

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'études | 133 |
| 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 ancienne | 145 |
| 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 Picardie | 239 |
| 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 Parisien | 279 |
| L. DHENNEQUIN, | |
| Les ateliers de travail du fer au Mont Beuvray : présentation des fouilles récentes effectuées dans la zone artisanale du Champlain sur l' <i>oppidum</i> de Bibracte | 291 |

| | |
|--|-----|
| 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 |

La métallurgie d'extraction : du minerai à la barre de fer

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

Sandra Cabboi, Christophe Dunikowski, Marc Leroy, Paul Merluzzo

RÉSUMÉ

Depuis près de vingt ans, la mise en place de programmes de recherche pluridisciplinaire sur la paléoméallurgie du fer qui intègrent des études systématiques de secteurs miniers et sidérurgiques et les données issues des fouilles préventives, a considérablement renouvelé les connaissances des ateliers et des zones de production des âges du Fer. Dans le Nord et l'Est de la France, pour ce qui concerne les sites d'acquisition et de réduction du minerai, les opérations menées sur les tracés des autoroutes A5 et A28 ont rassemblé une riche documentation complétée par les résultats de fouilles récentes menées dans l'Eure, l'Ille-et-Vilaine et la Seine-et-Marne. Les données concernant les activités de forge sont beaucoup plus partielles. Les ateliers de post-réduction étudiés dans leur globalité sont encore rares pour le Nord de la France. L'étude pluridisciplinaire des diverses activités métallurgiques, de l'extraction du minerai à la fabrication d'objets pour chaque époque rencontrée, a permis de mettre en évidence des évolutions techniques associées à des changements dans l'organisation du travail et dans l'intensité de la production de fer.

MOTS-CLÉS

âge du Fer, métallurgie, fer

ABSTRACT

For the last twenty years, the emergence of pluridisciplinary studies in iron palaeometallurgy that systematically integrate research on mining and iron making with archaeological data has renewed our knowledge of Iron Age workshops and production zones. Excavations carried out on mineral extraction and ore reduction sites located on the A5 and A28 motorway projects in northern and eastern France, have generated an extensive documentation added to by new data from the Eure, Ile-et-Vilaine and Seine-et-Marne departments. Data from early iron working is however more partial and evidence of post production workshops is still rare in northern France. The pluridisciplinary study of metallurgy, from ore extraction to the making of objects has for each period studied shed new light on the technological innovations that go hand in hand with changes in the organization of the workplace and the intensity of iron production.

(traduction Rebecca Peake - Inrap)

KEYWORDS

Iron Age, metallurgy, iron

1. INTRODUCTION

Depuis près de vingt ans, la mise en place de programmes de recherche pluridisciplinaire sur la paléoméallurgie du fer a considérablement renouvelé les connaissances des ateliers et des zones de production sur le territoire français. Ces programmes intègrent, d'une part, des études systématiques de secteurs miniers et sidérurgiques (prospection, fouille d'ateliers, analyses archéométriques) et, d'autre part, les données issues des fouilles préventives menées sur les travaux d'aménagement du territoire.

Dans le Nord et l'Est de la France, bien que les zones étudiées se multiplient, la documentation reste partielle. Les secteurs sidérurgiques étudiés dans leur ensemble sont encore peu nombreux et ne concernent pas la totalité du territoire. La documentation de fouille, trop ponctuelle, ne permet pas de tirer des conclusions définitives sur l'évolution des techniques employées ni sur l'organisation du travail de ce métal si important dans les économies des sociétés. De ce fait, tenter de faire le bilan sur la sidérurgie ancienne dans le Nord de la Gaule reste discutable. C'est pourquoi, nous tenterons simplement ici de dresser un premier panorama sur l'organisation et les techniques employées pour le travail du fer durant les âges du Fer.

Cadre géographique

Pour ce qui concerne les sites d'acquisition et de réduction du minerai, la majorité des données qui seront à la base de la réflexion ont été rassemblées lors des opérations menées sur les tracés des autoroutes A5 (Melun-Troyes) et A28 (Alençon-Le Mans). Sur le tracé de l'autoroute A5, parmi les 37 indices miniers et métallurgiques¹ découverts, le gisement des Clérimois, au lieu-dit "les Fouetteries" (Yonne), s'est révélé le plus intéressant en raison du volume de scories et de minerai découverts, mais surtout en raison de son implantation sur l'emprise autoroutière (fig. 1). Le site, qui se compose de trois ferriers distants d'environ 30 m, est installé sur le

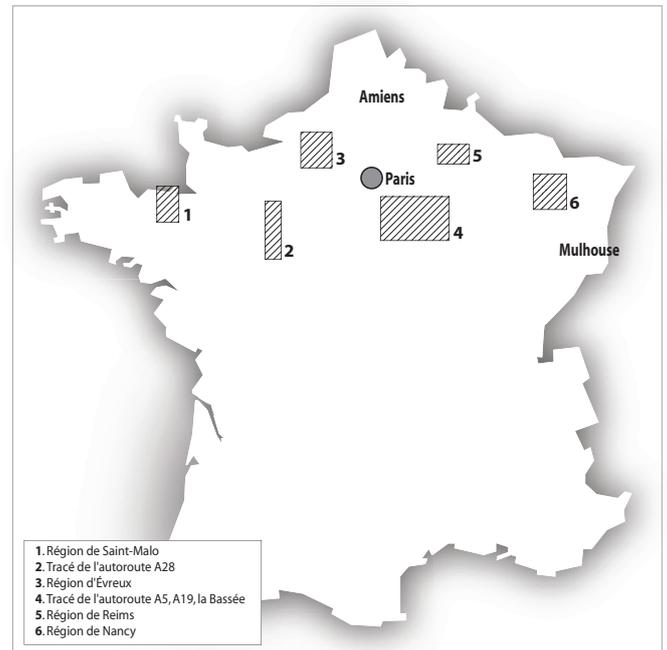


Fig. 1. Localisation des zones étudiées.

versant nord d'un talweg. Le décapage extensif et une fouille de six mois ont mis au jour les vestiges de 7 ateliers et de 14 bas fourneaux protohistoriques et gallo-romains précoces. Dans la région du Mans, ce sont 174 structures de réduction datant du premier âge du Fer au début de la période romaine qui ont été étudiés sur douze sites (tableau 1). Ces données ont été complétées par les résultats de fouilles récentes menées dans l'Eure (Évreux), l'Ille-et-Vilaine (région de Saint-Malo) et la Seine-et-Marne (Bassée).

Les données concernant les activités de forge sont beaucoup plus partielles. Les ateliers de post-réduction étudiés dans leur globalité sont encore rares pour le Nord de la France. Les premières interprétations qui seront fournies proviennent de fouilles menées dans les régions mentionnées ci-dessus ainsi que d'opérations champenoises et lorraines.

1- 60 % de ces indices n'ont pas été détruits par les travaux autoroutiers.

| Commune | Lieu-dit | Chronologie | Nombre de fours à utilisation unique sans évacuation des scories | Nombre de fours à utilisations successives sans évacuation des scories | Nombre de fours à utilisations successives avec évacuation des scories |
|----------------|----------------------|------------------------------------|--|--|--|
| Changé | <i>Beauvais</i> | Hall. ; La Tène anc. | 76 | 8 | |
| Ecommoy | L'étang du Cruchet | Hall. ; La Tène anc. | 13 | | |
| La Bazoge | Les Maisons Neuves | Hall. ; La Tène anc.; La Tène moy. | 51 | 5 | |
| La Bazoge | La Jousserie | La Tène anc. ; La Tène moy. | | 3 | |
| La Bazoge | l'Aunay-Truchet | La Tène finale, GR précoce | 1 (non daté) | 1 | 5 |
| La Bazoge | Les Petites Rouilles | La Tène anc. | 11 | | |
| La Bazoge | Les Trois Couleurs | La Tène moy. | 1 | 3 | |
| La Bazoge | la Balochère | La Tène C2 | | 1 | |
| La Bazoge | Les Barres | La Tène anc. | 56 | 1 (non daté) | |
| Le Mans | Charbonnière | Protohistoire | 7 | | |
| Saint-Saturnin | Le Grand Hameau | Protohistoire ? | 7 (non datés) | | |
| Saint-Saturnin | Le Grand Renaud | Protohistoire ? | 1 (non daté) | | |

Tab. 1. Types de bas fourneaux et datation des ateliers de réduction protohistoriques fouillés dans la région du Mans (A28 et périphérique est du Mans). Les chronologies ont été élaborées essentiellement à partir de 36 datations ¹⁴C réalisées par le Centre de Datation par le Radiocarbone de Lyon I.

