



**ArcheoSciences**  
Revue d'archéométrie

31 | 2007  
Varia

---

## Organisation de la chaîne opératoire en métallurgie du fer aux II<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> siècle av. J.-C., sur l'oppidum d'Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône): la circulation du métal

*Organisation of the post-reduction activities in iron metallurgy in the IIe-Ie B.C., on the oppidum of Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône – France): metal circulation*

**Marion Berranger et Philippe Fluzin**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/547>  
DOI : 10.4000/archeosciences.547  
ISBN : 978-2-7535-1596-3  
ISSN : 2104-3728

### Éditeur

Presses universitaires de Rennes

### Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2007  
Pagination : 7-22  
ISBN : 978-2-7535-0618-3  
ISSN : 1960-1360

### Référence électronique

Marion Berranger et Philippe Fluzin, « Organisation de la chaîne opératoire en métallurgie du fer aux II<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> siècle av. J.-C., sur l'oppidum d'Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône): la circulation du métal », *ArcheoSciences* [En ligne], 31 | 2007, mis en ligne le 31 décembre 2009, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/547> ; DOI : 10.4000/archeosciences.547

---

# Organisation de la chaîne opératoire en métallurgie du fer aux II<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> siècle av. J.-C., sur l'oppidum d'Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône) : la circulation du métal

*Organisation of the post-reduction activities in iron metallurgy in the IIe-Ie B.C.,  
on the oppidum of Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône – France):  
metal circulation*

Marion BERRANGER \*, Philippe FLUZIN \*\*

**Résumé :** La circulation du fer, conditionné sous forme de loupes ou de demi-produits est particulièrement mal connue, pour les périodes anciennes en Europe tempérée. Le cas d'Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône), oppidum de la fin du second âge du Fer, parfois considéré comme l'agglomération principale des Salyens, permet d'aborder ces problématiques. En effet la mise en évidence, et l'étude archéométrique, d'une chaîne opératoire complète de post-réduction (épuration de loupes, fabrication de demi-produits, manufacture d'objets), permet d'étudier l'organisation de ces activités à plusieurs échelles. Celle du site, par l'identification d'une sectorisation des activités de post-réduction, conduisant à supposer la circulation de demi-produits de forme normalisée au sein de l'oppidum. À un niveau régional également, par la mise en évidence de l'intégration du site à un réseau de diffusion de loupes brutes, à partir d'ateliers de réduction environnants. La spécialisation des artisans et le caractère intensif de l'activité sidérurgique, au sein de ce centre politique et économique majeur sur le territoire des Salyens, amène également à s'interroger sur les débouchés de ses productions et notamment de ses demi-produits.

**Mots clés :** Archéométaballurgie, Forge, Demi-produits, Circulation, Loupe, Sidérurgie.

**Abstract:** *Little is known about the circulation of iron, in the form of half-products or bloom, for the protohistorical period in temperate Europe. The example of Entremont (Aix-en-Provence, Bouches-du-Rhône), an oppidum dated to the end of the Iron Age, and sometimes considered as the principal town of the Salyens, allow us to address these problematics. The archaeological and archaeometrical study, of objects and waste-products produced at each step of the post-reduction process (bloomsmithing, fabrication of iron semi-products and objects) permit us to study the organisation of these activities at different scales. At the level of the site, by the identification of zoning of the post-reduction activities, leading us to suppose the circulation of standardised iron semi-products inside the oppidum. Equally, at a regional scale, from evidence suggesting the integration of the site into a diffusion network of raw bloom material, from surrounding reduction centres. The specialisation of blacksmithing and the intensity of the metallurgical activity inside this major political and economic centre for the Salyen's territory, also lead us to reflect upon the subsequent diffusion of its products, and especially its half-products.*

**Key words:** *Archaeometallurgy, Bloom, Circulation, Iron metallurgy, Semi-products, Iron-smithing workshops.*

---

\* « ArScAn » UMR 7041 CNRS, Équipe « Protohistoire Européenne » MAE – Université Paris 1, 21 allée de l'Université, 92 023 Nanterre Cedex; IRAMAT UMR 5060 CNRS, Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, site de Sévenans, 90 010 Belfort Cedex. (marion.berranger@wanadoo.fr)

\*\* IRAMAT UMR 5060 CNRS, Laboratoire « Métallurgies et Cultures » – Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, site de Sévenans, 90 010 Belfort Cedex. (lmc@utbm.fr)

## INTRODUCTION

La circulation des matières premières métalliques, dans le cadre de la chaîne opératoire de post-réduction du fer, est très mal connue. La diversité des formes et la qualité interne de ces produits ne sont donc que très partiellement appréhendées. En effet, ces matières premières, destinées à être transformées, sont très rares en contexte archéologique. Elles ont donc principalement été étudiées par l'intermédiaire d'exemplaires issus d'expérimentations (Urteaga, 2002) ou de l'ethno-archéologie (Fluzin *et al.*, 2001).

Ces données indirectes, nécessairement maniées avec précaution, permettent néanmoins de supposer que le fer, en tant que matière première, peut circuler sous deux formes : celles de masses ou de fragments bruts de réduction plus ou moins épurés, ou en tant que demi-produits, correspondant à des réserves de métal mises en forme, au moins partiellement compactées et asséchées des inclusions héritées de la réduction (Fluzin *et al.*, 2000).

En Europe tempérée, pour les âges du fer, seuls quelques rares exemples de masses brutes de réduction sont connus dans des contextes archéologiques bien documentés (Fluzin 2006 ; Fournier, Mylcent, 2007), et les demi-produits de fer sont découverts le plus souvent hors de leurs contextes fonctionnels (Berranger, 2006), en dépôts humides ou terrestres. L'exemple d'Entremont est à ce titre exceptionnel par la découverte de produits (loupes et demi-produits) et déchets issus de toutes les étapes de la chaîne opératoire de post-réduction, en contexte d'atelier. Mis au jour dans un centre de productions artisanales, ils permettent d'aborder des problématiques relatives aux modalités d'approvisionnement en matière première, à l'organisation de la production et à ses débouchés, tant à l'échelle interne au site que sur un plan micro-régional.

### 1. ENTREMONT : UN CENTRE POLITIQUE ET ÉCONOMIQUE DE LA FIN DE L'ÂGE DU FER

Couvrant une superficie de près de 4 hectares durant sa période d'expansion maximale, l'oppidum d'Entremont se situe à moins de 3 km de la ville d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône), en bordure du plateau calcaire de Puyricard (fig. 1). Une proportion conséquente du site (environ un quart) a été fouillée entre 1946 et 1999, ce qui a permis d'appréhender de manière précise sa chronologie et ses activités. Reconnu en tant que pôle de peuplement, comme zone de productions économiques de natures variées (vin, huile...), ainsi que comme centre stratégique et politique, il est parfois considéré comme la dernière aggloméra-

tion de résistance du peuple des Salyens, face à la conquête romaine en 123 av. J.-C. (Arcelin, 2006).

Son occupation peut être scindée en deux périodes principales : la première, qui débute vers 180/170 av. J.-C., correspond à l'implantation ex-nihilo d'une petite bourgade couvrant un espace de 0,9 ha, et dont le mode de vie rural semble orienté manifestement vers les activités agropastorales. L'extension de l'habitat durant la seconde période, débute vers 150 av. J.-C. Résultat d'un regroupement massif de populations, elle aboutit au quadruplement de la superficie occupée précédemment jusqu'à atteindre 4 ha. La nature de l'occupation évolue vers un développement des activités économiques : production du vin et de l'huile dans une perspective d'échanges, et politiques : rassemblement d'une importante statuaire à connotation politique et aristocratique. Trois phases (phase 2a = 150-140/130 av. J.-C. ; 2b = 130/123 av. J.-C. ; 2c = 123/110-90 av. J.-C.) séparées par des destructions militaires à la fin de la phase 2b et 2c ont été individualisées. Le site est abandonné en tant qu'habitat permanent à l'issue de la dernière destruction militaire, vers 110-90 av. J.-C. (Arcelin, 2006). C'est durant cette deuxième période que les activités sidérurgiques connaissent un développement important.

### 2. LES ACTIVITÉS SIDÉRURGIQUES À ENTREMONT : LES ATELIERS

Le nombre d'ateliers sidérurgiques mis au jour à Entremont est faible. Alors que des déchets artisanaux peuvent être attribués aux trois phases de la seconde période d'occupation du site (2a, 2b et 2c), seuls deux ateliers de travail du fer, à rattacher uniquement à la phase 2a, ont été reconnus. Les conditions de conservation ou des réaménagements peuvent expliquer la disparition des ateliers des dernières phases d'occupation. Il est également probable que ces structures artisanales, d'identification parfois peu aisée, n'aient pas été reconnues lors des fouilles anciennes (avant 1984) qui ont concerné une part importante de la surface explorée.

