prolongement du dos rectiligne mais détachée du tranchant corrodé. L. 5,4 cm; l. 1,6 cm; poids 8,1 g.
(DEV 995/1108 PR). Fer.
- 387 Pointe de couteau. L. 2,6 cm; poids 1,5 g.
(DEV 994/1886 PR). Fer.
- 388 Pointe de couteau. L. 3,5 cm; poids 1,9 g.
(DEV 994/1917 PR). Fer.
- 389 lame de forces. Poignée désaxée mais dans le prolongement du dos rectiligne; tranchant détruit. L. 5,2 cm; l. 1,9 cm; poids 6,9 g.
(DEV 994/2016 PR). Fer.
- 390 lame de forces. Formation progressive de la poignée à partir d'un dos rectiligne et d'un tranchant convexe. L. 9,2 cm; l. 1,3 cm; poids 9,4 g.
(DEV 994/2049 PR). Fer.
- 391 lame de forces. Poignée désaxée mais dans le prolongement du dos rectiligne; tranchant convexe. L. 4,5 cm; l. 1,6 cm; poids 6,5 g.
(DEV 995/1059 PR). Fer.
- 392 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate; tige brisée de section carrée. L. 2,8 cm; poids 3,8 g.
(DEV 994/1944 PR). Fer.
- 393 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate; tige brisée de section circulaire, torsadée dans sa partie haute. L. 5,2 cm; poids 2,7 g.
(DEV 995/807 PR). Fer.
- 394 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate terminé par une petite volute extérieure; tige de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 11 cm; poids 15,6 g.
(DEV 995/841 PR). Fer.
- 395 Fiche à bélière. Tête brisée et tige de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 5,4 cm; poids 3,5 g.
(DEV 995/1003 PR). Fer.
- 396 Pince à épiler. lame de section rectangulaire, repliée et formant ressort. Les mâchoires sont manquantes. L. 3,3 cm; poids 3,7 g.
(DEV 994/2046 PR). Fer.
- 397 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section ovale oblique, traverse amincie de section circulaire. L. 2,7 cm; l. ext./int. 5,3/4,4 cm; poids 12,3 g.
(DEV 995/1007 PR). Fer.
- 398 Boucle de ceinture. Anneau ovale endommagé de section ovale oblique, traverse amincie de section circulaire. L. 3 cm; l. ext./int. 5,9/4,4 cm; poids 8,4 g.
(DEV 996/1968 PR). Fer.
- 399 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section aplatie oblique, munie du côté de la traverse de deux tenons perforés pour assemblage à une plaque. Décor incisé non figuratif dans deux cadres de part et d'autre du repos de l'ardillon. L. 3,1 cm; l. ext./int. 3,5/2,2 cm; poids 7,4 g.
(DEV 996/1865 PR). Bronze.



Ferme 2 et zone d'activité 1, couche archéologique (suite)

- 400 Plaque-boucle de ceinture. Plaque rectangulaire repliée sur la traverse de la boucle et maintenue à l'arrière par 2 rivets en fer; boucle ovale et ardillon simple; passant rectangulaire orné d'une petite boule. L. totale 4,2cm; l. de la plaque 1,8cm; l. ext./int. de la boucle 3,2/2 cm; l. interne du passant 2cm; poids 12,4g. (DEV 994/1646 PR). Fer.
- 401 Plaque-boucle de ceinture (?). Petite plaque rectangulaire repliée sur la traverse de la boucle et maintenue à l'arrière par 2 rivets en fer; boucle carrée repliée sous la plaque et ardillon simple. L. totale 2,9cm; l. de la plaque 1,4cm; l. ext./int. de la boucle 2/1,3cm; poids 6,4g. (DEV 994/1647 PR). Fer.
- 402 Terminaison de lanière de ceinture. Forme ramassée à extrémité arrondie et 2 rivets en fer. Décor de motifs végétaux (?) en relief et plaqué d'une feuille de bronze; frise géométrique d'échelles d'argent sur le pourtour. L. 3,4 cm; ép. 0,3 cm; poids 5g. (DEV 993/1645 PR). Fer.
- 403 Terminaison de lanière de ceinture. Forme allongée à extrémité arrondie et bords biseautés; 3 cavités disposées en triangle sous la base marquent peut-être une fixation par rivets. Le décor entièrement plaqué d'argent est détruit mais s'organisait de part et d'autre d'un bandeau axial. Un motif centré intègre 5 cavités disposées en croix; d'autres cavités remplies d'argent sont disposées symétriquement sur le corps ainsi que des hachures le long des bords obliques. L. 10 cm; l. 2,4 cm; ép. 0,3 cm; poids 32,6g. (DEV 995/830 PR). Fer.
- 404 Contre-plaque de chaussure. Plaque triangulaire dont le contour débordait au revers et dessinaient 3 protubérances imitant l'emplacement de rivets; au revers, 2 languettes de fixation brisées et remplacées par une languette à oeillet. Décor incisé de 3 ocelles à l'emplacement habituel des rivets; motif central d'entrelacs (animalier?) totalement effacé. L. 3,2cm; l. 1,6 cm; ép. 0,1 cm; poids 1,7g. (DEV 994/1636 PR). Bronze.
- 405 Ardillon de buffleterie. Base triangulaire à extrémité curviligne; pointe arquée. L. 3,8 cm; poids 2,5g. (DEV 994/1668 PR). Fer.
- 406 Rivet de buffleterie. Tête circulaire plate à pourtour légèrement biseauté; tige brisée de section carrée. Décor par incrustation de fils de laiton: encadrement circulaire et traces d'un motif central. L. 1 cm; diam. de la tête 1,7 cm; poids 1,2g. (DEV 995/966 PR). Fer.
- 407 Ferret de buffleterie. Base à 2 petits rivets de fixation; l'extrémité distale est manquante. L. 2,2cm; ép. 0,2cm; poids 1,2g. (DEV 994/1691 PR). Fer.
- 408 Ferret de buffleterie. Base fendue avec 3 (?) rivets de fixation. Corps étroit à bords biseautés, légèrement évasé en direction de l'extrémité distale arrondie. Décor très serré d'un fil de laiton incrusté en continu. L. 7,2cm; ép. 0,5cm; poids 11,5g. (DEV 995/770 PR). Fer.
- 409 Ferret de buffleterie. Base à 3 rivets et une rondelle complémentaire de fixation en cuivre au revers; extrémité distale arrondie. Corps plat avec un fort rétrécissement central. L. 5,5 cm; ép. 0,2 cm; poids 3,5g. (DEV 995/1088 PR). Fer.
- 410 Passant de buffleterie. Forme rectangulaire avec 2 protubérances arrondies sur la face supérieures. L. 0,8cm; l. int. 1,3 cm; poids 3,6g. (DEV 995/1009 PR). Fer.
- 411 Epingle à tête circulaire. Tête légèrement bombée; tige lisse de section circulaire. L. 10,2 cm; diam. de la tête 0,7 cm; poids 4,5 g. (DEV 996/1864 PR). Fer.
- 412 Bague. Jonc en bandeau «enveloppant» dont la largeur diminue progressivement. Décor incisé d'une croix à branches inégales. L. max. 1 cm; poids 1,3g. (DEV 994/1631 PR). Bronze.
- 413 Bague. Jonc ouvert de section plate, élargi dans sa partie supérieure pour former un chaton rectangulaire. Diam. int. 1,7cm; poids 2,2g. (DEV 996/1867 PR). Bronze.
- 414 Anneau de doigt (?). Forme simple de section circulaire. Diam. int. 1,6cm; poids 1,6g. (DEV 994/1633 PR). Bronze.
- 415 Lame de scramasaxe. Fragment entièrement corrodé de section triangulaire. L. 3,9 cm; l. de la lame 3 cm; ép. du dos 0,5 cm; poids 18,2 g. (DEV 995/1095 PR). Fer.
- 416 Barrette de suspension de fourreau de scramasaxe. Corps arqué de section carrée; une seule extrémité oblongue est conservée. L. 3,5 cm; poids 3g. (DEV 994/2045 PR). Fer.
- 417 Pointe de flèche. Flamme plate endommagée, reliée à une douille fendue de section circulaire. L. 4,7 cm; poids 4,3g. (DEV 995/955 PR). Fer.
- 418 Eperon à rivets. Branches de section semi-circulaire et pointe conique sur une base cylindrique décorée de 2 cannelures horizontales; extrémités aplaties avec une perforation. L. 9 cm; poids 27,2g. (DEV 993/1681 PR). Fer.
- 419 Eperon fragmenté. Branche de section carrée et pointe conique. L. 4,1 cm; poids 2,9g. (DEV 994/2001 PR). Fer.
- 420 Mors de filet (?). Tige circulaire recourbée en crochets dans un même plan. L. 5,8 cm; poids 4,9g. (DEV 994/1859 PR). Fer.
- 421 Élément de harnais. Applique oblongue à une extrémité protubérante mais la fixation est manquante au revers. Décor incrusté de cercles concentriques en laiton. L. 4,9cm; ép. 0,2cm; poids 2,3g. (DEV 994/1967 PR). Fer.
- 422 Anse de seau. Tige rectangulaire arquée avec extrémité recourbée; la partie médiane est aplatie et de profil en U. L. 14,1 cm; poids 14g. (DEV 993/1800 PR). Fer.
- 423 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. Diam. 4,3cm; poids 10,3g. (DEV 994/1927 PR). Fer.
- 424 Anneau. Cercle brisé de section quadrangulaire. Diam. 1,6 cm; poids 2,1g. (DEV 995/933 PR). Fer.
- 425 Poignée de coffret. Corps quadrangulaire à branches latérales terminées par des pattes de fixation perforées. L. 5,5 cm; poids 16,4g. (DEV 996/1945 PR). Fer.
- 426 Clé. Tige quadrangulaire avec panneton en T à 2 dents brisées. L. 2,6 cm; poids 2,8g. (DEV 995/969 PR). Fer.



Ferme 2 et zone d'activité 1, couche archéologique (suite)

- 427 Paumelle. Collet circulaire prolongé par 2 branches amincies en pointe. L. 6,5 cm ; poids 11,5 g.
(DEV 994/2054 PR). Fer.
- 428 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 1,5 cm ; section 0,3x0,3 cm ; poids 2,4 g.
(DEV 994/1742 PR). Fer.
- 429 Clou. Tête plate, initialement circulaire et centrée. L. 5,4 cm ; section 0,5x0,4 cm ; poids 5,1 g.
(DEV 994/2006 PR). Fer.
- 430 Tige de clou. L. 4,5 cm ; section 0,5x0,4 cm ; poids 2,2 g.
(DEV 995/776 PR). Fer.
- 431 Objet non défini (tranchant). Fragment plat ; tranchant identifié par les analyses métallographiques. L. 3,6 cm ; poids 29 g.
(DEV 994/1356 PR). Fer.
- 432 Objet non défini. Barre à renflement sommital et possible trace de découpe. L. 4,1 cm ; poids 2,4 g.
(DEV 994/1693 PR). Fer.
- 433 Objet non défini. Barre à extrémité repliée en crochet aplati. L. 4,3 cm ; poids 4 g.
(DEV 994/2018 PR). Fer.
- 434 Objet non défini. Barre forgée en pointe, élargie avec décrochement à l'autre extrémité. L. 6,9 cm ; poids 11,1 g.
(DEV 995/808 PR). Fer.
- 435 Objet non défini. Fer arrondi à rebord partiellement débordant. L. 4 cm ; poids 12,7 g.
(DEV 995/1012 PR). Fer.
- 436 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,8 cm ; section 1,2x0,3 cm ; poids 5,6 g.
(DEV 994/1772 PR). Fer.
- 437 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,7 cm ; section 1,3x0,2 cm ; poids 2,9 g.
(DEV 994/1813 PR). Fer.
- 438 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,4 cm ; section 1x0,2 cm ; poids 3,6 g.
(DEV 994/1931 PR). Fer.
- 439 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation circulaire. L. 2,4 cm ; section 2,3x0,1 cm ; poids 2,8 g.
(DEV 995/971 PR). Fer.
- 440 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,4 cm ; section 1,3x0,25 cm ; poids 5,6 g.
(DEV 995/1090 PR). Fer.
- 441 Bande. Fragment de section rectangulaire avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 3,8 cm ; section 1,1x0,3 cm ; poids 2,6 g.
(DEV 993/1678 PR). Fer.
- 442 Barre. Fragment de section carrée. L. 5,3 cm ; section 0,5x0,5 cm ; poids 5,9 g.
(DEV 995/773 PR). Fer.
- 443 Tôle. Fragment plat. L. 4,2 cm ; ép. 0,5 cm ; poids 18 g.
(DEV 994/338 PR). Fer.
- 444 Tôle. Fragment plat. L. 3,2 cm ; ép. 0,1 cm ; poids 1,9 g.
(DEV 994/1670 PR). Fer.
- 445 Tôle. Fragment plat. L. 5,3 cm ; ép. 0,3 cm ; poids 7,6 g.
(DEV 994/1757 PR). Fer.
- 446 Tôle. Fragment plat formé de 2 tôles soudées avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 2,9 cm ; ép. 0,1 cm ; poids 2,8 g.
(DEV 994/1787 PR). Fer.
- 447 Tôle. Fragment plat avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 2,8 cm ; ép. 0,2 cm ; poids 2,7 g.
(DEV 994/1832 PR). Fer.
- 448 Tôle. Fragment plat. L. 3,5 cm ; ép. 0,45 cm ; poids 6,8 g.
(DEV 994/1954 PR). Fer.
- 449 Tôle. Fragment plat avec un bord relevé et traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 6,4 cm ; ép. 0,3 cm ; poids 10,9 g.
(DEV 994/2017 PR). Fer.
- 450 Tôle. Fragment plat avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 4,5 cm ; ép. 0,2 cm ; poids 9,5 g.
(DEV 995/775 PR). Fer.
- 451 Tôle. Fragment plat formé de 2 tôles soudées avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 3,1 cm ; ép. 0,1 cm ; poids 3,4 g.
(DEV 995/829 PR). Fer.
- 452 Tôle. Fragment plat. L. 3 cm ; ép. 0,4 cm ; poids 4,8 g.
(DEV 995/974 PR). Fer.
- 453 Tôle. Fragment plat à bord arrondi. L. 3,5 cm ; ép. 0,3 cm ; poids 4,8 g.
(DEV 995/986 PR). Fer.
- 454 Tôle. Fragment plat en plusieurs couches. L. 3,2 cm ; ép. 0,4 cm ; poids 5,4 g.
(DEV 995/1002 PR). Fer.
- 455 Tôle. Fragment plat. L. 3,6 cm ; ép. 0,3 cm ; poids 13,4 g.
(DEV 995/1094 PR). Fer.
- 456 Tôle. Fragment plat à bord arrondi. L. 4,6 cm ; ép. 0,2 cm ; poids 8,9 g.
(DEV 995/1098 PR). Fer.
- 457 Tôle. Fragment trapézoïdal plat. L. 3,4 cm ; ép. 0,3 cm ; poids 14,4 g.
(DEV 996/1944 PR). Fer.
- 458 Tige. Fragment de section circulaire terminé en pointe. L. 1,6 cm ; diam. 0,5 cm ; poids 0,6 g.
(DEV 995/999 PR). Fer.
- 459 Tige. Fragment de section circulaire. L. 6,2 cm ; diam. 0,3 cm ; poids 2,1 g.
(DEV 995/1014 PR). Fer.
- 460 Fil. Fragment de section circulaire. L. 4,1 cm ; diam. 0,1 cm ; poids 0,3 g.
(DEV 996/1941 PR). Fer.
- 461 Tube. Fragment de section circulaire creuse. L. 4,6 cm ; diam. ext. 1,1 cm ; ép. 0,1 cm ; poids 4 g.
(DEV 994/1696 PR). Fer.
- 462 Fragment informe. L. 3,3 cm ; poids 4,3 g.
(DEV 994/1782 PR). Fer.
- 463 Fragment informe. L. 2,9 cm ; poids 10,8 g.
(DEV 994/2047 PR). Fer.



Zone d'activité 2**« Gué 20 »**

- 464 Rivet de fourreau de scramasaxe (?). L'essentiel de la surface de la tête circulaire est en léger creux. L. 1,4 cm; diam. de la tête 2,6 cm; poids 3,9 g. (CIT 994/5616 TI). Bronze.
- 465 Tôle. Fragment plat triangulaire, replié à une extrémité. L. 6,4 cm; ép. 0,1 cm; poids 3,7 g. (CIT 994/5615 TI). Bronze.
- 466 Tube. Fragment de section circulaire creuse. L. 4,1 cm; diam. ext. 1,3 cm; ép. 0,1 cm; poids 7,2 g. (CIT 995/5265 TI). Fer.

Couche archéologique

- 467 Couteau. Forme 1B. L. 11,1 cm; poids 7,4 g. (DEV 993/1688 PR). Fer.
- 468 Couteau. Forme 2. L. 10,5 cm; poids 5,8 g. (DEV 993/1710 PR). Fer.
- 469 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 2,7 cm; poids 4,3 g. (CIT 995/5285 TI). Fer.
- 470 Ferret de buffleterie. Corps brisé dans le sens de la longueur. L'extrémité distale est arrondie et la base manquante. L. 4,8 cm; ép. 0,3 cm; poids 5,3 g. (DEV 995/996 PR). Fer.
- 471 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 7,2 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 13,3 g. (DEV 995/1057 PR). Fer.
- 472 Objet non défini. Clou à deux tiges? L. 3,2 cm; poids 6,4 g. (CIT 995/5279 TI). Fer.
- 473 Bande. Fragment tordu de section rectangulaire, forgé en pointe. L. 9,4 cm; section 1x0,7 cm; poids 23,7 g. (CIT 994/8090 TI). Fer.
- 474 Tôle. Fragment plat. L. 3,8 cm; ép. 0,1 cm; poids 2,6 g. (DEV 993/1837 PR). Fer.
- 475 Fil. Fragment de section circulaire. L. 2,6 cm; diam. 0,1 cm; poids 0,4 g. (CIT 995/5292 TI). Fer.

Zone d'activité 3**Cabane en fosse B**

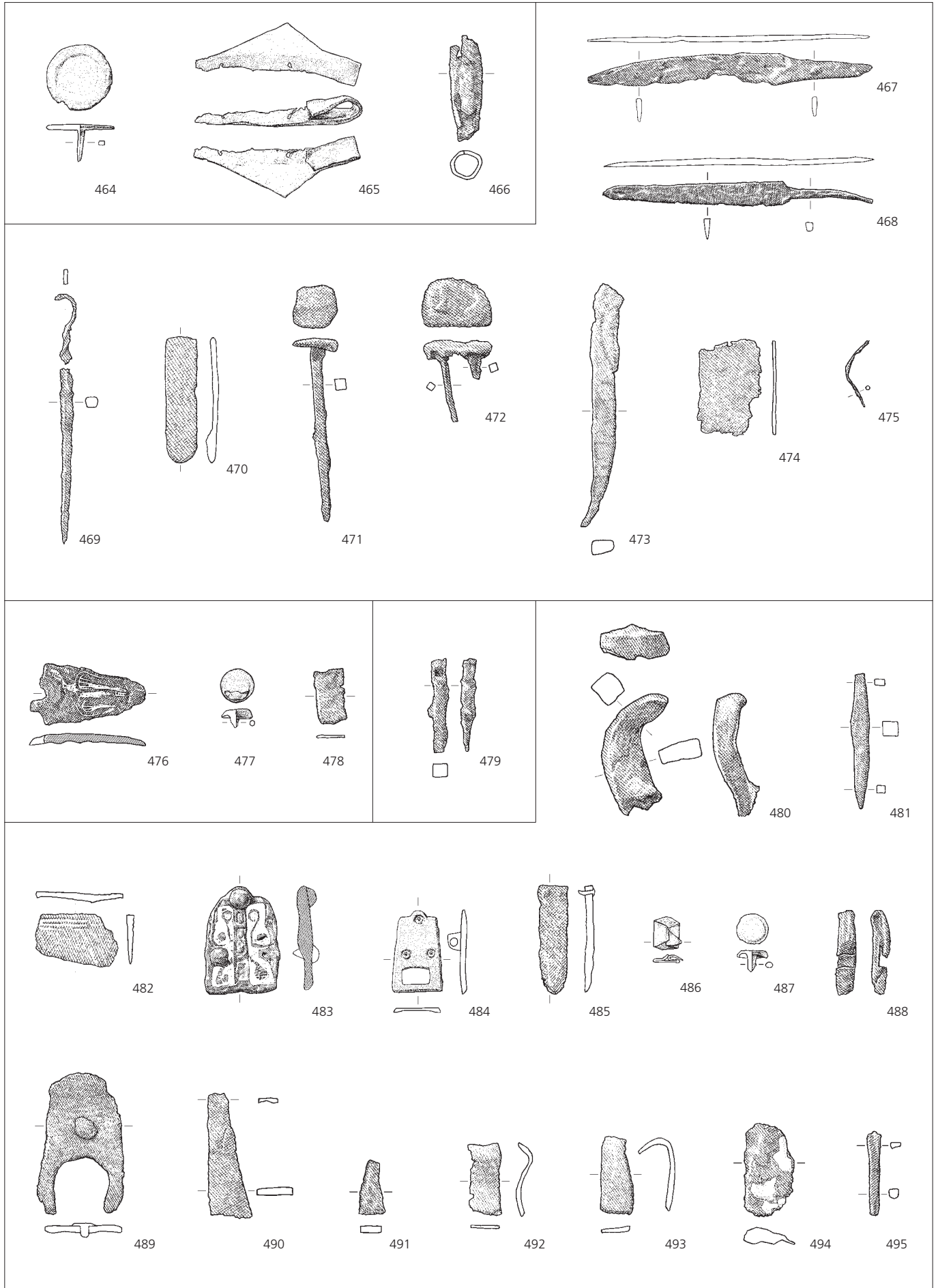
- 476 Plaque-boucle de chaussure. Plaque triangulaire à extrémité arrondie légèrement proéminente; les pattes de fixation de la boucle sont endommagées et les 3 rivets de fixation manquent. Le décor à placage dominant d'argent, très effacé, laisse apparaître le quadrillage de base. Il offre une symétrie axiale mais les motifs ne sont plus lisibles. L. 4,5 cm; l. 2,4 cm; poids 7,2 g. (CIT 995/5000 TI). Fer.
- 477 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire plate à pourtour biseauté débordant au revers. L. 0,7 cm; diam. de la tête 1,3 cm; poids 1,5 g. (CIT 995/2634 TI). Bronze.
- 478 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,2 cm; section 1,1x0,1 cm; poids 0,9 g. (CIT 995/5264 TI). Fer.

