

L'économie du fer protohistorique :
de la production
à la consommation du métal

L'économie du fer protohistorique :
de la production à la consommation du métal

XXVIII^e colloque de l'AFEAF
Toulouse, 20-23 mai 2004

sous la direction de
Pierre-Yves Milcent

Aquitania
Supplément 14/2
— Bordeaux —

Sommaire

AUTEURS7

AVANT-PROPOS13

LA MÉTALLURGIE D'EXTRACTION : DU MINERAI À LA BARRE DE FER

CL. DOMERGUE,

La sidérurgie extractive en Transalpine et dans la Gaule indépendante à la fin de l'âge du Fer.

Essai de mise en parallèle17

S. CABBOI, Chr. DUNIKOWSKI, M. LEROY, P. MERLUZZO,

Les systèmes de production sidérurgique chez les Celtes du Nord de la France35

J.-B. VIVET,

La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections,

des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques63

L. FOURNIER, P.-Y. MILCENT,

Actualité des recherches sur l'économie du fer protohistorique dans la Région Centre85

Cl. POLO CUTANDO, C. VILLAGORDO ROS,

L'exploitation du fer en Sierra Menera (Teruel-Guadalajara, Espagne) aux III^e - I^{er} s. a.C.107

POSTERS

D. HONORÉ, G. LÉON, N. ROUDIÉ,

Deux sites de réduction et de forge de l'âge du Fer en Normandie117

J.-M. FABRE, D. RIGAL,

Les vestiges d'ateliers sidérurgiques de l'âge du Fer sur les sites de l'autoroute A20 : Courcan (Cours, Lot)125

M. BERRANGER,
Les demi-produits de fer au I^{er} millénaire a.C. en Europe continentale : potentialités d'études133

M.-P. COUSTURES, G. RENOUX, C. SCAON, D. BÉZIAT, Chr. RICO, Fr. DABOSI,
L. LONG, Cl. DOMERGUE, Fr. TOLLON,
Le point sur une méthode de détermination de provenance des objets en fer de la sidérurgie ancienne145

P. HALKON,
"Valley of the first Iron Masters". Recent research on Iron Age iron production and its significance
in the Foulness Valley, East Yorkshire, England..... 151

LA MÉTALLURGIE D'ÉLABORATION : DE LA BARRE DE FER À L'OBJET FINI

C. ROVIRA HORTALÀ,
Producción e intercambio de los primeros objetos de hierro del nordeste de la Península Ibérica (s. VII - VI a.C.)..... 167

Ph. GRUAT, Ph. ABRAHAM, C. MAHÉ-LE CARLIER, A. PLOQUIN,
avec la collab. de C. GRIMA, G. MARCHAND, G. MARTY,
L'artisanat du fer en milieu caussenard : l'exemple de l'enceinte du Puech de Mus
à Sainte-Eulalie-de-Cernon (Aveyron), aux V^e et IV^e s. a.C. 177

Y. MENEZ, J.-B. VIVET, K. CHANSON, M. DUPRÉ,
La forge de Paule (Côtes-d'Armor)213

S. BAUVAIS, St. GAUDEFRY, Fr. GRANSAR, Fr. MALRAIN, Ph. FLUZIN,
Premières réflexions sur l'organisation des activités de forge en contexte rural à La Tène finale en Picardie239

POSTERS

J.-L. FLOUEST,
Approches quantitatives de la production de fer sur le site hallstattien de Bragny-sur-Saône (Saône-et-Loire).....265

M. MAUVILLY, V. SERNEELS, M. RUFFIEUX, E. GARCIA CRISTOBAL,
Le travail du fer dans une forge du milieu du V^e s. a.C. à Sévaz/Tudings (canton de Fribourg, Suisse)271

Chr. DUNIKOWSKI, J.-M. SÉGUIER, S. CABBOI,
La production du fer protohistorique au sud-est du Bassin Parisien279

L. DHENNEQUIN,
Les ateliers de travail du fer au Mont Beuvray : présentation des fouilles récentes effectuées
dans la zone artisanale du Champlain sur l'*oppidum* de Bibracte291

A. SCHÄFFER,	
Eisenverarbeitung im <i>Oppidum</i> von Manching (Bayern). Untersuchungen zu Schlacken und Herdfragmenten der Grabung "Altenfeld" 1996-1999	299
K. KASTOWSKY, M. MEHOFER, P. C. RAMSL,	
Analyses métallographiques d'objets de fer laténiens autour du massif de la Leitha	305
LA CONSOMMATION DU FER : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES ; IMPLICATIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES	
J.-P. GUILLAUMET,	
Introduction. La paléomanufacture métallique, une nouvelle méthode d'étude	321
É. DUBREUCQ,	
Le petit mobilier en fer des habitats du Hallstatt D-La Tène A : un mobilier sous-exploité	329
O. NILESSE,	
Note à propos des armes de trois établissements ruraux de l'Ouest de la France	355
G. BATAILLE,	
Un nouveau protocole d'analyse des grands ensembles de mobiliers métalliques sur la base du NMI. L'exemple du sanctuaire laténien de La Villeneuve-au-Châtelot (Aube)	365
L. ORENGO,	
Hallstatt-La Tène : un "sous-âge du Fer" ? Et qu'en est-il de l'époque romaine ?	381
POSTERS	
A. FILIPPINI,	
Les couteaux en fer du Sud-Ouest de la Gaule (VIII ^e -V ^e s. a.C.)	395
M. GENERA I MONELLS,	
Le village protohistorique du Puig Roig del Roget (el Priorat) : spécialisation artisanale et signification socio-économique	407
P. FOSTER, P. SANKOT,	
La tombe n° 2254 de Tišice (Bohême centrale) et son contexte du V ^e s. a.C.	417
Remarque conclusive. L'économie du fer protohistorique (VIII ^e -I ^{er} s. a.C.). De la production à la consommation du métal	
V. SERNEELS	425

Posters

Les demi-produits de fer au I^{er} millénaire a.C. en Europe continentale : potentialités d'études

Marion Berranger

RÉSUMÉ

Les études sur les demi-produits de fer, sortes de lingots, se sont concentrées autour de deux thèmes : la monnaie et les analyses métallographiques. Cet article se veut une présentation d'autres pistes de recherches, liées à la métallurgie, abordables à partir de l'étude de cette matière première.