2. LA CHAÎNE OPÉRATOIRE DE LA FABRICATION DU FER : ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

Les exemples de sites archéologiques à vocation sidérurgique qui font l'objet de cet article s'inscrivent dans une étude plus globale de l'histoire des techniques de la fabrication du fer².

Afin de mieux cerner les étapes successives de cette production, nous employons le concept de la "chaîne opératoire de fabrication". Le graphique ci-joint (fig. 2) illustre la complexité des opérations successives qui aboutissent dans leur finalité à un objet en métal. Ce schéma ne s'applique qu'à la fabrication du fer selon le procédé dit "direct".

Dans cette approche (fig. 2, colonne de droite), on observe qu'à chaque étape de la production sont associées des structures :

- fosse d'extraction, four, foyer, (etc.)
- et des déchets obtenus lors des diverses opérations successives :
 - gangue résultant du traitement du minerai ;
 - scories produites lors de la réduction ;
 - battitures et scories en culots fournies lors du forgeage, etc.

Il est important de prendre en compte le fait que l'information archéologique conservée n'est que très partielle. La collecte de cette information lors de la fouille doit donc faire l'objet d'une méthodologie appropriée basée, autant que faire se peut, sur une

2- Mangin, dir. 2004.

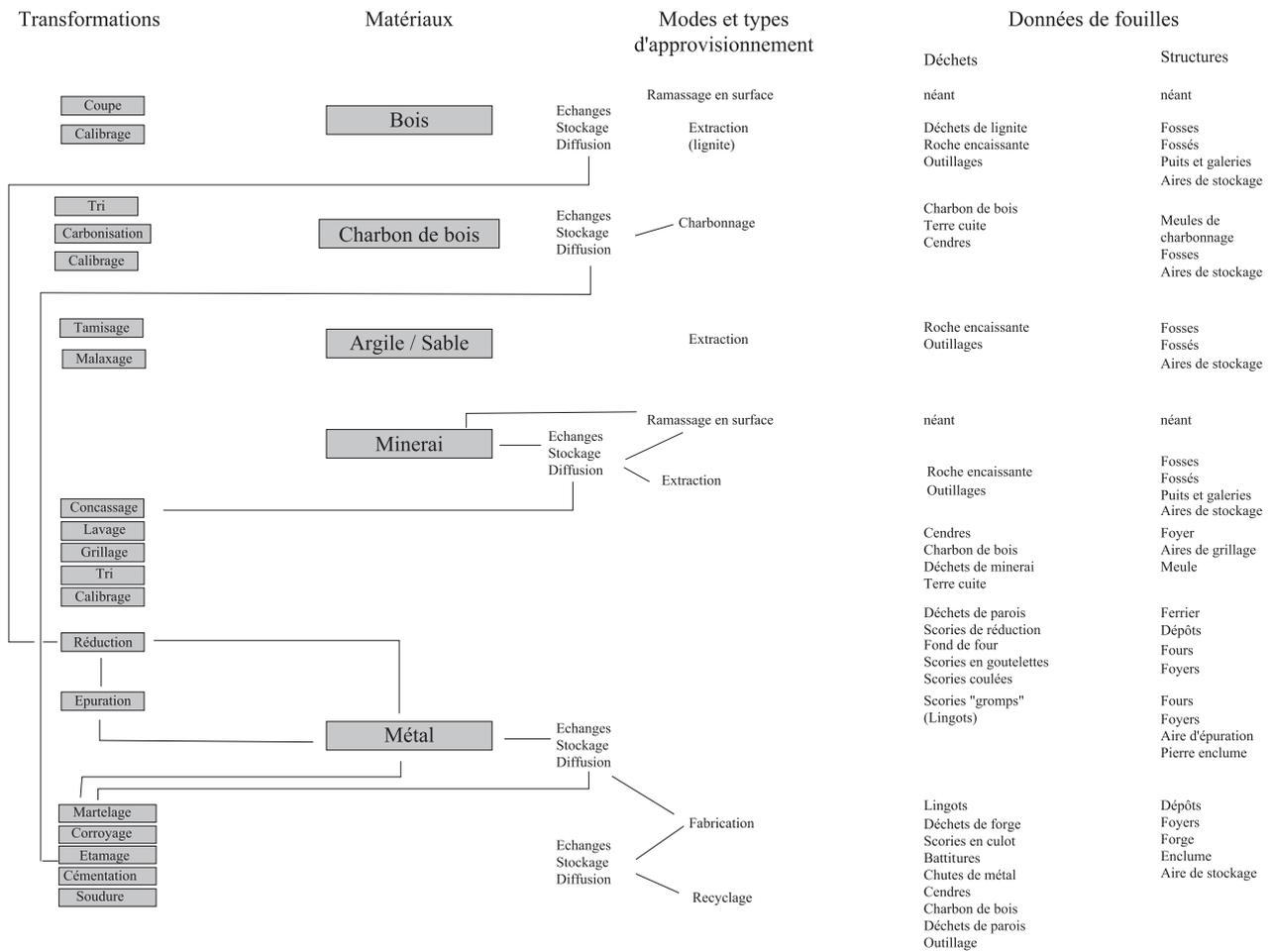


Fig. 2. Schéma de la chaîne opératoire de fabrication du fer.

approche rigoureuse : relevé systématique des divers indices et vestiges au sol ; enregistrement systématique du matériel observé et collecté au sein des contextes archéologiques. De la qualité de la collecte des informations archéologiques dépend souvent la pertinence des études archéométriques. Les études ultérieures sur ce matériel ne devront jamais être déconnectées de cette information contextuelle, ni des notions de représentativité. L'interprétation paléométallurgique ne peut s'appuyer sur l'étude d'une seule catégorie de matériel, ni sur une seule méthode d'investigation. C'est la convergence de l'ensemble des résultats apportés par les études archéologiques comme archéométriques, qui permet

d'asseoir et d'orienter les interprétations aux différentes échelles d'étude (produits, gestes techniques, procédés, organisation des ateliers et de la production...).

Pour disposer d'une vision complète des différentes catégories de scories présentes dans un atelier sidérurgique, l'observation doit porter sur le prélèvement le plus large possible. L'étude macroscopique est un préalable fondamental pour choisir en connaissance de cause un échantillonnage représentatif et orienter les investigations pétrographiques et métallographiques. L'étude de la répartition spatiale des vestiges apporte de nombreux renseignements : l'organisation de l'atelier n'est