Trou de poteau 20 (structure isolée)

- 479 Ciselet. Manche brisé de section carrée; la lame à un seul biseau s'achève par un tranchant rectiligne. L. 3,8 cm; poids 1,7 g. (CIT 995/5263 TI). Fer.

Couche archéologique

- 480 Gueule de pince. Cassée au niveau de l'articulation, elle offre un profil désaxé; la mâchoire n'est que le prolongement de l'arc dessiné par la gueule. L. 4,9 cm; poids 30,2 g. (CIT 995/5246 TI). Fer.
- 481 Alène. Manche quadrangulaire assez massif, prolongé symétriquement (?) par 2 pointes effilées dont une est brisée. L. 5,3 cm; poids 5,7 g. (CIT 995/5250 TI). Fer.
- 482 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; décor de rainures sur une seule face de la lame. L. 3,2 cm; l. 1,9 cm; poids 3,1 g. (CIT 995/5240 TI). Fer.
- 483 Plaquette verticale de ceinture. Forme trapézoïdale à bords festonnés et 3 rivets en fer (2 subsistent). Le décor s'articule autour d'un bandeau axial de rectangles ou de losanges en relief qui devait être à l'origine plaqué de laiton. Le reste du décor s'inscrit en réserve dans un placage d'argent, avec motifs de volutes et d'arabesques. L. 4,2 cm; ép. 0,3 cm; poids 10,9 g. (CIT 995/2501 TI). Fer.
- 484 Plaquette à œillet de ceinture. Forme trapézoïdale à un œillet rectangulaire; extrémité protubérante et contour débordant au revers. Fixation au revers assurée par une languette à œillet. Décor incisé de 3 ocelles à l'emplacement habituel des rivets. L. 3,2 cm; ép. 0,2 cm; poids 4,1 g. (CIT 995/2509 TI). Bronze.
- 485 Ferret de buffleterie. Base à 2 petits rivets de fixation et extrémité distale arrondie. L. 4,2 cm; ép. 0,2 cm; poids 2,7 g. (CIT 995/5248 TI). Fer.
- 486 Passant de buffleterie. Tôle trapézoïdale repliée symétriquement. L. 1,3 cm; l. 1 cm; poids 0,6 g. (CIT 995/2655 TI). Bronze.
- 487 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire plate à pourtour biseauté débordant au revers. L. 0,8 cm; diam. de la tête 1,2 cm; poids 1,2 g. (CIT 995/2511 TI). Bronze.
- 488 Objet non défini. L. 3,2 cm; poids 2,4 g. (CIT 995/5201 TI). Fer.
- 489 Objet non défini. L. 5,5 cm; poids 14,5 g. (CIT 995/5262 TI). Fer.
- 490 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 5 cm; section 1,6x0,4 cm; poids 7,3 g. (CIT 994/9734 TI). Fer.
- 491 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,2 cm; section 1x0,4 cm; poids 1,5 g. (CIT 995/5232 TI). Fer.
- 492 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,9 cm; section 1,3x0,2 cm; poids 1,9 g. (CIT 995/5244 TI). Fer.
- 493 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3 cm; section 1,3x0,3 cm; poids 2,4 g. (CIT 995/5245 TI). Fer.
- 494 Tôle. Fragment plat avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 3,6 cm; ép. 0,2 cm; poids 6,9 g. (CIT 995/4748 TI). Fer.
- 495 Tige. Fragment de section circulaire. L. 3,3 cm; diam. 0,5 cm; poids 1,9 g. (CIT 995/5212 TI). Fer.



Zone d'activité 4

Fosse 13

496 Clou. Tête plate, initialement circulaire et décentrée. L. 1,9 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 2,2 g. (CIT 994/9719 TI). Fer.

Bas foyer 15

497 Ciseau à pointe. Pointe brisée de section carrée massive. L. 3 cm; poids 5,4 g. (CIT 994/9796 TI). Fer.

Bassins

498 Ciseau à pointe. Manche brisé de section rectangulaire. La pointe tordue est endommagée. L. 5,1 cm; poids 10,8 g. (CIT 994/9799 TI). Fer.

499 Fragment d'outil (lame). lame de section rectangulaire terminée par 2 biseaux formant un tranchant légèrement arrondi. L. 4 cm; poids 5,2 g. (CIT 995/2829 TI). Fer.

500 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 6 cm; poids 2,2 g. (CIT 994/9739 TI). Fer.

501 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 2,5 cm; poids 1,7 g. (CIT 994/9789 TI). Fer.

502 Ferret de ceinture. Base fendue avec 2 rivets de fixation; extrémité distale brisée. L'espace réservé au décor est délimité par 3 incisions transversales. Motif ondulé profondément incisé, très usé. L. 8,7 cm; ép. 0,3 cm; poids 32,6 g. (CIT 995/2515 TI). Bronze.

503 Ferret de chaussure. Base à 2 rivets et plaquette complémentaire de fixation au revers; extrémité distale arrondie. Profil légèrement arqué. Motif ondulé en 2 segments dans un champ central en léger creux; les bords biseautés portent des groupes d'incisions transversales. La face visible est entièrement plaquée d'argent. L. 4,7 cm; ép. 0,3 cm; poids 7,7 g. (CIT 995/2517 TI). Bronze.

504 Fibule ansée symétrique. Pieds scutiformes peu échancrés et reliés par une anse bien arquée. Au revers, seule la broche de fixation et d'articulation de l'ardillon en fer (brisé) est conservée. L. 4,4 cm; h. 0,9 cm; poids 5,1 g. (CIT 994/5617 TI). Bronze.

505 Objet non défini. Barre étirée en longueur et renflement sommital. L. 7,1 cm; poids 9 g. (CIT 994/9808 TI). Fer.

506 Objet non défini. Fine barre arquée. L. 35,2 cm; poids 40,9 g. (CIT 995/5298 TI). Fer.

507 Tôle. Fragment plat; un bord rectiligne et un autre arrondi. L. 2,6 cm; ép. 0,45 cm; poids 8 g. (CIT 995/1178 TI). Fer.

Couche archéologique

508 Ciseau à pointe. Pointe brisée de section anguleuse massive. L. 3,5 cm; poids 10,7 g. (CIT 994/2189 TI). Fer.

509 Hache à douille. lame rectangulaire en forme de coin avec tranchant légèrement arrondi; l'emmanchement se fait par une douille ouverte placée dans l'axe de l'outil. L. 7,3 cm; poids 49,3 g. (CIT 994/9778 TI). Fer.

510 Fragment d'outil (tête). Manche de section rectangulaire surmonté d'une tête conique, légèrement facettée. L. 2,2 cm; poids 3,4 g. (CIT 994/2126 TI). Fer.

511 Fragment d'outil (lame). lame de section rectangulaire terminée par 2 biseaux et un tranchant arrondi incertain. L. 6,3 cm; poids 25 g. (CIT 994/2124 TI). Fer.

512 lame de couteau. Dos et tranchant paraissent courbés vers la pointe. L. 5,8 cm; l. 2 cm; poids 5,4 g. (CIT 994/9760 TI). Fer.

513 Objet non défini. L. 5,5 cm; poids 40 g. (CIT 994/2207 TI). Fer.

514 Objet non défini. Bande à une perforation circulaire et amorce d'une excroissance sommitale. L. 4,3 cm; poids 6,5 g. (CIT 994/9768 TI). Fer.

515 Objet non défini. Fer fortement cintré, de section trapézoïdale. L. 3,7 cm; poids 3,6 g. (CIT 994/9772 TI). Fer.

516 Bande. Fragment arqué de section rectangulaire. L. 9 cm; section 1,3x0,4 cm; poids 43,7 g. (CIT 994/9777 TI). Fer.

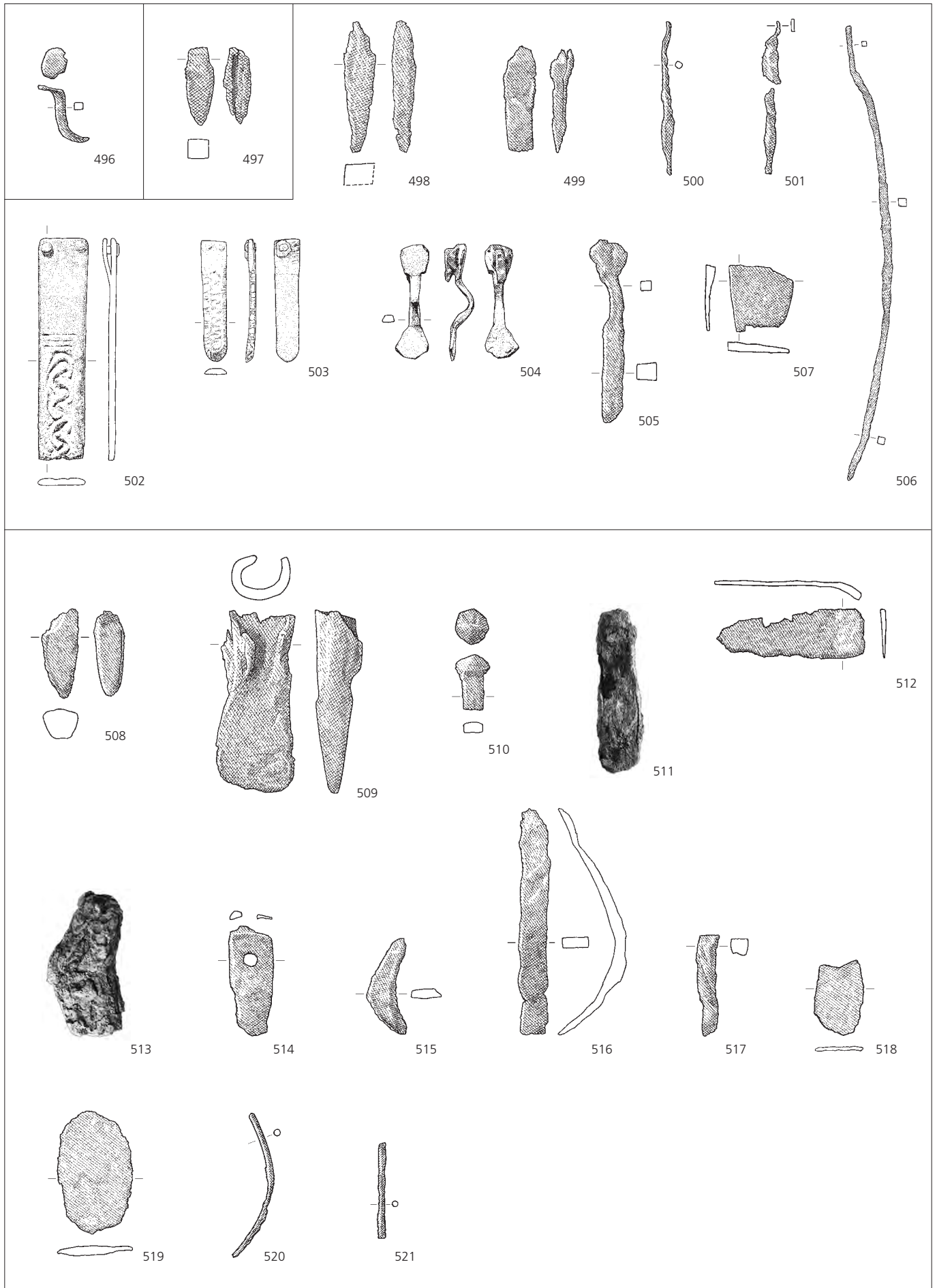
517 Barre. Fragment fortement torsadé de section carrée. L. 3,9 cm; section 0,7x0,7 cm; poids 7,3 g. (CIT 994/9757 TI). Fer.

518 Tôle. Fragment plat. L. 2,9 cm; ép. 0,2 cm; poids 4,5 g. (CIT 994/9761 TI). Fer.

519 Tôle. Fragment plat. L. 4,8 cm; ép. 0,2 cm; poids 7,1 g. (CIT 995/5253 TI). Fer.

520 Tige. Fragment de section circulaire. L. 5,6 cm; diam. 0,25 cm; poids 2,2 g. (CIT 994/9764 TI). Fer.

521 Tige. Fragment de section circulaire. L. 3,7 cm; diam. 0,3 cm; poids 1,2 g. (CIT 994/9775 TI). Fer.



Ferme 3

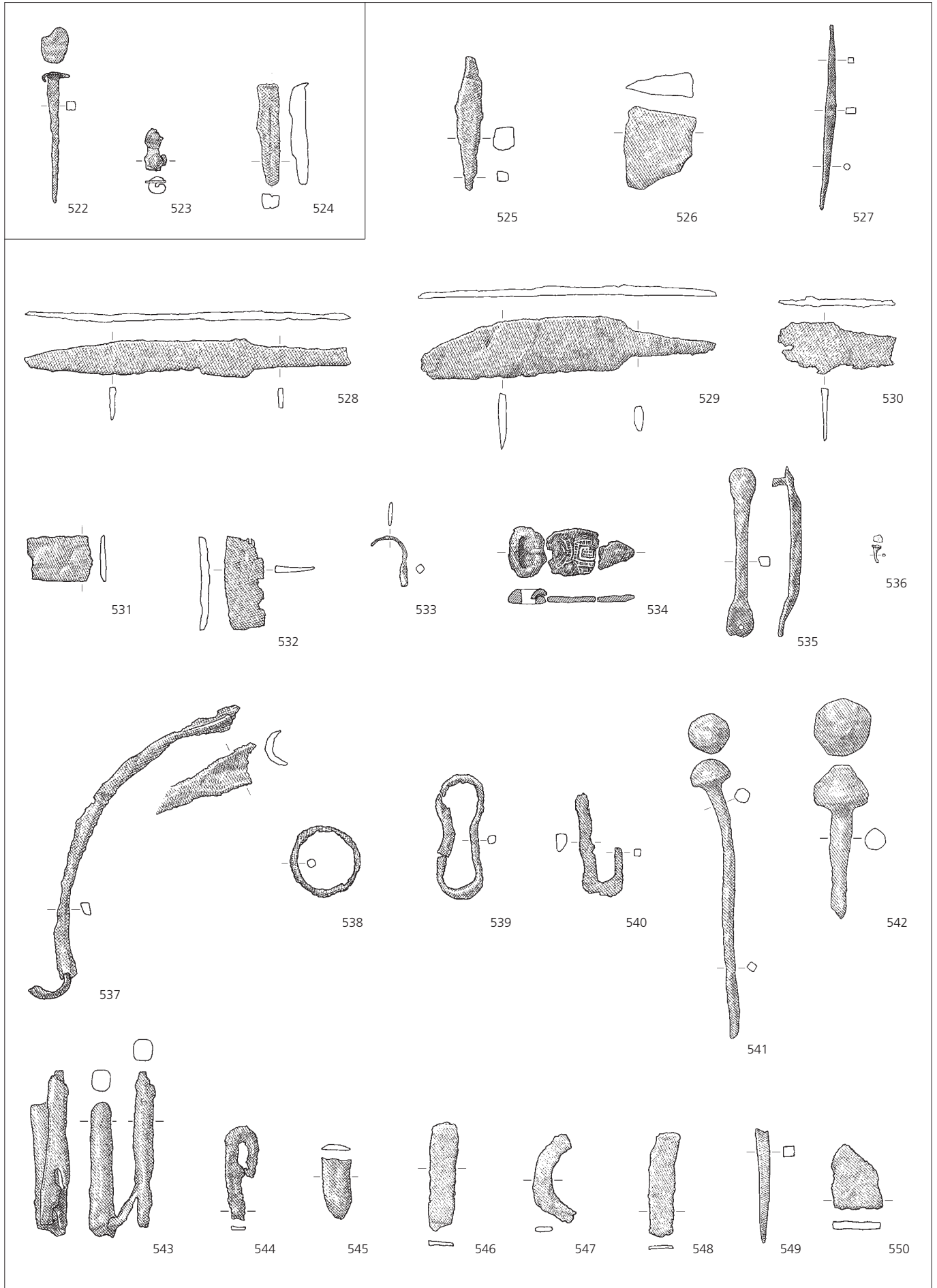
Zone de combustion 68

- 522 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 5 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 2,8 g. (CIT 994/9714 TI). Fer.
- 523 Objet non défini. Plaquette de bronze à 2 rivets en fer. L. 1,6 cm; poids 0,9 g. (CIT 994/9712 TI). Bronze et fer.
- 524 Barre. Fragment de section carrée soudé en 2 parties. L. 3,9 cm; section 0,7x0,7 cm; poids 8 g. (CIT 994/9715 TI). Fer.

Couche archéologique

- 525 Ciseau à pointe. Le manche de section carrée est brisé et la pointe endommagée. L. 5,2 cm; poids 9 g. (CIT 996/4957 TI). Fer.
- 526 Tranchant de hache (?). Fragment de lame à dos concave et large tranchant arrondi. L. 3,2 cm; poids 27,7 g. (CIT 994/8079 TI). Fer.
- 527 Alène. Manche quadrangulaire étroit, prolongé symétriquement par 2 pointes effilées dont une est de section circulaire. L. 7,3 cm; poids 3,2 g. (CIT 994/8080 TI). Fer.
- 528 Couteau. Forme 1B. L. 12,7 cm; poids 7,8 g. (CIT 994/9655 TI). Fer.
- 529 Couteau. Forme 3A. L. 11,5 cm; poids 10,9 g. (CIT 996/4904 TI). Fer.
- 530 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 4,6 cm; l. 2 cm; poids 2,8 g. (CIT 994/9639 TI). Fer.
- 531 Lame de couteau. Dos et tranchant rectilignes. L. 2,5 cm; l. 1,8 cm; poids 2,7 g. (CIT 996/4954 TI). Fer.
- 532 Lame de forces. Profil légèrement courbé; fragment de lame à dos convexe et tranchant rectiligne. L. 3,7 cm; l. 1,5 cm; poids 2,1 g. (CIT 994/9638 TI). Fer.
- 533 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate; tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 2 cm; poids 1,1 g. (CIT 994/9644 TI). Fer.
- 534 Plaque-boucle de chaussure. Plaque triangulaire à 3 rivets de fixation. Décor damasquiné d'argent avec un champ central rectangulaire en nids d'abeilles encadré d'un ruban plein et d'une bande d'échelles. Un encadrement traité en échelles suit le contour de la plaque et l'arrondi de l'ardillon. Traces de hachures d'argent sur la petite boucle ovale. L. restituée 4,9 cm; l. de la boucle 2,1 cm; poids 4,9 g. (CIT 996/5431 TI). Fer.

- 535 Barrette de suspension de fourreau de scramasaxe. Corps arqué de section carrée et 2 extrémités circulaires aplaties; un rivet en fer est conservé. L. 6,6 cm; poids 8 g. (CIT 994/8078 TI). Fer.
- 536 Clou de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire plate. L. 0,7 cm; diam. de la tête 0,4 cm; poids 0,1 g. (CIT 996/3065 TI). Bronze.
- 537 Anse de seau. Tige circulaire arquée avec extrémité recourbée en crochet; la partie médiane est aplatie et de profil en U. L. 7,3 cm; poids 12,6 g. (CIT 996/4945 TI). Fer.
- 538 Anneau. Cercle fermé de section circulaire. Diam. 2,8 cm; poids 1,6 g. (CIT 994/9646 TI). Fer.
- 539 Maillon en 8. Ovale allongé et légèrement resserré de section circulaire. L. 4,9 cm; poids 4,4 g. (CIT 994/9643 TI). Fer.
- 540 Clé. Tige quadrangulaire avec panneton en T à une seule dent conservée. L. 4,2 cm; poids 5,6 g. (CIT 994/9647 TI). Fer.
- 541 Clou (?). Tête hémisphérique centrée; tige de section angulaire à angles plus ou moins arrondis. L. 11 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 20,5 g. (CIT 994/5618 TI). Fer.
- 542 Clou. Tête tronconique massive et centrée; tige de section circulaire. L. 6 cm; diam. de la tige 0,8 cm; poids 38,9 g. (CIT 994/8077 TI). Fer.
- 543 Objet non défini. Tige percée de 2 trous ovales en son milieu, brisée et repliée sur elle-même. L. 6,5 cm; poids 34,4 g. (CIT 994/8075 TI). Fer.
- 544 Objet non défini. Bande à extrémité repliée en crochet aplati. L. 3,7 cm; poids 2,2 g. (CIT 994/9642 TI). Fer.
- 545 Objet non défini. Fer plat à bords biseautés. L. 2,3 cm; poids 0,9 g. (CIT 994/9653 TI). Fer.
- 546 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,3 cm; section 1,1x0,2 cm; poids 2,4 g. (CIT 994/9651 TI). Fer.
- 547 Bande. Fragment courbé de section rectangulaire. L. 3,5 cm; section 0,8x0,25 cm; poids 2,6 g. (CIT 994/9656 TI). Fer.
- 548 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,1 cm; section 1x0,2 cm; poids 2,4 g. (CIT 994/9781 TI). Fer.
- 549 Barre. Fragment de section carrée forgé en pointe. L. 4,45 cm; section 0,45x0,45 cm; poids 2,9 g. (CIT 996/4958 TI). Fer.
- 550 Tôle. Fragment plat. L. 2,9 cm; ép. 0,35 cm; poids 3,8 g. (CIT 996/4948 TI). Fer.



Ferme 4**Zone de rejet 56**

- 551 Spatule. Manche de section carrée, prolongé par une lame triangulaire au tranchant droit. L. 8,5 cm; poids 3,5 g. (CIT 995/5003 TI). Fer.
- 552 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate terminée par une petite volute extérieure; tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 3,5 cm; poids 1,6 g. (CIT 995/5179 TI). Fer.