MOTS-CLÉS

demi-produit, métallurgie, monnaie, lingot, métallographie, chaîne-opératoire, dépôt, outil, déchet, économie

ABSTRACT

Studies of semi-worked products of iron, varieties of ingots, focus on two themes : coinage and metallographic analyses. This article is a presentation of other means of researching this topic, associated with metallurgy, which can be approached from this raw material.

KEYWORDS

semi-worked product, metallurgy, coinage, ingot, metallography, production process, deposit, tool, waste, economy

Les demi-produits de fer (ou produits semi-finis, barres) sont des objets se situant à une étape intermédiaire entre la matière première brute (la loupe) et l'objet en cours de fabrication. Ce sont des réserves de matière première, destinées à être transformées en objets. Contrairement aux loupes, qui sont également des réserves de métal, ces demi-produits ont subi une première étape de transformation : une épuration visant à évacuer les impuretés (scories) et à compacter les trous qui sont mêlés au métal brut obtenu à l'issue de la réduction (la chaîne opératoire de la transformation du fer a été étudiée par de nombreux auteurs, par exemple Serneels 1998 et Mangin 2004). Cette épuration entraîne une modification à la fois des propriétés physiques et de la forme de ces produits semi-finis.

L'intérêt pour les demi-produits de fer remonte au début du ^{xx}e s.¹. Les premières recherches se sont concentrées sur l'étude de la forme de ces objets et sur la détermination de leur fonction (monétaire et/ou artisanale). Cependant l'absence de découvertes en contextes bien documentés a empêché une étude chronologique fiable et prenant en compte leur environnement de découverte. Des fouilles récentes permettent de fonder ces recherches sur une documentation renouvelée. Après un bref bilan des recherches entreprises précédemment, nous présenterons les problématiques abordables à partir de la documentation disponible. Cette étude est le résumé de travaux menés dans le cadre d'une maîtrise et d'un DEA² et constituent des axes de recherches qui seront abordés dans une thèse de doctorat en cours.

1. BILAN DES RECHERCHES PORTANT SUR LES DEMI-PRODUITS DE FER

1.1. La typologie

Le conditionnement du fer sous deux formes principales de demi-produits, fer plat à extrémité roulée (plus communément appelé "*currency bar*") et bipyramidé, a été très tôt remarqué (fig. 1). Effectivement un grand nombre d'études porte sur

la typologie de ces objets, en fonction de ces deux grands types³. Aucune typologie cohérente n'a cependant résulté de ces différents classements. L'étude des "*currency bars*" a néanmoins progressé suite aux travaux récents de P. Crew sur la Grande-Bretagne⁴. Ses recherches ont débouché sur une typologie ayant une pertinence régionale, qui serait valable au moins pour cette zone géographique. Sa classification repose sur la forme des extrémités (enroulées, soudées...), sur la longueur et l'épaisseur des fers plats. La corrélation de cette typologie avec les résultats d'analyses métallographiques indiquerait des provenances distinctes en fonction des types reconnus.

Plus récemment un troisième type de demi-produits a attiré l'attention des chercheurs. Ces objets, de forme quadrangulaire, sont les demi-produits se trouvant le plus fréquemment dans les sites artisanaux d'époque romaine. Avant l'étude de Doswald⁵ aucune réflexion globale n'avait été entreprise sur eux. Une typologie a été réalisée à partir des exemplaires provenant des épaves trouvées en mer Méditerranée⁶. Elle prend en compte la forme globale de l'objet, de la section et la longueur. Des recherches actuelles se portent à présent sur la caractérisation métallographique de ces types⁷.

Lors de l'étude de ces objets, deux problématiques principales ont retenu l'attention des chercheurs : la question de la proto-monnaie d'une part et les aspects relatifs à la métallurgie d'autre part.

1.2. Une problématique monétaire

La question de la proto-monnaie a pour origine une phrase de Jules César⁸ concernant la Grande-Bretagne. Ces "*taleae ferreae*" ou barres de fer, qui auraient servi de monnaie, ont été rapprochées des fers plats à extrémité roulée trouvés en Grande-Bretagne. La première étude sur les produits semi-

1- Smith 1905.

2- Berranger 2003 et 2004.

3- Les plus significatives : Allen 1967 ; Crew 1994 ; Doswald 1994 ; Kleeman 1981 ; Mariën 1970.

4- Crew 1994.

5- Doswald 1994 ; Long 1997.

6- Long 1997.

7- Long & Rico 2004 ; cf. Coustures *et al.* dans ce même volume, infra p. 145-150.

8- *Utuntur aut aere, aut nummo aureo, aut taleis ferreis ad certum pondus examinatis pro nummo.* (Caes., BG, 5.12). "pour monnaie on se sert de cuivre, de pièces d'or ou de lingots de fer d'un poids déterminé." Traduction L.-A. Constans.