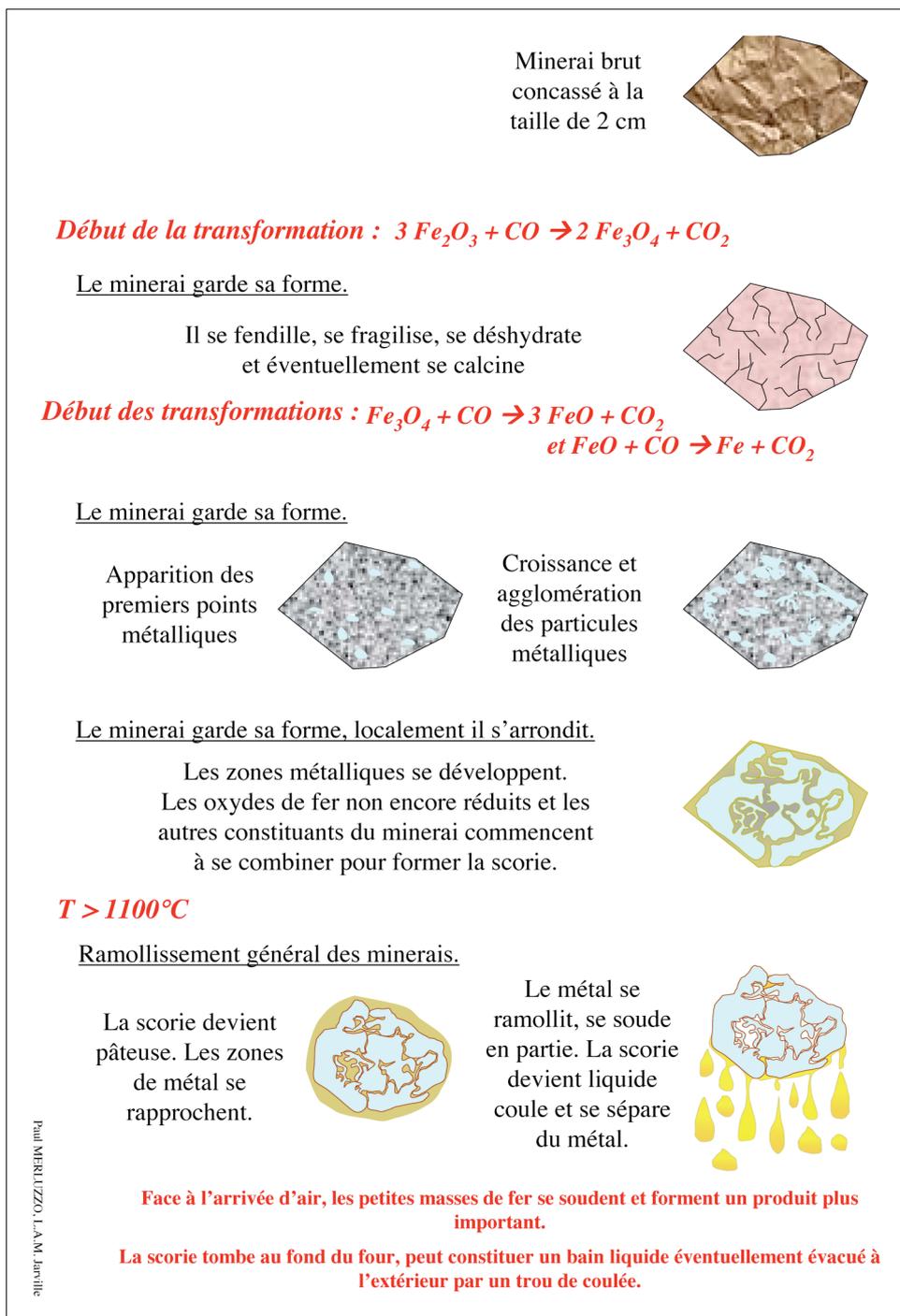


Fig. 3. Transformations du minerai de fer pendant la réduction.

souvent perceptible que par la présence de déchets et par les traces des séquences de la chaîne opératoire (débris de minerais, de charbon de bois...), éparpillés sur le sol ou regroupés dans des fosses ou des cuvettes.

Le décryptage des informations fournies par toutes ces catégories de déchets (scories, métal, battitures, parois de foyer...) n'est pas terminé. Des études récentes montrent que la prise en compte de l'ensemble des types d'investigation (morphologie, répartition et association des différentes catégories des déchets, données chimiques, pétrographiques et métallographiques) permet d'approcher l'activité des ateliers étudiés.

2.1. La réduction : du minerai au métal

La réduction du minerai est la phase de la chaîne opératoire au cours de laquelle on transforme le minerai, matière première ayant pu subir une transformation préliminaire plus ou moins importante, en métal. Cette opération de réduction, qui a lieu dans un espace confiné, le fourneau, permet d'obtenir un produit métallique dont la nature et l'aspect dépendent de la manière dont le travail est accompli. Simultanément, il se forme des déchets caractéristiques de la technique employée, principalement les scories (fig. 4).

La méthode de réduction selon le procédé direct est la seule technique mise en œuvre en Europe jusque dans le cours du Moyen Âge. Dans ce procédé, le fer métallique est produit directement à l'état solide sans passer par un état liquide : il n'y a pas de coulée de métal. On appelle communément bas

fourneau l'appareil dans lesquels s'effectue la réduction directe.

Les opérations de réduction du minerai de fer visent principalement à transformer tout ou partie des oxydes de fer contenu dans le minerai, en fer métal (fig. 3). La production de fer par réduction directe est possible dans des fourneaux ou des foyers de formes très variées et conduits de manières extrêmement diverses, comme le démontrent aisément les exemples fournis par l'ethnographie en Afrique et en Asie.

Quelle que soit la forme, la structure possède une ouverture sommitale par laquelle sont généralement chargées les matières (structure semi-ouverte). Elle dispose également d'une ou de plusieurs ouvertures simples ou de tuyères qui servent à véhiculer l'air nécessaire à la combustion à l'intérieur. Ces aménagements peuvent être disposés à des hauteurs variables. L'introduction d'air se fait, soit par un simple effet de tirage naturel (effet de cheminée), soit artificiellement, à l'aide d'une soufflerie insérée dans ces orifices.

Dans le bas fourneau, le métal se rassemble dans le bas de la cuve, en un bloc pâteux. Ce produit brut, retiré en fin d'opération, est ensuite transformé et utilisé à la forge. Il ne laisse donc que peu de trace archéologique et il est difficile d'en donner une description précise (fig. 5). Aux températures atteintes, au-dessus de 1200°C, l'autre partie des constituants du minerai (dont une part des oxydes de fer) fond et forme un liquide qui s'accumule au fond de la cuve : la scorie. Ces déchets, caractéristiques de la réduction, sont rejetés autour des ateliers, souvent en tas (ferrier ou crassier), parfois en fosses.

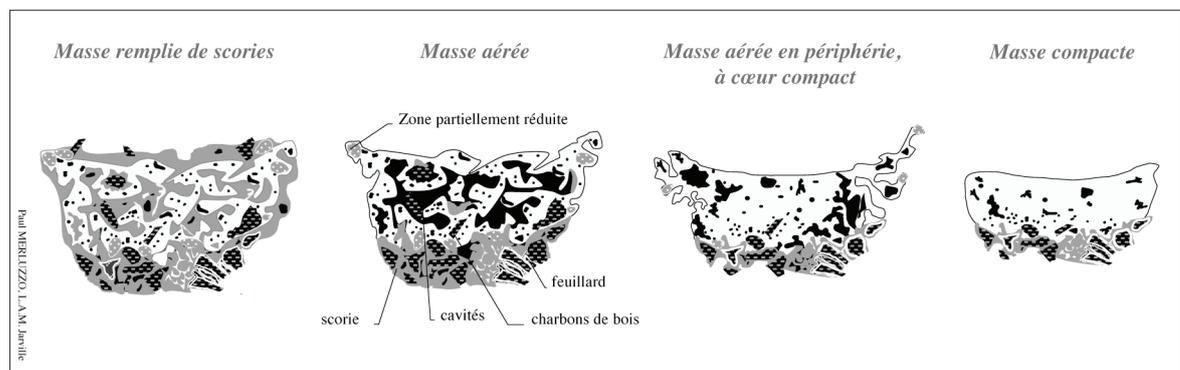


Fig. 5. Types de produits bruts de réduction.