Couche archéologique

- 553 Emondoir. Large lame à dos épaissi arquée à son extrémité; le tranchant rectiligne est aussi recourbé à 180° à son extrémité manquante. La douille de section circulaire prolonge la ligne du dos et n'est totalement fermée que sur 5 cm. L. 24,2 cm; l. de la lame 5,9 cm; diam. de la douille 4 cm; poids 419 g. (CIT 995/5163 TI). Fer.
- 554 Couteau. Forme 1B; rainures sur les 2 faces de la lame. L. 13,3 cm; poids 19,5 g. (CIT 995/5144 TI). Fer.
- 555 Lame de couteau. Forme 1A. L. 5 cm; l. 1,5 cm; poids 3 g. (CIT 994/9675 TI). Fer.
- 556 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant rendu concave par l'usure; la soie est détachée de la lame. L. 7,7 cm; l. 1,7 cm; poids 5,9 g. (CIT 994/9661 TI). Fer.
- 557 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 5,3 cm; l. 1,6 cm; poids 3,5 g. (CIT 994/9693 TI). Fer.
- 558 Lame de couteau. La soie est dans le prolongement du dos rectiligne et du tranchant corrodé. L. 8,9 cm; l. 1,4 cm; poids 4,8 g. (CIT 995/5140 TI). Fer.
- 559 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant rendu concave par l'usure; la soie est détachée de la lame. L. 8 cm; l. 1,4 cm; poids 3,6 g. (CIT 995/5168 TI). Fer.
- 560 Lame de forces. Poignée élargie dans le prolongement du dos convexe; tranchant convexe. L. 8,9 cm; l. 1,8 cm; poids 7,6 g. (CIT 995/5131 TI). Fer.
- 561 Plaque-boucle de ceinture. Plaque trapézoïdale repliée sur la traverse circulaire de la boucle et maintenue à l'arrière par 2 rivets (non conservés); boucle ovale de section rectangulaire oblique dépourvue d'ardillon. L. totale 3,1 cm; l. de la plaque 1,7 cm; poids 6,2 g. (CIT 995/4671 TI). Fer.
- 562 Plaque à œillets de ceinture. Forme trapézoïdale à 3 œillets avec extrémité protubérante et base rectiligne terminée par 2 petites cornes. Fixation par 3 rivets à tête hémisphérique. Décor incisé en style animalier II. Composition symétrique de 2 oiseaux de proie aux mâchoires recourbées. Têtes triangulaires avec indication des yeux; entre 2 œillets, hachures schématisant les corps. L. 3,3 cm; ép. 0,2 cm; poids 4,2 g. (CIT 995/2508 TI). Bronze.
- 563 Contre-plaque de chaussure. Plaque triangulaire à extrémité protubérante; les rivets de fixation manquent. Le décor plaqué d'argent suit les contours de la plaque et des rivets. Le motif central, traité en réserve, est un entrelacs animalier extrêmement stylisé où les corps sans têtes se coupent ou se mordent. L. 4,4 cm; l. 2,1 cm; poids 8,3 g. (CIT 994/8087 TI). Fer.
- 564 Ferret de jambière (?). Base à une perforation et extrémité distale arrondie. Corps très plat à bords partiellement biseautés. Ornementation de 3 incisions transversales et frise de petites ponctuations sur le pourtour. L. 2,8 cm; ép. 0,1 cm; poids 2,2 g. (CIT 995/2504 TI). Bronze.
- 565 Ferret de buffleterie. Extrémité distale arrondie; la base est manquante. L. 3,2 cm; ép. 0,3 cm; poids 3,1 g. (CIT 994/9674 TI). Fer.

- 566 Pointe de flèche. Flamme losangique plate reliée à une douille fermée de section circulaire. L. 6,5 cm; poids 7,9 g. (CIT 995/5046 TI). Fer.
- 567 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. L. 3 cm; poids 2,4 g. (CIT 994/8082 TI). Fer.
- 568 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. Diam. 4,6 cm; poids 10,7 g. (CIT 994/8086 TI). Fer.
- 569 Anneau. Cercle brisé de section quadrangulaire non constante, traces de placage d'un alliage cuivreux. Diam. 4,8 cm; poids 17,9 g. (CIT 995/5129 TI). Fer.
- 570 Anneau. Cercle ouvert de section quadrangulaire. Diam. 2,1 cm; poids 0,8 g. (CIT 995/5186 TI). Fer.
- 571 Crampon. Fer en U de section semi-circulaire; une branche effilée. L. 3,5 cm; poids 1,1 g. (CIT 994/9686 TI). Fer.
- 572 Crampon. Fer plat en U à branches effilées. L. 4,4 cm; poids 4,5 g. (CIT 995/5006 TI). Fer.
- 573 Ferrure. Bande plate pincée perpendiculairement en son milieu. L. 3,1 cm; poids 4,2 g. (CIT 994/9680 TI). Fer.
- 574 Gâche de verrou. Fer plat avec décrochement oblique; la tige est brisée. L. 2,9 cm; poids 7,3 g. (CIT 994/2125 TI). Fer.
- 575 Gâche de verrou. Fer plat avec décrochement oblique et tige triangulaire étroite. L. 4 cm; poids 10,5 g. (CIT 995/5033 TI). Fer.
- 576 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 4,3 cm; section 0,6x0,6 cm; poids 4,9 g. (CIT 995/5166 TI). Fer.
- 577 Objet non défini. Fine tige avec extrémité en forme de palette triangulaire. L. 3,1 cm; poids 0,6 g. (CIT 994/9704 TI). Fer.
- 578 Objet non défini. Anneau plat à 2 rivets de fixation (virole?). L. 2,3 cm; diam. 2,2 cm; poids 3,7 g. (CIT 995/5145 TI). Fer.
- 579 Objet non défini. Bande plate; les bords partiellement rabattus dessinent une section en S. L. 4,5 cm; poids 3 g. (CIT 995/5162 TI). Fer.
- 580 Objet non défini. Tôle arrondie, avec peut-être 1 perforation rectangulaire centrée. L. 6 cm; poids 6 g. (CIT 995/5170 TI). Fer.
- 581 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 19,3 cm; section 1,2x0,7 cm; poids 46 g. (CIT 995/5176 TI). Fer.
- 582 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,8 cm; section 0,8x0,35 cm; poids 4,4 g. (CIT 995/5173 TI). Fer.
- 583 Tige. Fragment courbé de section circulaire. L. 9,8 cm; diam. 0,4 cm; poids 3 g. (CIT 995/5157 TI). Fer.
- 584 Barre. Fragment torsadé de section carrée. L. 7,3 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 6 g. (CIT 995/5146 TI). Fer.
- 585 Tôle. Fragment plat. L. 2,3 cm; ép. 0,1 cm; poids 1 g. (CIT 994/9711 TI). Fer.
- 586 Tôle. Fragment plat et plié. L. 3 cm; ép. 0,2 cm; poids 5,6 g. (CIT 995/5128 TI). Fer.
- 587 Fragment informe. L. 4,7 cm; poids 8 g. (CIT 995/5149 TI). Fer.
- 588 Fragment informe. L. 3,4 cm; poids 9,5 g. (CIT 995/5150 TI). Fer.



Ferme 5**Bâtiment A**

- 589 Ciseau droit. Le manche de section carrée puis circulaire s'élargit jusqu'à une tête tronconique. La lame à 2 biseaux s'achève par un tranchant arrondi. L. 14,3 cm; poids 60,5 g. (CIT 996/2877 TI). Fer.
- 590 Ciseau à pointe. La section carrée du manche court et massif devient rectangulaire à l'approche de la pointe cassée. La tête plate est endommagée. L. 6,9 cm; poids 37,1 g. (CIT 996/4239 TI). Fer.
- 591 Ciselet. La fine lame, terminée par un tranchant, est prolongée par un manche brisé de section carrée. L. 4,2 cm; poids 2,8 g. (CIT 996/4242 TI). Fer.
- 592 Spatule (?). Possible outil à manche quadrangulaire, identifié par les analyses métallographiques. L. 2,2 cm; poids 4,6 g. (CIT 996/4780 TI). Fer.
- 593 Fragment d'outil (tête). L'outil, à manche circulaire surmonté d'une tête plate, a été brisé en longueur. L. 1,2 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/4794 TI). Fer.
- 594 Battant de sonnaile. Tige pyramidale de section carrée aux arêtes chanfreinées; le crochet manque. L. 4,3 cm; section max. 0,7x0,6 cm; poids 5,1 g. (CIT 996/2942 TI). Bronze.
- 595 Couteau. Forme 1A, 3 fragments. L. 2,5 cm; l. de la lame 1,4 cm; poids 2,3 g. (CIT 996/4430 TI). Fer.
- 596 Lame de couteau. Soie dans le prolongement d'une lame à dos rectiligne. L. 4,3 cm; l. 1,4 cm; poids 4,2 g. (CIT 996/4735 TI). Fer.
- 597 Pointe de couteau. L. 2,9 cm; poids 2 g. (CIT 996/4741 TI). Fer.
- 598 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate; tige brisée de section carrée. L. 1,9 cm; poids 1,1 g. (CIT 996/4766 TI). Fer.
- 599 Bouclette de buffleterie. Anneau ovale de section ovale oblique, traverse courbée de section circulaire. L. 1,8 cm; l. ext./int. 2,5/1,7 cm; poids 1,7 g. (CIT 996/4761 TI). Fer.
- 600 Plaque-boucle de ceinture. Plaque rectangulaire très étroite repliée et fixée sur la traverse de la boucle par 1 rivet; 1 autre rivet à l'arrière. La boucle ovale est prolongée par 2 pattes portant la traverse circulaire. L. totale 4 cm; l. de la plaque 1,6 cm; l. ext./int. de la boucle 2,7/1,6 cm.; poids 5,5 g. (CIT 996/4237 TI). Fer.
- 601 Terminaison de lanière de buffleterie. Boîtier linguiforme, base ouverte à un petit rivet en fer pour insérer et fixer la lanière. L. 2,8 cm; ép. 0,5 cm; poids 5,9 g. (CIT 996/2875 TI). Fer.
- 602 Passant de buffleterie. Forme trapézoïdale de section rectangulaire. Décor incisé de rainures transversales regroupées. L. 0,6 cm; l. int. 1,4 cm; poids 2,3 g. (CIT 996/2950 TI). Bronze.
- 603 Agrafe à double crochet. Forme simple avec corps en bandeau très aplati dont la largeur diminue progressivement pour former les pointes recourbées. L. 2,8 cm; l. du corps 0,6 cm; poids 0,8 g. (CIT 996/3066 TI). Bronze.
- 604 Epingle à tête biconique. Tête pleine ramassée; tige non conservée. L. 0,7 cm; diam. de la tête 0,7 cm; poids 0,3 g. (CIT 996/2945 TI). Bronze.
- 605 Anneau de doigt (?). Forme simple de section circulaire. Diam. int. 1,6 cm; poids 0,5 g. (CIT 996/2948 TI). Bronze.
- 606 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. L. 2,2 cm; poids 1,1 g. (CIT 996/4422 TI). Fer.
- 607 Anneau. Cercle fermé de section quadrangulaire. Diam. 3 cm; poids 4,1 g. (CIT 996/4433 TI). Fer.
- 608 Anneau. Cercle fermé de section quadrangulaire. Diam. 3,5 cm; poids 4,5 g. (CIT 996/4455 TI). Fer.
- 609 Crampon. Fer plat en U à branches effilées. L. 3,5 cm; poids 1,8 g. (CIT 996/4742 TI). Fer.
- 610 Rivet. Tête plate et tige de section circulaire; contre-plaque carrée en fer à l'autre extrémité. L. 1,2 cm; poids 1,2 g. (CIT 996/2951 TI). Bronze et fer.
- 611 Rivet. Tête plate et tige de section circulaire; contre-plaque carrée en fer à l'autre extrémité. L. 1,2 cm; poids 1 g. (CIT 996/2952 TI). Bronze et fer.
- 612 Objet non défini. Bande aux extrémités arrondies et bords biseautés. L. 5,5 cm; poids 27 g. (CIT 996/176 TI). Fer.
- 613 Objet non défini. Bande repliée formant boîtier; traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 3 cm; poids 10,1 g. (CIT 996/4241 TI). Fer.

- 614 Objet non défini. Corps forgé en pointe, étiré en longueur et replié à l'autre extrémité. L. 5,3 cm; poids 2,4 g. (CIT 996/4245 TI). Fer.
- 615 Objet non défini. Corps facetté et creux en son milieu. L. 2,4 cm; poids 3,6 g. (CIT 996/4733 TI). Fer.
- 616 Objet non défini. Fer plat à contour sinueux et 2 perforations circulaires. L. 6,1 cm; poids 22,3 g. (CIT 996/4737 TI). Fer.
- 617 Objet non défini. Tige arquée terminée par un méplat trapézoïdal. L. 2,4 cm; poids 2,2 g. (CIT 996/4738 TI). Fer.
- 618 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,7 cm; section 0,7x0,5 cm; poids 5 g. (CIT 996/4407 TI). Fer.
- 619 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,1 cm; section 0,7x0,2 cm; poids 0,9 g. (CIT 996/4424 TI). Fer.
- 620 Bande. Fragment de section rectangulaire à 2 perforations circulaires. L. 3,45 cm; section 1,4x0,15 cm; poids 2,4 g. (CIT 996/4734 TI). Fer.
- 621 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,5 cm; section 1,2x0,4 cm; poids 4,2 g. (CIT 996/4744 TI). Fer.
- 622 Tôle. Fragment plat et allongé à une perforation circulaire. L. 2,8 cm; ép. 0,1 cm; poids 1,1 g. (CIT 996/2938 TI). Bronze.
- 623 Tige. Fragment de section circulaire. L. 12 cm; diam. 0,5 cm; poids 12,3 g. (CIT 996/4246 TI). Fer.

Cabane en fosse J

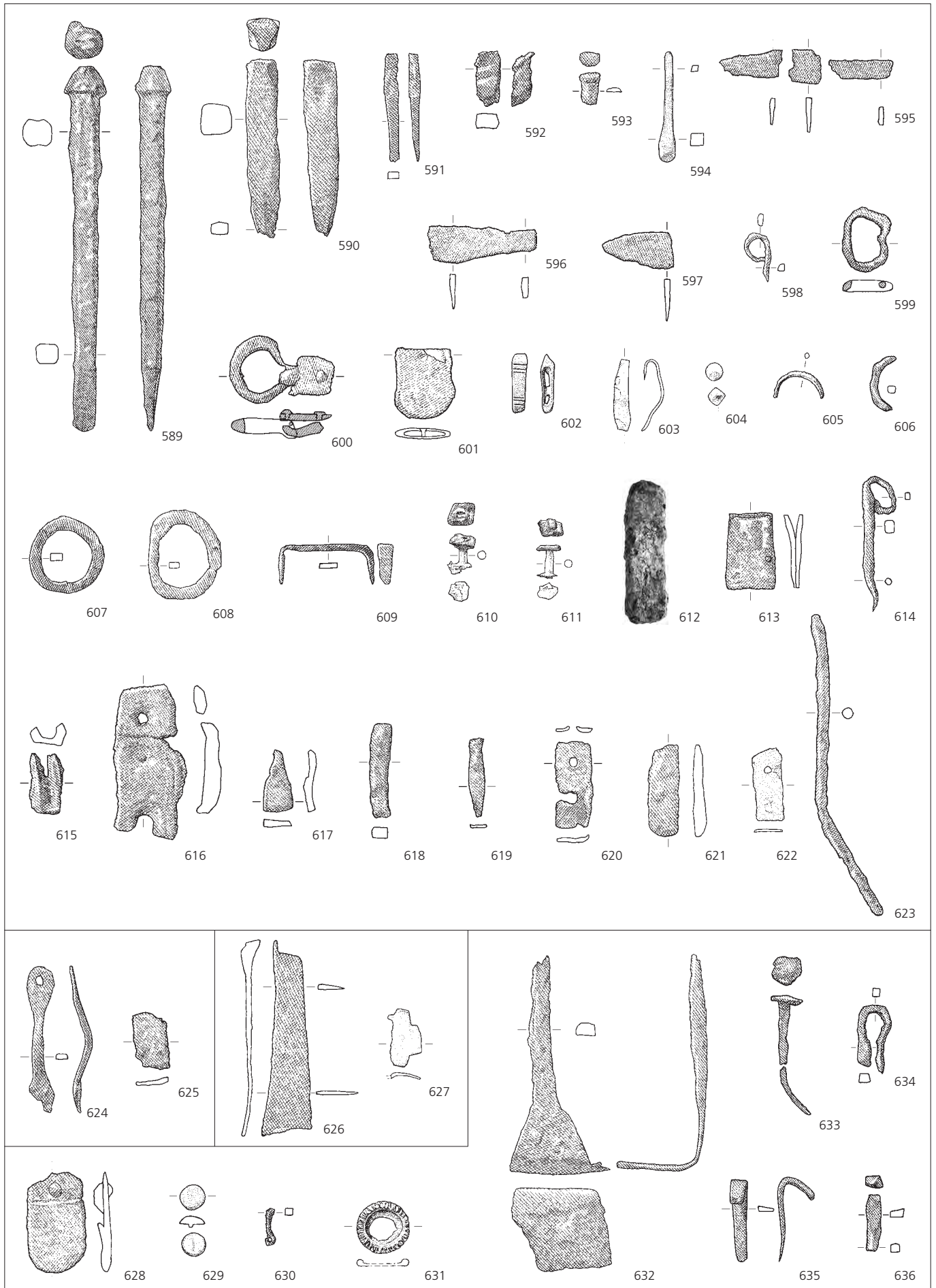
- 624 Barrette de suspension de fourreau de scramasaxe. Corps arqué de section rectangulaire et 2 extrémités ovales perforées. L. 5,7 cm; poids 3,1 g. (CIT 996/4263 TI). Fer.
- 625 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,7 cm; section 0,9x0,2 cm; poids 1,9 g. (CIT 996/4839 TI). Fer.

Cabane en fosse L

- 626 Lame de forces. Amorce d'une poignée élargie dans le prolongement du dos concave; tranchant rectiligne. L. 7,6 cm; l. 1,9 cm; poids 6 g. (CIT 996/4464 TI). Fer.
- 627 Objet non défini. Tôle découpée géométriquement, profil légèrement bombé. L. 2,3 cm; ép. 0,15 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/2957 TI). Bronze.

Cabane en fosse M

- 628 Terminaison de lanière de ceinture. Forme ramassée à extrémité arrondie; une rainure transversale sous le rivet en fer. L. 3,9 cm; l. 2,3 cm; ép. 0,3 cm; poids 7,1 g. (CIT 995/2502 TI). Fer.
- 629 Rivet de buffleterie. Tête circulaire légèrement bombée; amorce d'une languette de fixation rectangulaire. L. 0,5 cm; diam. de la tête 0,95 cm; poids 0,7 g. (CIT 995/2513 TI). Bronze.
- 630 Tige de rivet de buffleterie. Tige de section carrée repliée en crochet. L. 1,4 cm; poids 0,3 g. (CIT 995/5100 TI). Fer.
- 631 Collerette de rivet de fourreau de scramasaxe. Corps annulaire soudé sur une platine; décor incisé de hachures transversales. Diam. 2 cm; poids 2,9 g. (CIT 995/2514 TI). Bronze.
- 632 Raclette. Lame trapézoïdale plate, prolongée perpendiculairement par un manche et une soie d'emmanchement. L. 8,5 cm; poids 17 g. (CIT 995/5002 TI). Fer.
- 633 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 4,6 cm; section 0,3x0,3 cm; poids 1,6 g. (CIT 995/5105 TI). Fer.
- 634 Objet non défini. Barre étirée et repliée en crochet. L. 3,6 cm; poids 1,7 g. (CIT 995/5101 TI). Fer.
- 635 Bande. Fragment aminci et coudé de section rectangulaire. L. 3,3 cm; section 0,6x0,2 cm; poids 2,6 g. (CIT 995/2630 TI). Fer.
- 636 Fragment informe. L. 2,2 cm; poids 2,4 g. (CIT 995/5103 TI). Fer.



Ferme 5 (suite)**Cuisine**

- 637 Ciselet. Manche brisé de section carrée. La lame à 2 biseaux s'achève par un tranchant rectiligne. L. 3,8 cm; poids 5,1 g. (CIT 996/4820 TI). Fer.
- 638 Bouclette de buffleterie. Anneau ovale de section rectangulaire oblique; la traverse n'est pas conservée. L. conservée 1,5 cm; l. ext./int. 2,2/1,6 cm; poids 0,7 g. (CIT 996/4812 TI). Fer.
- 639 Maillon de chaînette. Élément isolé à tige de section circulaire et extrémité courbée en S. L. 1,2 cm; diam. 0,1 cm; poids 0,1 g. (CIT 996/2953 TI). Bronze.
- 640 Pointe de flèche. Pointe pyramidale effilée de section rectangulaire prolongée par une douille fermée de section circulaire. L. 5,8 cm; poids 3,5 g. (CIT 996/4821 TI). Fer.
- 641 Barrette de suspension de fourreau de scramasaxe. Corps très arqué de section rectangulaire et 2 extrémités circulaires. Les rivets sont manquants. L. restituée 5,9 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4456 TI). Fer.
- 642 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,6 cm; section 0,9x0,3 cm; poids 3 g. (CIT 996/4799 TI). Fer.
- 643 Tige. Fragment de section circulaire. L. 1,8 cm; diam. 0,3 cm; poids 0,6 g. (CIT 996/4807 TI). Fer.

Cuisine, four 36

- 644 Alène. Manche quadrangulaire très asymétrique et prolongé par 2 pointes effilées. L. 4,7 cm; poids 2,8 g. (CIT 996/2880 TI). Fer.
- 645 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 4,7 cm; section 0,4x0,2 cm; poids 3,5 g. (CIT 996/4828 TI). Fer.