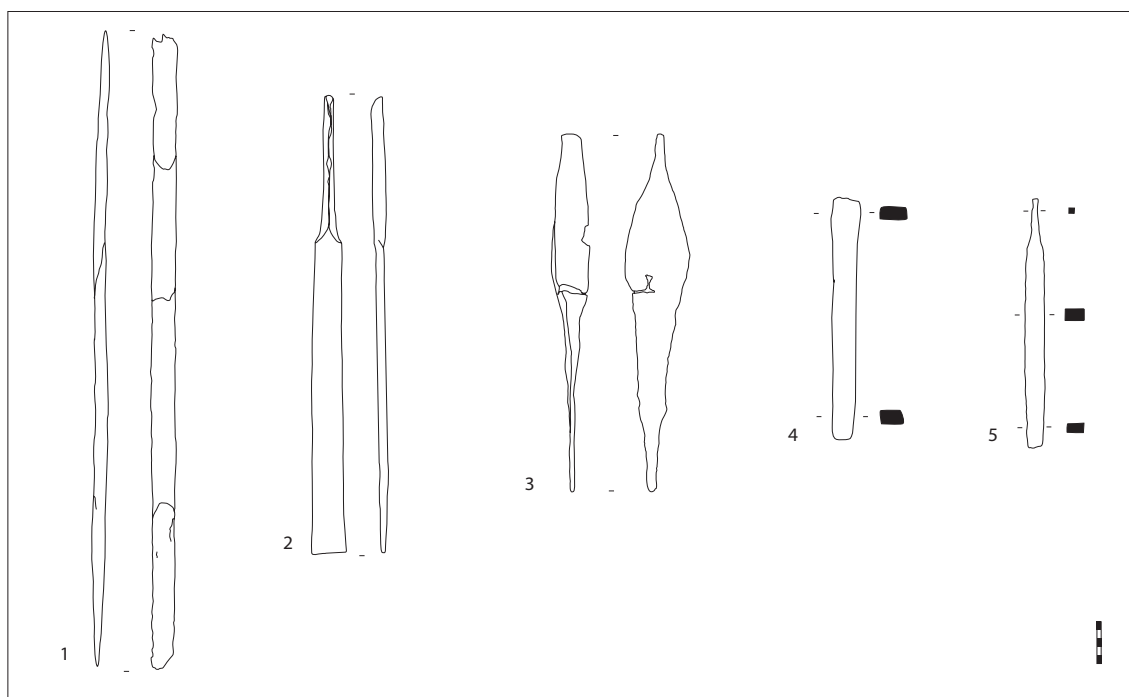


Fig. 1. Les cinq types connus de demi-produits de fer. **1.** Fer plat à extrémités amincies. Jully-les-Buxy (Saône-et-Loire), France (Berranger 2003) ; **2.** Fer plat à extrémité roulée ou "currency bar". Seurre (Saône-et-Loire), France (Berranger 2003) ; **3.** Bipyramidé. La Saône, France (Berranger 2003) ; **4.** Barre quadrangulaire. Tiefenau (canton de Berne), Suisse (d'après Müller 1990) ; **5.** Barre à soie. Mont Beuvray (Saône-et-Loire), France (Berranger 2003).

finis britanniques traite de cette question⁹ et introduit le terme de "currency bars". Cette désignation, utilisée encore actuellement, est cependant un présupposé de leur fonction, c'est pourquoi nous lui préférons ici le terme de fer plat à extrémité roulée, qui est uniquement descriptif.

En plus d'un siècle de recherches relatives à cette question, aucune réponse n'a permis de trancher sur leur fonction monétaire¹⁰. Cette problématique pourrait être abordée de manière différente, en complément de l'étude des caractéristiques intrinsèques de ces objets. L'attention aux contextes de découverte (statut du site, organisation des ateliers de production...) devrait apporter des éléments de réponse afin de saisir, non pas seulement la fonction de ces objets, difficile à définir, mais également leur place dans l'économie celtique.

1.3. Des problématiques liées à la métallurgie

La métallurgie a été l'autre thème de recherche traité de façon préférentielle. Effectivement, en tant que réserves de matière première destinée à être transformée en objet fini, ces demi-produits tiennent une place importante dans la sidérurgie protohistorique. Les recherches passées se sont concentrées sur leur étude technique et sur l'identification de leurs caractéristiques métallographiques.

Les chercheurs se sont accordés sur le fait que la forme de ces objets permettait un conditionnement aisé du métal¹¹ et que l'extrémité des produits semi-finis devait servir à faciliter leur préhension lors du travail en forge¹². P. Crew a, de plus, avancé que ces extrémités servaient à montrer les propriétés du métal : un métal de mauvaise qualité se serait fissuré lors de l'étirement des extrémités du demi-produit.

9- Smith 1905.

10- Smith 1905 ; Déchelette 1927 ; Hulme 1933 ; Tylecote 1962 ; Allen 1967 ; Crew 1994.

11- Kleeman 1981 ; Mutz 1981 ; Thouvenin 1984 ; Doswald 1994.

12- Kleeman 1981 ; Thouvenin 1984 ; Crew 1994.

Les analyses métallographiques ont abouti à la reconnaissance de propriétés distinctes en fonction des catégories de demi-produits. Les fers plats à extrémité roulée et les bipyramidés ont été jusque très récemment les seules catégories à avoir été analysées. Les barres quadrangulaires n'ont fait l'objet d'analyses métallographiques que dernièrement¹³. Les bipyramidés se composent d'un métal très hétérogène, avec de nombreux trous et inclusions de scories¹⁴. Au contraire les fers plats à extrémité roulée possèdent un métal homogène, avec très peu de trous et de scories¹⁵.

A. France-Lanord (1963) a été le premier à distinguer ces catégories en fonction de leurs caractéristiques métallographiques. Il différencie ainsi des produits bruts (les bipyramidés) devant encore être travaillés et des produits plus affinés (les fers plats à extrémité roulée) destinés à être directement transformés en objets.

V. Serneels (1993) pousse ce raisonnement plus loin. Il pense que ces deux catégories de demi-produits avaient des fonctions complémentaires. Ces deux produits auraient été mis sur le marché concomitamment pour répondre à des demandes de qualités de métal différentes.

Ces recherches ont surtout permis la caractérisation métallographique de ces demi-produits. Les résultats obtenus permettent de poser de nouvelles problématiques d'étude et de développer certains thèmes abordés : peut-on à présent observer une différenciation des demi-produits en fonction des teneurs en carbone (fer doux, acier) ?

Mais il y a d'autres sujets d'étude, non pris en compte jusqu'à présent : la présence de ces produits semi-finis dans les dépôts ou dans les sanctuaires, et leur circulation à différentes échelles géographiques. Ils feront l'objet de travaux spécifiques¹⁶. En relation avec le thème de ce colloque, nous allons présenter quelques-unes des problématiques possibles concernant la métallurgie du fer.

2. POTENTIALITÉS D'UNE ÉTUDE DES DEMI-PRODUITS DE FER SOUS L'ANGLE DE LA MÉTALLURGIE

En plus des trois catégories de demi-produits déjà décrites précédemment, d'autres types sont identifiables (fig. 1). L'étude de ces objets sur une zone limitée au nord-est de la France¹⁷ a effectivement permis de reconnaître deux catégories supplémentaires : des fers plats à extrémités amincies et des barres à soie ; ces mêmes catégories ont également été identifiées dans le reste de l'Europe¹⁸. Cet article prend en compte les cinq catégories de produits semi-finis reconnues, bien que les propriétés des bipyramidés, fers plats à extrémité roulée et barres quadrangulaires soient mieux définies, car davantage étudiés, et permettent donc une étude plus poussée de ces types.