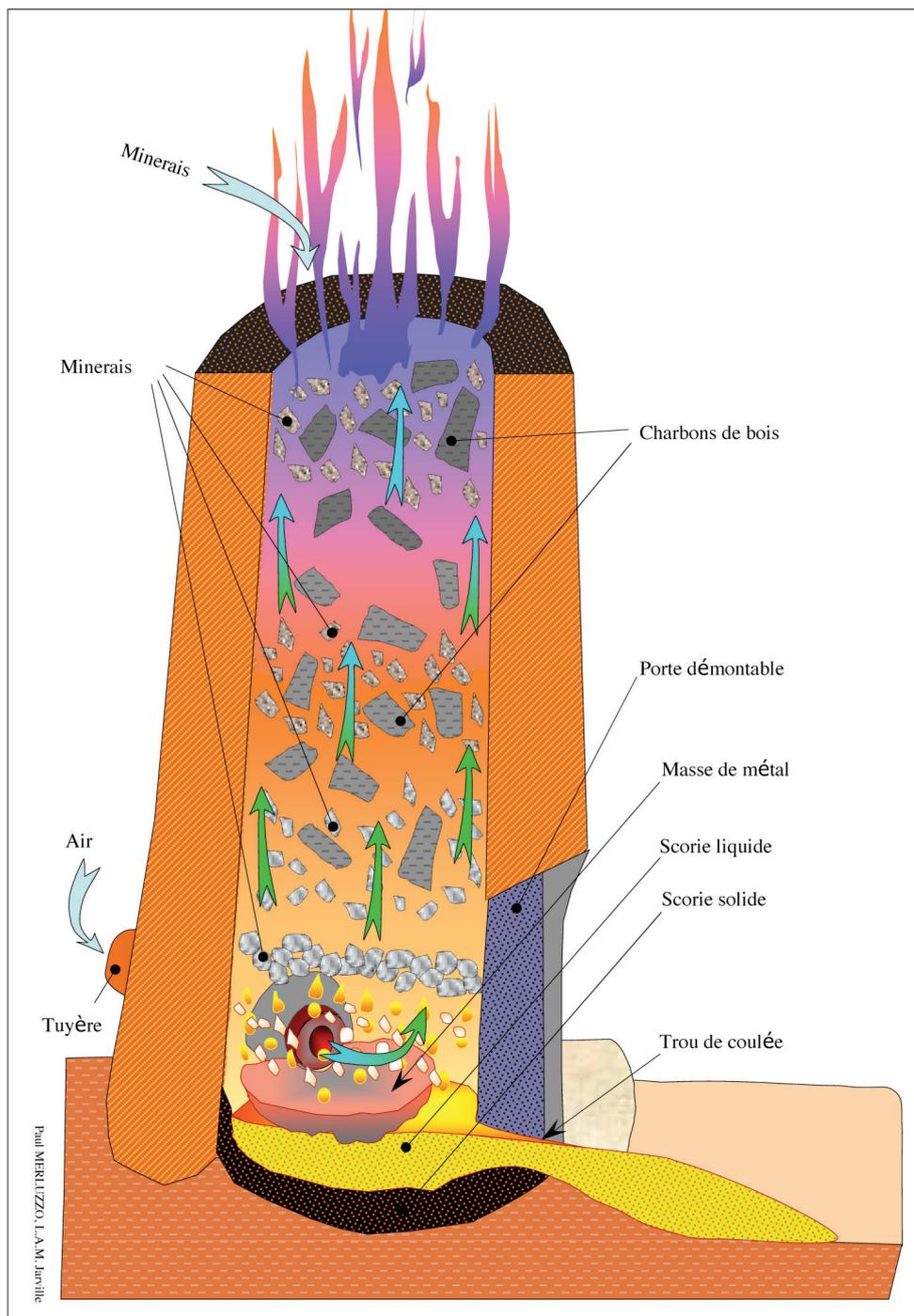


Fig. 4. Schéma d'un bas fourneau à air pulsé.

Ils y sont mélangés à des cendres et des morceaux non entièrement consommés de charbon de bois, ainsi qu'à des fragments de parois en terre cuite provenant de la destruction d'une partie des élévations des fourneaux, nécessaire à l'extraction du bloc de métal (fig. 5).

Au même titre que l'étude des structures de production, l'examen des scories permet d'appréhender les techniques opératoires. L'ensemble des critères morphologiques, chimiques, pétrographiques participe à la compréhension globale du fonctionnement du processus opératoire. Pour pouvoir interpréter un tel site, il convient d'observer un nombre suffisamment grand et représentatif de déchets. L'ensemble des scories et autres résidus de la réduction, retrouvés dans les fourneaux, doit donc être prélevé et étudié. Un ramassage à vue des plus gros fragments de chaque catégorie de déchets, hors fourneaux, complète utilement ce premier ensemble.

2.2. La post-réduction : du fer brut à l'objet

Une fois produit dans le bas fourneau, le bloc de fer brut va subir toute une série d'opérations métallurgiques pour aboutir à la réalisation d'objets manufacturés. Ce sont ces opérations que l'on qualifie communément d'opérations de post-réduction ou d'activités de forge. Elles aboutissent à la réalisation d'objets simples ou complexes, petits ou volumineux, au travers d'une série de manipulations au cours desquelles le fer est, de nombreuses fois, réchauffé et martelé.

Schématiquement, on peut envisager qu'il est réalisé dans un premier temps un travail visant à l'obtention d'un métal apte à être utilisé pour le forgeage des objets. Toutes ces opérations peuvent être réalisées en continu dans le même atelier, mais elles peuvent aussi avoir pour cadre des ateliers spécialisés.

Il est difficile, sur le plan archéologique, de distinguer ces différentes étapes du travail du métal, notamment parce que les résidus produits ne sont pas toujours franchement différents. Les recherches en cours essaient de mettre en évidence des critères discriminants d'identification, tant sur les plans archéologique qu'archéométrique.

2.3. Ateliers et structures de production

La notion d'atelier de forge correspond à des réalités qui peuvent être très différentes, en fonction du nombre de séquences de la chaîne opératoire qui sont présentes. La nature de la matière première travaillée et celle des produits fabriqués peuvent donc être très variées.

Les vestiges de foyers de forge anciens semblent être de simples fosses de combustion de forme variée, plus ou moins cuites. Mais il faut reconnaître que leur état d'arasement est souvent important, ce qui ne facilite pas la reconnaissance d'éventuelles élévations. Il faut aussi remarquer qu'un foyer construit sur soubassement totalement arasé ne laissera qu'un nombre d'indices interprétables très restreint. Ces foyers peuvent avoir un avant-foyer et un muret de protection pour protéger les soufflets. La variété des formes de foyer reflète sans doute une diversité des traditions techniques, mais peut-être aussi des activités différentes.

L'enclume peut être en pierre, en bois ou en métal. Elle peut être posée sur le sol ou enfoncée dans celui-ci pour améliorer sa stabilité. Archéologiquement, outre les éventuels aménagements au sol, l'emplacement de l'enclume est marqué par la présence d'une couronne dense de battitures.

L'atelier de forge est un espace *a priori* organisé. Le forgeron doit avoir accès au foyer et à sa soufflerie. L'enclume doit être à portée de main. Une certaine pénombre peut même l'aider à apprécier la couleur du métal et donc sa température. Mais au fond, rien ne s'oppose au fait qu'il travaille sous un simple auvent, dans une cour ou même à l'extérieur et l'ethnographie aussi bien que l'archéologie en fournissent des exemples.

2.4. Du métal brut de réduction au métal forgeable

Le métal issu du procédé de réduction directe est produit à l'état solide sans jamais passer à l'état liquide. Dans certains cas, il ne contient qu'une faible proportion de cavités et de minuscules inclusions de scorie. Dans d'autres, le métal ne forme pas une masse compacte, mais possède une forme irrégulière et une structure vacuolaire, parfois remplie de scorie (fig. 5).

Pour que le fer brut de réduction directe devienne forgeable, il doit nécessairement subir un travail à chaud (1500°C), plus ou moins important et complexe selon les résultats désirés, avant d'être employé.

Comme pour le "pétrissage d'une pâte", le travail consiste à donner de la consistance au métal et lui faire acquérir ses propriétés de forgeabilité par une série de déformations plastiques à chaud et de soudures. Dans un premier temps, l'intervention consiste à renforcer et développer (par soudure) les liaisons des parties constitutives de l'agrégat métallique afin d'en augmenter la cohésion. Cette opération est souvent qualifiée d'épuration ou de raffinage. Durant cette première intervention, la masse peut être mise en forme grossièrement, sous une forme bipyramidale par exemple.

2.5. Du métal forgeable à l'objet manufacturé

La suite du travail de forge a pour but de donner au métal, à l'aide d'un outillage approprié, une forme parfaitement déterminée tout en améliorant ses qualités. Pour mener à bien ces opérations, le forgeron dispose de toute une gamme de gestes et de procédés techniques, dont le choix de la mise en œuvre dépendra de sa matière première, de son savoir-faire, de ses connaissances, de la complexité technique de l'objet visé et des contraintes économiques qui pèsent sur la réalisation d'une pièce.