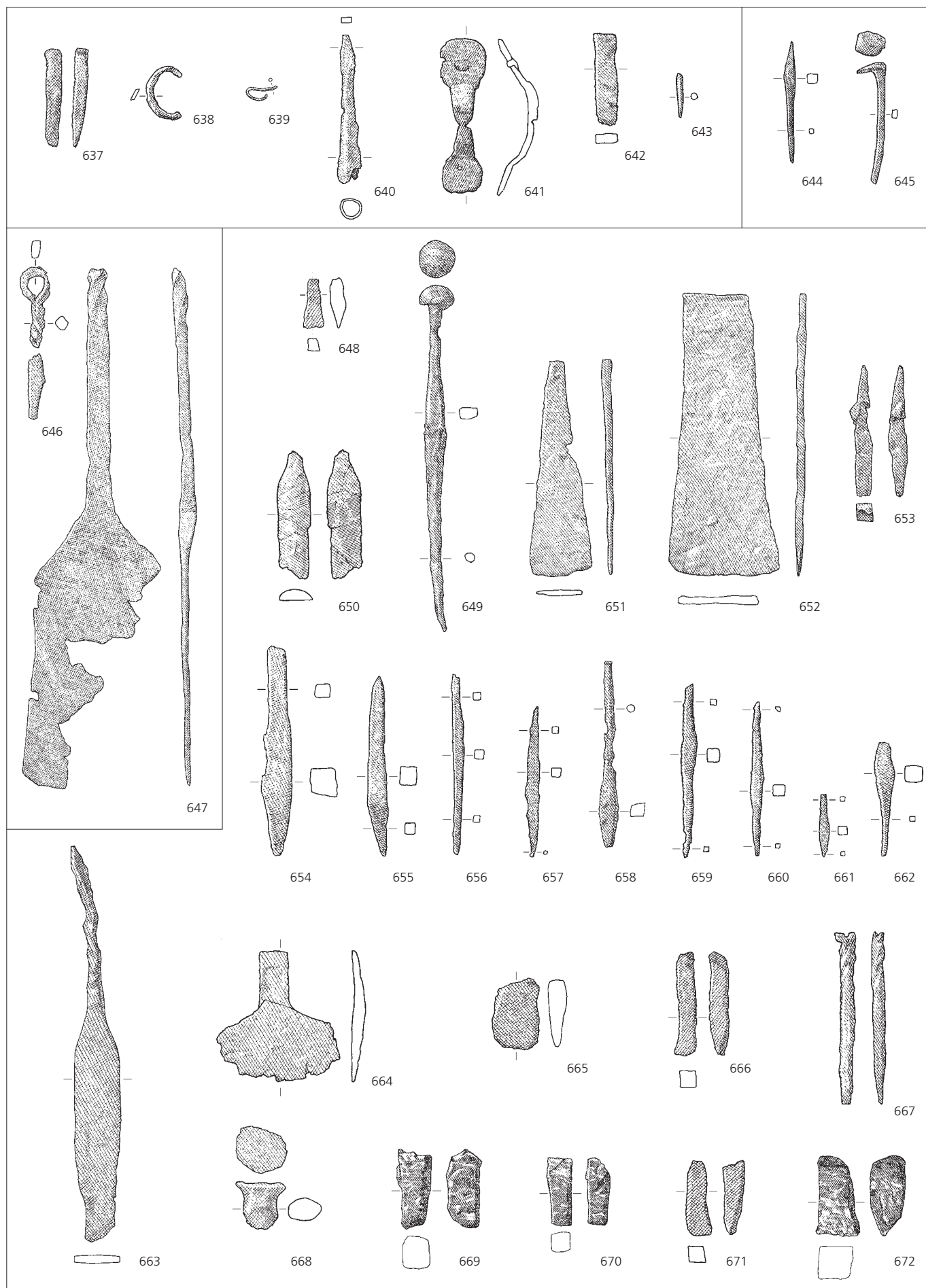
Empierrement 71

- 646 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section rectangulaire; tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 3,2 cm; poids 3,7 g. (CIT 995/5088 TI). Fer.
- 647 Pelle de foyer. Grande palette légèrement trapézoïdale, très plate, munie d'un fort manche de section rectangulaire et torsadé vers son extrémité brisée. L. 40,6 cm; l. estimée de la palette 11,5 cm; poids 270 g. (CIT 995/5077 TI). Fer.

Couche archéologique

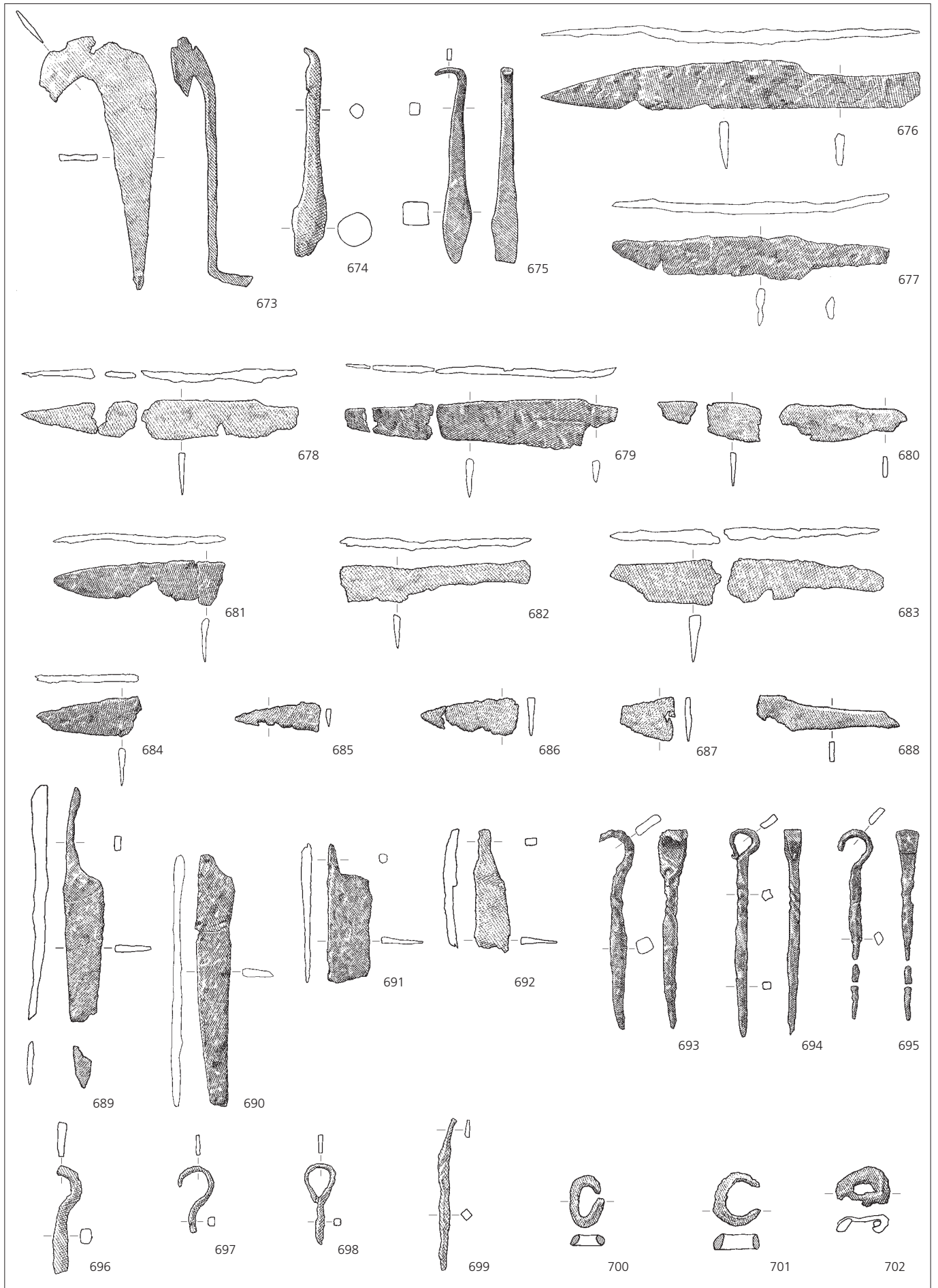
- 648 Ciseau droit. Lame brisée, de section rectangulaire, s'évasant à l'approche du tranchant rectiligne. L. 1,9 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/4708 TI). Fer.
- 649 Poinçon à manche biconique. La tige et son extrémité travaillante pointue se démarquent par un renflement du manche de section quadrangulaire. La tête est en forme de champignon. L. 13,6 cm; poids 12,4 g. (CIT 996/4336 TI). Fer.
- 650 Lime demi-ronde. Le corps présente sur ses 2 faces une taille oblique très fine, avec plus de 20 dents par centimètre. L. 5 cm; poids 4,4 g. (CIT 996/4671 TI). Fer.
- 651 Ciseau droit à bois. Lame mince et étroite, s'évasant en direction du tranchant arrondi. Le manche est brisé. L. 8,4 cm; poids 7,9 g. (CIT 996/4394 TI). Fer.
- 652 Ciseau droit à bois. Grande lame brisée, légèrement évasée, avec un tranchant arrondi à 2 biseaux. L. 11 cm; poids 53 g. (CIT 996/4687 TI). Fer.
- 653 Mèche hélicoïdale (?). Tige de section carrée, brisée à l'endroit où la mèche amorce sa vrille. L. 5,1 cm; poids 6,1 g. (CIT 996/4584 TI). Fer.

- 654 Alène. Manche quadrangulaire massif prolongé asymétriquement par une courte pointe; l'autre extrémité est brisée. L. 8,2 cm; poids 17,9 g. (CIT 996/4117 TI). Fer.
- 655 Alène. Manche quadrangulaire assez massif, prolongé asymétriquement par 2 pointes. L. 7 cm; poids 9,3 g. (CIT 996/4123 TI). Fer.
- 656 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées dont une est brisée. L. 7,1 cm; poids 2,8 g. (CIT 996/4193 TI). Fer.
- 657 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées. L. 5,9 cm; poids 2,2 g. (CIT 996/4194 TI). Fer.
- 658 Alène. Manche quadrangulaire prolongé asymétriquement par une courte pointe; l'autre extrémité, non pointue, est de section circulaire. L. 7,4 cm; poids 3,9 g. (CIT 996/4209 TI). Fer.
- 659 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées dont une est brisée. L. 6,8 cm; poids 3 g. (CIT 996/4585 TI). Fer.
- 660 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées. L. 6 cm; poids 4 g. (CIT 996/4598 TI). Fer.
- 661 Alène. Court manche prolongé symétriquement par 2 pointes effilées mais brisées. L. 2,4 cm; poids 0,8 g. (CIT 996/4605 TI). Fer.
- 662 Alène. Manche quadrangulaire assez massif, prolongé asymétriquement par 2 pointes effilées mais brisées. L. 4,4 cm; poids 2,6 g. (CIT 996/4640 TI). Fer.
- 663 Lame de tisserand. Lame de section rectangulaire légèrement bombée, sans tranchant; son extrémité se resserre puis s'élargit à nouveau. La soie, fine et torsadée, est dégagée de la lame. L. 15,4 cm; poids 30,8 g. (CIT 995/2629 TI). Fer.
- 664 Couteau demi-lune. La lame, dont le tranchant arrondi est très endommagé, se prolonge verticalement par un manche de section rectangulaire. L. 5 cm; poids 11,6 g. (CIT 996/4163 TI). Fer.
- 665 Spatule (?). Lame épaisse, arrondie à son extrémité. L. 2,8 cm; poids 11,7 g. (CIT 996/4145 TI). Fer.
- 666 Spatule (?). Manche de section carrée; profil aplati au passage de la lame aujourd'hui disparue. L. 4,1 cm; poids 8,3 g. (CIT 996/4704 TI). Fer.
- 667 Outil non défini. Manche de section circulaire, torsadé dans sa partie supérieure et terminé par un œillet de suspension. La lame à un biseau semble porter un petit tranchant rectiligne. L. 6,7 cm; poids 5,1 g. (CIT 996/4725 TI). Fer.
- 668 Fragment d'outil (tête). Le manche, de section ovale, est surmonté d'une tête plate bien dégagée. L. 1,9 cm; poids 14,8 g. (CIT 996/4694 TI). Fer.
- 669 Fragment d'outil (manche). Manche brisé, massif, de section carrée aux angles arrondis. L. 3 cm; poids 3 g. (CIT 996/4227 TI). Fer.
- 670 Fragment d'outil (manche). Manche brisé de section carrés. L. 2,5 cm; poids 3,8 g. (CIT 996/4228 TI). Fer.
- 671 Fragment d'outil (lame). Lame à un biseau, évasée, avec un tranchant endommagé et légèrement tordu. L. 2,9 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4200 TI). Fer.
- 672 Fragment d'outil (tranchant), probable ciseau droit. Manche massif de section carrée; 2 biseaux abrupts forment un tranchant rectiligne légèrement évasé. L. 2,9 cm; poids 19,6 g. (CIT 996/4229 TI). Fer.



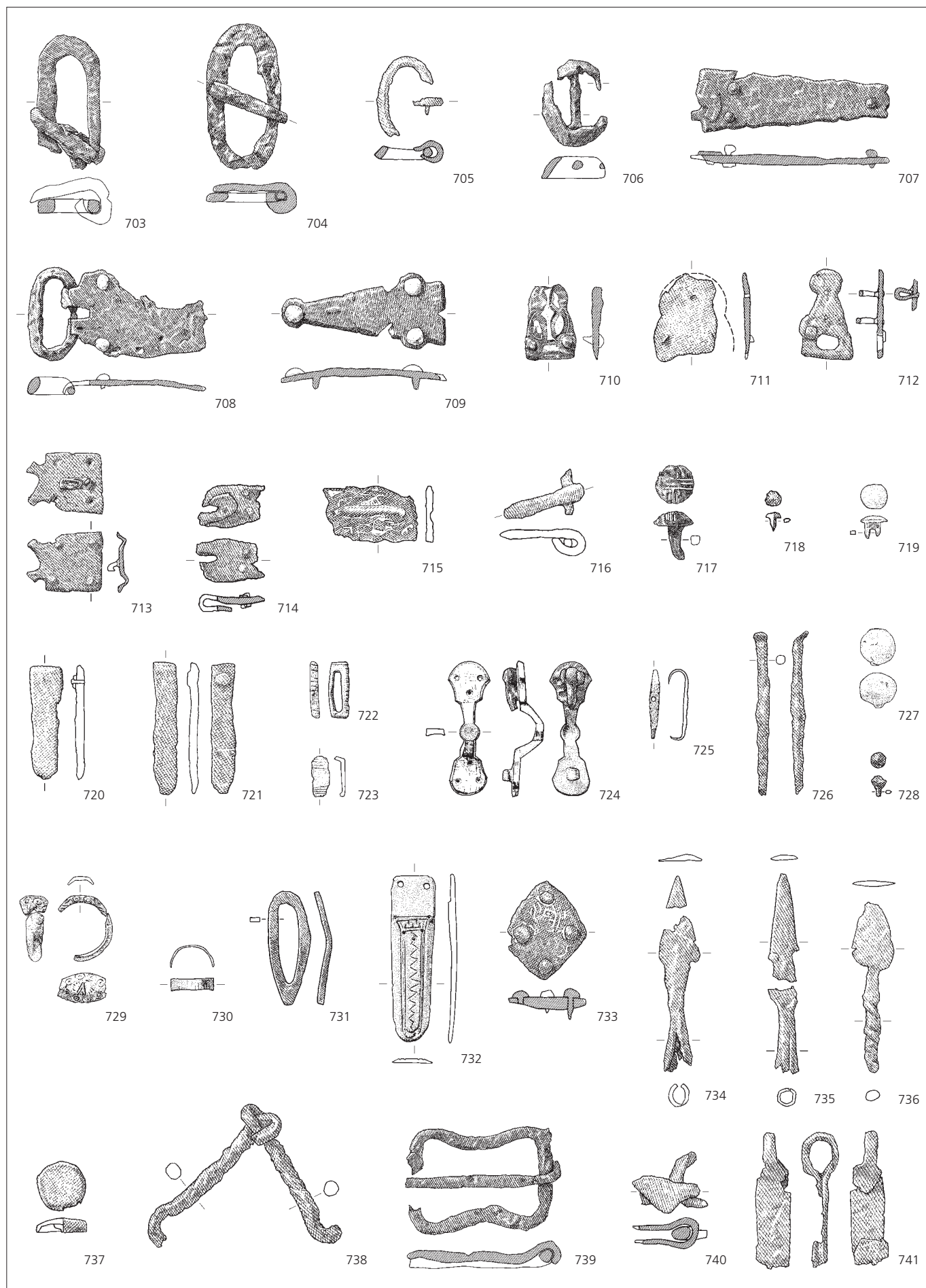
Ferme 5, couche archéologique (suite)

- 673 Serpette. Lame courbée à taillant concave, prolongée par une soie d'emmanchement terminée par un petit retour perpendiculaire. L. 9,6 cm; l. de la lame 2,2 cm; poids 10,6 g. (CIT 996/4173 TI). Fer.
- 674 Battant de sonnaile. Tige de section circulaire à extrémité élargie, amorce de l'anneau de fixation dans sa partie supérieure. L. 8,2 cm; poids 20,3 g. (CIT 996/4161 TI). Fer.
- 675 Battant de sonnaile. Tige de section quadrangulaire à extrémité élargie, recourbée en anneau dans sa partie supérieure. L. 7,6 cm; poids 13,9 g. (CIT 996/4329 TI). Fer.
- 676 Couteau. Forme 3A. L. 14,7 cm; poids 15,2 g. (CIT 996/4075 TI). Fer.
- 677 Couteau. Forme 3B. L. 10,9 cm; poids 8 g. (CIT 996/4092 TI). Fer.
- 678 Couteau. Forme 1A. L. restituée 10,8 cm; poids 6,3 g. (CIT 996/4670 TI). Fer.
- 679 Couteau. Forme 2. L. restituée 10,6 cm; poids 8,4 g. (CIT 996/4236 TI). Fer.
- 680 Couteau. Forme 3B; 3 fragments. L. 5 cm; poids 4,1 g. (CIT 996/4124 TI). Fer.
- 681 Lame de couteau. Forme 1A. L. 6,7 cm; l. 1,7 cm; poids 5 g. (CIT 996/4102 TI). Fer.
- 682 Lame de couteau. Dos légèrement arrondi et tranchant rendu concave par l'usure; la soie n'est pas dans l'axe de la lame. L. 7,5 cm; l. 1,4 cm; poids 4,6 g. (CIT 996/4074 TI). Fer.
- 683 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant convexe; la soie n'est pas dans l'axe de la lame. L. 6,1 cm; l. 1,7 cm; poids 4,4 g. (CIT 996/4326 TI). Fer.
- 684 Pointe de couteau. L. 4,1 cm; poids 3,1 g. (CIT 996/4368 TI). Fer.
- 685 Pointe de couteau. L. 3,3 cm; poids 4,5 g. (CIT 996/4317 TI). Fer.
- 686 Pointe de couteau. L. 3,5 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/4941 TI). Fer.
- 687 Pointe de couteau. L. 2,2 cm; poids 1,3 g. (CIT 996/4081 TI). Fer.
- 688 Soie de couteau. Soie de section rectangulaire, détachée du dos de la lame. L. 5,7 cm; section 1,1 x 0,3 cm; poids 3,3 g. (CIT 996/4197 TI). Fer.
- 689 Lame de forces. Poignée élargie dans le prolongement du dos légèrement convexe; tranchant rectiligne. L. 9,2 cm; l. 1,5 cm; poids 7,6 g. (CIT 996/4097 TI). Fer.
- 690 Lame de forces. Amorce de poignée dans le prolongement du dos convexe; tranchant concave. L. 9,7 cm; l. 1,4 cm; poids 9,3 g. (CIT 996/4103 TI). Fer.
- 691 Lame de forces. Amorce de poignée dans le prolongement du dos rectiligne; tranchant rectiligne. L. 5,4 cm; l. 1,7 cm; poids 7 g. (CIT 996/4465 TI). Fer.
- 692 Lame de forces. Profil légèrement courbé; décrochement entre la poignée et le dos rectiligne. Le tranchant est convexe. L. 4,8 cm; l. 1,4 cm; poids 3,2 g. (CIT 996/4721 TI). Fer.
- 693 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 7,7 cm; poids 5,7 g. (CIT 996/4089 TI). Fer.
- 694 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate terminée par une petite volute extérieure; tige de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 7,9 cm; poids 3,6 g. (CIT 996/4165 TI). Fer.
- 695 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée. L. 5,1 cm; poids 3,3 g. (CIT 996/4277 TI). Fer.
- 696 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée. L. 4,2 cm; poids 3,7 g. (CIT 996/4278 TI). Fer.
- 697 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée. L. 2,6 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/4105 TI). Fer.
- 698 Fiche à bélière. Tête forgée en anneau ouvert de section plate; tige brisée de section carrée. L. 3,2 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/4707 TI). Fer.
- 699 Fiche à bélière. Tête aplatie et tige brisée de section carrée, torsadée dans sa partie haute. L. 5,9 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/4912 TI). Fer.
- 700 Bouclette de buffleterie. Anneau ovale de section ovale oblique. L. 1,3 cm; l. ext./int. 2,1/1,2 cm; poids 1,2 g. (CIT 995/5023 TI). Fer.
- 701 Bouclette de buffleterie. Anneau ovale de section ovale oblique, traverse endommagée. L. 1,8 cm; l. ext./int. 2,1/1,3 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/4169 TI). Fer.
- 702 Bouclette de buffleterie. Anneau ovale endommagé de section ovale oblique; ardiillon sans base partiellement conservé. L. 2,1 cm; poids 2,1 g. (CIT 996/4937 TI). Fer.