Deux ateliers de travail du fer sont attribués à la (phase 2a) (Fig. 1). Le premier est un petit atelier de forge mis au jour<sup>1</sup> en 1999 dans l'ilot 1, pièce 17 (Dufraigne 2000, Dufraigne et Chapon à paraître). Il s'agit d'une pièce de 27 m<sup>2</sup> ayant livré plus de 2 kg de scories (fragments et 2 culots) à proximité d'un foyer plat, entouré de plusieurs aménagements annexes, parmi lesquels l'archéologue propose de reconnaître l'empla-

1. Fouilles J.-J. Dufraigne (AFAN).

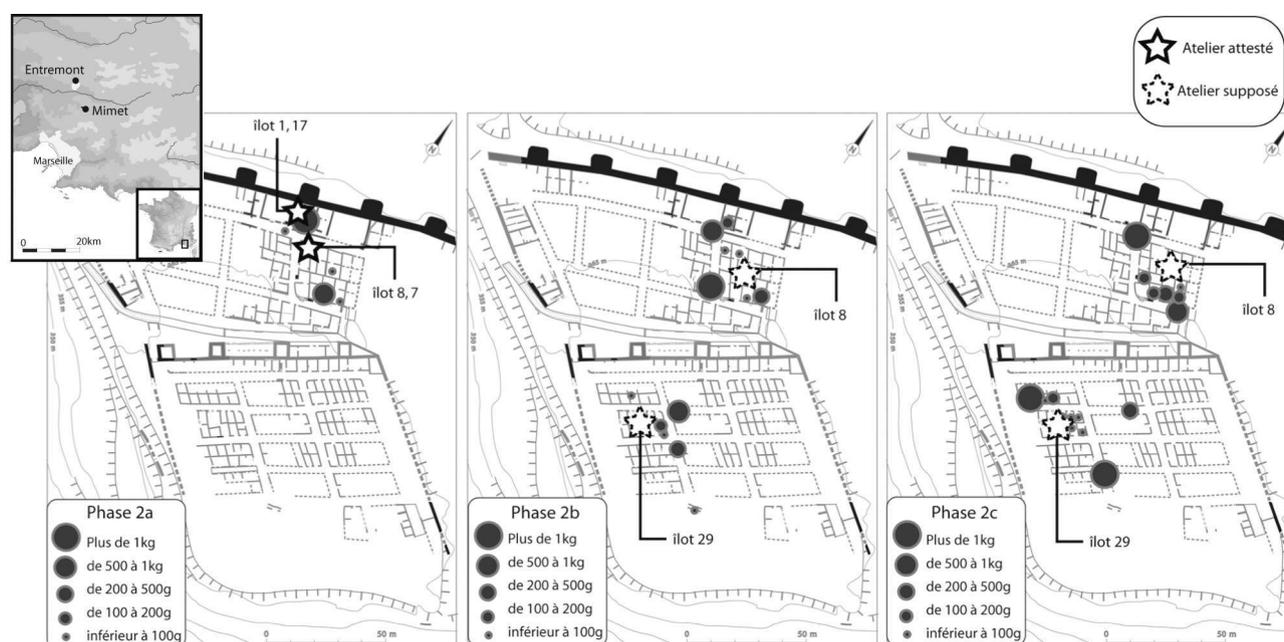


Figure 1 : Localisation des sites d'Entremont (Aix-en-Provence) et de Mimet « La Tête de l'Ost » (Bouches-du-Rhône). Répartition des scories par poids, et localisation des ateliers probables et attestés.

Figure 1: Localisation of the sites of Entremont (Aix-en-Provence) and Mimet « La Tête de l'Ost » (Bouches-du-Rhône). Distribution of the slag by weight and localisation of workshops, both identified and probable.

cement du billot et un baquet de trempe. Le second atelier<sup>2</sup> se localise dans l'îlot 8, pièce 7 (Arcelin *et al.*, 1990). Il s'agit de nouveau d'une pièce de taille réduite (20 m<sup>2</sup>) renfermant un foyer très arasé, dont seules les fondations de petites pierres plates recouvertes de parois rubéfiées subsistent. Il était en lien avec de petites scories vitrifiées.

Dans chacun des cas les foyers mesurent une cinquantaine de centimètres de diamètre et les éventuels aménagements particuliers ont disparu (absence de parois en terre cuite, d'aménagement pour la tuyère...). Leur fonction en tant qu'atelier ne perdure pas au-delà de la phase 2a : les pièces retrouvent une destination domestique durant les phases postérieures.

L'étude de la répartition des scories, et l'identification de zones de concentration, nous permettent de proposer une localisation d'autres ateliers de travail du fer. Bien qu'une partie de ces déchets ait pu être déplacée durant les épisodes de construction ou par rejet, une forte proportion d'entre eux provient de niveaux d'occupation ou de destruction, ce qui laisse supposer des déplacements secondaires et tertiaires limités. L'étude de la répartition des scories par poids permet ainsi d'identifier des zones de concentration (Fig. 1). Les îlots 8 (nord) et 29 (sud), et les rues adjacentes, livrent les

plus fortes concentrations de scories pour les phases 2b et 2c. Sans pouvoir isoler précisément l'emplacement des ateliers, il est possible de supposer l'existence de zones artisanales dans ces deux secteurs, durant les deux dernières phases de l'occupation (2b et 2c).

### 3. LES ACTIVITÉS SIDÉRURGIQUES À ENTREMONT : LES DÉCHETS ET PRODUITS MÉTALLURGIQUES

Toutes périodes confondues 71,5 kg de scories, et 21,7 kg de déchets métalliques ont été mis au jour à Entremont. Lorsqu'ils sont stratifiés, ils se trouvent uniquement en relation avec les structures de la seconde période de l'occupation du site. Plusieurs outils en rapport avec le travail du fer sont également connus. Il s'agit, pour les plus significatifs, d'une pince de forgeron et d'un tas à queue provenant des fouilles anciennes.

#### Méthodologie d'étude

Les déchets scorifiés ont été classés macroscopiquement en plusieurs catégories : culots, scories informes, et fragments de plus et de moins de 5 cm. Les déchets et produits métalliques, mêlés aux objets finis, ont été identifiés en se basant sur plu-

2. Fouilles P. Arcelin (CNRS)

sieurs critères : leur état de surface (régulier, déchiqueté...), la forme des sections (souvent parallélépipédique) et les traces de transformation (martelage, tranche, scorification...).

Un échantillon représentatif de trente-six éléments (dont quatre objets finis) a ensuite été analysé<sup>3</sup> au laboratoire « Métallurgies et cultures » UMR 5060 IRAMAT-UTBM-CNRS à Sévenans. Un protocole d'étude, validé à plusieurs reprises (entre autres Mangin *et al.*, 2000a, 2000b; Fluzin, 2002), a été appliqué aux objets sélectionnés. Après étude métrologique, morphologique et documentation de leur état de conservation avant analyse (dessin et/ou photographie) les objets ont été tronçonnés dans leur intégralité (en effet nous ne pratiquons pas de microprélèvements pour une élaboration en phase solide compte tenu de leur hétérogénéité intrinsèque) sous lubrifiant et enrésinés. Ils ont ensuite été polis sous lubrifiant au papier abrasif et à la pâte diamantée jusqu'à 1 micron. Leur plan de coupe poli a enfin été observé intégralement au microscope métallographique avant et après attaque chimique au Nital à 0,3 %, avec réalisation de prises de vues microphotographiques. Un logiciel de traitement d'image permet, en dernier lieu, de quantifier la proportion relative des éléments constituants (inclusions, matériaux...) au sein de chaque objet. Ces données sont exprimées en pourcentage.

La proportion d'inclusions et de porosités des fragments métalliques a ainsi été quantifiée sur les sections étudiées, afin de caractériser une « qualité inclusionnaire ». Cinq groupes ont ensuite été individualisés : la catégorie très médiocre rassemble des objets dont la proportion d'inclusions et de porosités est supérieure à 25 % de la section étudiée ; médiocre : de 15 à 25 % ; moyenne : de 15 à 10 % ; bonne : de 10 à 5 % ; excellente : de 5 à 0 %. La quantification des impuretés permet ensuite de caractériser l'état d'avancement du processus d'épuration-compactage : plus leur proportion est élevée moins cette étape est aboutie.

## Étude des déchets et produits métallurgiques

### *Les déchets scorifiés*

Notre étude des déchets scorifiés s'est principalement concentrée sur les culots de post-réduction en tant que déchets caractéristiques d'une étape de travail cohérente (Mangin, 2004). Quarante-deux culots ont pu faire l'objet d'une étude macroscopique préliminaire (Tableau 1).

3. Ces analyses ont été réalisées dans le cadre d'un Projet Commun de Recherches (PCR) dirigé par P. Arcelin (UMR 6573) et G. Congès (DRAC-PACA). L'étude du petit mobilier s'effectue sous la direction de J.-P. Guillaumet (UMR 5594). Le mobilier métallique, autre que sidérurgique, est étudié par Benjamin Girard (doctorant UMR 5594) dans le cadre d'une thèse : *Le mobilier métallique du second âge du Fer en Provence*. Sous la direction de J.-P. Guillaumet et D. Garcia.

Trois types principaux ont été individualisés en fonction de leur aspect général, de leur densité, de leurs inclusions et de leur magnétisme (évalué en surface à l'aimant). Le plus représenté (type A : 56 ex.) correspond à des culots moyennement denses, et peu ou pas magnétiques. Leur aspect de surface, totalement déchiqueté, témoigne de l'application de températures relativement faibles n'ayant pas conduit à une bonne fluidification de la scorie. De nombreuses incrustations de fibres et de charbon sont visibles macroscopiquement. Le second type (type B : 16 ex.) regroupe des culots denses et magnétiques. Leur aspect de surface est régulier et correspond à un refroidissement de la scorie à un état pâteux. Ces données semblent mettre en évidence l'application de températures de plus forte ampleur et de plus longue durée. Un dernier type (type C : 9 ex.) rassemble des culots très denses et aux surfaces quasiment lisses reflétant une fluidification importante de la scorie (chauffe élevée).

Un minimum de deux exemplaires par type a été analysé (Tableau 1). Les quatorze culots étudiés se caractérisent de manière générale par un très mauvais état de conservation qui a considérablement limité les investigations métallographiques.

En l'état de l'étude, il n'est pas possible de corréler les types de culots à une étape de travail spécifique. Seuls les échantillons de type C se distinguent par leur matrice de fayalite de texture homogène (Tableau 2) reflétant une bonne fluidification de la scorie (températures élevées). Les autres culots étudiés (Tableau 2) sont constitués d'une matrice de fayalite de texture très hétérogène, révélatrice d'épisodes de chauffe de courte durée et de faible amplitude, n'ayant fluidifié la scorie qu'incomplètement. Tous types confondus, les culots comprennent une forte proportion de pertes en oxydes sous la forme de wustite et/ou de battitures globulaires, et des pertes métalliques peu fréquentes et/ou de très petite taille (Tableau 2 – Fig. 2 – filaments, globules...). Ces caractéristiques sembleraient refléter la transformation de masses métalliques bien compactées et homogénéisées, utilisées probablement pour fabriquer des objets finis (opérations de forge).