Rappelons que ce sont des principes de bon sens qui régissent le chauffage du métal et sa mise en forme. De ce fait, les gestes techniques de base du forgeage manuel sont assez similaires entre l'artisan forgeron moderne et son homologue ancien.

L'objet pourra en fin de travail rester brut de façonnage ou subir d'autres interventions, dites de finition : affûtage, polissage, traitements mécaniques ou chimiques à buts esthétiques. Enfin, l'assemblage des parties en fer avec d'autres matériaux est aussi une part importante de la fabrication des objets : par exemple, les manches et les poignées.

Dans certains cas, le forgeron prend en charge la réalisation complète de l'objet et dans d'autres, il se limite à l'élaboration des parties métalliques que d'autres artisans se chargent d'assembler. On a malheureusement fort peu d'informations, avant l'époque moderne, sur l'organisation de la

production de nombreux objets et le degré de spécialisation des artisans.

2.6. Les déchets du travail de forge

Tout au long du travail du métal, le forgeron produit des déchets (fig. 6).

Un déchet n'est que rarement produit au cours d'un unique acte technique. Il est en général le résultat d'un ensemble d'actes, d'une séquence de travail. De même, une séquence de travail donnée n'engendre pas un déchet unique mais un ensemble de divers déchets de natures différentes en proportions variées. Il est donc nécessaire de prendre en compte systématiquement tous les déchets présents sur le site pour décrire l'activité dans sa totalité. C'est cet ensemble de déchets qui caractérise l'atelier et permet de le comparer à d'autres.

Parmi les déchets, on distingue principalement :

- des scories formées dans le foyer de forge ;
- des micro-déchets métalliques parmi lesquels des chutes de travail ;
- des paillettes magnétiques, les battitures, résultant de la frappe du métal sur l'enclume ;
- des morceaux de terre cuite provenant des parois du foyer, qui apportent des informations essentielles sur la forme de celui-ci.

Les scories en forme de culot résultent de l'accumulation de divers matériaux plus ou moins fondus, qui se solidifient dans le fond du foyer de forge sous l'orifice de la soufflerie au cours d'un ou plusieurs chauffages. Les scories en culot peuvent présenter des morphologies et des dimensions très variées, mais le plus généralement elles ont une forme plano-convexe. En règle générale, la scorie en calotte, par son volume, son aspect, sa structure interne et sa composition chimique, reflète une partie des activités pratiquées et les matières utilisées : il s'agit donc d'un témoin privilégié, potentiellement riche en informations très diverses. On notera que si les scories de forge sont des déchets que l'on retrouve sur d'innombrables sites archéologiques, tous les travaux de forge ne produisent pas nécessairement de déchets scorifiés.

Les chutes de travail sont en revanche des découpes volontaires réalisées sur du métal déjà compacté ou en cours de mise en forme : chute d'une extrémité (soie de préhension), élimination d'une portion mal formée ou dénaturée par une

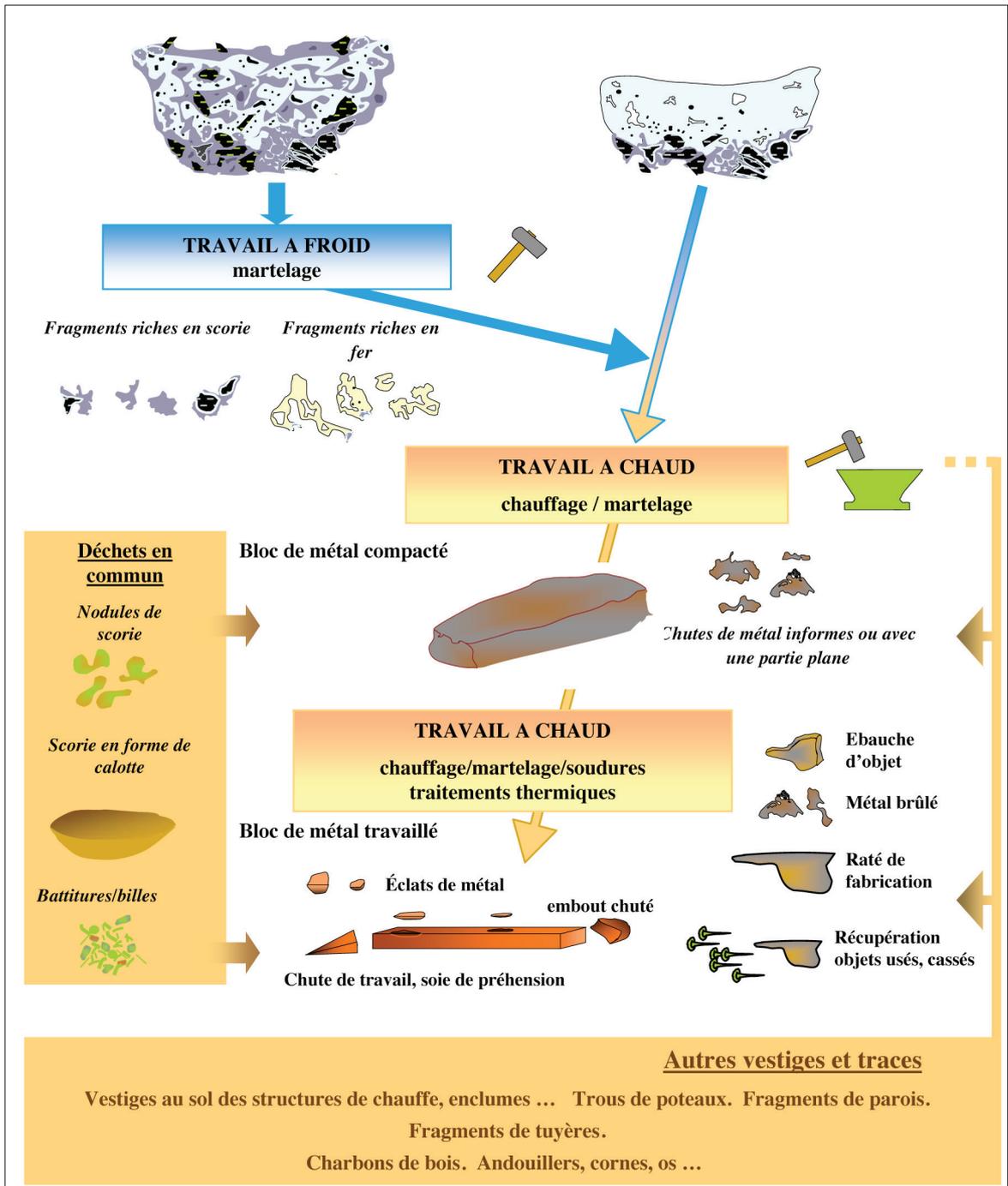


Fig. 6. Schéma de la chaîne opératoire de post-réduction.

mauvaise chauffe, prélèvement d'une portion de barreau, ou découpes pour la mise en forme d'un objet... Les découpes sont faites à froid ou à chaud sur l'enclume. D'autres éléments métalliques portant des traces de découpe renseignent sur les objets fabriqués eux-mêmes. Des ébauches abandonnées et des ratés de fabrication peuvent parfois aussi être retrouvés.

3. LES SYSTÈMES DE PRODUCTION DU FER

3.1. La production de fer du Hallstatt à La Tène ancienne

3.1.1. Extraction et réduction du minerai

Dans le Nord de la France et plus particulièrement dans la région du Mans et dans l'Yonne, les activités d'extraction du minerai de fer pour la période allant de la fin du Hallstatt à La Tène ancienne sont très mal connues. Il est probable que le minerai a été ramassé ou extrait en surface sur les zones d'affleurement. Dès la phase de production de fer la plus ancienne, qui débute entre le VIII^e et le VI^e s. a.C., des fourneaux à scorie piégée et à utilisation unique (*slag-pit furnace*)³ sont utilisés. Dans la région du Mans, cette technologie connaît un plein essor jusqu'au V^e-IV^e s. a.C. et puis tend à disparaître⁴. De nombreuses variations morphologiques caractérisent cette famille de fourneaux. Ces variations portent sur le système de ventilation ainsi que sur les capacités de production des appareils.