2.1. Des caractéristiques distinctes en fonction des catégories de demi-produits

Outre les propriétés distinctes mises en évidence par les analyses métallographiques, d'autres caractéristiques propres à chaque catégorie peuvent être identifiées.

2.1.1. La fabrication des demi-produits

V. Serneels (1993) propose que les bipyramidés ont été obtenus à un stade de la chaîne opératoire moins avancé que les fers plats à extrémité roulée. Cette hypothèse peut être reliée aux observations d'A. Faivre (1994) effectuées dans le cadre d'une expérimentation menée sur les étapes de réduction et d'épuration du fer. Il sépare deux phases dans l'étape de raffinage. Il distingue une phase proprement d'épuration, qui consiste à "*passer de l'éponge au lingot*" en évacuant les impuretés et en homogénéisant le métal, d'une phase de préforgeage qui est "*un travail sur une masse métallique contenant quelques fissures macro ou microscopiques où se trouve la scorie*". Les deux phases se différencieraient par "*un changement de son sur l'enclume : passage d'un son mat d'une masse hétérogène à un son clair à écho*"¹⁹. Les

13- Long & Rico 2004 ; cf. Coustures *et al.* dans ce même volume, *infra* p. 145-150.

14- France-Lanord 1963 ; Delamare *et al.* 1982.

15- France-Lanord 1963 ; Dupont & Ronchail 1995.

16- Berranger 2006.

17- Berranger 2003.

18- Berranger 2004.

19- Faivre 1994, 168.

recherches précédentes ont reconnu les demi-produits bipyramidés en tant que produit peu épuré, que l'on pourrait donc relier au stade d'épuration reconnu par A. Faivre. Les produits semi-finis à extrémité roulée auraient, eux, subi un traitement d'épuration plus poussé, qui pourrait être relié au stade du préforgeage.

Cette obtention à des étapes distinctes de la chaîne opératoire a pour corollaire un travail de mise en forme différent. Pour chaque catégorie de demi-produits le forgeron est parti d'une loupe hétérogène qui a été rapidement épurée (fig. 2).

Dans le premier cas le produit a été grossièrement mis en forme à partir des extrémités. Cette méthode a été adoptée pour les bipyramidés et a déjà été étudiée et mise en évidence par A. Thouvenin²⁰. Celui-ci pense que ce procédé était un impératif technique afin de resserrer le métal sur lui-même sans que celui-ci se fissure : le métal cinglé "comme une galette" se fissure, tandis que le bloc, formé par refoulement des extrémités, conduit à l'obtention d'une masse homogène, de forme bipyramidale. Grâce à cette méthode on obtient un produit bien homogénéisé et épuré aux extrémités, mais très hétérogène dans sa partie médiane. Néanmoins d'autres techniques de fabrication ont nécessairement été utilisées, tous les demi-produits ne se présentant pas uniquement sous une forme bipyramidée.

Un autre procédé de mise en forme peut être observé pour les demi-produits composés, au moins en partie, d'un fer plat ou d'une barre. Le compactage est réalisé par étirement du métal, c'est-à-dire qu'il y a augmentation de la longueur avec rétrécissement de l'épaisseur. Contrairement à la méthode précédente, le métal est homogénéisé sur toute sa longueur et les extrémités ne sont réalisées qu'en dernier lieu, qu'elles soient roulées, amincies ou restent inchangées.

Ces deux méthodes correspondent à des gestes techniques différents, à une réflexion sur la mise en forme et le raffinage distincte. Dans le premier cas, le métal est travaillé à partir des extrémités, dans le second, la masse métallique est prise en compte dans sa totalité et les extrémités ne sont réalisées que dans un deuxième temps.

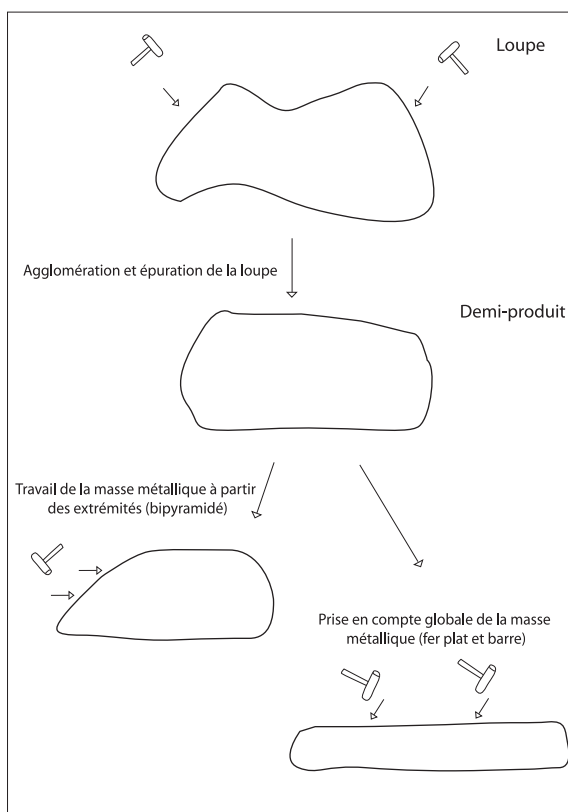


Fig. 2. Méthodes de fabrication distinctes en fonction des catégories de demi-produits.

2.1.2. Les outils

Il est possible de s'intéresser non seulement aux méthodes de fabrication de ces objets mais également aux outils ayant servi à les manipuler. Il est logique que les extrémités aient eu un rôle dans la préhension du demi-produit. En observant leur forme on remarque que ces extrémités sont différentes.

D'après leur forme, on peut en distinguer trois groupes (fig. 3) :

- les extrémités à section de tendance carrée,
- les extrémités à section de tendance arrondies,
- les extrémités à section de tendance rectangulaire.

Le premier groupe comprend les barres à soie et les bipyramidés à extrémités de section carrée, le second groupe les fers plats à extrémité roulée, le dernier les barres quadrangulaires, les fers plats à

20- Thouvenin 1984.