Trois culots correspondraient à des étapes de travail différentes (Tableau 2). Livrant de gros fragments de métal pouvant occuper jusqu'à 10 % de la section étudiée, ces derniers présentent des surfaces déchiquetées et une mauvaise qualité inclusionnaire (plus de 25 % d'inclusions ou porosités – Fig. 2). Bien que parfois totalement hydroxydés, ils correspondraient à des fragments de métal provenant de masses métalliques encore incomplètement compactées et aux surfaces peu martelées. Ces caractéristiques sont comparables à celles de loupes ou de demi-produits en cours d'épuration et de mise en forme. Deux de ces culots témoi-



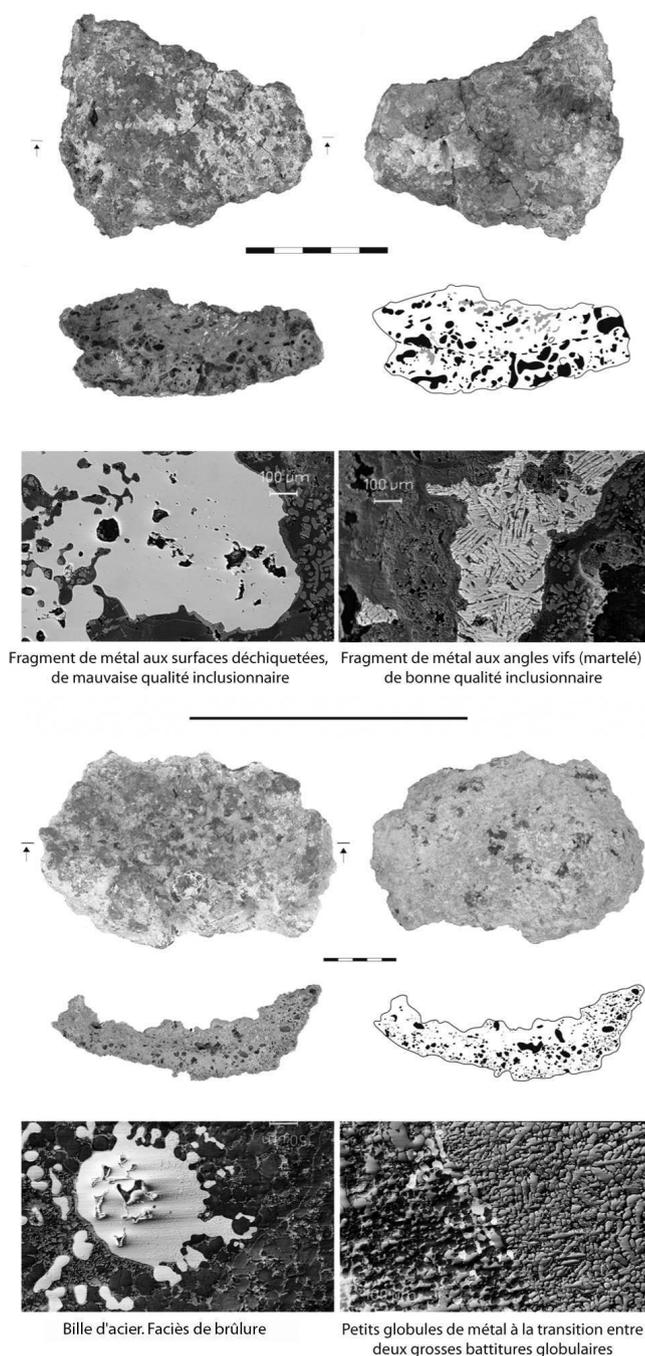


Figure 2 : Exemple d'un culot livrant à la fois des indices d'épuration et de forge (haut; 1999-4-2 n°203) et d'un culot caractéristique d'opérations de forge (bas; 1966-9 n° 2).

Figure 2: Example of a hearth-bottom providing evidence both of refining and of forge activities (top; 1999-4-2 n° 203) and of a hearth-bottom characteristic of forge activities exclusively (bottom; 1966-9 n° 2).

conservés sur le site. Une trentaine d'entre eux sont doubles ou triples (donc au total entre 130 et 140 culots uniques). Ce chiffre peut paraître faible si l'on considère que l'activité métallurgique a été effectuée tous les jours ou même seulement plusieurs fois par semaine pendant soixante ans (durée de la phase 2). Cependant il est nécessaire de garder en mémoire que seul 15 % du site a été fouillé et qu'il est fortement probable qu'une partie des déchets a été évacuée hors de l'oppidum, soit par gestion volontaire soit par les réaménagements successifs.

La masse des culots révèle une certaine intensité dans la production : en excluant les culots doubles, dont certains peuvent peser entre 1,5 kg et 3,5 kg, la majorité pèse plus de 400 g (Tableau 3). Leur moyenne pondérale, à plus de 400 g (470 g), est élevée. Elle distingue notre corpus d'autres lots contemporains et représentatifs d'opérations de forge (moyenne autour de 200 g d'après Orengo [2003], ou moyenne de 160 g d'après Bauvais [2007]). Ces caractéristiques ne peuvent s'expliquer uniquement par l'occurrence des activités d'épuration de loupe. En effet plusieurs culots analysés, caractéristiques d'opération de forge, se rattachent aux culots « lourds » (Tableau 2). De plus, une forte proportion du corpus correspond à des déchets denses ou très denses. Ces éléments reflètent des phases de travail vraisemblablement longues pouvant aller de pair avec des pertes importantes, et pourraient témoigner de la répétitivité d'une activité intense.

### Les produits et déchets métalliques

Un nombre minimum de quatre-vingt-neuf déchets et produits métalliques a été identifié (Tableau 1). Ils dénotent d'une forte variabilité à la fois pondérale et morphologique. Nous avons différencié dans un premier temps trois grandes catégories de produits métalliques, d'après leurs caractéristiques macroscopiques :

- Les masses brutes de réduction, qui correspondent à des masses métalliques d'aspect irrégulier (porosités et excroissances métalliques visibles macroscopiquement) dénotant d'un martelage sommaire.

- Les demi-produits, qui rassemblent des produits intermédiaires d'aspect majoritairement régularisé par la présence d'au moins deux surfaces totalement aplanies. Ils peuvent néanmoins conserver localement un aspect brut. Ils présentent souvent des sections parallélépipédiques.

- La dernière catégorie correspond aux chutes. Elle regroupe des pièces de métal et des objets en cours de fabrication, rejetés durant leur transformation en forge. Leur aspect de surface est régulier. Elles comportent des traces de transformation évidentes : tranche, martelage...

Un échantillon de vingt-deux déchets, représentatif de chaque catégorie a été sélectionné pour analyses.

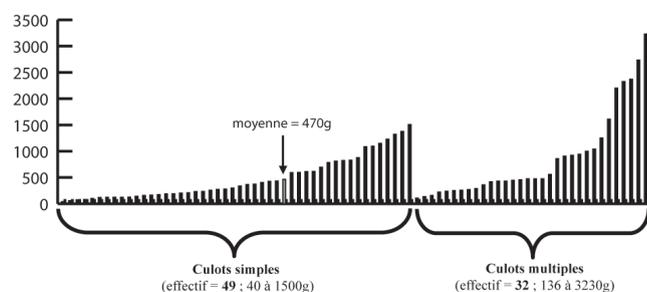


Tableau 3 : Distribution des culots de post-réduction, simples et multiples, par poids.

Table 3: Distribution of the post-reduction hearth-bottoms, simple and multiple, by weight.

– Les masses brutes de réduction :

Deux loupes complètes, pesant respectivement 7,3 kg et 6,1 kg ont été identifiées. Dénotant d'un compactage en cours, elles conservent un aspect brut, par les cavités et excroissances observables macroscopiquement (Fig. 3-4). L'une des surfaces de la première loupe mise au jour (Fig. 3; 1966-9 n° 1) a été totalement aplanie par martelage, tandis que la seconde (Fig. 4; 1988-9-68 n° 19) témoigne d'un processus partiel de replis des extrémités sur elles-mêmes. Chacune de leurs faces reflète également des traces d'un martelage peu poussé. En surface, des battitures en formation et, au sein du métal, la déformation des inclusions et de nombreux replis en cours de fermeture ou soudés témoignent également de ce martelage multidirectionnel. Bien que le degré de compacité du métal soit très élevé, la proportion des inclusions et des porosités est encore importante. Elle dépasse 25 % de la section étudiée, ce qui reflète un processus d'épuration largement inachevé (Tableau 4). Par ailleurs, des zones filamenteuses, héritage direct de l'éponge brute de réduction, subsistent en périphérie de l'une de ces masses métalliques. L'« assèchement » des inclusions était quant à lui largement initié : seule une proportion réduite d'entre elles subsiste. Ces loupes ne sont donc pas dans un état brut, comme à leur sortie du bas fourneau, mais ont déjà été partiellement épurées.

De manière indirecte, elles témoignent d'une bonne maîtrise des procédés de réduction. Ceux-ci ont en effet abouti à la production de loupes denses en métal, de composition faiblement hétérogène, ne nécessitant qu'une opération de compactage relativement limitée. Les structures, majoritairement ferritique (70 %) pour l'une et majoritairement aciée (85 %) pour l'autre, conduisent à se demander si les artisans pratiquant la réduction du minerai pouvaient obtenir de façon volontaire (et à la demande?) des produits plus ou moins carburés.