3.1.2. Les ateliers de réduction du minerai

Dans la région du Mans, les ateliers de production diffèrent les uns des autres selon le nombre de fourneaux qui les constituent. Certains sites ne fournissent que quelques bas fourneaux, voire un seul, isolés de toutes autres activités et de tout habitat. On peut y voir une production de fer ponctuelle et occasionnelle. D'autres sites comprennent plusieurs dizaines de fourneaux construits individuellement ou en batterie de deux ou trois

(fig. 7). Généralement le nombre important de fours est dû à la juxtaposition d'ateliers au même endroit, durant un laps de temps important. On y distingue alors une grande variété de structures de réduction qui peuvent, au fil du temps, présenter des morphologies très diverses (fig. 19). Sur ces sites, les bas fourneaux sont associés à des structures de combustion qui ont également produit de la scorie. Elles évoquent une activité postérieure à la réduction qui consisterait en une épuration de la masse de fer brut à chaud, le stade I de l'épuration⁵. En revanche, aucune trace de forge d'élaboration n'y a été décelée.

Sur le site des Clérimois, l'exploitation métallurgique qui débute aux alentours du IV^e s. a.C.⁶ est également implantée dans une zone d'acquisition des matières premières. Il est impossible de définir en détail le caractère et la nature de cette petite production à cause de la mauvaise conservation des structures et des ateliers. Les trois bas fourneaux à fosse mis au jour au nord du gisement (fig. 14, ensemble A), sont de petites dimensions, entre 0,40 et 0,60 m de diamètre.

En Seine-et-Marne, sur le site d'Ecuelles⁷, c'est au sein d'un habitat qu'a été mis au jour un fourneau de réduction de petite taille associé à un lot de scories qui témoigne d'un travail de post-réduction. Ce site se trouve à quelques kilomètres du plateau du Gâtinais où le minerai est abondant.

3.1.3. Les bas fourneaux

Le type de fourneau employé se caractérise par l'absence de système d'évacuation des scories à l'extérieur des cuves et par une utilisation unique. Les appareils se composent de deux parties (fig. 19, 1-2) :

- une partie en élévation, la cuve d'argile dans laquelle vont être introduits le minerai et le charbon de bois ou le bois et où va se situer le foyer ;
- une partie creusée à la base de la cuve, la fosse destinée à recueillir les scories produites lors d'une seule réduction.

5- Fluzin 1995.

6- D'après les datations ¹⁴C à notre disposition, réalisées par E. Gilot, INAN, Université catholique de Louvain.

7- Cf. Dunikowski *et al.* dans ce même volume, infra p. 279-290.

3- Ces fourneaux sont communément appelés fours à fosse.

4- Dans cette région, deux fourneaux de cette famille ont été datés par le ¹⁴C de La Tène finale.

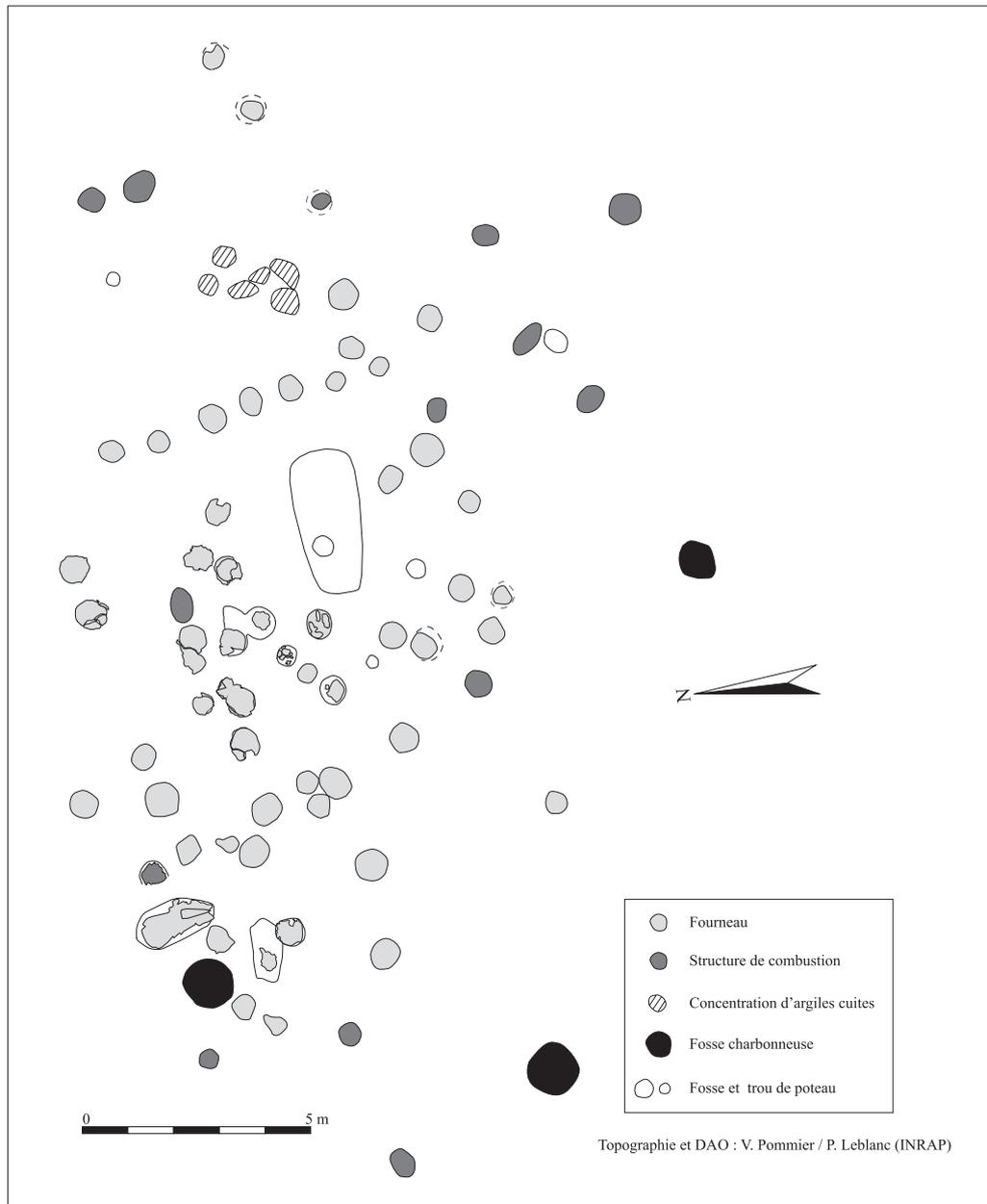


Fig. 7. Plan général du site des *Barres*, commune de Bazoge, Sarthe.