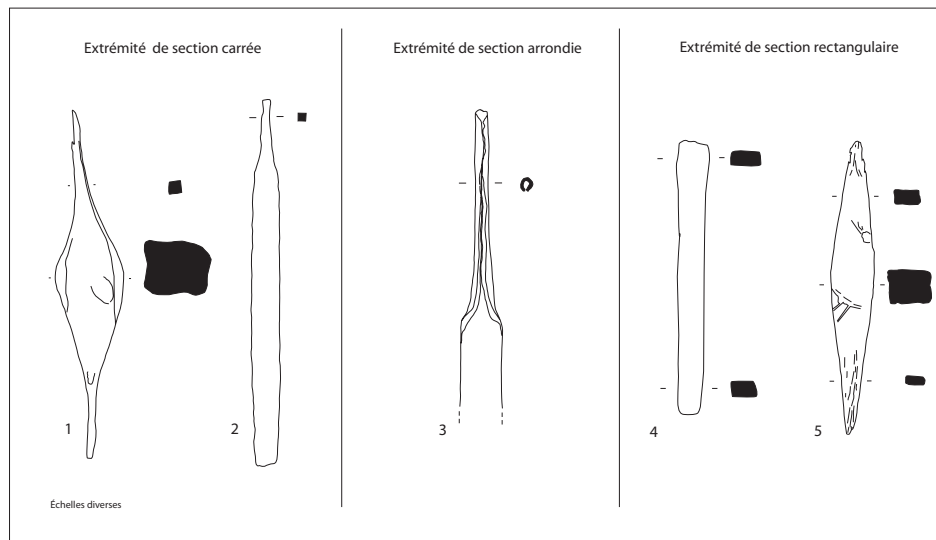


Fig. 3. Extrémités de différentes formes pour des types de pinces distincts ? **1** : Tronoën (Bretagne) ; **2** : Bibracte (Saône-et-Loire), France (Berranger 2003) ; **3** : Seurre (Saône-et-Loire), France (Berranger 2003) ; **4** : Tiefenau (canton de Berne), Suisse (d'après Müller 1990) ; **5** : Marsal (Moselle).

extrémités amincies et les bipyramidés à extrémités de section aplatie (fig. 3).

Ces différentes extrémités supposent l'emploi de pinces diverses pour les manipuler. Il reste à définir lesquelles, en se basant à la fois sur la forme de l'extrémité des demi-produits, sur les outils connus actuellement, et sur les outils utilisés à l'âge du Fer et retrouvés en fouilles. L'objectif est d'identifier les types d'outils et de comprendre pour quelles raisons différentes pinces auraient été employées. Dans sa récente étude sur les déchets provenant des ateliers de la forge de Châbles-Les-Saux (Suisse), A. Duvauchelle²¹ a montré tout l'intérêt d'un travail conjoint avec des forgerons pour répondre à ce type de problématique.

2.1.3. Les volume de métal

Ces demi-produits sont des réserves de matière première, dont il est intéressant de comparer le volume de métal. Cependant la plupart des objets que nous avons étudiés jusqu'à présent sont fragmentaires, il n'est donc souvent pas possible

d'effectuer des comparaisons à partir de leur longueur. Cette fragmentation ne permet pas non plus d'envisager de confrontations pertinentes à partir du poids. Seule la taille d'une section permet d'effectuer des comparaisons convenables d'un objet à un autre. Nous avons donc mis au point une méthode de comparaison fondée sur le calcul d'une "quantité de métal théorique". Celle-ci est obtenue à partir de l'épaisseur et de la largeur d'une section, mesurés à un emplacement représentatif du volume moyen de ces demi-produits : sous l'enroulement pour les fers plats à extrémité roulée et au tiers de la longueur pour les bipyramidés. L'opération consiste ensuite à calculer un indice de volume, exprimé en mm^3 :

$$(\text{épaisseur} \times \text{largeur}) \times Y.$$

Nous avons réalisé cette mesure sur 1 mm, Y est donc égal à 1 mm.

Ce calcul a été appliqué à un échantillon de fers plats à extrémité roulée (70 individus) et de bipyramidés (68 individus). Il faut souligner que les exemplaires complets pris en compte (20 fers plats à extrémité roulée et 37 bipyramidés) ont des longueurs comparables. Les fers plats ont une longueur

21- Anderson *et al.* 2003.

comprise entre 170 et 850 mm mais mesurent majoritairement entre 500 et 600 mm. Les bipyramidés mesurent entre 192 et 780 mm mais ont en majorité une longueur comprise entre 500 et 600 mm. La mesure d'une section représentative de la volumétrie moyenne semble donc pertinente afin de comparer ces objets, de longueur similaire.

Dans les histogrammes synthétisant les résultats (fig. 4 et 5) nous avons regroupé les quantités de métal théorique par classes de 30 mm³ pour les fers plats à extrémité roulée, et par classes de 500 mm³ pour les bipyramidés.

En comparant les données, on remarquera la différence de quantité de métal théorique contenue dans un fer plat à extrémité roulée (fig. 4) et un demi-produit bipyramidé (fig. 5). Aucun demi-produit à extrémité roulée ne renferme une quantité de métal théorique supérieure à 400 mm³. La moitié des bipyramidés a une quantité de métal théorique inférieure à 500 mm³. Si l'on détaille ces données, quatre bipyramidés possèdent moins de 300 mm³ et vingt-huit plus de 400 mm³. L'autre moitié des bipyramidés possède entre 500 et 10 000 mm³ de quantité de métal théorique. Il semblerait donc que la très grande majorité de ces derniers contienne davantage de métal que les fers plats à extrémité roulée.

Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les bipyramidés n'ont pas un métal autant homogénéisé que celui des autres catégories de demi-produits. Cependant la prise de mesure sur les bipyramidés a été effectuée à la fois à un emplacement représentatif de la contenance moyenne de ces objets et dans une zone également assez bien épurée. On ne peut certifier que la zone mesurée possède néanmoins la même qualité d'épuration que celle d'un fer plat.