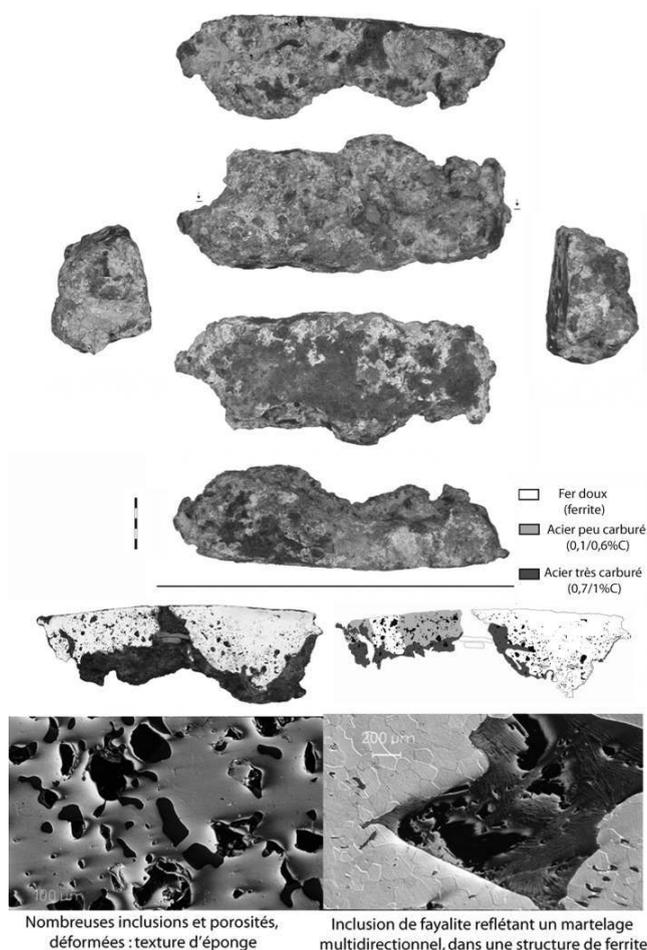


Figure 3 : Macrographie et micrographies de la loupe 1966-9 n° 1.

Figure 3: Macrography and micrography of the bloom 1966-9 n° 1.

Des éclats de loupes ont également été identifiés en tant que déchets isolés (10 individus – Tableau 1). Ils se caractérisent par un aspect de surface proche des loupes étudiées. Très peu ou non martelées, leurs surfaces comprennent encore de nombreuses irrégularités sous la forme de grosses porosités ou d'excroissances. La présence de nombreux replis dans l'échantillon analysé (1985-8-7-69 n° 51), reflète également un compactage en cours. La subsistance de grosses poches de fayalite, peu déformées, en inclusion et en périphérie du métal indiquent une fluidification de la scorie inachevée. Ces déchets correspondraient donc à des fragments de loupe (ou « *gromps* » – Nosek, 1994), à des stades d'épuration plus ou moins avancés.

– Les demi-produits :

Trente-sept demi-produits ont été individualisés. Ils reflètent une très grande variabilité morphologique et pondérale. Leur masse peut varier entre 1,5 kg et 100g tandis que leur

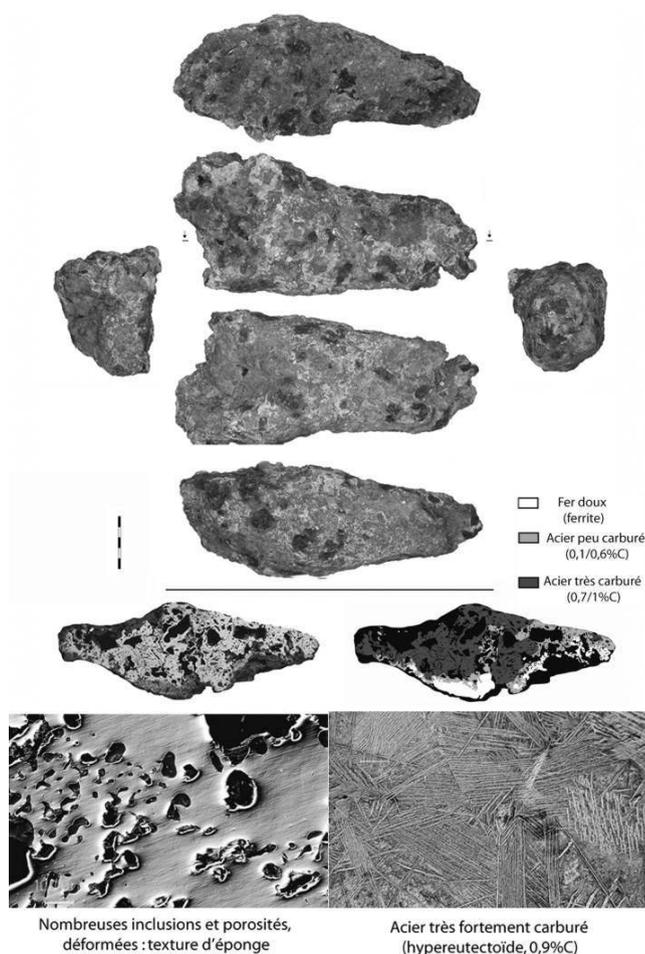


Figure 4 : Macrographie et micrographies de la loupe 1988-9-68 n° 19.

Figure 4: Macrography and micrography of the bloom 1988-9-68 n° 19.

longueur varie entre 210 mm et 45 mm. D'aspect majoritairement parallélépipédique, certains d'entre eux correspondent à des fragments de loupe sommairement compactés et conservent un aspect relativement informe. L'analyse de dix demi-produits confirme cette grande variabilité à l'échelle microscopique. Leur qualité inclusionnaire est ainsi très différente (Tableau 4). Elle oscille, en fonction des échantillons, entre une qualité très médiocre (plus de 25 % d'impuretés) et excellente (de 5 à 0 %). Deux caractéristiques sont cependant récurrentes : ils ont été formés à partir de la déformation d'une masse de métal unique (absence de soudures de feuilles ou de replis), et leurs caractéristiques structurales sont comparables (Tableau 4). Il s'agit principalement de pièces de composition hétérogène constituées de ferrite et dans une moindre proportion d'acier.

– Les chutes :

Les chutes sont les déchets métalliques les plus nombreux (40 individus). Contrairement aux demi-produits elles se caractérisent par une relative homogénéité morphologique et pondérale. Prenant la forme de fer plats, tôles ou barres, leur masse varie entre 4 g et 80 g au maximum. Correspondant le plus souvent à des éléments rejetés suite à un coup de tranche ou de marteau, ces pièces sont de taille réduite et ne dépassent pas les 80 mm. L'analyse de cinq chutes permet de confirmer l'homogénéité du lot (Tableau 4). Comme cela avait déjà été observé pour les demi-produits, il s'agit majoritairement d'objets de composition mixte ferrite/acier. C'est néanmoins leur qualité inclusionnaire évaluée comme excellente (5 à 0 % d'inclusions et porosités), qui reflète au mieux leur homogénéité. De façon distinctive, seules ces chutes révèlent des techniques de mises en forme complexes (par replis ou assemblage de plusieurs feuilles), ainsi que l'application de traitements thermo-chimiques (soudure, trempe, cémentation). Ces caractéristiques sont comparables à celles des objets finis étudiés (Tableau 4). Elles permettraient de confirmer leur rejet durant les phases finales du travail en forge.

La maîtrise de ces traitements thermo-chimiques démontre de plus une nécessaire acquisition de techniques particulières et donc un transfert de savoir-faire spécialisés. La réalisation de tous les types de soudures (fer/fer, acier/acier, fer/acier – Tableau 4 ; Fig. 5) en témoigne de façon particulièrement parlante. Elle dénote en effet d'une très bonne maîtrise des températures durant les opérations de forge, ainsi que le contrôle des phénomènes d'oxydation de la surface du métal chauffé. En effet ces opérations sont particulièrement difficiles à réaliser en raison des paliers de soudabilité distincts entre une feuille de fer doux et une aciérée. Des difficultés inhérentes à chaque alliage doivent de plus être prises en compte : les soudures fer/fer ne peuvent être exécutées qu'à haute température (1 200 °C-1 300 °C), pour les aciers les températures sont plus basses (830 °C-900 °C) mais il faut tenir compte d'une possible décarburation (Fluzin, 1983).

L'application de traitements de cémentation volontaires, observés pour un objet sur une épaisseur de plus de 20 mm, et l'identification d'opérations de trempe (Fig. 5 ; Tableau 4), sans être véritablement complexes, témoignent également d'une bonne connaissance des propriétés de l'acier. Elles ont toutes deux pour but de renforcer la dureté d'un objet soit par diffusion de carbone, soit par refroidissement rapide. La première sous-entend de plus un investissement en temps important, pouvant aller d'une dizaine d'heures à une journée, en fonction de l'épaisseur à cémenter.