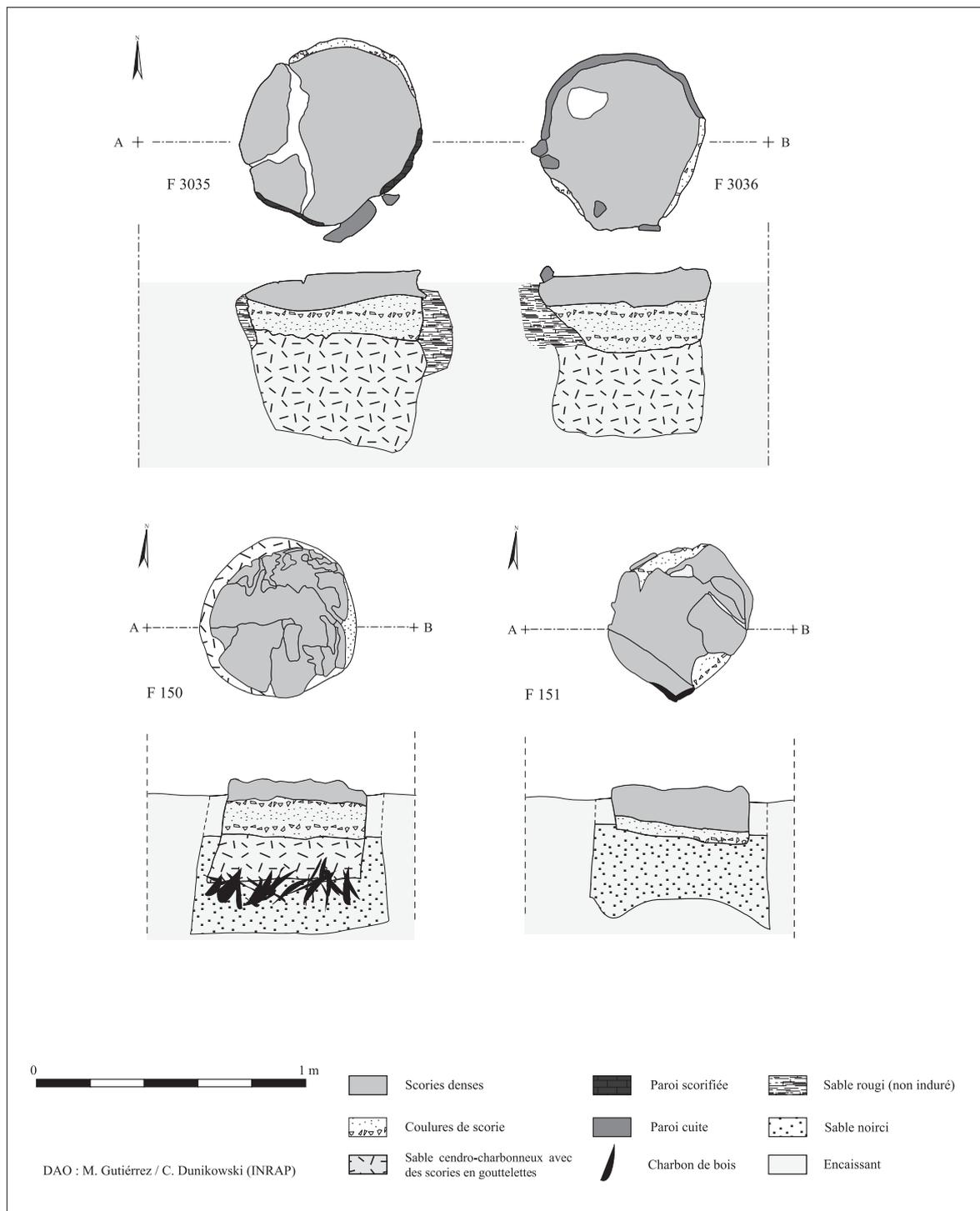


Fig. 8. Fours de réduction à scorie piégée et utilisation unique des *Barres*, commune de La Bazoge, et de *Beauvais*, commune de Changé, Sarthe.



Fig. 9. Bas fourneaux à scorie piégée et utilisation unique de Beauvais, commune de Changé, Sarthe. Cliché : Hervé Paittier (Inrap).

Généralement, il ne reste rien ou presque des superstructures des fourneaux, car elles ont été détruites ou déplacées à la fin de l'opération de réduction afin que soit récupérée la masse de fer. Les quelques exemplaires de parois découverts, constitués d'une argile très sableuse, minces de 10 à 40 cm et marqués par une fine couche de vitrification ou de scorification, ne présentent jamais de trace de réfection ou de scorification importante. Ces observations appuient l'hypothèse que la construction n'est destinée qu'à une seule opération de réduction.

La partie enterrée (ou fosse réceptacle) contient généralement une scorie de fond de four *in situ* et des sédiments charbonneux (fig. 8 et 9). Cette scorie, qui se forme au cours du processus de réduction, va traverser à l'état liquide la masse charbonneuse qui comble l'intérieur de la cuve et de la fosse réceptacle. Elle se fige au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du point où les températures sont suffisamment hautes pour assurer sa fluidité. Parmi l'échantillonnage de fourneaux étudiés d'une manière plus approfondie (analyses morphologique et archéométrique), il a été possible de distinguer plusieurs systèmes de

ventilation : soit un système de ventilation latéral d'un seul côté, soit un dispositif de ventilation multiple disposé sur le pourtour de la cuve, ou encore, un système de prise d'air qui aboutit dans la fosse réceptacle et qui vient compléter un dispositif supérieur. Pour chacun de ces dispositifs, il est impossible d'affirmer que l'on a utilisé la ventilation naturelle ou forcée.

Selon le type de ventilation utilisé et les dimensions de la structure, la quantité de scorie produite sera plus ou moins importante, entre 20 kg et 250 kg. Ces chiffres montrent la très grande variabilité de cette famille de fourneaux. Les variations peuvent être le résultat d'une évolution à travers le temps ou plus simplement refléter les quantités de fer désirées par les anciens sidérurgistes.

3.1.4. Les activités de post-réduction

Comme cela a été souligné précédemment sur les sites de production de fer situés hors habitat, dans les zones d'acquisition des matières premières, il semble que le fer brut subit une première épuration à chaud ; cependant aucun vestige n'atteste un travail de mise en forme. Des études complémentaires sont nécessaires afin de vérifier cette hypothèse. Cela signifierait que le métal acheminé vers les lieux de consommation est plus ou moins épuré.

Sur le site d'Ecuelles où la transformation du minerai se déroule sur l'habitat, les activités de post-réduction sont également présentes. La diversité des 3 kg de scories en culot mis en évidence (scorie dense, oxydée et argilo-sableuse) laisse penser que l'ensemble des activités de post-réduction (épuration et élaboration) a été réalisé sur le site. Les études en cours confirmeront ou non cette hypothèse. La fouille partielle de cet ensemble rural ne permet pas de définir si nous sommes en présence d'une production ponctuelle ou si d'autres ateliers ont été implantés sur cet habitat.

Des activités de forge seules ont été mises au jour sur plusieurs habitats, de type établissement rural (Saint-Pouange⁸ et Planty⁹, Aube). Les structures sont souvent absentes et les activités ne sont attestées

8- Opération A5 sous la direction de G. Verbrugge (Inrap).

9- Opération A5 sous la direction de A. Koehler (Inrap).



Fig. 10. Vue générale d'une charbonnière du site de *Trois Couleurs*, commune de La Bazoge, Sarthe. Cliché : Chr. Dunikowski (Inrap).

que par les déchets. Pour l'atelier de forge de Vrigny, «*Les Cumines Basses*»¹⁰, l'étude en cours semble mettre en évidence un atelier aménagé dans une fosse, peut-être du type de celui de Sévaz, en Suisse¹¹. Sur les différents sites étudiés, les quantités de déchets de forge sont très faibles, de l'ordre de quelques kilos.

3.2. La production de fer de la fin de La Tène ancienne et au début de La Tène finale

3.2.1. Extraction et réduction du minerai

Dans la région du Mans, une seconde technologie de réduction, qui recourt à des fourneaux à scorie piégée, apparaît au début de La Tène, mais elle a été surtout utilisée à La Tène moyenne et au début de La Tène finale. Elle tend à disparaître totalement à la fin de cette période. Les fourneaux utilisés sont en rupture avec la tradition précédente ; ils deviennent permanents et sont employés plusieurs fois. De ce fait, les ateliers de réduction sont plus organisés et

sont associés à d'autres activités de la chaîne opératoire du fer. Cette technologie a été rencontrée sur cinq sites éloignés des zones d'habitat. Leur implantation est liée à la proximité des lieux d'approvisionnement en matière première. La découverte récente d'appareils présentant des caractéristiques voisines sur le site de Guichainville, dans l'Eure, semble indiquer une diffusion plus large de cette technique¹².

3.2.2. Les ateliers

Dans la région du Mans, les sites où fonctionne ce type de fourneau comprennent outre la réduction de minerai de fer, le travail de préparation du charbon de bois et du minerai et des activités de post-réduction (fig. 11).

Les aires de charbonnage sont toujours composées de plusieurs fosses à remplissage charbonneux et cendreux. De forme rectangulaire (fig. 10), ces fosses couvrent des surfaces comprises entre 5 et 6 m² et présentent des profondeurs allant de 0,10 à 0,40 m. Les fonds légèrement convexes et les parois sont marqués par des traces de rubéfaction du substrat.