On pourrait se demander quel volume maximal pourrait perdre un bipyramidé s'il était soumis à une phase d'épuration plus poussée. Pour des raisons techniques, les expérimentations actuelles n'ont pu que quantifier la masse perdue lors de l'épuration et non le volume de métal²². M. Leroy²³ précise ainsi que les pertes de métal lors du compactage du produit brut sont très importantes (de l'ordre de

50 % de la masse métallique), les étapes postérieures entraînent des pertes moins importantes (20 %). Les bipyramidés et les fers plats à extrémité roulée sont obtenus lors des étapes postérieures à l'agglomération du produit brut. On peut donc supposer que le volume, comme la masse, du demi-produit subira une perte moins importante dans cette seconde phase. Perte pour l'instant non quantifiable en l'absence d'expérimentation. D'après notre calcul, si

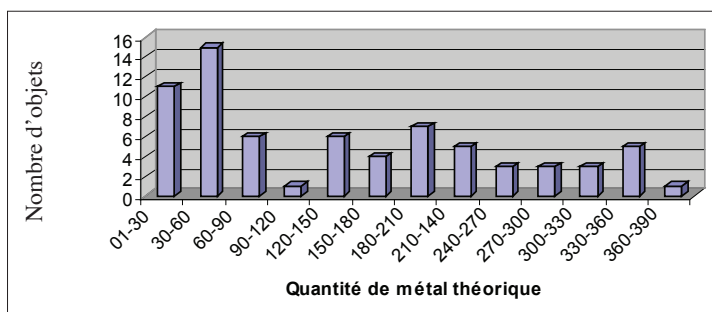


Fig. 4. Nombre de fers plats à extrémité roulée par classes de quantité de métal théorique contenue dans ces demi-produits (effectif : 70 individus).

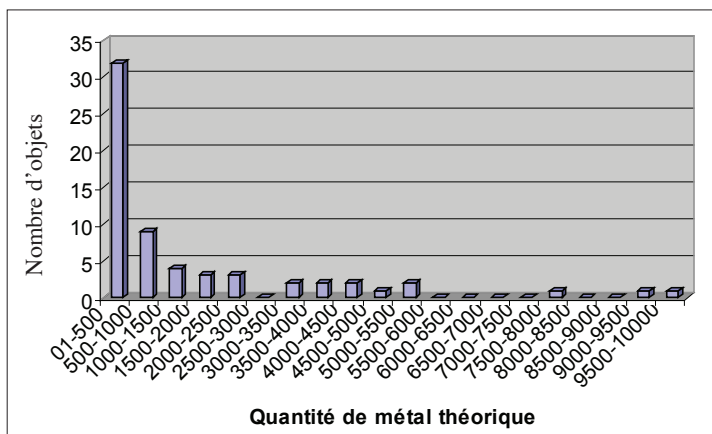


Fig. 5. Nombre de bipyramidés par classes de quantité de métal théorique contenue dans ces demi-produits (effectif : 64 individus).

22- Crew 1994 et 1991 ; Sim 1998.

23- Leroy et al. 2000.

les bipyramidés étaient moins bien agglomérés que les fers plats et même s'ils perdaient jusqu'à 20 % de leur volume, la majorité d'entre eux contiendrait toujours davantage de métal que les seconds. Cependant en l'absence de données précises, venant d'expérimentations, on ne peut que postuler que ces deux catégories se différencient par une caractéristique supplémentaire : la quantité de métal qui les compose.

2.1.4. Comment expliquer ces différences entre catégories de demi-produits ?

La chronologie

Ces différences sont-elles d'ordre chronologique ? L'étude chronologique des demi-produits reste à réaliser sur la base de contextes bien établis. Pour le moment aucune étude rigoureuse de ce type n'a été effectuée, en grande partie à cause de l'état de la documentation.

Aucune catégorie de demi-produit, autre que des bipyramidés, n'a été retrouvée dans des contextes du premier âge du Fer. Cependant la contemporanéité des barres quadrangulaires, des bipyramidés et des fers plats à extrémité roulée semble attestée, au moins pour la fin de l'âge du fer, (Manching, Allemagne²⁴, Gründberg, Autriche²⁵, Niederzier, Allemagne²⁶, Tiefenau, Suisse²⁷ ...). Une étude chronologique mise en relation avec une étude typologique détaillée devrait permettre de progresser sur cette question. L'avancée des recherches ne permet pas, pour le moment, d'apporter de réponse.

L'existence d'ateliers

Faut-il voir dans ces différences le reflet de traditions d'ateliers ? Les catégories de demi-produits se retrouvent dans les mêmes régions, bien que des zones préférentielles de concentration puissent être observées. La large diffusion de ces objets ne conduit pas, actuellement, à mettre en évidence des zones de production. Cette étude passe au préalable par une approche typologique fine. L'étude des formes de ces objets, de leur contexte de découverte et la prise en

compte de leur répartition pourraient éventuellement permettre de reconnaître des espaces de concentrations privilégiés. Ceux-ci pourraient ainsi faire apparaître des zones de production et/ou du moins d'utilisation de ces produits semi-finis en fonction des catégories. La présence d'une seule catégorie de demi-produits (à quelques exceptions près), les fers plats à extrémité roulée, en Grande-Bretagne laisse effectivement envisager l'existence de traditions différentes en fonction des espaces géographiques. Il faut cependant souligner que différentes catégories de demi-produits se retrouvent sur les mêmes sites. Ainsi l'*oppidum* de Manching²⁸ a livré des demi-produits bipyramidés, à extrémité roulée, à extrémités amincies et quadrangulaires. Les habitants du site se sont-ils approvisionnés auprès de différents ateliers ? Pour quelles raisons ? L'utilisation de catégories distinctes de demi-produits sur un même site peut laisser supposer que les forgerons n'en faisaient pas le même usage.

Des produits finis différents

Alors, ces différences dépendent-elles de l'usage qui allait être fait de ces demi-produits ? En d'autres termes ces caractéristiques distinctes ne viennent-elles pas d'une utilisation différente des demi-produits de fer en fonction de leur catégorie ? Les bipyramidés auraient été destinés à la fabrication d'objets nécessitant une moindre qualité de métal, les fers plats à extrémité roulée auraient servi à la fabrication d'objets nécessitant une bonne propreté inclusionnaire. Les bipyramidés auraient été employés pour le conditionnement de quantités de métal importantes ou pour des produits épais, tandis que les fers plats à extrémité roulée auraient été utilisés dans la fabrication d'objets nécessitant une moindre quantité de métal ou pour des produits longs. Ce type de problématique pourrait bénéficier d'une confrontation d'objets finis et demi-produits, notamment grâce aux nombreuses analyses métallographiques réalisées sur les objets finis et par l'étude des demi-produits en contexte de forge.