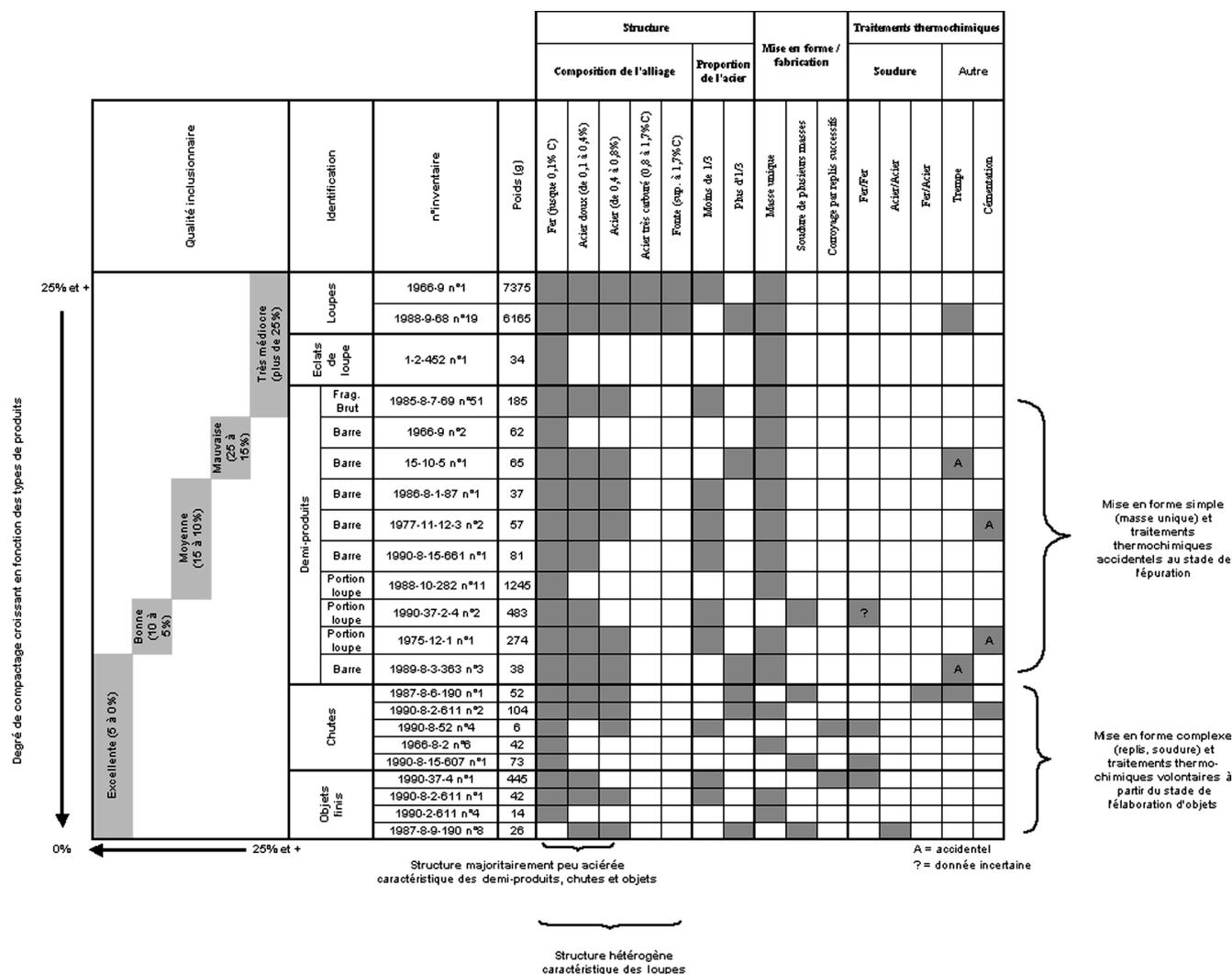


Tableau 4 : Synthèse des résultats des analyses archéométriques sur les déchets et produits métalliques provenant d'Entremont.  
 Table 4: Synthesis of the archeometrical analyses on the waste-products and metal products from Entremont.

### Synthèse : nature des activités pratiquées sur le site

Il s'avère que les déchets mis au jour à Entremont se rapportent uniquement aux activités de post-réduction. Aucune scorie de réduction de type fond de four, ou scorie coulée en plaques n'a en effet été identifiée. La réduction du minerai afin d'obtenir du métal n'était donc pas pratiquée sur le site même. Les produits issus directement de l'opération de réduction sont par contre présents. Il s'agit de deux loupes en cours de transformation. Sans exclure la réalisation d'un compactage primaire à la sortie du bas fourneau, afin de profiter de l'inertie thermique, il semble qu'une grande partie de leur dégrossissage se soit effectuée à Entremont, donc à distance du lieu de réduction. Les battitures en formation en

surface des loupes excluent leur déplacement sur de grandes distances après la dernière phase de martelage. Mais ce sont surtout les éclats de loupes, déchets issus directement du travail de ces masses brutes, identifiés de manière individualisée et au sein de culots, qui constituent un témoin direct d'une activité d'épuration-compactage à Entremont.

Travaillées sur place, les loupes ont ensuite été transformées en une série de demi-produits. Nous avons souligné que les exemplaires retrouvés sur le site ont des caractéristiques extrêmement variables, tant du point de vue macroscopique que microscopique. À partir de ces variations trois catégories de demi-produits ont été individualisées (Fig. 6 et Tableau 4) :

- des **portions de loupes** (9 exemplaires). Cette catégorie rassemble des demi-produits pesant entre 1,5 kg et 250 g.

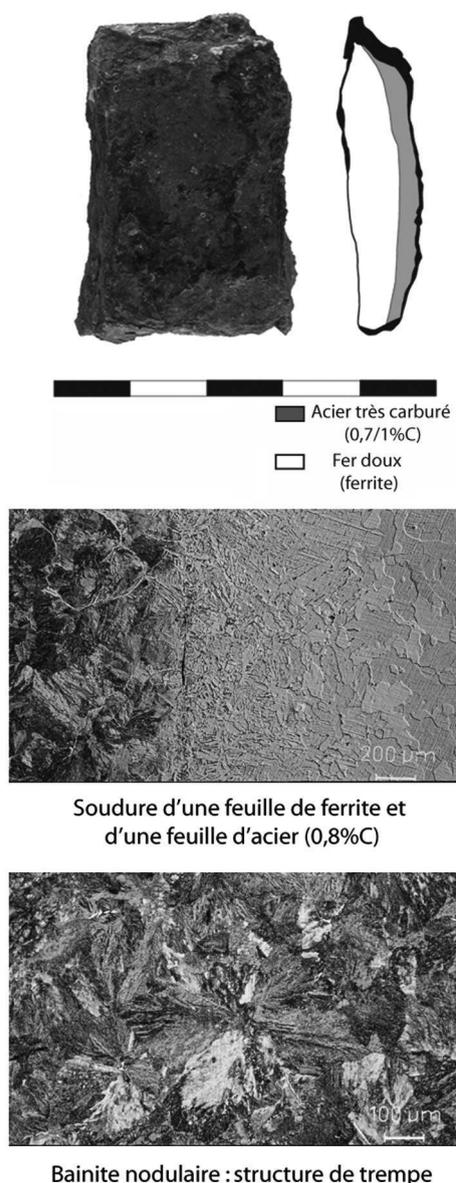


Figure 5 : Chute de métal formée par la soudure d'une feuille d'acier trempée et d'une feuille de ferrite (1987-8-6-190 n° 1).  
 Figure 5: Metal offcut fabricated by the welding of a quenched steel sheet and a sheet of ferrite (1987-8-6-190 n° 1).

Partiellement compactées certaines zones peuvent encore présenter un aspect brut. L'analyse de trois d'entre eux (Tableau 4) dénote un compactage poussé avec une qualité inclusionnaire évaluée comme excellente (5 à 0 % d'inclusions et porosités) dans les parties centrales. Localement, et particulièrement dans les extrémités, cette qualité peut être moyenne (15 à 10 % d'impuretés) et dénoter d'un processus d'épuration incomplet.

– des **fragments de métal bruts** (8 exemplaires). Ces pièces pèsent entre 250 et 50 g. Leur morphologie ne reflète qu'un

compactage grossier n'ayant régularisé qu'imparfaitement les surfaces. La qualité inclusionnaire d'un exemplaire étudié (Fig. 6 – Tableau 4) se rapproche de la texture d'une éponge et livre une forte proportion (plus de 25 %) de porosités, d'inclusions et de replis à tous les stades de formation. L'assèchement des inclusions était incomplet mais avait débuté.

– Des **barres** (20 exemplaires). Cette dernière catégorie rassemble des produits de formes diverses se présentant sous l'aspect de barres quadrangulaires, de barres à soie ou bien de fers plats aux surfaces soigneusement mises en forme. Les plus fréquentes, elles correspondent à des produits de petite taille et de faible masse, pesant entre 10 et 90 g au maximum. Les six exemplaires analysés (Tableau 4) reflètent une qualité de compactage évaluée majoritairement comme moyenne ou bonne (15 à 5 % d'inclusions et porosités), elle n'est mauvaise (25 à 15 % d'impuretés) que pour deux exemplaires.

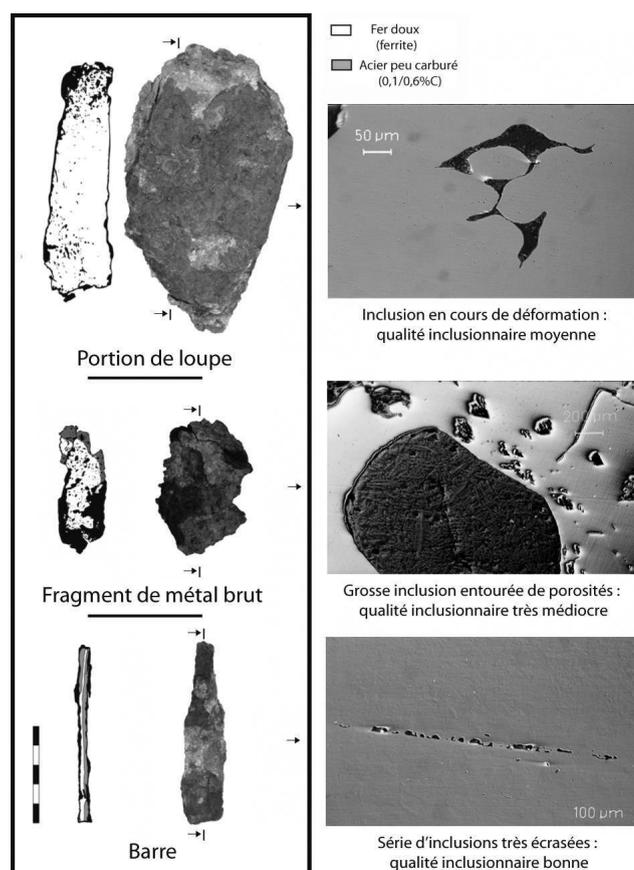


Figure 6 : Typologie des demi-produits provenant d'Entremont (portion de loupe : 1988-10-282 n° 11, frag. brut : 1985-8-7-69 n° 51, barre : 1989-8-3-363 n° 3).

Figure 6: Typology of the half-products from Entremont (part of bloom: 1988-10-282 n° 11, raw fragment: 1985-8-7-69 n° 51, bar: 1989-8-3-363 n° 3).

Nous avons déjà évoqué que la composition hétérogène (ferrite/acier) de ces demi-produits était l'une de leurs seules caractéristiques commune. Formés de masses de métal uniques, ils auraient été obtenus à partir de fragments individualisés de loupes de composition hétérogène. Se distinguant dans une certaine mesure par leur qualité inclusionnaire, ce sont néanmoins principalement l'aspect extérieur (brut, régulier, mixte) et la masse qui différencient de manière la plus évidente ces demi-produits.