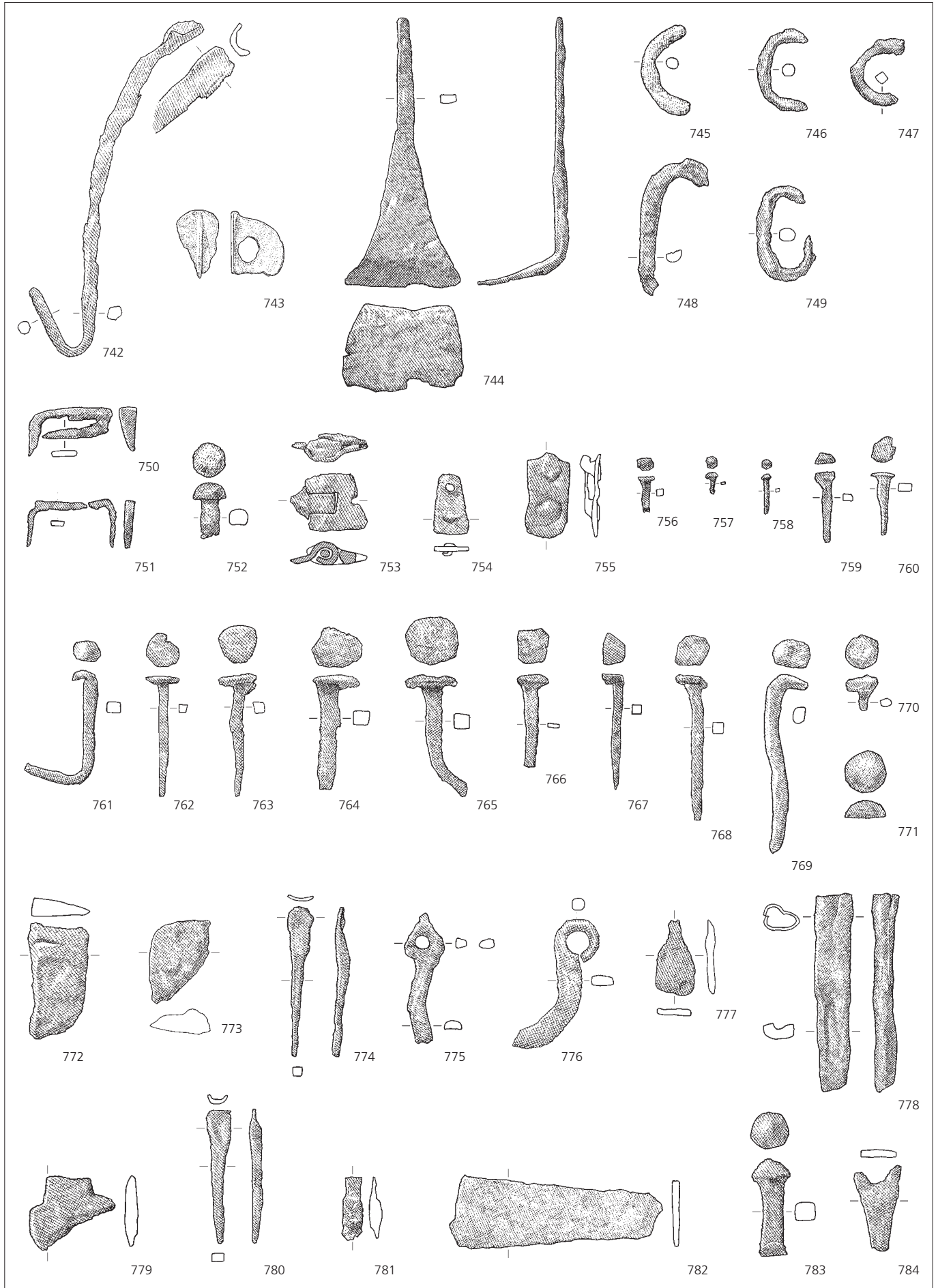
Ferme 5, couche archéologique (suite)

- 703 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section carrée plate, traverse amincie; ardillon sans base replié en crochet sur la traverse. L. 2,5 cm; l. ext./int. 5,3/4 cm; L. de l'ardillon 3,3 cm; poids 15,2 g. (CIT 996/4071 TI). Fer.
- 704 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section rectangulaire plate, traverse amincie de section carrée; ardillon sans base replié en crochet sur la traverse. L. 2,9 cm; l. ext./int. 5,8/4,3 cm; L. de l'ardillon 3,3 cm; poids 12,4 g. (CIT 996/4093 TI). Fer.
- 705 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section rectangulaire oblique; seul le crochet de l'ardillon est conservé. L. conservée 2,3 cm; poids 3 g. (CIT 996/4387 TI). Fer.
- 706 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section rectangulaire oblique comportant une traverse centrale soudée au cuivre; traverse amincie de section circulaire. L. 2,5 cm; l. ext./int. 3,4/2 cm; poids 4,2 g. (CIT 996/4101 TI). Fer.
- 707 Plaque-boucle de ceinture. Plaque trapézoïdale à bords festonnés et extrémité en queue d'aronde, 3 petits rivets de fixation en fer. Les pattes de fixation de la boucle sont endommagées. L. 7,8 cm; ép. 0,3 cm; poids 12,1 g. (CIT 996/4358 TI). Fer.
- 708 Plaque-boucle de ceinture. Plaque endommagée où subsistent deux petits rivets en bronze; boucle ovale de section ovale oblique et traverse amincie de section circulaire. L. totale 7 cm; l. de la plaque 3,3 cm; l. ext./int. de la boucle 3,6/2,6 cm; poids 12,2 g. (CIT 996/4390 TI). Fer.
- 709 Contre-plaque de ceinture. Plaque triangulaire trilobée à bords rectilignes biseautés et profil légèrement arqué; encoche triangulaire sur la base. Fixation originelle par 3 rivets en bronze, remplacés par 2 œillets soudés au revers. L. 6,5 cm; ép. 0,2 cm; poids 8,6 g. (CIT 996/4392 TI). Fer.
- 710 Plaque verticale de ceinture. Forme trapézoïdale à bords festonnés; seuls 2 rivets en fer subsistent. Décor plaqué d'argent avec, traitée en réserve, une composition symétrique d'arceaux probablement rehaussés d'incrustations de laiton. L. 2,9 cm; ép. 0,2 cm; poids 3,6 g. (CIT 995/2500 TI). Fer.
- 711 Plaque verticale de ceinture. L. 3,4 cm; ép. 0,2 cm; poids 3,7 g. (CIT 996/4391 TI). Fer.
- 712 Plaque à œillet de ceinture. Forme triangulaire à un œillet rectangulaire et extrémité protubérante. Les 2 renflements sur les longs côtés marquent l'emplacement habituel des rivets mais la fixation est assurée ici par 2 œillets soudés au revers. L. 3,6 cm; ép. 0,2 cm; poids 3,4 g. (CIT 996/2872 TI). Fer.
- 713 Plaque-boucle de jambière (?). Garniture forgée en une pièce, sans articulation. La plaque rectangulaire comporte 4 fausses têtes de rivet disposées aux angles, la fixation étant assurée par 2 œillets soudés au revers. La boucle brisée, de section plate, est dans le prolongement de la plaque. L. 3 cm; l. 2,4 cm; poids 3,8 g. (CIT 996/2870 TI). Fer.
- 714 Plaque-boucle de chaussure (?). Plaque très étroite avec 2 pattes de fixation de la boucle repliées au revers. La fixation était assurée par 2 petits rivets en fer. L. 2,8 cm; l. 1,7 cm; poids 2,6 g. (CIT 996/4072 TI). Fer.
- 715 Contre-plaque de chaussure. Plaque trapézoïdale à bords festonnés se terminant en queue d'aronde; l'axe médian est traité en creux. Aucun des 3 rivets de fixation n'est conservé. Décor plaqué d'argent avec incrustation de laiton mais les motifs ne sont plus lisibles. L. 3,6 cm; l. 2,2 cm; poids 4,3 g. (CIT 996/4344 TI). Fer.
- 716 Ardillon de buffleterie. Forme simple sans base, repliée en crochet sur la traverse. L. 3,3 cm; poids 3,1 g. (CIT 995/5017 TI). Fer.
- 717 Rivet de buffleterie. Tête hémisphérique pleine et tige brisée de section carrée. Décor cruciforme de fils de laiton incrustés. L. 1,9 cm; diam. de la tête 1,5 cm; poids 3,2 g. (CIT 996/4223 TI). Fer.
- 718 Rivet de buffleterie. Tête hémisphérique creuse et tige brisée de section carrée. L. 0,7 cm; diam. de la tête 0,6 cm; poids 0,2 g. (CIT 996/4665 TI). Fer.
- 719 Rivet de buffleterie. Tête circulaire légèrement bombée; languette de fixation rectangulaire et perforée. L. 0,9 cm; diam. de la tête 1 cm; poids 1,1 g. (CIT 996/2907 TI). Bronze.
- 720 Ferret de buffleterie. Base avec un rivet de fixation et rondelle complémentaire au revers; extrémité distale arrondie. L. 4,5 cm; ép. 0,3 cm; poids 4,8 g. (CIT 996/4164 TI). Fer.
- 721 Ferret de buffleterie. Base à un rivet de fixation et extrémité distale arrondie. L. 5,1 cm; ép. 0,3 cm; poids 3,1 g. (CIT 996/4271 TI). Fer.
- 722 Passant de buffleterie. Forme rectangulaire resserrée de section arrondie. Décor incisé de rainures transversales. L. 0,3 cm; l. int. 1,5 cm; poids 1,3 g. (CIT 996/2895 TI). Bronze.
- 723 Passant de buffleterie (?). Corps fragmenté de section plate. Décor incisé de rainures transversales regroupées. L. 0,7 cm; l. int. 1,2 cm; poids 0,3 g. (CIT 996/2903 TI). Bronze.
- 724 Fibule ansée symétrique. Pieds scutiformes reliés par une anse massive avec médaillon circulaire à son sommet. Au revers: 2 languettes et goupille pour la fixation et l'articulation de l'ardillon en fer (brisé) et une languette repliée comme logement de la pointe. La fibule est entièrement plaquée d'argent sur sa face visible; sur chaque pied, 3 cavités circulaires disposées en triangle contenant à l'origine des petites pastilles de verre rouge (2 subsistent). L. 5,2 cm; h. 1,1 cm; poids 11,4 g. (CIT 996/2914 TI). Bronze.
- 725 Agrafe à double crochet. Corps en bandeau aplati avec bords légèrement festonnés et perforation centrale; pointes recourbées et très effilées. L. 2,7 cm; l. du corps 0,4 cm; poids 0,5 g. (CIT 996/2932 TI). Bronze.
- 726 Épingle à extrémité spatulée. La palette ovale est disposée obliquement sur la tige de section circulaire. La pointe est manquante. L. 6,3 cm; diam. de la tige 0,4 cm; poids 2,4 g. (CIT 996/4125 TI). Fer.
- 727 Épingle à tête sphérique. Tête pleine; tige non conservée. L. 1,4 cm; diam. de la tête 1,4 cm; poids 9,9 g. (CIT 996/2897 TI). Bronze.
- 728 Épingle à tête biconique. Tête pleine ramassée; tige de section circulaire mal conservée. L. 0,8 cm; diam. de la tête 0,6 cm; poids 0,2 g. (CIT 996/4581 TI). Fer.
- 729 Bague. Jonc en bandeau «enveloppant», s'élargissant progressivement pour former un chaton ovale. Motif central d'incisions en chevrons bordé d'ocelles. L. max. 1,1 cm; diam. int. 2 cm; poids 2,1 g. (CIT 996/2890 TI). Bronze.
- 730 Bague. Jonc fragmenté de section plate. Diam. int. 1,6 cm; poids 0,4 g. (CIT 996/2908 TI). Bronze.
- 731 Garde de scramasaxe. Corps en forme d'amande; section carrée. L. 4,4 cm; poids 2,9 g. (CIT 996/4829 TI). Fer.
- 732 Ferret de baudrier d'épée. Base fendue endommagée à 2 perforations; extrémité distale arrondie. Le décor est délimité par une double incision linéaire; motifs incisés avec dents de loup, zig-zag et ponctuations profondes. L. 6,5 cm; ép. 0,2 cm; poids 8,2 g. (CIT 996/2899 TI). Bronze.
- 733 Plaque de baudrier d'épée. Forme losangique avec 4 rivets de fixation à tête hémisphérique non décorés. L'ornementation damasquinée d'argent et de laiton n'est plus lisible. L. 3,9 cm; ép. 0,4 cm; poids 12,5 g. (CIT 996/4393 TI). Fer.
- 734 Pointe de flèche. Flamme losangique endommagée, reliée à une douille ouverte de section circulaire. L. restituée 7,6 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4095 TI). Fer.
- 735 Pointe de flèche. Flamme losangique plate reliée à une douille fendue de section circulaire. L. restituée 7,8 cm; poids 4,2 g. (CIT 996/4925 TI). Fer.
- 736 Pointe de flèche. Flamme lancéolée prolongée par une soie torsadée. L. 6,6 cm; poids 6,2 g. (CIT 996/4132 TI). Fer.
- 737 Rivet de fourreau de scramasaxe. Tête circulaire plate à pourtour biseauté débordant au revers. La tige est manquante. Diam. de la tête 2 cm; poids 1,7 g. (CIT 996/4693 TI). Fer.
- 738 Mors de filet. Tiges circulaires recourbées en crochets dans 2 plans perpendiculaires. L. 6,9 et 6,4 cm; poids 14 g. (CIT 996/4224 TI). Fer.
- 739 Boucle de harnais. Anneau rectangulaire aux angles arrondis, resserré latéralement. Long ardillon sans base replié en crochet sur la traverse circulaire. L. 5,9 cm; poids 13 g. (CIT 996/4360 TI). Fer.
- 740 Élément de harnais. Pièce articulée dont ne subsiste qu'une plaque repliée sur un demi-anneau. L. 2,7 cm; poids 5,7 g. (CIT 996/4675 TI). Fer.
- 741 Élément de harnais. Plaque oblongue avec anneau de fixation perpendiculaire à chaque extrémité (1 seul est conservé). L. 5,3 cm; poids 3,7 g. (CIT 996/4713 TI). Fer.



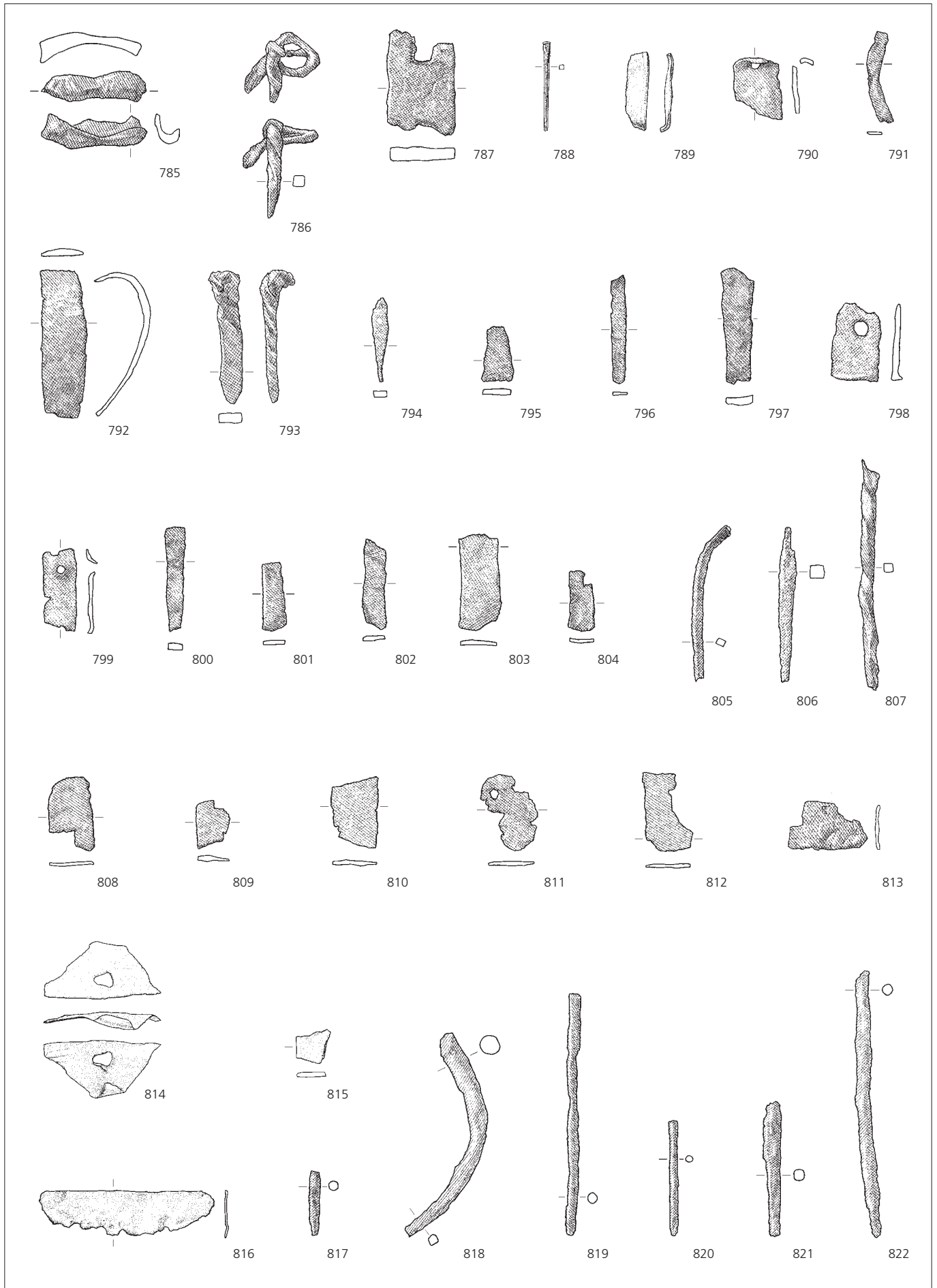
Ferme 5, couche archéologique (suite)

- 742 Anse de seau. Tige torsadée arquée avec extrémité recourbée en crochet; la partie médiane est aplatie et de profil en U. L. 13,9 cm; poids 19,8 g. (CIT 996/4386 TI). Fer.
- 743 Attache d'anse de bassin. Platine endommagée sur laquelle est fixée perpendiculairement l'attache proprement dite. Celle-ci est plate à profil arrondi et comporte une perforation présentant d'importantes traces d'usure. L. 2,4 cm; poids 5 g. (CIT 996/2893 TI). Bronze.
- 744 Raclette. Lame trapézoïdale plate, prolongée perpendiculairement par un manche et une soie d'emmanchement. L. 10,3 cm; poids 20,5 g. (CIT 996/4082 TI). Fer.
- 745 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. L. 3,5 cm; poids 4,4 g. (CIT 995/5013 TI). Fer.
- 746 Anneau. Cercle brisé de section circulaire. Diam. 3,2 cm; poids 2,2 g. (CIT 996/4717 TI). Fer.
- 747 Anneau. Cercle brisé de section quadrangulaire. Diam. 2,7 cm; poids 3,9 g. (CIT 996/4718 TI). Fer.
- 748 Maillon simple. Ovale brisé de section circulaire L. 5,4 cm; poids 6,9 g. (CIT 996/4574 TI). Fer.
- 749 Maillon simple. Ovale brisé de section circulaire. L. 3,8 cm; poids 5,1 g. (CIT 996/4685 TI). Fer.
- 750 Crampon. Fer plat en U à branche effilée. L. 3,3 cm; poids 5 g. (CIT 996/4126 TI). Fer.
- 751 Crampon. Fer plat en U à branches effilées. L. 3,2 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/4669 TI). Fer.
- 752 Rivet. Pièce massive à tête hémisphérique et tige circulaire. L. 2,2 cm; poids 5,8 g. (CIT 996/4143 TI). Fer.
- 753 Chamrière. Plaque rectangulaire perforée et charmons intercalés maintenus par un axe. L. 3 cm; poids 11,5 g. (CIT 996/2869 TI). Fer.
- 754 Ferrure. Plaquette trapézoïdale à 2 clous de fixation. L. 2,3 cm; poids 1,9 g. (CIT 996/4678 TI). Fer.
- 755 Ferrure. Bande plate; 2 clous de fixation à longues tiges repliées à l'arrière. L. 3,3 cm; poids 4,3 g. (CIT 995/5054 TI). Fer.
- 756 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 1,4 cm; section 0,3x0,3 cm; poids 0,3 g. (CIT 996/4345 TI). Fer.
- 757 Clou. Tête hémisphérique décentrée. L. 0,85 cm; section 0,2x0,2 cm; poids 0,3 g. (CIT 996/4388 TI). Fer.
- 758 Clou. Tête hémisphérique centrée. L. 1,6 cm; section 0,2x0,2 cm; poids 0,2 g. (CIT 996/4656 TI). Fer.
- 759 Clou. Tête triangulaire centrée. L. 2,7 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 0,8 g. (CIT 996/4286 TI). Fer.
- 760 Clou. Tête plate, initialement circulaire et centrée. L. 2,3 cm; section 0,6x0,5 cm; poids 1,2 g. (CIT 996/4225 TI). Fer.
- 761 Clou. Tête circulaire plate décentrée; la tige fut retournée dans le bois. L. 4,4 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 5 g. (CIT 996/4167 TI). Fer.
- 762 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 4,7 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 2,4 g. (CIT 996/4179 TI). Fer.
- 763 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 4,7 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4211 TI). Fer.
- 764 Clou. Tête circulaire plate décentrée. L. 4,5 cm; section 0,6x0,6 cm; poids 8,8 g. (CIT 996/4213 TI). Fer.
- 765 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 4,8 cm; section 0,6x0,6 cm; poids 7,8 g. (CIT 996/4359 TI). Fer.
- 766 Clou. Tête carrée plate décentrée. L. 3,6 cm; section 0,6x0,2 cm; poids 2,7 g. (CIT 996/4380 TI). Fer.
- 767 Clou. Tête épaisse, initialement circulaire et décentrée. L. 4,5 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 3,6 g. (CIT 996/4462 TI). Fer.
- 768 Clou. Tête plate, initialement circulaire et centrée. L. 5,5 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 3 g. (CIT 996/4617 TI). Fer.
- 769 Clou. Tête circulaire plate décentrée; tige de section circulaire. L. 6,8 cm; diam. tige 0,6 cm; poids 8,9 g. (CIT 996/4628 TI). Fer.
- 770 Clou. Tête circulaire épaisse centrée. L. 1,3 cm; poids 2,3 g. (CIT 996/4306 TI). Fer.
- 771 Tête de clou. Tête hémisphérique centrée. Diam. de la tête 1,6 cm; poids 2,7 g. (CIT 996/4270 TI). Fer.
- 772 Objet non défini (tranchant). Lame allongée, de section triangulaire, développant un long tranchant courbé. L. 4,5 cm; poids 19,9 g. (CIT 995/5024 TI). Fer.
- 773 Objet non défini (tranchant). Lame épaisse terminée par un large tranchant légèrement arrondi. L. 3,1 cm; poids 10,5 g. (CIT 996/4120 TI). Fer.
- 774 Objet non défini. Tige carrée surmontée d'une palette ovale creuse. L. 5,8 cm; poids 2,8 g. (CIT 995/5073 TI). Fer.
- 775 Objet non défini. Tige courbée surmontée d'une suspense triangulaire. L. 5,3 cm; poids 3,5 g. (CIT 996/4070 TI). Fer.
- 776 Objet non défini. Tige courbée et repliée en anneau de suspension. L. 5,6 cm; poids 6,1 g. (CIT 996/4076 TI). Fer.
- 777 Objet non défini. Tige terminée par un méplat trapézoïdal. L. 2,9 cm; poids 2,1 g. (CIT 996/4078 TI). Fer.
- 778 Objet non défini. Corps à bords relevés formant unegouttière; emmanchement par douille fermée. L. 7,7 cm; poids 14,9 g. (CIT 996/4094 TI). Fer.
- 779 Objet non défini. Corps à bords arrondis, prolongé par un manche rectangulaire. L. 3,5 cm; poids 9,6 g. (CIT 996/4122 TI). Fer.
- 780 Objet non défini. Tige carrée surmontée d'une palette ovale creuse. L. 5,2 cm; poids 2,4 g. (CIT 996/4189 TI). Fer.
- 781 Objet non défini. Fragment étiré en longueur avec traces d'un placage en alliage cuivreux. L. 2,5 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/4205 TI). Fer.
- 782 Objet non défini. Fer méplat de forme trapézoïdale. L. 8,2 cm; poids 21,1 g. (CIT 996/4389 TI). Fer.
- 783 Objet non défini. Tige massive, de section carrée aux angles arrondis, surmontée d'une tête en forme de champignon. L. 3,8 cm; poids 13,2 g. (CIT 996/4577 TI). Fer.
- 784 Objet non défini. Fer plat à extrémité fourchue. L. 3,2 cm; poids 4,2 g. (CIT 996/4688 TI). Fer.