L'explication des caractéristiques différentes des demi-produits n'appelle pas forcément une réponse unique. On peut supposer que plusieurs éléments ont conduit à donner des formes différentes et des

24- Jacobi 1974.

25- Urban & Ruprechtberger 2003.

26- Joachim 1991.

27- Müller 1990.

28- Jacobi 1974.

caractéristiques distinctes à ces objets. Les données en notre possession ne permettent pas de définir actuellement ces influences. L'étude de leur chronologie, la mise en place d'une typologie, l'attention à leur répartition et le recours aux analyses métallographiques seront néanmoins des éléments permettant de répondre à ces questions.

2.2. La prise en compte des chutes de demi-produits

Les recherches précédentes se sont presque uniquement intéressées aux produits semi-finis archéologiquement complets. Dans une étude portant sur la métallurgie, la seule prise en compte de ce type de mobilier réduit les données disponibles. Les informations apportées par les demi-produits archéologiquement complets sont effectivement limitées pour deux raisons :

- la très rare présence de traces de fabrication sur la surface de ces objets,
- leur présence limitée en contexte d'artisanat du métal.

L'inventaire bibliographique réalisé pour l'Europe continentale est éloquent : sur 309 sites ayant livré des demi-produits, seulement 53 sont des sites d'habitats et sur ces habitats seuls 17 ont livré des traces d'artisanat du métal²⁹.

Alors que la seule prise en compte des demi-produits archéologiquement complets n'offre que des résultats limités, l'étude des chutes de ces objets, résultant de leur transformation en forge, permet d'accéder à un mobilier situé le plus souvent en contexte fonctionnel et portant des traces de travail du métal.

L'attention portée aux résidus des différentes étapes de la chaîne opératoire de la sidérurgie est de plus en plus marquée depuis une dizaine d'années. Il y a eu d'abord les travaux de différents chercheurs sur les scories³⁰ et de E.-M. Nosek³¹ sur les résidus d'épuration des loupes : les *gromps*. Plus récemment ces recherches se sont orientées vers l'étude des chutes provenant des objets en cours de fabrication et des demi-produits, essentiellement selon une

approche métallographique³². Les recherches d'A. Duvauchelle³³ ont également montré la quantité d'information qui pouvait être collectée uniquement par une approche morphologique des chutes d'objets en cours de fabrication, en proposant pour la première fois une typologie de ces déchets.

Dans la continuité de ces recherches une méthodologie d'étude des chutes métalliques trouvées dans les ateliers de forge devra être élaborée, notamment afin de distinguer les résidus provenant des demi-produits, de ceux résultant d'objets en phase de fabrication terminale.

Différentes questions pourront être posées à partir de l'étude de ces chutes de demi-produits. Ainsi leur présence en contextes datés pourra contribuer à l'étude chronologique des catégories de demi-produits à partir des chutes pouvant leur être rattachées.

Par leur présence en forge, l'attention conjointe à la production de l'atelier et aux divers déchets en provenant permettra d'aborder la question de la filiation entre demi-produits, chutes et objets finis.

La gestion de la matière première pourra être abordée par l'étude métrologique de ces déchets. Cette dernière permettra effectivement de mieux appréhender la standardisation dans le travail du fer et éventuellement de reconnaître le type de production réalisé.

Enfin l'attention aux traces de fabrication présentes sur ces chutes permettra d'adopter un point de vue technique et de s'intéresser à l'outillage protohistorique.

3. CONCLUSION

Par leur fonction, les demi-produits de fer conduisent à développer des problématiques relatives à la métallurgie du fer. Ces recherches passent au préalable par la caractérisation de ces objets. Nous avons vu que les catégories de demi-produits avaient des propriétés différentes : elles ne sont pas produites à la même étape de la chaîne opératoire, les qualités et masses de métal qu'elles contiennent sont différentes, leur forme suppose l'emploi d'outils

29- Berranger 2004.

30- Serneels 1993, Mangin *et al.* 2000.

31- Nosek 1994.

32- Dunikowski *et al.* 1998, Ploquin *et al.* 1998, Mangin *et al.* 2000, Orengo 2003.

33- Anderson *et al.* 2003.

distincts. Il faut à présent expliquer les raisons de ces différences et observer s'il est possible d'identifier des types, à l'intérieur de ces catégories, présentant des caractéristiques également distinctes. Ces différences laissent, en effet, entrevoir une gestion complexe de la matière première. Celle-ci pourrait être préparée, dès le début de sa transformation (épuration), en fonction du produit ou des objets que l'on voulait obtenir.

De là, l'utilité de prendre en compte les déchets de demi-produits provenant du travail en forge. Ces objets rendent possibles l'étude du contexte artisanal, et, par les traces de travail présentes sur leur surface, les études techniques.

Les informations complémentaires apportées par le mobilier archéologiquement complet ou par les chutes de métal, ouvrent d'intéressantes perspectives de recherche sur le savoir-faire des forgerons protohistoriques, sur l'outillage utilisé durant cette période, sur l'économie et sur la gestion du fer.