Ces données permettraient de proposer que les portions de loupes (1,5 kg-250 g), rassemblant les demi-produits les plus volumineux, aient pu servir à la fabrication de plusieurs objets (rares sont les objets sur le site pesant jusque 1,5 kg<sup>5</sup>), tandis que les barres (10 à 80 g), et éventuellement les fragments de loupes (250 à 50 g), auraient pu être destinés à la fabrication d'un seul objet. Nous nous trouverions face à deux catégories distinctes de demi-produits.

Les portions de loupe, correspondraient à une matière première déjà épurée, ayant comme fonction supplémentaire de servir de réserve de métal. On peut se demander si cette dernière caractéristique n'en faisait pas un type de produit destiné à circuler.

Les fragments de métal bruts correspondent quant à eux à de véritables morceaux de loupes, dont le martelage et l'épuration ont seulement été initiés, sans avoir été achevés. Il pourrait s'agir de fragments destinés à être transformés directement en objets ou bien en attente de mise en forme. Les barres correspondraient quant à elles à des productions plus avancées dans la chaîne opératoire et constitueraient des sortes de « barres-ébauches » directement transformables en objets.

On peut supposer que la destination première de ces produits, par leur taille réduite pour les barres (longueur moyenne 8 cm) ou par leur aspect brut pour les fragments de métal brut, n'était pas destinée à faciliter leur commercialisation sur de longues distances. Il est plus probable qu'ils correspondent à des « sous-produits » issus des réserves de métal (brutes ou déjà épurées) circulant à plus large échelle.

Ces différences entre types de demi-produits pourraient également refléter des productions adaptées à des demandes diverses, en fonction des acquéreurs, et se pliant à des critères définis : par exemple la taille des objets à produire ou la qualité de la matière première (nécessité d'une épuration supplémentaire ou non).

La présence de nombreuses chutes, fabricats d'objets et culots révélant un travail de forge, atteste finalement de la continuité des opérations de compactage-épuration du métal

jusqu'à la fabrication d'objets. Comme nous l'avons évoqué cette continuité a d'ailleurs été observée dans quelques culots. Dans certains cas il ne semble donc pas y avoir eu de séparation, au moins temporelle, entre les activités de compactage-épuration de la loupe (ou de ses fragments) et celle d'élaboration des objets.

La nature de la production paraît avoir été majoritairement orientée vers des produits de petite taille. Les chutes et surtout les fabricats identifiés mesurent en moyenne quelques dizaines de centimètres de long. La structure d'une grande partie des culots de forge analysés reflète également la mise en forme d'objets de taille réduite (Tableau 2 – texture hétérogène caractéristique de chauffés de faible amplitude et haché adaptées au travail d'un métal peu épais et/ou aciéré ; taille réduite des battitures globulaires proportionnelle à la taille des objets martelés).

Une production ponctuelle d'objets plus volumineux n'est cependant pas à exclure. Un demi-produit en cours de mise en forme dénote ainsi de la volonté d'obtenir une pièce massive (L : 21 cm, masse : 500 g). Quelques rares culots confirment également la transformation de masses métalliques de taille importante (Tableau 2 – texture homogène caractéristique de cycles thermiques longs adaptés à la chauffe de pièces volumineuses ; battitures globulaires de taille centimétrique – Fig. 2 – reflétant un martelage intensif sur des objets épais). Néanmoins le travail de ce type d'objets semble être resté marginal : quatre culots sur quatorze analysés livrent ce genre d'indices (Tableau 2).

Quelques ébauches et objets en cours de fabrication nous fournissent une image encore plus précise des types d'objets fabriqués sur le site. Il s'agit de deux ébauches de fibules, d'ébauches de serpettes, de gouges et de couteaux reflétant une production de nature variée tant du point de vue de la morphologie (produits plats/produits longs) que des types d'activités socio-économiques concernées (parure, outillage agricole et artisanal, ustensiles personnels).

Il n'est pas possible d'estimer précisément la périodicité du travail de forge à Entremont. Néanmoins plusieurs paramètres nous fournissent une image de son ampleur au sein de l'oppidum. Il s'agit d'une part des culots démontrant, comme nous l'avons vu, une certaine intensité dans le travail de post-réduction, associée à la découverte de plusieurs loupes destinées à la fabrication d'importantes masses d'objets. D'autre part du panel complet des activités de post-réduction pratiquées sur le site (épuration de loupes, fabrication de demi-produits, élaboration d'objets). Et enfin de la nature des productions, de morphologie diverse et touchant à des domaines socio-économiques variés (artisanat avec l'outillage, vie quotidienne avec la parure...). Prenant

5. Cf. étude de B. Girard.

sa place aux côtés d'autres activités artisanales ou vivrières, ayant pu être exportatrices (production du vin, de l'huile...) (Arcelin, 2006) l'activité sidérurgique à Entremont semble donc avoir été régulière et à visée vraisemblablement productive.

### 3. ORGANISATION SPATIALE DES ACTIVITÉS

Les activités métallurgiques (épuration/forge) pratiquées à Entremont doivent à présent être resituées dans leur contexte chronologique et géographique, afin d'envisager la question de leur organisation et de leur spécialisation. Comme l'attribution des culots à chacune des étapes de la chaîne opératoire nécessiterait un programme d'analyses métallographiques systématiques, ceux-ci n'ont pas été pris en compte dans notre étude spatiale. Nous nous sommes uniquement basés sur la répartition des déchets et produits métalliques, caractéristiques de la chaîne opératoire. Les déchets ont été attribués à l'une ou l'autre des activités à partir de leurs caractéristiques macroscopiques, complétées, le cas échéant, par les données provenant des analyses métallographiques.

Les loupes et leurs éclats, ainsi que les fragments bruts ont été considérés comme des indicateurs d'activités d'épuration (Fig. 7 : étoiles). Les chutes, les fabricats et les barres en cours de transformation sont des déchets caractéristiques des activités de forge (Fig. 7 : cercles). Les demi-produits de type portions de loupes, et les barres sans traces de mises en forme (tranche...), correspondent à des produits intermédiaires et n'ont pas été pris en compte dans l'analyse spatiale.

Si durant la première phase 2a (150/130 av. J.-C. – Fig. 7) seules les activités de forge d'élaboration d'objets semblent avoir été pratiquées sur le site, on observe dès la phase 2b (130-123 av. J.-C.) une diversification des productions. La découverte d'une loupe et d'éclats de loupe, aux côtés de déchets de forge, permet de supposer la pratique d'activités de post-réduction variées dès cette phase (Fig. 7 – phase 2b). Les déchets en lien avec l'activité d'épuration de loupes se localisent alors de manière préférentielle autour et dans l'îlot 8, aux côtés de chutes d'élaboration d'objets. Le second secteur artisanal, situé au sud (îlot 29), livre au contraire uniquement des indices de forge d'élaboration d'objets.

Cette apparente opposition entre l'îlot 29, caractérisé par l'abondance des déchets de forge, et l'îlot 8, associant des déchets de forge et d'épuration, se renforce encore dans la dernière phase d'occupation (2c – 123/90 av. J.-C.). La quasi-totalité des déchets en relation avec le travail de compactage de loupe/fabrication de demi-produits sont circons-

crits aux environs de l'îlot 8, tandis que le secteur de l'îlot 29 ne présente quasiment que des déchets pouvant être rattachés au forgeage (Fig. 7 – phase 2c).

La prise en compte des déchets « hors stratigraphie » (provenant des fouilles anciennes, avant 1984, et localisables) confirme ce schéma : les déchets d'épuration sont concentrés uniquement dans le secteur de l'îlot 8, seules des chutes de forge proviennent de la partie sud-est du site (Fig. 7 – déchets HS).

Il semble donc que nous nous trouvions face à un site où les activités de post-réduction étaient sectorisées. S'il n'est pas possible de parler de spécialisation technologique des ateliers, ceux-ci semblent néanmoins se caractériser par une « orientation technologique » de leurs pratiques. Les ateliers de l'îlot 8 auraient ainsi pratiqué l'intégralité de la chaîne opératoire de post-réduction, c'est-à-dire le compactage de la loupe, la production de demi-produits et l'élaboration d'objets, dans un même secteur (l'absence de conservation des structures artisanales ne nous permet pas de savoir si un ou plusieurs ateliers se côtoyaient dans une même zone). Les culots livrant les indices d'une continuité des opérations compactage-forge proviennent d'ailleurs de ce secteur et de ses alentours. Les ateliers des environs de l'îlot 29 auraient quant à eux été spécialisés dans l'élaboration d'objets finis à partir de demi-produits déjà préparés.

Dans un tel schéma il est possible que les demi-produits (portions de loupes?) épurés et mis en forme au nord de l'agglomération (îlot 8) aient par la suite été revendus, au moins pour une part, aux forgerons du sud de l'oppidum (îlot 29) ne pratiquant pas l'épuration de la matière première.

Il semble donc exister au sein d'Entremont une organisation spatiale précise des activités, démontrant une gestion de la matière première à des fins de commercialisation (interne et/ou externe). Cette organisation suggère de plus une certaine spécialisation des artisans.

### 4. LA SIDÉRURGIE À ENTREMONT DANS SON CONTEXTE RÉGIONAL

La présence de loupes en cours de compactage à Entremont, sans indices de réduction sur le site même, reflète une importation de produits bruts de réduction sur l'oppidum. L'abondance des déchets et des produits métalliques (5,2 kg en excluant les loupes), en lien avec les activités d'épuration/compactage de loupes, et leur occurrence durant les deux dernières phases du site (2b et 2c), témoignent d'un approvisionnement vraisemblablement régulier, en tout cas non isolé.