Ferme 5, couche archéologique (suite)

- 785 Objet non défini. Corps bilobé à bords relevés engouttière. L. 4 cm; poids 7,5 g. (CIT 996/4700 TI). Fer.
- 786 Objet non défini. Tige torsadée et nouée sur elle-même. L. 3,9 cm; poids 6,3 g. (CIT 996/4709 TI). Fer.
- 787 Objet non défini. Grand fer plat à une perforation carrée. L. 4,1 cm; poids 19,2 g. (CIT 996/4723 TI). Fer.
- 788 Objet non défini. Tige de section circulaire puis carrée aux angles chanfreinés. L. 3,4 cm; poids 0,6 g. (CIT 996/2902 TI). Bronze.
- 789 Objet non défini. Fragment plat avec bord rectiligne renforcé (lèvre?). L. 3 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/2909 TI). Bronze.
- 790 Bande. Fragment de section rectangulaire, plié sur 1 perforation. L. 2,5 cm; section 1,85x0,2 cm; poids 1,8 g. (CIT 996/4086 TI). Fer.
- 791 Bande. Fragment courbé de section rectangulaire. L. 3,6 cm; section 0,6x0,2 cm; poids 0,7 g. (CIT 996/4133 TI). Fer.
- 792 Bande. Fragment courbé de section rectangulaire. L. 5,8 cm; section 1,7x0,3 cm; poids 7,7 g. (CIT 996/4142 TI). Fer.
- 793 Bande. Fragment torsadé de section rectangulaire. L. 5,2 cm; section 0,7x0,4 cm; poids 7,5 g. (CIT 995/5015 TI). Fer.
- 794 Bande. Fragment pointu de section rectangulaire. L. 3,3 cm; section 0,6x0,3 cm; poids 1,2 g. (CIT 995/5049 TI). Fer.
- 795 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,2 cm; section 1,2x0,3 cm; poids 1,5 g. (CIT 996/4188 TI). Fer.
- 796 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,2 cm; section 0,6x0,15 cm; poids 1,8 g. (CIT 996/4192 TI). Fer.
- 797 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,5 cm; section 1,2x0,4 cm; poids 3,6 g. (CIT 996/4208 TI). Fer.
- 798 Bande. Fragment de section rectangulaire à 1 perforation circulaire. L. 3 cm; section 1,9x0,3 cm; poids 3,9 g. (CIT 996/4395 TI). Fer.
- 799 Bande. Fragment de section rectangulaire à 1 perforation circulaire. L. 3,2 cm; section 1,3x0,2 cm; poids 2,5 g. (CIT 996/4463 TI). Fer.
- 800 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,1 cm; section 0,8x0,35 cm; poids 2,3 g. (CIT 996/4616 TI). Fer.
- 801 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,7 cm; section 0,9x0,3 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/4690 TI). Fer.
- 802 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,5 cm; section 0,8x0,2 cm; poids 2,3 g. (CIT 996/4702 TI). Fer.
- 803 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,8 cm; section 1,6x0,2 cm; poids 4,1 g. (CIT 996/4714 TI). Fer.
- 804 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,4 cm; section 1x0,2 cm; poids 1,4 g. (CIT 996/4926 TI). Fer.
- 805 Barre. Fragment courbé de section carrée. L. 6 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 2,5 g. (CIT 996/4121 TI). Fer.
- 806 Barre. Fragment de section carrée. L. 6,1 cm; section 0,6x0,6 cm; poids 4,9 g. (CIT 996/4313 TI). Fer.
- 807 Barre. Fragment torsadé de section carrée. L. 9 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 10,2 g. (CIT 996/4625 TI). Fer.
- 808 Tôle. Fragment plat. L. 2,9 cm; ép. 0,3 cm; poids 2 g. (CIT 996/4083 TI). Fer.
- 809 Tôle. Fragment plat. L. 1,9 cm; ép. 0,2 cm; poids 0,8 g. (CIT 996/4196 TI). Fer.
- 810 Tôle. Fragment plat. L. 2,8 cm; ép. 0,2 cm; poids 1,7 g. (CIT 996/4206 TI). Fer.
- 811 Tôle. Fragment plat. L. 3 cm; ép. 0,1 cm; poids 1 g. (CIT 996/4332 TI). Fer.
- 812 Tôle. Fragment plat. L. 3,2 cm; ép. 0,1 cm; poids 1,3 g. (CIT 996/4680 TI). Fer.
- 813 Tôle. Fragment plat. L. 3,1 cm; ép. 0,15 cm; poids 1 g. (CIT 996/4931 TI). Fer.
- 814 Tôle. Fragment plat triangulaire à une perforation grossière. L. 4,6 cm; ép. 0,1 cm; poids 2,9 g. (CIT 995/2505 TI). Bronze.
- 815 Tôle. Fragment plat avec bord rectiligne biseauté. L. 1,4 cm; ép. 0,2 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/2901 TI). Bronze.
- 816 Tôle. Fragment plat à un bord rectiligne. L. 6,8 cm; ép. 0,1 cm; poids 2,5 g. (CIT 996/2919 TI). Bronze.
- 817 Tige. Fragment de section circulaire. L. 2,5 cm; diam. 0,4 cm; poids 0,8 g. (CIT 996/4177 TI). Fer.
- 818 Tige. Fragment courbé de section circulaire. L. 8,1 cm; diam. 0,8 cm; poids 10,9 g. (CIT 996/4073 TI). Fer.
- 819 Tige. Fragment de section circulaire. L. 9,4 cm; diam. 0,45 cm; poids 4 g. (CIT 996/4203 TI). Fer.
- 820 Tige. Fragment de section circulaire. L. 4,5 cm; diam. 0,35 cm; poids 3 g. (CIT 996/4235 TI). Fer.
- 821 Tige. Fragment de section circulaire. L. 5,2 cm; diam. 0,8 cm; poids 4,7 g. (CIT 996/4289 TI). Fer.
- 822 Tige. Fragment de section circulaire. L. 10,4 cm; diam. 0,5 cm; poids 8,7 g. (CIT 996/4691 TI). Fer.



Ferme 6**Bâtiment D, trou de poteau 16**

823 Aiguille. Fine tige de section circulaire; la pointe manque. L. 7,6 cm; poids 2,8 g. (CIT 996/4961 TI). Fer.

Couche archéologique

824 Enclume à tige. La table circulaire et légèrement convexe est prolongée, après un décrochement, par tige massive de section carrée aux angles arrondis. L. 2,8 cm; poids 114,7 g. (CIT 996/4863 TI). Fer.

825 Ciseau à pointe. Le manche court et massif, de section carrée, s'amincit rapidement jusqu'à la pointe. La tête globulaire est fortement endommagée. L. 10 cm; poids 80,5 g. (CIT 995/4747 TI). Fer.

826 Poinçon. Manche brisé de section circulaire; la fine pointe est endommagée et tordue. L. 5,8 cm; poids 11,9 g. (CIT 996/4873 TI). Fer.

827 Aiguille. Fine tige courbée de section circulaire. L. 10 cm; poids 5,7 g. (CIT 996/4901 TI). Fer.

828 Alène. Manche quadrangulaire prolongé symétriquement par 2 pointes effilées mais brisées; un est de section circulaire. L. 3,9 cm; poids 1,6 g. (CIT 996/4260 TI). Fer.

829 Dent de râteau (?). Tige cylindrique à profil arqué et pointe émoussée. Emmanchement assuré par deux retours latéraux formant une douille ouverte. L. 11 cm; diam. de la douille 1,6 cm; poids 38,2 g. (CIT 996/4871 TI). Fer.

830 Lame de couteau. Dos rectiligne et tranchant corrodé; la soie est détachée de la lame. L. 5,5 cm; l. 2,3 cm; poids 9,1 g. (CIT 996/4870 TI). Fer.

831 Pince à épiler. Lame de section rectangulaire, repliée et formant ressort. Les mâchoires sont dans le prolongement des branches. L. 3,6 cm; poids 3,9 g. (CIT 996/4969 TI). Fer.

832 Boucle de ceinture. Anneau ovale de section ovale oblique, traverse amincie de section circulaire; ardillon sans base replié en crochet sur la traverse. Décor d'incisions transversales en groupes de 2 sur l'anneau. L. 2 cm; l. ext./int. 4/3 cm; L. de l'ardillon 2,2 cm; poids 6,6 g. (CIT 996/4726 TI). Fer.

833 Boucle de ceinture. Anneau trapézoïdal de section circulaire sur le long côté, rectangulaire oblique sur les deux autres; traverse amincie de section circulaire. L. 2,3 cm; l. ext./int. 4,6/3,2 cm; poids 5,6 g. (CIT 996/4396 TI). Fer.

834 Plaque-boucle de jambière. Coulée d'une seule pièce, plaque triangulaire dont le contour dessine 3 protubérances imitant l'emplacement de rivets; fixation par une languette à œillet au revers. Boucle ovale et plate; une perforation circulaire pour la fixation de l'ardillon (manquant). Décor incisé de 3 ocelles sur la plaque à l'emplacement habituel des rivets, hachures sur la boucle. L. totale 3,5 cm; l. int. boucle 1,3 cm; poids 3,1 g. (CIT 995/2507 TI). Bronze.

835 Rivet de buffleterie. Tête hémisphérique creuse soulignée d'une bordure lisse à sa base. L. 0,8 cm; diam. de la tête 1,4 cm; poids 1,9 g. (CIT 996/2923 TI). Bronze.

836 Boucle d'oreille. Anneau de fermeture déformé et brisé, une extrémité recourbée en crochet. Pendant massif, en forme d'octaèdre allongé, avec partie intermédiaire d'articulation composée de deux boutons facetés; œillet circulaire à l'extrémité inférieure. Décor identique sur chacune des 4 faces: 2 ocelles incisées encadrent 1 pastille de verre rouge incrustée dans une cavité circulaire (1 seule est conservée). L. du pendant 2,8 cm; poids 4,1 g. (CIT 996/2930 TI). Bronze.

837 Chaînette. Maillons à tige de section rectangulaire et extrémités courbées en S dans un même plan. L. (maillon) 2 cm; section 0,2x0,1 cm; poids 0,5 g. (CIT 996/3064 TI). Bronze.

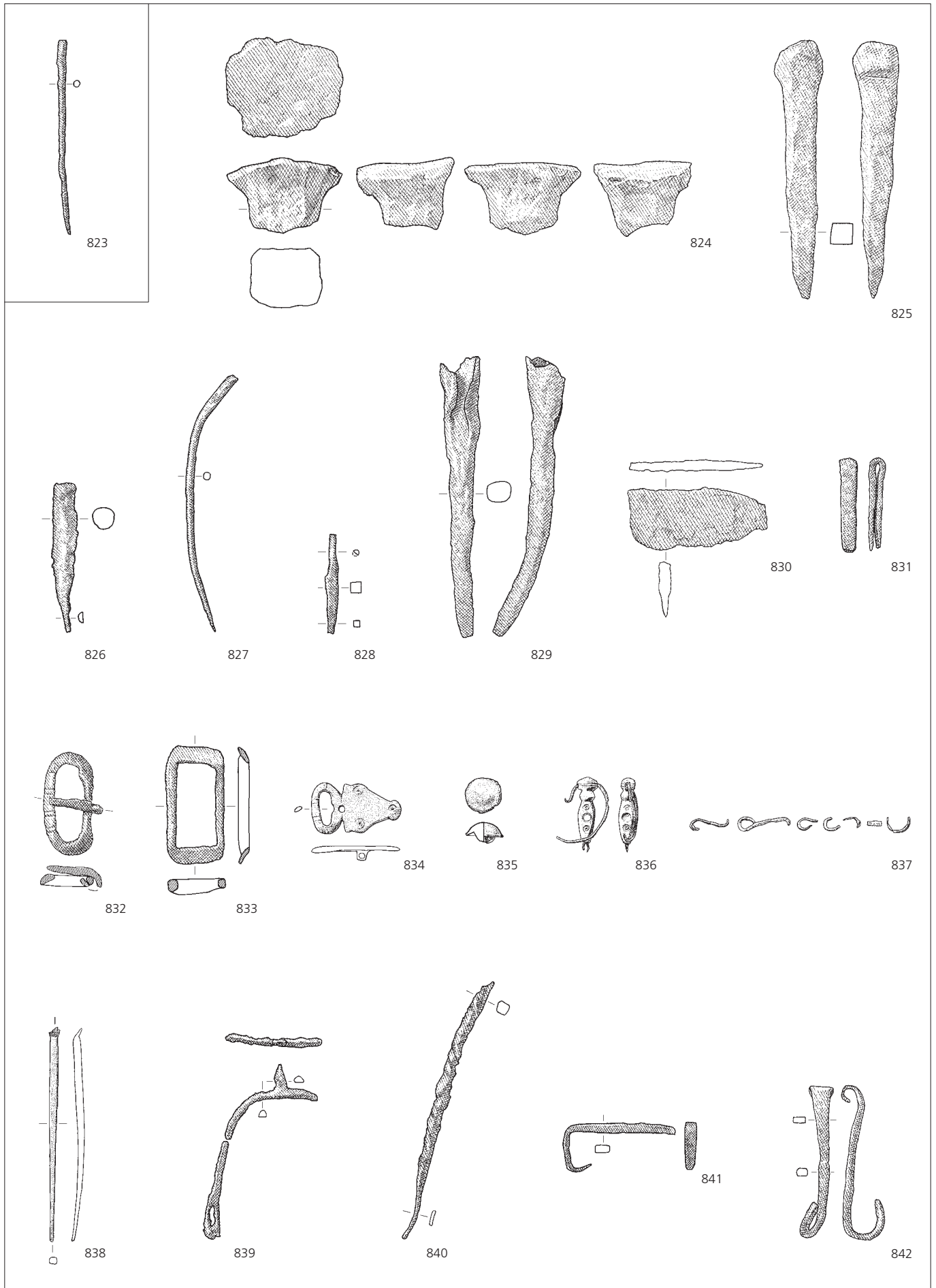
838 Épingle à extrémité spatulée. La palette ovale brisée est disposée obliquement sur la tige de section circulaire partiellement facetée. L. 8,3 cm; diam. de la tige 0,3 cm; poids 2,9 g. (CIT 995/2506 TI). Bronze.

839 Éperon à passants. Branches de section semi-circulaire et courte pointe conique; extrémités forgées en passant rectangulaire. L. minimale 6,8 cm; poids 4,6 g. (CIT 996/4855 TI). Fer.

840 Anse de seau (?). Tige torsadée, légèrement arquée, avec une extrémité recourbée. L. 10,5 cm; poids 9 g. (CIT 996/4902 TI). Fer.

841 Crampon. Fer plat en U à branche effilée partiellement repliée. L. 4,4 cm; poids 4,3 g. (CIT 996/4889 TI). Fer.

842 Crochet mobile. Tige rectangulaire à pointe et crochet dans le même plan. L. 5,9 cm; poids 6,3 g. (CIT 995/5074 TI). Fer.



Ferme 6, couche archéologique (suite)

- 843 Clou. Têteglobulaire et tige à bords chanfreinés. L. 7,1 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 12,2 g. (CIT 996/4724 TI). Fer.
- 844 Clou. Tête circulaire plate centrée. L. 5,1 cm; section 0,3x0,3 cm; poids 2,9 g. (CIT 996/4892 TI). Fer.
- 845 Clou. Tête plate, initialement circulaire et centrée. L. 7,1 cm; section 0,4x0,4 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4894 TI). Fer.
- 846 Objet non défini. Palette trapézoïdale séparée de la tige par un épaulement oblique. L. 8,9 cm; poids 18,6 g. (CIT 995/5025 TI). Fer.
- 847 Objet non défini. Tige repliée en crochet. L. 2,4 cm; poids 2,2 g. (CIT 996/4397 TI). Fer.
- 848 Objet non défini. Manche rectangulaire surmonté d'une suspense ovale. L. 3,3 cm; poids 5,6 g. (CIT 996/4866 TI). Fer.
- 849 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 3,4 cm; section 1,4x0,5 cm; poids 5,4 g. (CIT 996/4864 TI). Fer.
- 850 Bande. Fragment de section rectangulaire à une perforation circulaire. L. 2,4 cm; section 2,1 x 0,2 cm; poids 3,4 g. (CIT 996/4874 TI). Fer.
- 851 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 2,3 cm; section 1,3x0,2 cm; poids 1,7 g. (CIT 996/4875 TI). Fer.
- 852 Bande. Fragment courbé en S de section rectangulaire. L. 6,7 cm; section 1,2x0,3 cm; poids 8,1 g. (CIT 996/4885 TI). Fer.
- 853 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 4,5 cm; section 1,5x0,2 cm; poids 3 g. (CIT 996/4888 TI). Fer.
- 854 Bande. Fragment de section rectangulaire. L. 6,1 cm; section 1,1x0,3 cm; poids 9,2 g. (CIT 996/4896 TI). Fer.
- 855 Barre. Fragment torsadé de section anguleuse. L. 8,9 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 7 g. (CIT 995/5026 TI). Fer.
- 856 Barre. Fragment légèrement torsadé de section carrée. L. 6,5 cm; section 0,5x0,5 cm; poids 4,8 g. (CIT 996/4862 TI). Fer.

- 857 Barre. Fragment de section carrée terminé en pointe. L. 6,3 cm; section 0,35x0,35 cm; poids 3,5 g. (CIT 996/4966 TI). Fer.
- 858 Tôle. Fragment plat. L. 6,8 cm; ép. 0,2 cm; poids 17,8 g. (CIT 996/4853 TI). Fer.
- 859 Tôle. Fragment plat. L. 3,8 cm; ép. 0,2 cm; poids 2,9 g. (CIT 996/4903 TI). Fer.
- 860 Tube. Fragment de section circulaire creuse. L. 4,1 cm; diam. ext. 1,1 cm; ép. 0,15 cm; poids 1,8 g. (CIT 996/4860 TI). Fer.
- 861 Fragment informe. L. 3,5 cm; poids 14,5 g. (CIT 995/5031 TI). Fer.

Contexte inconnu**Ferme 1 ou Ferme 2****Couche archéologique**

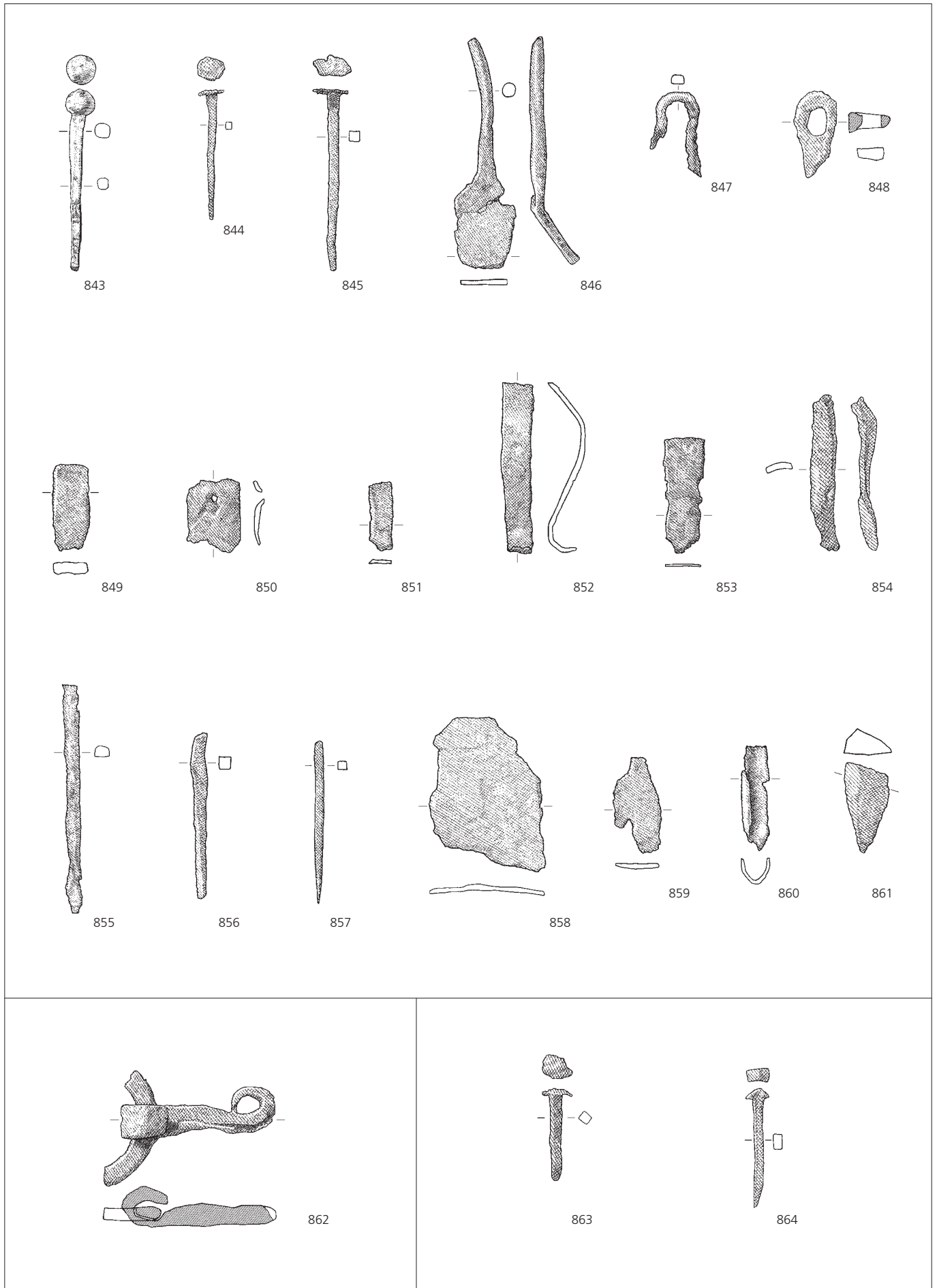
- 862 Mors de filet. Tige quadrangulaire massive recourbée en crochets dans 2 plans perpendiculaires. Restes d'un anneau de section ovale. L. 6 cm; diam. estimé de l'anneau 5 cm; poids 21,8 g. (DEV 995/824 PR). Fer.