Bibliographie

- Anderson, T., C. Agustoni, A. Duvauchelle, V. Serneels et D. Castella (2003) : *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR)*.
- Allen, D. (1967) : "Iron currency bars in Great-Britain", *Proceeding of Prehistoric Society*, 33, Cambridge, 307-335.
- Bataille, G. et J.-P. Guillaumet, dir. (2006) : *Les dépôts métalliques au second âge du Fer en Europe tempérée, Actes de la table ronde de Bibracte, 13-14 septembre 2004*, Bibracte 11, Glux-en-Glenne.
- Baudat, M., dir. (1997) : *Crau, Alpilles, Camargue. Histoire et archéologie, Actes du colloque des 18 et 19 novembre 1995*, Arles.
- Berranger, M. (2003) : *Les demi-produits de fer, aux âges du Fer, dans le nord-est de la France*, Mémoire dactylographié de maîtrise.
- (2004) : *Les demi-produits de fer, en Europe continentale, au 1^{er} millénaire av. J.C.*, Mémoire dactylographié de DEA.
- (2006) : "Les dépôts de demi-produits de fer (VIII^e-I^{er} av. J.-C.) : contextes et associations de mobiliers", in : Bataille & Guillaumet, dir. 2006, 211-220.
- Crew, P. (1991) : "The Experimental Production of Prehistoric Bar Iron", *Historical Metallurgy*, 25/1, 21-34.
- (1994) : "Currency bars in Great Britain, typology and function", in : Mangin 1994, 345-350.
- Coatures, M.-P., G. Renoux, C. Scaon, D. Béziat, Chr. Rico, Fr. Dabosi, L. Long, Cl. Domergue, Fr. Tollon (2007) : "Le point sur une méthode de détermination de provenance des objets en fer de la sidérurgie ancienne", in : Milcent, éd. 2007, 145-150.
- Déchelette, J. (1927) : *Manuel d'archéologie préhistorique et celtique : le second âge du Fer ou époque de La Tène*, 4, Paris.
- Delamare, F., G. Nicolas et E. Mencarelli (1982) : "Étude du forgeage d'un lingot de fer protohistorique", *Mémoires et études scientifiques. Revue de métallurgie*, 79/2, 97-104.
- Doswald, C. (1994) : "Les lingots de fer en Europe occidentale : problématique générale", in : Mangin 1994, 333-343.
- Dupont, E. et F. Ronchail (1995) : *Projet de laboratoire ENSMA : études métallographiques d'épées celtes et romaines*. Document dactylographié.
- Dunikowski, C., M., Leroy, P. Merluzzo et A. Ploquin (1998) : "L'atelier de forge de Naily (Yonne), contribution à l'étude des déchets métallurgiques", *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est*, 46, 97-121.
- France-Lanord, A. (1963) : "Les lingots de fer protohistoriques", *Revue d'histoire de la sidérurgie*, 4, 167-178.
- Faivre, A. (1994) : "Du minerai à l'objet : recherches expérimentales sur la chaîne opératoire (l'expérimentation de Saintes, 1992)", in : Mangin 1994, 167-173.
- Hulme, E. W. (1933) : "Currency bars and water-Clocks : the verdicts of Archaeology", *Reviewed, Antiquity*, 4, Londres, 61-72.
- Jacobi, G. (1974) : *Werkzeug und Gerät aus dem Oppidum von Manching*, Stuttgart, Die Ausgrabungen in Manching, 5.

- Joachim, H. E. (1991) : "Le dépôt votif de Niederzier", in : Moscati 1991, 532.
- Kleeman, O. (1981) : "Les lingots de fer bipyramidaux courts et épais : les lingots du type Colmar", *Études offertes à J.-J. Hatt, Revue Archéologique de l'Est*, 32, 109-119.
- Leroy, M., P. Merluzzo, P. Fluzin, D. Leclère, M. Aubert et A. Ploquin (2000) : *La restitution des savoirs-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer*, in : Petrequin et al. 2000, 37-51.
- Long, L. (1997) : "Inventaire des épaves de Camargue de l'Espiguette au grand Rhône : des cargaisons de fer antiques aux gisements du XIX^e s. leur contribution à l'étude du paléorivage", in : Baudat, dir. 1997, 59-115.
- Long, L. et C. Rico (2004) : "Les épaves chargées de fer des Saintes Marie de La Mer", in : Mangin, dir. 2004, 202-204.
- Mangin, M. (1994) : *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993*, Paris.
- Mangin, M., dir. (2004) : *Le fer*, Collection "archéologiques", Paris.
- Mangin, M., P. Fluzin, J.-L. Courtadon et M.-J. Fontaine (2000) : *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut Auxois, Côte d'Or)*, Paris, Monographies du CRA 22.
- Mariën, M. E. (1970) : *Le trou de l'Ambre au Bois de Wérimont, à Éprave*, Bruxelles, Monographies d'archéologie nationale.
- Milcent, P.-Y. (2007) : *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation, Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF, Toulouse 20-23 mai 2004*, Aquitania Suppl. 14/2, Bordeaux.
- Moscati, S. (1991) : *Les Celtes*, Paris.
- Müller, F. (1990) : "Der Massenfund von der Tiefenau bei Bern", Bâle, *Antiqua*, 20.
- Mutz, A. (1981) : "Einige Bemerkungen zum Depotfund von 16 Eisenbarre", *Archéologie Suisse*, 4/3, 128-129.
- Nicolini, G. et N. Dieudonne-Glad, éd. (1998) : *Les métaux antiques : travail et conservation, Actes du colloque de Poitiers, septembre 1995*, Montagnac, Monographies *Instrumentum* 6.
- Nosek, E.-M. (1994) : "The metallography of gromps", in : Mangin 1994, 65-73.
- Orengo, L. (2003) : *Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne d'Auvergne*, Montagnac.
- Petrequin P., P. Fluzin et P. Benoit (2000) : *Arts du feu et production artisanale*, Antibes.
- Ploquin, A., M. Leroy, P. Merluzzo et C. Dunikowski (1998) : "Des déchets paléométallurgiques, quels indices pour une forge ?", in : Nicolini & Dieudonne-Glad, éd. 1998, 145-152.
- Serneels, V. (1993) : *Archéométrie des scories de fer : Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Lausanne. Cahiers d'Archéologie Romande.
- Sim, D. (1998) : *Beyond the bloom. Bloom refining and iron artefact production in the Roman world*, BAR International Series 725.
- Smith, R. (1905) : "The ancient british Iron Currency", *Proceedings Society of Antiquaries*, 20, 179-195.
- Thouvenin, A. (1984) : "Lingots de fer gaulois et techniques de forge", *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est*, 35, fasc. 3-4, 368-372.
- Tylecote, R. F. (1962) : *Metallurgy in Archaeology : a Prehistory of Metallurgy in the British Isles*, Londres.
- Urban, O. H. et E. M. Ruprechtberger (2003) : "Le site fortifié du Gründberg", in : *Forgerons et Ferrailleurs, fer et savoir-faire à l'époque celtique*, Livret accompagnant l'exposition, Glux-en-Glenne, 16-18.