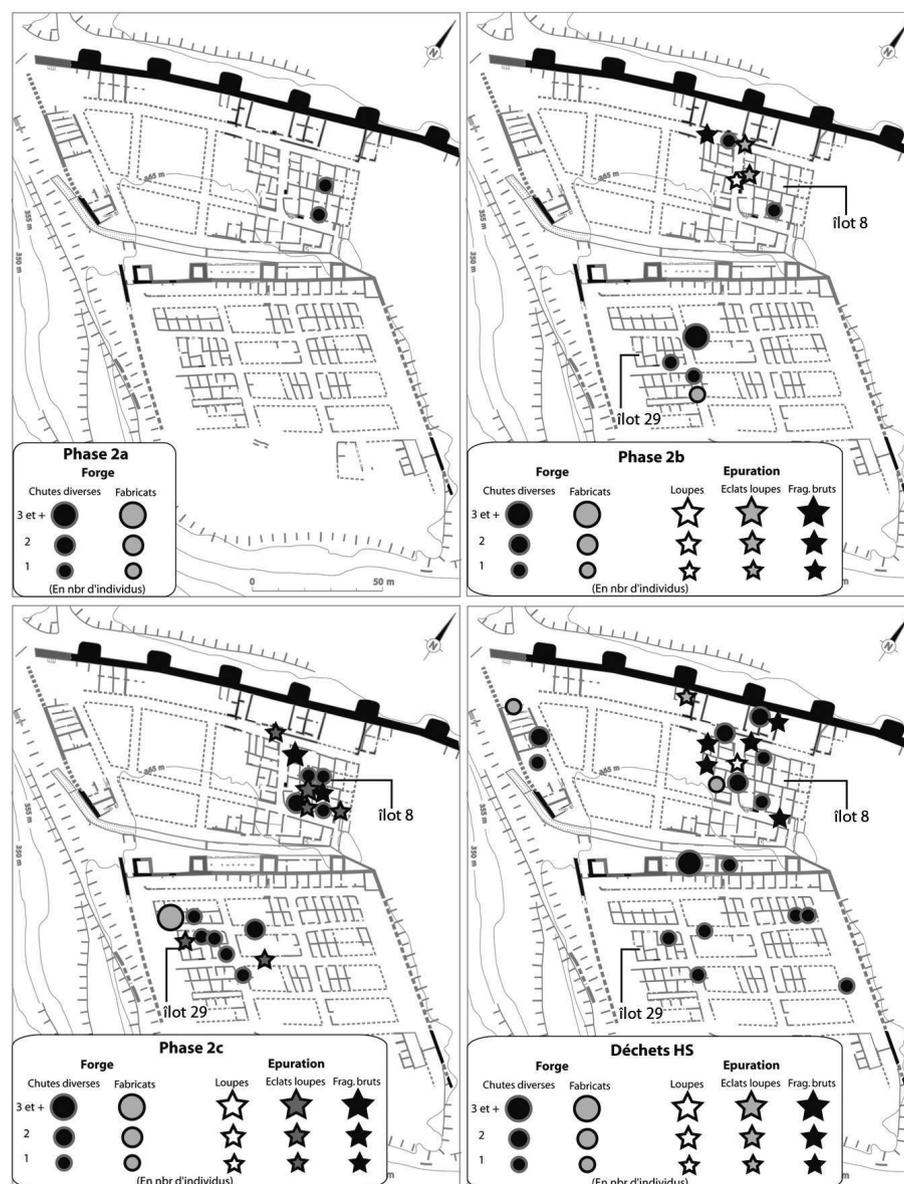


Figure 7 : Localisation, par phase, des déchets caractéristiques des activités de forge et d'épuration.

Figure 7: Localisation, by phase, of waste products characteristic of forge and refining activities.

Cette importation de loupes ne semble pas s'être effectuée uniquement au profit d'Entremont. Un site contemporain des phases 2a et 2b d'Entremont, et situé à une vingtaine de kilomètres de l'oppidum (Fig. 1), nous fournit des éléments de comparaison particulièrement intéressants. Il s'agit de l'oppidum de Mimet<sup>6</sup> « La tête de l'Ost » (Roth-Congès 1980), sur lequel une autre loupe a été mise au jour (Fig. 8). De masse plus faible

(3,8 kg), elle présente certaines similitudes, en termes de traitement en post-réduction, avec les loupes d'Entremont. Ses inclusions et porosités témoignent d'un martelage multidirectionnel. Des inclusions de fayalite de taille importante subsistent au sein du métal et reflètent un assèchement inachevé de la scorie. Il s'agit également d'une masse de métal hétérogène, constituée aux trois quarts d'acier. Découverte avec un culot associant indices de forge et d'épuration, cet exemple démontre

6. Fouilles A. Roth-Congès (CNRS).

de nouveau une transformation de produits de mauvaise qualité inclusionnaire, au sein d'un atelier d'habitat, avec une poursuite des opérations jusqu'à l'élaboration d'objets.

L'importation de loupes brutes aurait donc pu s'effectuer, à l'échelle de cette micro-région, à partir des ateliers de réduction vers des habitats aux activités de post-réduction élargies (épuration/forge). D'après les données actuellement disponibles aucun site intermédiaire, spécialisé dans la transformation de masses brutes en demi-produits, et qui aurait pu avoir une fonction de relais, n'a été identifié.

La masse importante des loupes identifiées (de 4 à plus de 7 kg) et surtout leur morphologie brute, devaient rendre leur transport moins aisé que sous la forme de demi-produits (on peut d'ailleurs se demander si la présence d'une face totalement plane sur deux de ces loupes n'était pas destinée, entre autres fonctions, à les empiler plus aisément). Des expérimentations ont démontré que le compactage de loupes brutes pouvait entraîner des pertes comprises entre 20 et 50 % de la masse initiale, en fonction de l'avancement du procédé d'épuration (Leroy *et al.*, 2000). Les loupes que nous avons étudiées sont des produits denses en métal. Les pertes lors d'une transformation ultérieure auraient été probablement plus proches des 20 % de leur masse initiale. Dans le cadre d'échanges à longues distances, les artisans auraient probablement cherché à épurer et à mettre en forme des loupes pesant plusieurs kilogrammes afin de faciliter leur déplacement (gain en volume et en poids). Ces éléments permettraient d'envisager une importation de loupes à Entremont et à Mimet, à partir d'ateliers de réduction peu distants (dans un rayon de plusieurs dizaines de kilomètres pour un transport sur chariots/charrettes). Aucun site de cette nature n'est cependant connu à ce jour dans la région pour cette période.

Situé aux carrefours de grands axes régionaux (Arcelin, 2006) pour Entremont et sur un axe de circulation secondaire pour Mimet (Martys, 2006), ces deux sites reflètent une intégration à des courants commerciaux impliquant des acteurs régionaux (céramique marseillaise) et plus lointains (principalement méditerranéens) (Arcelin, 2006; Martys, 2006). Dans une perspective d'étude de la circulation de la matière première, un programme d'analyses chimiques, se basant sur la méthodologie mise au point par P. Dillmann (Dillmann, 2006; Dillmann, L'Héritier, 2007), et portant sur les loupes et déchets provenant de ces sites est prévu. Son objectif est l'identification non pas de l'origine de la matière première (absence de sites de réduction connus), mais de groupes de provenance, afin de s'interroger sur l'ampleur du réseau de circulation du métal brut (un ou plusieurs ateliers d'origine?). En effet les loupes mises au jour à Entremont

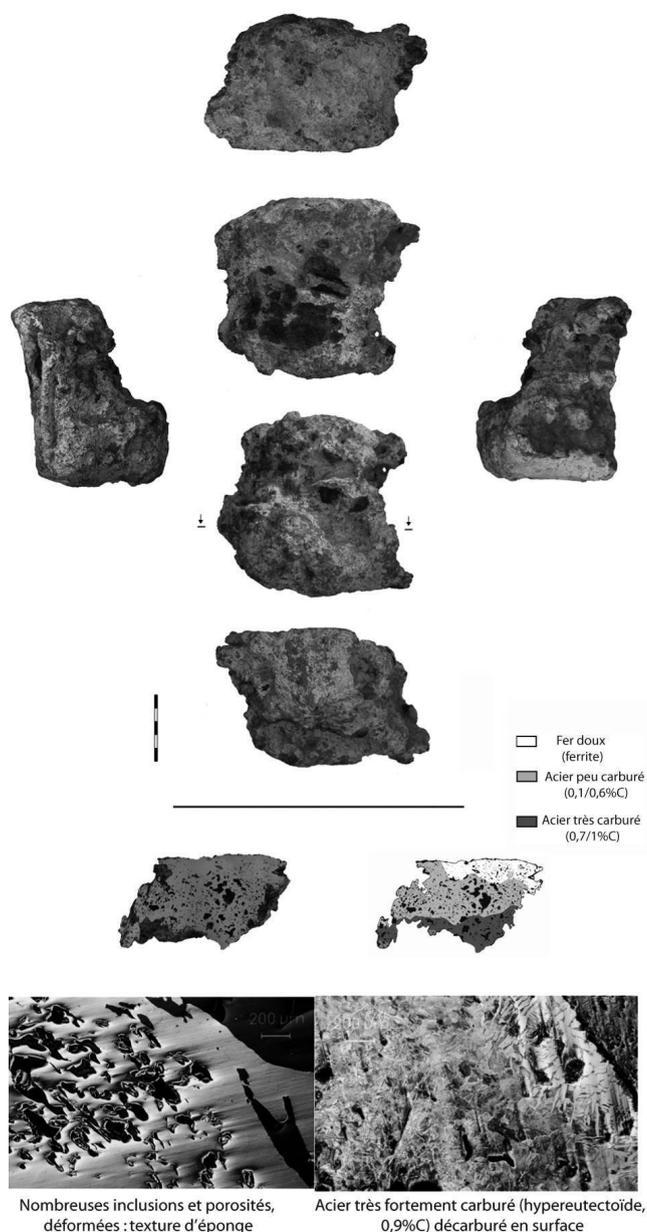


Figure 8 : Macrographie et micrographies de la loupe mise au jour à Mimet « La tête de l'ost ».

Figure 8: Macrography and micrography of the bloom from the site of Mimet "La tête de l'ost".

(1966-9 n° 1) et à Mimet partagent une série de caractéristiques communes : morphologie générale, aplatissement récurrent d'une surface et gradation progressive de la teneur en carbone à partir d'une surface totalement irrégulière (fig. 3 et 8), qui posent la question de leur fabrication dans des ateliers identiques. Cette hypothèse mériterait d'être testée à partir de l'analyse chimique des inclusions présentes dans ces masses brutes.