Objets modernes analysés**Ferme 1****Bâtiment F, empierrement 129**

- 863 Clou moderne. Tête plate, initialement circulaire et centrée; tige de section losangique. Fer puddlé moderne, forgé par refoulement et élargissement. L. 3,6 cm; poids 3,3 g. (DEV 993/1841 PR). Fer.

Ferme 6**Couche archéologique**

- 864 Clou moderne. Tête triangulaire; tige de section rectangulaire. Fer puddlé moderne, forgé par refoulement et élargissement. L. 4,6 cm; poids 5,6 g. (CIT 996/4878 TI). Fer.



Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien



CAJ 13, 2004

1 Structures et matériaux de construction

Auteurs : *Maruska Federici-Schenardi et Robert Fellner. Avec des contributions de Sandrine Davila Prado, Michel Guélat, Sarah Stékoffer, Werner Schoch, Patrick Gassmann, Christian Simon et Christiane Kramar.*

Le site de Develier-Courtételle est localisé dans l'Arc jurassien, à 450m d'altitude, dans un vallon latéral de la vallée de Delémont parcouru par le ruisseau La Pran (Canton du Jura, Suisse). Découverte en 1987 lors de sondages archéologiques liés à la construction de l'autoroute A16, cette agglomération rurale du Haut Moyen Age a été fouillée par la Section d'archéologie de l'Office de la culture sur 3,5ha entre 1993 et 1996 (chap. 1). Les résultats de ces recherches sont publiés en cinq volumes dans les Cahiers d'archéologie jurassienne (CAJ 13 à 17). Ce premier volume de la série est consacré aux structures et aux matériaux de construction.

Les structures découvertes sur le site s'inscrivent, pour la très grande majorité, dans un contexte stratigraphique datant du Haut Moyen Age. L'état de conservation de l'horizon mérovingien est tributaire de l'activité ininterrompue du ruisseau : par endroits presque complètement érodé, il peut s'épaissir et présenter parfois plusieurs phases sédimentaires (chap. 2).

Les techniques de fouille et les analyses spécialisées mises en œuvre sont détaillées dans le chapitre 3. Les analyses micromorphologiques, particulièrement importantes pour l'étude de l'aménagement et de la fonction des structures, sont développées dans le chapitre 19.

Les structures découvertes dessinent plusieurs ensembles définissant des fermes ou des zones d'activité spécifique (chap. 4). Étalées le long du cours d'eau et séparées l'une de l'autre par des fossés ou par des espaces dépourvus de tout aménagement, six fermes et quatre zones d'activité ont ainsi été individualisées. Chacun de ces ensembles est décrit de façon détaillée (chap. 5 à 14).

Les fermes se composent toutes d'au moins une maison à laquelle sont associés plusieurs bâtiments annexes, notamment de petits

bâtiments à quatre poteaux d'angle et/ou des cabanes en fosse. À l'intérieur ou autour de ces bâtisses se trouvent des fours, des foyers, des fosses ainsi que des empièvements et des zones de rejet. La composition et la durée d'occupation des différentes fermes varient considérablement.

Les quatre zones d'activité se situent à l'extérieur des fermes. Deux d'entre elles – les zones 1 et 4 – étaient principalement affectées au travail du fer. Le rôle des deux autres zones est moins clair.

Quatorze grands bâtiments, dix bâtiments annexes de taille moyenne, quarante bâtiments annexes de petite taille et seize cabanes en fosse se répartissent, à quatre exceptions près, dans les fermes. Les plans des maisons et des bâtiments annexes de taille moyenne, à une ou deux nefs, sont pour la plupart matérialisés par des trous de poteau alignés. L'emploi de solins en pierre sèche et de sablières basses est également attesté sur le site.

Six fours et vingt-quatre foyers se placent également, à une exception près, dans les fermes, parfois directement à l'intérieur des maisons. Ces structures ont pour la plupart une fonction culinaire. Une douzaine de bas foyers et quatre aires de forge témoignent, eux, du travail du raffinage et du forgeage du fer qui atteint un développement remarquable. La plupart de ces structures se concentrent à l'intérieur des deux zones d'activité dédiées à la métallurgie. Parmi les structures singulières, il faut encore signaler deux tombes isolées et un puits.

Deux ensembles de structures spécifiquement liées au ruisseau ont été mis au jour en périphérie des zones habitées. Il s'agit de plusieurs rangées de piquets avec tressage destinées à consolider la berge au sud des fermes 1 et 2, et d'une série de trois bassins artificiels creusés au nord de la zone d'activité 4 et probablement utilisés pour le trempage du bois de construction. Également liés à l'exploitation de l'eau, des secteurs artisanaux voués au travail des textiles sont situés en bordure sud des fermes 1 et 2 ; ils sont rattachés à ces dernières par des accès empièrés.

Les zones humides en bordure du ruisseau ont favorisé la conservation du bois. Les résultats de l'étude des éléments architecturaux et des déchets de taille donnent une image précise des choix technologiques opérés par les habitants du hameau de Develier-Courtételle pour cette matière (chap. 15).

Des tuiles, briques et carreaux – d'origine gallo-romaine mais récupérés au Haut Moyen Age – ont été réemployés dans la construction de structures de combustion (chap. 16). Des fragments de torchis, en faible quantité, y sont associés.

L'approche comparative des caractéristiques propres aux structures rencontrées à Develier-Courtételle montre de claires parentés architecturales avec de nombreux sites contemporains en Suisse, en France et en Allemagne (chap. 17). Une évolution chronologique de l'architecture des bâtiments peut être proposée sur la base de nombreuses datations C¹⁴. Les petites constructions à deux nefs de la deuxième moitié du 6^e siècle font place, dans le courant du 7^e siècle, à des maisons trapues à nef unique qui sont à leur tour remplacées, dès la fin du 7^e siècle, par des bâtiments allongés comportant à nouveau deux nefs. La reconstitution en élévation d'une série de bâtiments est tentée à partir des données architecturales. Les résultats d'une analyse des sources historiques portant sur la construction rurale (chap. 18) viennent enrichir cette démarche.

Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien



CAJ 15, 2006

3 Céramiques et autres objets en pierre, verre, os, bois et ou terre cuite

Auteurs: Reto Marti, Gisela Thierrin-Michael, Marie-Hélène Paratte Rana, Robert Fellner, Vincent Friedli, Jean-Pierre Mazimann et Sandrine Basset. Avec des contributions de Jehanne Affolter et de Thierry Rebmann.

Ce volume dévoile les résultats des recherches effectuées sur les multiples objets en céramique, pierre, verre, ambre, bois, os et terre cuite recueillis dans ce hameau mérovingien de la vallée de Delémont.

La part belle est donnée à l'étude des plus de mille *réipients en céramique* destinés à la préparation, au conditionnement ou à la consommation des aliments. Datées du 6^e au 8^e siècle par de nombreuses comparaisons typologiques, les poteries à usage culinaire et la vaisselle de table constituent un éventail relativement réduit de formes de base (pots à cuire, cruches, gobelets, écuelles, bols) dont les parties, les bords notamment, sont néanmoins plus diversifiés, à l'instar des pâtes.

Des études physico-chimiques et pétrographiques des pâtes céramiques ont été menées parallèlement à l'approche archéologique classique. Cette approche interdisciplinaire a permis de reconnaître l'origine majoritairement exogène des poteries de Develier-Courtételle dont les lieux de production ont été reconnus dans la région bâloise, en Bourgogne et en Alsace principalement.

C'est par contre de l'espace alpin que proviennent une trentaine de *marmites en pierre ollaire*, complément de la batterie de cuisine en céramique. La *vaisselle en verre*, quant à elle, consiste essentiellement en un ensemble restreint de petits gobelets des 6^e et 7^e siècle. Du point de vue fonctionnel, ces objets s'ajoutent au service de table.

L'*outillage lithique* est composé d'environ deux cents objets, dont la moitié sont des éléments de briquet en silex. Selon l'analyse pétrographique, quasi tous ces objets sont importés, malgré le fait que deux tiers sont des fragments naturels. La source principale est sise en Ajoie, une autre source importante se trouvant dans la vallée de la Meuse. La cinquantaine de fragments de meule, provenant des Vosges, correspond à des meules rotatives, soit hydrauliques, soit manuelles. Un bon ensemble d'aiguiseurs de taille et de forme variée complète l'inventaire de l'outillage en pierre.

Le *meublier en bois* est discrètement représenté mais compte des pièces très intéressantes, par exemple un alluchon, des navettes et la douelle d'un seau.

Les *éléments de parure en pâte de verre et en ambre* se rapportent de manière quasi exclusive à des perles attribuables en priorité au 7^e siècle. L'«ambre balte» ou succin est importé d'Europe septentrionale.

Une petite série d'*objets en os travaillé* met en évidence plusieurs opérations ou activités – filage, tissage et couture – liées au travail des matières textiles. Des éléments très fragmentés de peignes constituent l'autre composante essentielle de ce mobilier.

Le volume s'achève sur la présentation d'un lot d'*objets en terre cuite* composé d'une dizaine de fusaïoles, d'un fragment de peson et de quelques disques de fonction inconnue.

Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien



CAJ 16

4 Environnement et exploitation du terroir au début du Moyen Age

Auteurs : Michel Guélat, Christophe Brombacher, Claude Olive, Lucia Wick et Anne-Marie Rachoud-Schneider. Avec des contributions de Luc Braillard, Jacques Burnand et Marlies Klee.

Cet ouvrage présente les données environnementales acquises sur le gisement archéologique et ses environs. L'analyse spécialisée des indices collectés sur le terrain produit de nombreuses informations que les auteurs ont fait converger sur deux thèmes principaux. Le cadre naturel du hameau médiéval, avec les différentes composantes du paysage de l'époque, est tout d'abord reconstitué. En second lieu, un essai concernant les pratiques agricoles est tenté, afin de mieux comprendre comment l'homme du Haut Moyen Age faisait appel aux ressources de son environnement.

De type interdisciplinaire, cette synthèse résulte donc d'approches distinctes réalisées en parallèle à la recherche purement archéologique.

Les *études géologiques* ont pour objet les successions de sédiments et leur géométrie. Après une présentation de la stratigraphie du site et de ses environs, ces travaux conduisent à une reconstitution paléogéographique comprenant des zones aménagées par

les villageois, mais aussi à des résultats plus généraux concernant l'hydrologie et l'évolution du paysage local.

Grâce à l'excellente conservation de restes végétaux enfouis dans les couches organiques du chantier, l'*analyse palynologique* a permis d'apprécier les modifications du paysage végétal environnant (défrichements, champs cultivés) consécutives à l'implantation du hameau et d'appréhender une partie des pratiques agro-pastorales (cultures céréalières et textiles, pâturages) caractéristiques de l'époque mérovingienne.

Grâce à l'*analyse des macrorestes végétaux*, la liste des différentes plantes cultivées au début du Moyen Age peut être dressée – en particulier celle des céréales. En outre, à partir des plantes sauvages découvertes sur le site, la reconstruction de la végétation médiévale des environs et l'évaluation de l'influence anthropogène au niveau agricole sont entreprises.

La végétation forestière actuelle, les relations entre conditions stationnelles (pédologiques en particulier), végétation naturelle et aptitude à la culture permettent dans une *approche géobotanique* la reconstitution approximative de la répartition des surfaces forestières et cultivées au 7^e siècle, ainsi que celle des types de stations forestières. Sur cette base, une détermination des endroits d'origine des bois retrouvés dans les fouilles est élaborée.

L'étude *archéozoologique* porte sur l'analyse des restes osseux d'animaux, représentant les rejets culinaires des villageois durant l'occupation du site. La part du bétail ainsi que celle des animaux chassés ou piégés rend possible la définition des habitudes alimentaires, de nature carnée, des occupants des différentes maisons au cours du temps. La représentation des animaux du cheptel, ainsi que l'étude des âges d'abattage donne la tendance de l'élevage sur ce terroir.

En compilant les différents acquis issus d'un gisement aussi riche en renseignements que celui de Develier-Courtételle, cet ouvrage apporte un éclairage approfondi sur une période qui reste encore assez mal connue du point de vue des milieux naturels. Par l'identification des techniques agricoles et du degré d'exploitation de la forêt, l'influence des activités humaines sur l'environnement peut ainsi être mieux évaluée pour le Haut Moyen Age en contexte rural. Mais d'autres thématiques à caractère plus général, comme des mutations d'ordre géomorphologique ou climatique, émergent également à partir des résultats de cette recherche.

Présentation des autres volumes consacrés à Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien



CAJ 17

5 Analyse spatiale, approche historique et synthèse. Vestiges gallo-romains

Auteurs : Robert Fellner et Maruska Federici-Schenardi. Avec des contributions de Céline Robert-Charrie Linder, Sarah Stékoffer, Michel Guélat, Gisela Thierrin-Michael et Jean-Daniel Demarez.

Ce dernier volume de l'étude est organisé en trois volets présentant respectivement une analyse spatiale du mobilier, le contexte historique et archéologique dans lequel le site évolue et fonctionne, ainsi que l'étude des vestiges gallo-romains mis au jour lors de la fouille.

La première partie de l'ouvrage, réservée à l'analyse spatiale du mobilier, ouvre avec une réflexion théorique et méthodologique de l'approche choisie. Celle-ci est complétée par un survol historique du rôle de l'analyse spatiale dans les études archéologiques suisses durant les dernières 25 années. Ces réflexions d'ordre général précèdent l'étude de la répartition sur le site des objets en terre cuite et de la faune. L'analyse spatiale des autres catégories de mobilier, développée dans les volumes précédents de la série consacrée au site, est reprise dans une approche comparative qui permet de proposer une reconstitution des comportements de rejet et la localisation des activités. Confrontées avec l'emplacement des structures, ces informations permettent de mieux saisir l'organisation de l'habitat.

La deuxième partie de ce volume s'ouvre avec un chapitre réservé à la présentation du *cadre historique* général et à l'analyse de la situation politique de la région du Jura pendant le Haut Moyen Âge. Les sources qui portent sur les événements locaux y sont traitées avec une attention particulière.

Un survol des découvertes archéologiques récentes permet ensuite de mieux préciser le contexte de *peuplement* dans lequel se réalise l'installation du hameau de Develier-Courtételle qui précède la fondation de l'abbaye de Moutier-Grandval. L'occupation du site correspond à une phase de développement important dans toutes les vallées du Jura. Cette évolution peut être perçue à travers l'étude des habitats, des sites liés à la sidérurgie et des nombreuses nécropoles connues, elles, depuis le 18^e siècle déjà.

Le *développement de l'habitat* de Develier-Courtételle lui-même peut être suivi à partir de ses premières installations, datant de la deuxième moitié du 6^e siècle. Le hameau atteint son extension maximale pendant les premières décennies du 7^e siècle avant de subir un abandon partiel durant la deuxième moitié de ce même siècle. Il est délaissé définitivement vers le milieu du 8^e siècle.

Du point de vue de l'*économie*, le travail du fer constitue un pôle central dès la fondation du hameau jusque dans la deuxième moitié du 7^e siècle. En outre, d'autres activités telles que l'agriculture, l'élevage ou le travail des textiles se déroulent en parallèle et sont encore pratiquées après l'abandon de la sidérurgie. Les échanges semblent avoir joué un rôle important dans l'économie villageoise et leur réseau, reconstitué partiellement grâce aux analyses des matières premières diverses, est plutôt extensif.

Suit une réflexion sur la *structure sociale* des habitants, dévoilée partiellement par les vestiges archéologiques. Une *conclusion générale*, dans laquelle le site est inséré dans un cadre régional et européen, clôt l'étude de l'occupation médiévale.

La troisième et dernière partie de l'ouvrage présente les résultats de l'étude des *vestiges gallo-romains* mis au jour sur le site. Parmi les structures, un champ de fosses d'extraction d'argile et un chemin sont à relever. En outre, un modeste corpus de céramique, datant essentiellement des 1^{er} et 2^e siècles, a été retrouvé non seulement dans les structures contemporaines, mais également comme éléments résiduels dans les niveaux médiévaux. Ceci s'applique également à un petit ensemble d'objets métalliques. Les deux ensembles font l'objet d'une présentation détaillée.

Table des illustrations

Fig. 1	Situation géographique du site de Develier-Courtételle.....	9
Fig. 2	Vue d'ensemble du site présentant les différents ensembles de structures.....	9
Fig. 3	Périodes d'occupation des fermes de Develier-Courtételle en liaison avec le travail du fer effectué sur place.....	10
Fig. 4	Extension du district sidérurgique du Jura central suisse avant l'an mil (en gris), avec l'emplacement du site de Develier-Courtételle.....	13
Fig. 5	Chaîne opératoire de la métallurgie du fer (filière directe dans un bas fourneau à scories coulées).....	14
Fig. 6	Concept de l'étude.....	16
Fig. 7	Données quantitatives globales, réparties par catégories de déchets.....	19
Fig. 8	Part des principales catégories de déchets par rapport à leur poids.....	19
Fig. 9	Part des principales catégories de déchets par rapport au nombre de fragments.....	19
Fig. 10	Caractéristiques chimiques des scories et des autres déchets étudiés par WD-XRF.....	20
Fig. 11	Diagrammes ternaires de la composition chimique des matériaux étudiés par WD-XRF.....	21
Fig. 12	Fayalite de forme squelettique, équi-granulaire et en latte, dans la matrice vitreuse.....	22
Fig. 13	Fayalite de forme squelettique en latte cristallisée avec leucite au bord.....	22
Fig. 14	Dendrites de wustite sur fayalite en latte.....	22
Fig. 15	Dendrites de wustite et spinelle d'hercynite sur fayalite en latte.....	23
Fig. 16	Dendrites de wustite sur fayalite en latte avec bord zoné et aiguilles de rhönite.....	23
Fig. 17	Cristaux de leucite idiomorphes.....	23
Fig. 18	Diagramme d'équilibre du système fer-carbone.....	24
Fig. 19	Fer avec structure recristallisée à petits grains de ferrite.....	25
Fig. 20	Fer avec structure de déformation à froid, montrant la ferrite écrouie.....	25
Fig. 21	Acier hypoeutectoïde à structure de ferrite avec cémentite aux joints des grains.....	25
Fig. 22	Acier eutectoïde à structure de perlite lamellaire.....	25
Fig. 23	Acier hypereutectoïde à structure de perlite et de cémentite secondaire en forme d'aiguilles.....	25
Fig. 24	Acier hypereutectoïde trempé présentant une structure de martensite et de bainite aciculaires.....	26
Fig. 25	Acier hypoeutectoïde trempé à structure de bainite aciculaire.....	26
Fig. 26	Fonte hypoeutectique à structure de lédéburite et perlite lamellaire.....	27
Fig. 27	Fer, acier et fonte dans le matériel examiné de Develier-Courtételle.....	26
Fig. 28	Fer riche en phosphore à structure de ferrite, contenant des bandes de Neumann et des structures fantômes.....	27
Fig. 29	Déchets scorifiés conservés après classification.....	29
Fig. 30	Quantification globale des déchets scorifiés ainsi que des déchets de forge et des objets en fer.....	29
Fig. 31	Comparaison entre le nombre d'analyses initialement projetées et le nombre d'analyses finalement effectuées.....	30
Fig. 32	Schéma d'un bas foyer, basé sur la structure 15 de la zone d'activité 4.....	31
Fig. 33	Schéma explicatif des différentes parties de la calotte concave la plus importante, en poids et en taille.....	32
Fig. 34	Tableau quantitatif récapitulatif en nombre et en poids des types de calottes.....	33
Fig. 35	Tuyau sous calotte.....	34
Fig. 36	Face inférieure d'un fragment de calotte, avec traces du placage sableux provenant des parois du bas foyer.....	34
Fig. 37	Scories en forme de calotte.....	34
Fig. 38	Calotte double.....	35
Fig. 39	Calotte triple.....	35
Fig. 40	Comparaison des valeurs moyennes de la composition des fragments de paroi de foyer avec celles d'une scorie argilo-sableuse.....	35
Fig. 41	Phases minérales des calottes examinées.....	36
Fig. 42	Composition chimique du métal (fer et acier) dans les calottes.....	37
Fig. 43	Teneurs en carbone du métal des calottes examinées.....	37
Fig. 44	Comparaison des teneurs en éléments traces typiques du métal, dans le métal et dans la scorie des calottes.....	37
Fig. 45	Les calottes aplaties. Synthèse des données archéologiques.....	39
Fig. 46	Les calottes denses petites. Synthèse des données archéologiques.....	40
Fig. 47	Les calottes fluides. Synthèse des données archéologiques.....	42
Fig. 48	Les calottes avec vitrification. Synthèse des données archéologiques.....	43
Fig. 49	Les calottes avec bourrelet. Synthèse des données archéologiques.....	44
Fig. 50	Les calottes avec empreintes de charbon. Synthèse des données archéologiques.....	46
Fig. 51	Les calottes circulaires. Synthèse des données archéologiques.....	48
Fig. 52	Les calottes concaves. Synthèse des données archéologiques.....	49
Fig. 53	Les calottes convexes. Synthèse des données archéologiques.....	50
Fig. 54	Les calottes avec quille. Synthèse des données archéologiques.....	52
Fig. 55	Les calottes denses. Synthèse des données archéologiques.....	52
Fig. 56	Calotte dense.....	52
Fig. 57	Les calottes non classées. Synthèse des données archéologiques.....	52
Fig. 58	Classes de calottes en fonction du poids estimé.....	53
Fig. 59	Variation du poids estimé des calottes par type.....	53
Fig. 60	Calcul et estimation du nombre de calottes.....	54
Fig. 61	Présentation synthétique du rapport longueur / largeur classifié par type.....	54
Fig. 62	Présentation synthétique du rapport longueur / épaisseur classifié par type.....	54
Fig. 63	La teneur en fer des calottes analysées en pourcentage.....	54