Le site contemporain du Baou-Roux à Bouc-Bel-Air<sup>7</sup> (Boissinot, 1993; Boissinot, 2006), situé à une vingtaine de kilomètres d'Entremont et de Mimet, sera également pris en compte. Livrant des portions de loupe de morphologie comparable à celles d'Entremont, le Baou-Roux permettra de s'interroger sur les débouchés des productions de l'oppidum. Les portions de loupe, en tant que réserves de métal, pourraient en effet refléter une forme de conditionnement de la matière première dans un contexte d'échange à faibles distances. Il est néanmoins probable que ces échanges aient gardé un caractère limité du fait de leur mise en place durant une « période de guerre » (interventions romaines dans la région) pour la période concernée (période 2).

## CONCLUSION

Dans un contexte d'échange régional, l'oppidum d'Entremont apparaît comme un pôle centralisateur de savoir-faire et d'activités sidérurgiques variées (compactage de loupe – fabrication de demi-produits – élaboration d'objets). Il démontre une claire organisation de ses productions, à partir de catégories de demi-produits (portions de loupes, fragments de métal bruts et barres) ayant pu être destinés à des marchés différenciés, ainsi qu'une hiérarchisation de ses activités, organisées en secteurs distincts en fonction de leurs productions (épuration-forge et forge seule).

La participation à un ou des réseau(x) d'échange(s) intégrant un ou des atelier(s) de réduction environnant(s) lui est nécessaire pour l'importation de sa matière première brute. Néanmoins malgré son statut politique et son rôle économique, cet oppidum ne crée pas une dynamique monopolisatrice : d'autres sites, comme celui de Mimet « La tête de l'Ost », reflètent à une échelle moindre des activités comparables et une intégration à un réseau similaire.

Il s'avère à présent nécessaire de s'intéresser à la question de l'exportation des biens produits à Entremont, qui serait (Arcelin, Verdin, 2006) le seul site à l'échelle régionale à jouer un rôle de centre redistributeur. L'analyse chimique de déchets provenant de sites proches nous permettra d'aborder ces problématiques afin de savoir si le fer était exporté, notamment sous la forme de produits intermédiaires (demi-produits).

## Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement le SRA de Provence-Alpes-Côte-d'Azur qui a financé les analyses métallographiques dans le cadre du PCR d'Entremont.

Nous remercions également P. Arcelin, G. Congès et J.-P. Guillaumet pour l'accès à la documentation de fouilles et au mobilier.

Crédits photographiques : UMR 5060; Fonds de cartes Entremont : M. Rétif et P. Arcelin, modifications M. Berranger.

## Bibliographie

- ARCELIN, P., 2006. Avant *Aquae Sextiae*, l'oppidum d'Entremont, in Nocci F., Nin N. (dir.), *Aix en Provence, Pays d'Aix, Val de Durance*, Académie des inscriptions et Belles Lettres, p. 125-168 (Carte archéologique de la Gaule, 13/4.)
- ARCELIN, P. et VERDIN, F., 2006. La région d'Aix-en-Provence à l'âge du Fer, in Nocci, F., Nin, N. (dir.), *Aix en Provence, Pays d'Aix, Val de Durance*, Académie des inscriptions et Belles Lettres, p. 66-92, (Carte archéologique de la Gaule, 13/4.)
- ARCELIN, P., CONGÈS, G. et WILLAUME, M., 1990. *Compte-rendu des recherches archéologiques à Entremont (1988-1989)*, ministère de la Culture et de la communication (sous-direction de l'Archéologie).
- BAUVAIS, S., 2007. *Évolution de l'organisation des activités de post-réduction dans le nord du bassin-parisien au second âge du Fer : études multidisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer*, Thèse de doctorat, sous la direction de Philippe Fluzin, Université de Technologie Belfort-Montbéliard, 2007.
- BERRANGER, M., 2006. Les dépôts de demi-produits de fer (VIII<sup>e</sup>-I<sup>er</sup> siècle av. J.-C.) : contextes et associations de mobiliers, in Bataille G., Guillaumet, J.-P. (dir.), *Les dépôts métalliques au second âge du fer en Europe tempérée*, Glux-en-Glenne/Bibracte, 2006, Actes de la table ronde de Bibracte 13-14 septembre 2004, p. 211-220. (BIBRACTE, 11).
- BOISSINOT, P., 1993. *Archéologie de l'habitat protohistorique, quelques points méthodologiques (historiographie et épistémologie) examinés à partir de la fouille d'une agglomération de la périphérie massaliète*, Thèse de doctorat nouveau régime, Ecole de Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS) de Toulouse, 1993.
- BOISSINOT, P., 2006. Bouc-Bel-Air, in Nocci, F., Nin, N. (dir.), *Aix en Provence, Pays d'Aix, Val de Durance*, Académie des inscriptions et Belles Lettres, 2006 p. 515-529, (Carte archéologique de la Gaule, 13/4.)
- DILLMAN, P., 2006. *Études des alliages ferreux anciens : élaboration, utilisation, altération. Apport des techniques microfaisceau*. Habilitation à diriger des recherches, sous la direction de Béranger, G. et Fluzin, P., Université de Technologie de Compiègne, 2006.
- DILLMAN, P. et L'HERITIER, M., 2007. Slag inclusion analyses for studying ferrous alloy employed in French medieval buildings :

7. Fouilles P. Boissinot (EHESS).

- supply of materials and diffusion of smelting processes, *Journal of archaeological science*, XX, 2007, p. 1-14.
- DUFRAIGNE, J.-J., 2000.** Fouilles récentes à Entremont, in Chausserie-Laprèe, J. (dir.), *Le temps des Gaulois en Provence*, Martigues, 2000, p. 139-142.
- DUFRAIGNE, J.-J. et CHAPON, P., à paraître.** Recherches récentes sur l'oppidum d'Entremont, à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône) : étude de la voirie, des égouts et d'un atelier de forgeron dans l'îlot 1 de l'habitat 2, *Documents d'Archéologie Méridionale*.
- FLUZIN, P., 2006.** Premiers résultats des études métallographiques concernant les masses de métal brutes, in Tizzoni, M., Cuccini, C., Ruffa, M., *Alle origini della siderurgia lecchese. Ricerche archeometallurgiche ai Piani d'Erna*, p. 129-146.
- FLUZIN, P., 2002.** La chaîne opératoire en sidérurgie : matériaux archéologiques et procédés. Apports des études métallographiques, in Bocoum, H., *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienneté méconnue. Afrique de l'Ouest et Afrique centrale*, UNESCO, 2002, p. 59-91.
- FLUZIN, P., 1983.** Notions élémentaires de sidérurgie, in Échard, N., *Métallurgies africaines : nouvelles contributions*, Paris, 1983, p. 14-44, Mémoires de la société des Africanistes 9.
- FLUZIN, P., SERNEELS, V., HUYSECOM, E., BENOÎT, P. et T. KIENON, H., 2001.** Reconstitution of the operating chain in Paleo-iron and steel metallurgy from the archaeological remains : comparative studies with African ethno-archaeology, in Beyries, S. et Pétrequin, P. (ed.), *Ethno-archaeology and its transfers*, Fifth annual meeting in Bournemouth 1999, CNRS-UNSA, BAR International Series 983, 2001, p. 113-122.
- FLUZIN, P., PLOQUIN, A. et SERNEELS, V., 2000.** Archéométrie des déchets de production sidérurgique, in Domergue, C. et Leroy, M. (ed.), *Mines et métallurgie en Gaule, recherches récentes*, Gallia, 57, Paris, CNRS éditions, 2000, p. 101-121.
- FOURNIER, L. et MYLCENT, P.-Y., 2007.** Actualité des recherches sur l'économie du fer protohistorique dans la région Centre, in Mylcent, P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*. Actes du XXVIII<sup>e</sup> colloque de l'AFEAF, Toulouse, 20-23 mai 2004, Bordeaux, Aquitania, supplément 14/2, 2007, p. 85-105.
- LEROY, M., MERLUZZO, P., FLUZIN, P., LECLÈRE, D., AUBERT, M. et PLOQUIN, A., 2000.** La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer, in Pétrequin, P., Fluzin, P., Thiriout, J. et Benoit, P. (éd.), *Arts du feu et production artisanales*. Actes des rencontres 21-23 octobre 1999, Antibes, APDCA, 2000, p. 37-52.
- MARTYS, F., 2006.** Mimet, in, Nocci, F. et Nin, N. (dir.), *Aix en Provence, Pays d'Aix, Val de Durance*, Académie des inscriptions et Belles Lettres, 2006, p. 597-600, (Carte archéologique de la Gaule, 13/4.)
- MANGIN, M. (dir.) 2004.** *Le Fer*, Paris, Errance, coll. « Archéologiques ».
- MANGIN, M., FLUZIN, P., COURTADON J.-L. et FONTAINE M.-J., 2000a.** *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut Auxois, Côte d'Or). I<sup>er</sup> siècle av.-VIII<sup>e</sup> apr. J.-C.*, Paris, CNRS éditions, 2000.
- MANGIN, M., FLUZIN, P., COURTADON J.-L. et DE LACLOS, E., 2000b.** *L'agglomération antique de Blessey-Salmaise (Côte d'Or) : villages, forges et parcellaire aux sources de la Seine*.
- NOSEK, E., 1994.** The metallography of the gromps, in Mangin, M., *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, Paris, Les Belles Lettres, coll. « Annales littéraires de l'Université de Besançon 536 », p. 65-73, (Archéologie n° 40).
- ORENGO, L., 2003.** *Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne d'Auvergne : fabrication et consommation des produits manufacturés en fer en Gaule à l'âge du fer*, Éditions Monique Mergoïl, 2003.
- ROTH-CONGÈS, A., 1980.** L'oppidum de la Teste de l'Oste à Mimet : premiers sondages stratigraphiques (1978-1979), *Bulletin archéologique de Provence*, 5-6, p. 90-112.
- URTEAGA, M.-M. (ed.), 2002.** *Agorregiko burdinola eta errotaki (Aia, Gipuzkoa). La ferreria y los molinos de Agorregi*, Tome 2, Arkeologia experimental, 2002.