Fig. 64	Composants chimiques caractéristiques des matériaux riches en sable	55
Fig. 65	Attribution des types de calottes aux différentes étapes du processus métallurgique	56
Fig. 66	Typologie des déchets de forge	57
Fig. 67	Répartition des chutes de forge en fonction de leur morphologie et du nombre d'opérations de mise en forme subies	57
Fig. 68	Couper du métal	58
Fig. 69	Fendre du métal	58
Fig. 70	Etirer en longueur du métal	58
Fig. 71	Ebauche cat. 87 avec traces d'un décor incisé en cours de réalisation	58
Fig. 72	Ebauches cat. 104 et 159 interprétées comme des éléments de garnitures de ceinture en cours de réalisation	58
Fig. 73	Traces de martelage sur les chutes cat. 96 et 138	59
Fig. 74	Teneur en carbone des déchets élaborés examinés	60
Fig. 75	Composition chimique des scories ferrugineuses et des déchets élaborés	60
Fig. 76	Scories ferrugineuses	61
Fig. 77	Teneurs en métal et en scorie des scories ferrugineuses examinées	61
Fig. 78	Scories ferrugineuses analysées par MEB/EDS	61
Fig. 79	Teneur en carbone des scories ferrugineuses examinées	62
Fig. 80	Inclusion biphasée dans l'acier	62
Fig. 81	Composition chimique des scories ferrugineuses	63
Fig. 82	Comparaison des teneurs en certains composants des scories ferrugineuses	63
Fig. 83	Rapports de quelques composants des scories riches en fer	64
Fig. 84	Battitures globulaires et lamellaires	65
Fig. 85	Battitures rouillées et scoriacées	65
Fig. 86	Phases minérales des battitures types examinées	65
Fig. 87	Caractéristiques chimiques des différents groupes de battitures	66
Fig. 88	Scories d'aspect coulé	67
Fig. 89	Scories d'aspect coulé en forme de tuyaux	67
Fig. 90	Comparaison de la composition chimique des scories d'aspect coulé (Develier-Courtételle et Boécourt, Les Boulies)	67
Fig. 91	Phases minérales des scories d'aspect coulé	67
Fig. 92	Composition minéralogique de cinq scories d'aspect coulé (estimation visuelle)	68
Fig. 93	Minerai pisolithique retrouvé à l'intérieur du foyer 27 de la zone d'activité 3	68
Fig. 94	Fragments de paroi de bas foyer, faces non exposées au feu	69
Fig. 95	Comparaison de la teneur moyenne en SiO ₂ et en Al ₂ O ₃ de bolus et de parois	69
Fig. 96	Fragments de paroi avec amorce de trou de soufflet, faces exposées au feu	69
Fig. 97	Rapport entre deux éléments traces typiques des fragments de paroi de foyer et l'élément majeur SiO ₂	70
Fig. 98	Fragment de tuile prise dans la paroi sableuse	70
Fig. 99	Analyse statistique des objets avec une composition chimique extrême ou déviante	71
Fig. 100	Composition moyenne du métal du groupe de référence Develier-Courtételle	71
Fig. 101	Teneurs en éléments traces, mesurées dans le métal contenu dans quelques calottes	72
Fig. 102	La plaquette verticale cat. 238. Vision avant et après nettoyage	75
Fig. 103	Présentation synthétique de l'intégralité du mobilier métallique mis au jour à Develier-Courtételle	76
Fig. 104	Présentation synthétique de l'outillage en fer	77
Fig. 105	L'outillage en fer pour le travail du métal	77
Fig. 106	L'outillage en fer pour le travail du métal	78
Fig. 107	Vues de face et de profil du ciseau droit cat. 353	79
Fig. 108	L'outillage en fer pour le travail du métal	79
Fig. 109	L'outillage en fer pour le travail du métal	80
Fig. 110	L'outillage en fer pour le travail du bois	80
Fig. 111	L'outillage en fer pour le travail du métal	81
Fig. 112	L'outillage en fer pour le travail des matières organiques et plastiques	82
Fig. 113	L'outillage en fer non défini ou fragmenté	83
Fig. 114	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de l'outillage	84
Fig. 115	Les ustensiles agricoles en fer	85
Fig. 116	Les ustensiles d'élevage en fer	86
Fig. 117	Présentation synthétique des objets usuels en fer	87
Fig. 118	Présentation des couteaux en fer selon leur état de fragmentation	87
Fig. 119	Couteaux de la forme 1A	87
Fig. 120	Couteaux de la forme 2	88
Fig. 121	Couteaux de la forme 3A et couteau de la forme 3B	89
Fig. 122	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des couteaux	90
Fig. 123	Forces en fer	90
Fig. 124	Sélection de fiches à bélière en fer, présentées en fonction de la longueur conservée	91
Fig. 125	Objets usuels en fer	92
Fig. 126	Les boucles et les bouclettes simples en fer	92
Fig. 127	Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture bi- ou tripartites	94
Fig. 128	Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à plusieurs éléments	95
Fig. 129	Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à éléments multiples	95
Fig. 130	La radiographie a mis en évidence certains détails cachés du décor de la terminaison de lanière cat. 403	95
Fig. 131	Vue de détail de la terminaison de lanière cat. 402	96
Fig. 132	Les éléments en fer attribuables à des garnitures de ceinture à plaque repliée	96
Fig. 133	Les éléments en fer attribuables à des garnitures de chaussure ou de jambière	97
Fig. 134	Les éléments de buffleterie en fer isolés	97

Fig. 135	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des objets de buffleterie	98
Fig. 136	Les objets de parure en fer	99
Fig. 137	Les éléments en fer liés à l'armement	100
Fig. 138	Les éléments en fer liés à l'armement	101
Fig. 139	Vue de détail de la plaque losangique de baudrier d'épée cat. 733	101
Fig. 140	Plaques losangiques en fer à damasquinure bichrome appartenant à des garnitures d'épée de type Civezzano (carte de répartition).....	101
Fig. 141	Les éléments en fer liés à l'armement	102
Fig. 142	Les équipements équestres en fer	102
Fig. 143	Les équipements équestres en fer	103
Fig. 144	Les équipements équestres en fer	103
Fig. 145	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de l'armement et de l'équipement équestre.....	104
Fig. 146	Sélection d'ustensiles de cuisine en fer.....	104
Fig. 147	Présentation synthétique des objets de quincaillerie en fer	105
Fig. 148	Sélection des différentes formes d'anneaux et de maillons en fer	106
Fig. 149	Les éléments de fixation en fer	106
Fig. 150	Les éléments d'huissierie et de serrurerie en fer	107
Fig. 151	Les éléments de meuble en fer	107
Fig. 152	Présentation synthétique des clous en fer, avec indication du nombre d'individus et de leur poids.....	107
Fig. 153	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des clous.....	108
Fig. 154	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des objets non définis.....	108
Fig. 155	Classification des fragments en fer selon des modules formels.....	109
Fig. 156	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal de différents types de fragments	109
Fig. 157	Matériaux, technique d'élaboration et origine du métal des fragments en forme de tôle.....	110
Fig. 158	Les objets en fer caractéristiques de Develier-Courtételle et leur représentation dans l'analyse chronologique	111
Fig. 159	Teneurs en carbone et en phosphore des objets en fer étudiés.....	112
Fig. 160	Teneurs en carbone et en phosphore des objets en fer étudiés, produits à partir des matériaux locaux	112
Fig. 161	Classification des déchets métalliques issus du travail des alliages non ferreux.....	115
Fig. 162	Creuset en terre réfractaire cat. 90 destiné à fondre les alliages à base de cuivre.....	116
Fig. 163	Vue de détail de l'avant et du revers de l'objet brut de coulée cat. 163.....	116
Fig. 164	Éléments majeurs de la composition chimique des objets non ferreux étudiés	117
Fig. 165	Les éléments traces différent entre les alliages de bronze et les alliages cuivreux avec zinc	117
Fig. 166	Les éléments de buffleterie en bronze.....	118
Fig. 167	Vue de détail de la boucle de ceinture à tenons cat. 399.....	119
Fig. 168	Vue de détail de la plaquette à œillets décorée cat. 562.....	119
Fig. 169	Carte de répartition des plaquettes à œillets décorées comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 562	120
Fig. 170	Vue de détail des ferrets cat. 502 et 503 retrouvés dans les bassins de la zone d'activité 4	120
Fig. 171	Les éléments de parure en bronze.....	121
Fig. 172	Vue de détail de la fibule ansée symétrique en bronze cat. 724.....	122
Fig. 173	Carte de répartition des fibules ansées symétriques comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 724	122
Fig. 174	Vue de détail de la fibule zoomorphe cat. 244	123
Fig. 175	Les fibules en forme de cheval de Fétigny, Seewen et Develier-Courtételle	123
Fig. 176	Carte de répartition des petites fibules zoomorphes en bronze comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 244	124
Fig. 177	Vue de détail de la boucle d'oreille incrustée de pastilles de verre rouge cat. 836	125
Fig. 178	Vue de détail du motif cruciforme incisé sur la bague cat. 412.....	125
Fig. 179	Vue de détail du décor incisé, mais très effacé, de la bague cat. 729.....	126
Fig. 180	Carte de répartition des bagues comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 729.....	126
Fig. 181	Les éléments en bronze liés à l'armement	126
Fig. 182	Vue de détail du décor incisé du rivet de fourreau de scramasaxe cat. 248.....	127
Fig. 183	Vue de détail du ferret de baudrier d'épée cat. 732	127
Fig. 184	Carte de répartition des ferrets de baudrier d'épée comparables à l'exemplaire de Develier-Courtételle cat. 732	127
Fig. 185	Objets isolés et sélection d'objets non définis, en plomb et en bronze.....	128
Fig. 186	Sélection de fragments en bronze.....	129
Fig. 187	Classification des fragments en bronze selon leur morphologie.....	129
Fig. 188	Les objets en bronze caractéristiques de Develier-Courtételle et leur représentation dans l'analyse chronologique.....	129
Fig. 189	Densité des déchets scorifiés, du mobilier et des déchets métalliques par ensemble	131
Fig. 190	Quantification des déchets scorifiés, du mobilier et des déchets métalliques par ensemble.....	131
Fig. 191	Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par ensemble	132
Fig. 192	Proportion des déchets scorifiés et des calottes en nombre et en poids par ensemble.....	133
Fig. 193	Répartition des déchets et du mobilier dans les fermes 1 et 2 et la zone d'activité 1.....	134
Fig. 194	Répartition des déchets et du mobilier dans les zones d'activité 2, 3 et 4	136
Fig. 195	Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 3	138
Fig. 196	Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 4	138
Fig. 197	Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 5	139
Fig. 198	Répartition des déchets et du mobilier dans la ferme 6	140
Fig. 199	Synthèse des données relatives aux bas foyers et aux aires de forge	141
Fig. 200	Synthèse des données typologiques et analytiques pour la ferme 1	142
Fig. 201	Plan et coupe du bas foyer potentiel 253 (F1)	142
Fig. 202	Synthèse des données typologiques et analytiques de la ferme 2 et de la zone d'activité 1.....	142
Fig. 203	Synthèse typologique des déchets de forge et des objets de la ferme 2 et de la zone d'activité 1	143
Fig. 204	Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet et par structure (F2 / Z1).....	143
Fig. 205	Pourcentage des calottes classifiées des trois principales zones de rejet de la zone d'activité 1	144

Fig. 206 Répartition des calottes classifiées des trois principales zones de rejet de la zone d'activité 1	144
Fig. 207 Plan partiel des structures de la zone d'activité 1	145
Fig. 208 Plan et coupe des bas foyers 187 et 189 et coupe du bas foyer 188 (Z1).....	145
Fig. 209 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 2 et la zone d'activité 1 (R1).....	146
Fig. 210 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la ferme 2 et la zone d'activité 1 (R1, R2, R3 et R5).....	147
Fig. 211 Plan et coupe des bas foyers 410 et 411 (Z1).....	147
Fig. 212 Plan et coupe des bas foyers 565 et 567 (Z1).....	147
Fig. 213 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 2 et zone d'activité 1 (R3).....	148
Fig. 214 Plan et coupe de la structure 255 (Z1).....	149
Fig. 215 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la zone d'activité 4.....	149
Fig. 216 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet et par structure (Z4).....	150
Fig. 217 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les trois zones de rejet de la zone d'activité 4	150
Fig. 218 Plan et coupe de la fosse 1 (Z4)	150
Fig. 219 Plan et coupe de l'aire de forge 14 (Z4)	151
Fig. 220 Plan et coupe du bas foyer 15 (Z4).....	152
Fig. 221 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la zone d'activité 4, structure 15.....	152
Fig. 222 Plan et coupe de la fosse dépotoir 13 (Z4)	153
Fig. 223 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les structures de la zone d'activité 4	153
Fig. 224 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte dans la zone d'activité 4	154
Fig. 225 Proportion des scories coulées, des scories ferrugineuses et des parois scorifiées par zone de rejet de la ferme 5.....	154
Fig. 226 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour les deux zones de rejet de la ferme 5.....	154
Fig. 227 Synthèse des données typologiques et analytiques pour la ferme 5.....	155
Fig. 228 Répartition des dix types de calottes classifiées dans la ferme 6.....	155
Fig. 229 Plan et coupe du bas foyer 59 (F6).....	155
Fig. 230 Synthèse des données analytiques pour la ferme 6	156
Fig. 231 Pourcentage des dix types de calottes classifiées pour la ferme 6 et la structure 59	156
Fig. 232 Extrapolation de l'attribution à une étape technologique par type de calotte pour la ferme 6	156
Fig. 233 Présentation du mobilier et des déchets métalliques par catégorie typologique et par ensemble	157
Fig. 234 Présentation des cinq regroupements catégoriels retenus pour l'analyse spatiale.....	157
Fig. 235 Présentation des cinq regroupements catégoriels par ensemble	158
Fig. 236 Présentation détaillée du regroupement catégoriel « métallurgie »	158
Fig. 237 Présentation détaillée du regroupement catégoriel « économie ».....	159
Fig. 238 Présentation détaillée du regroupement catégoriel « domestique ».....	161
Fig. 239 Présentation détaillée du regroupement catégoriel « personnel ».....	161
Fig. 240 Présentation détaillée du regroupement catégoriel « construction ».....	161
Fig. 241 Origine du métal des déchets et objets métalliques analysés.....	161
Fig. 242 Groupe et sous-groupes de référence pour le métal d'origine locale. Proportion arsenic/phosphore	162
Fig. 243 Groupe et sous-groupes de référence pour le métal d'origine locale. Proportion nickel/cobalt	162
Fig. 244 Datations absolue et typologique des différentes structures liées à l'activité métallurgique	165
Fig. 245 Origine du métal des scories ferrugineuses et des déchets de forge analysés.....	165
Fig. 246 Les objets en fer analysés. Présentation par catégorietypologique avec détermination de l'origine du métal	166
Fig. 247 Présentation synthétique des données chronologiques par ensemble	167
Fig. 248 Estimation de la perte en fer incluant les battitures à partir de données ethno-archéologiques et expérimentales	168
Fig. 249 Evaluation de la quantité de paroi scorifiée provenant d'un foyer métallurgique.....	168
Fig. 250 Estimation globale de la perte en fer dans les scories	169
Fig. 251 Le mobilier métallique caractéristique de Develier-Courtételle et sa représentation dans l'analyse chronologique par ensemble.....	171
Fig. 252 Synthèse des données chronologiques du district sidérurgique du Jura central suisse	172
Fig. 253 Microscope électronique à balayage (MEB/EDS)	175
Fig. 254 Méthode d'analyse LA-ICP-MS.....	175
Fig. 255 Tronçonneuse à disque diamanté refroidie à l'eau	176
Fig. 256 Polissage et finition.....	176
Fig. 257 Microscope inversé Axiovert 100 A	177
Fig. 258 Analyses effectuées sur les calottes.....	220
Fig. 259 Trames utilisées pour les dessins de coupes analytiques.....	220

Crédit iconographique

Couverture

Conception : Yves Juillerat et Emmanuel Wüthrich
Réalisation : Simon Maître

Illustrations

Section d'archéologie et paléontologie de l'Office de la culture
Porrentruy

Dessins du mobilier métallique

Yves Juillerat

Dessins des déchets métallurgiques

Delphine Bläuer, Léonard Félix et Tayfun Yilmaz

Dessins analytiques et figure 33

Delphine Bläuer

Reconstitution de la chaîne opératoire de la métallurgie du fer, figure 5

Tayfun Yilmaz

© OCC/SAP: Office de la culture
Section d'archéologie et paléontologie
Porrentruy

Infographie

Simon Maître

Plans et structures

Conception : les auteurs
Réalisation : Tayfun Yilmaz

Tableaux et cartes

Conception : les auteurs
Réalisation : Marie-Claude Maître-Farine et Tayfun Yilmaz

Photographies des déchets métallurgiques et du mobilier métallique

Bernard Migy (sauf fig. 130, Empa)

Photographies analytiques

Marianne Senn, Empa

Photographies du catalogue analytique

Bernard Migy (cat. 1-25) et Marianne Senn (cat. 86-864)

Dépôt du mobilier et de la documentation

Section d'archéologie et paléontologie de l'Office de la culture
Porrentruy

Adresses des auteurs

Ludwig Eschenlohr, Vincent Friedli et
Céline Robert-Charrue Linder
Office de la culture
Section d'archéologie et paléontologie
Case postale 64
CH-2900 Porrentruy 2
ludwig.eschenlohr@jura.ch
vincent.friedli@jura.ch
celine.robert-charrue@jura.ch

Marianne Senn
Zentrum für Kulturgüteranalytik
Abteilung Analytische Chemie
Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
marianne.senn@empa.ch

Volumes déjà parus dans la collection des Cahiers d'archéologie jurassienne

- CAJ 1 Paccolat Olivier et al. *L'établissement gallo-romain de Boécourt, les Montoyes (JU, Suisse)*. 1991, 156 p., 99 fig., 14 pl. (Epuisé).
- CAJ 2 Pousaz Nicole et al. *L'abri-sous-roche mésolithique des Gripons à Saint-Ursanne (JU, Suisse)*. 1991, 176 p., 126 fig., 12 pl. ISBN 2-88436-000-X.
- CAJ 3 Eschenlohr Ludwig et Sermeels Vincent. *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, les Boulies (JU, Suisse)*. 1991, 144 p., 86 fig., 23 tab., 10 pl. ISBN 2-88436-001-8. (Epuisé).
- CAJ 4 Guélat Michel, Rachoud-Schneider Anne-Marie, Eschenlohr Ludwig et Paupe Patrick. *Archives palustres et vestiges de l'Age du Bronze entre Glovelier et Boécourt (JU, Suisse)*. 1993, 184 p., 118 fig., 22 pl., 4 dépliants hors texte. ISBN 2-88436-003-4.
- CAJ 5 Pousaz Nicole, Taillard Pascal, Schenardi Maruska et al. *Sites protohistoriques à Courfaivre et Age du Bronze dans le Jura (Suisse)*. 1994, 184 p., 77 fig., 25 pl. ISBN 2-88436-004-2.
- CAJ 6 Stékoffer Sarah. *La crose mérovingienne de saint Germain, premier abbé de Moutier-Grandval (Suisse)*. 1996, 184 p., 149 fig. ISBN 2-88436-005-0.
- CAJ 7 Othenin-Girard Blaise et al. *Le Campaniforme d'Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. 1997, 208 p., 114 fig., 25 pl. ISBN 2-88436-006-9.
- CAJ 8 Demarez Jean-Daniel, Othenin-Girard Blaise et al. *Une chaussée romaine avec relais entre Alle et Porrentruy (Jura, Suisse)*. 1999, 256 p., 155 fig., 29 planches. ISBN 2-88436-008-5.
- CAJ 9 Stahl Gretsche Laurence-Isaline, Detrey Jean et al. *Le site moustérien d'Alle, Pré Monsieur (Jura, Suisse)*. 1999, 312 p., 155 fig., 53 planches. ISBN 2-88436-009-3.
- CAJ 10 Aubry Denis, Guélat Michel, Detrey Jean, Othenin-Girard Blaise et al. *Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura, Suisse)*. 2000, 176 p., 104 fig. ISBN 2-88436-010-7.
- CAJ 12 Demarez Jean-Daniel. *Répertoire archéologique du canton du Jura; du I^{er} siècle avant J.-C. au VII^e siècle après J.-C.* 2001, 136 p., 100 fig. ISBN 2-88436-011-5.
- CAJ 13 Federici-Schenardi Maruska, Fellner Robert et al. *Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien. 1. Structures et matériaux de construction*. 2004, 340 p., 301 fig. ISBN 2-88436-014-X.
- CAJ 15 Reto Marti, Gisela Thierrin-Michael, Marie-Hélène Paratte Rana, Robert Fellner, Vincent Friedli, Jean-Pierre Mazimann, Sandrine Basset et al. *Develier-Courtételle, un habitat rural mérovingien. 3. Céramiques et autres objets en pierre, verre, os, bois ou terre cuite*. ISBN-10 : 2-88436-015-8, ISBN-13 : 978-2-88436-015-9.
- CAJ 18 Babey Ursule. *Produits céramiques modernes. Ensemble de Porrentruy, Grand'Fin*. 2003, 280 p., 105 fig., 2 pl. couleur. ISBN 2-88436-013-1.

Autres publications

Juillerat Claude et Schifferdecker François (éd.). *Guide archéologique du Jura et du Jura bernois*. 1997, 152 p., ill.

Stahl Gretsche Laurence-Isaline. *Et déjà des hommes... Archéologie au cœur de l'Ajoie*. 2002, 60 p., ill.

Tous ces ouvrages peuvent être commandés auprès de la Société jurassienne d'Emulation, Rue du Gravier 8, CH-2900 Porrentruy 2. Tél. 032 466 92 57, Fax 032 466 92 04, sje@bluewin.ch, www.sje.ch

Achévé d'imprimer en avril 2007
sur les presses de l'Imprimerie Cattin S.à r.l.
à Bassecourt.