10- Opération TGV-Est sous la direction de H. Boutillon (Inrap).

11- Mauvilly *et al.* 1998.

12- Cf. Honoré *et al.* dans ce même volume, *infra* p. 117-124.

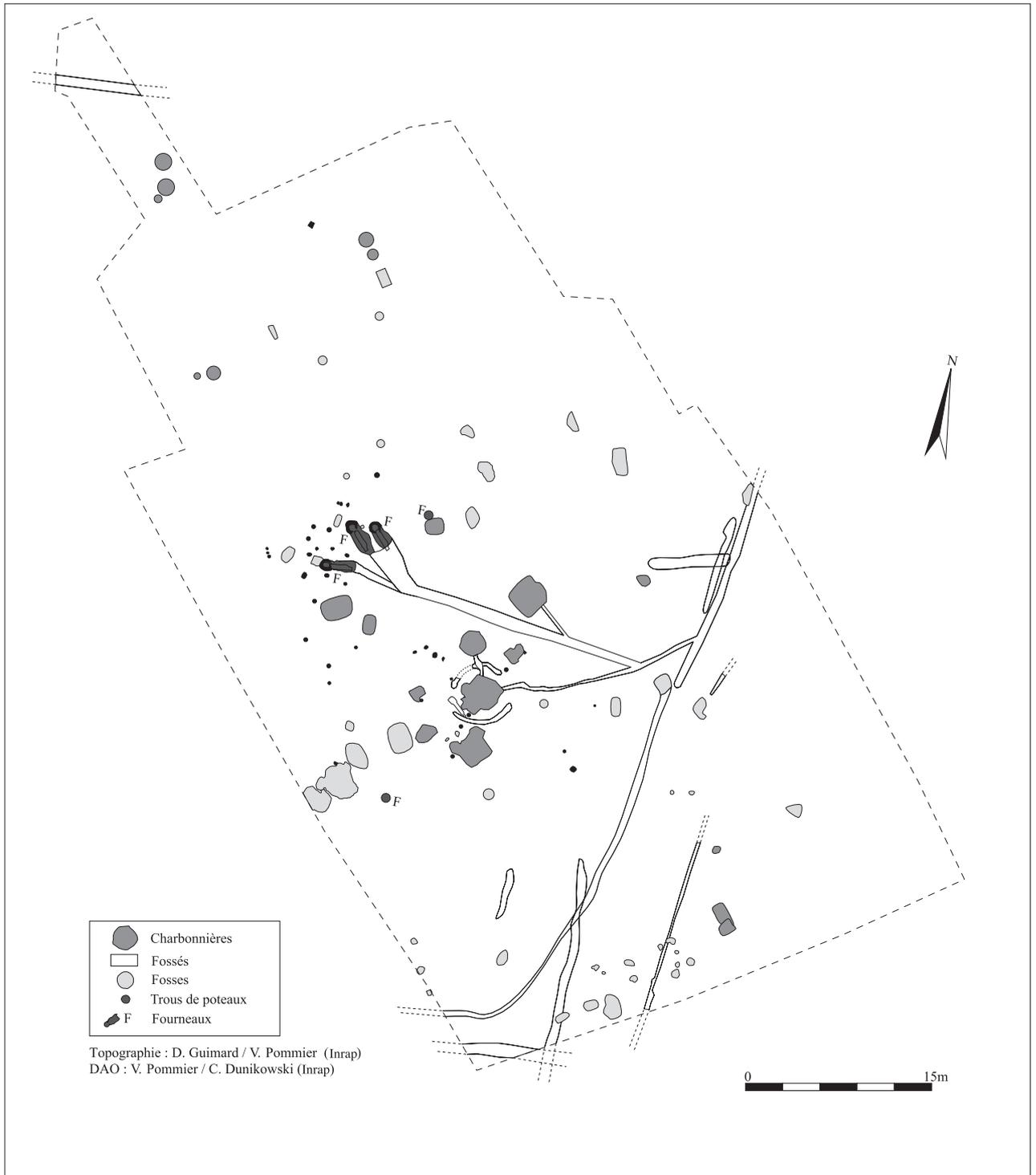


Fig. 11. Plan général du site de *Trois Couleurs*, commune de La Bazoge, Sarthe.

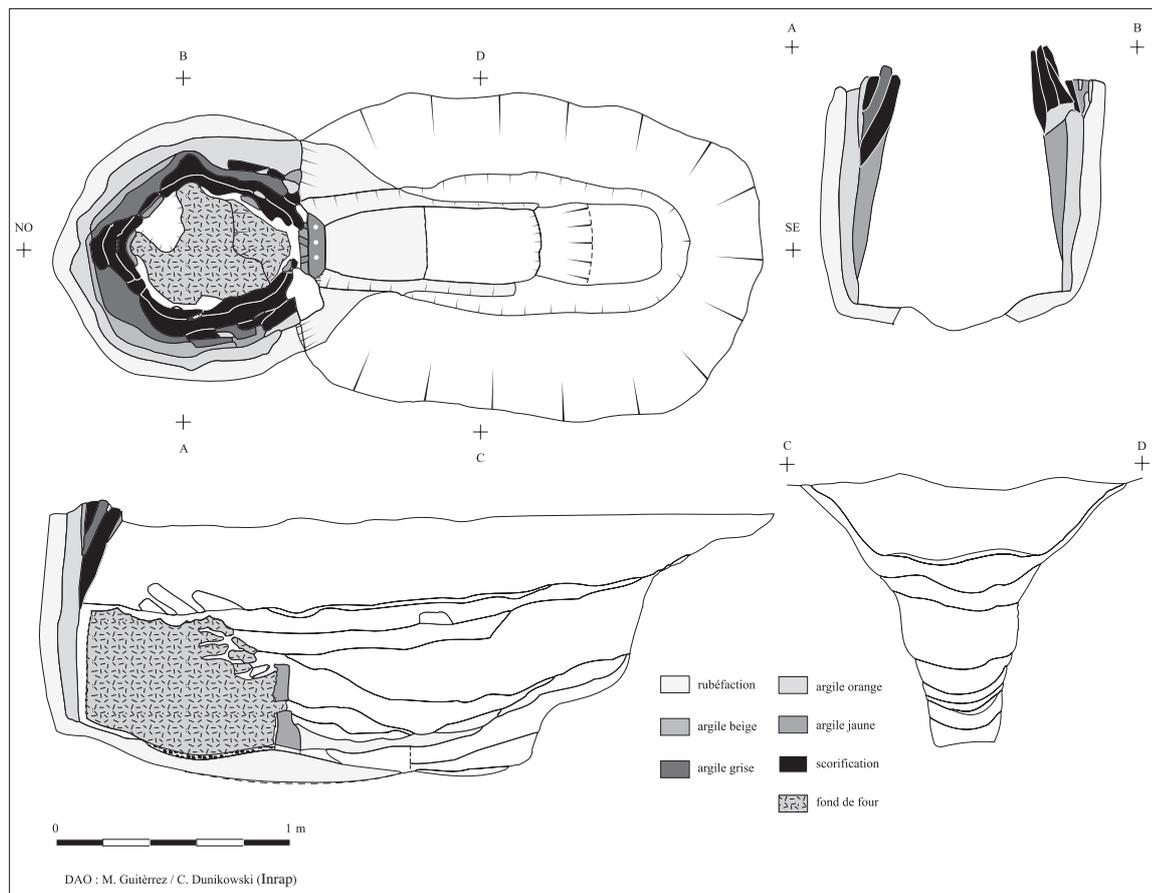


Fig. 12. Plan et coupes d'un bas fourneau à scorie piégée et utilisation multiple. "La Jousserie", commune de La Bazoge, Sarthe.

La nature des remplissages, qui peuvent comprendre des charbons de bois centimétriques, et les altérations thermiques permettent d'interpréter ces structures comme des bases de meules de charbonnage. Les bûchers qui étaient entassés dans ces légères dépressions devaient ensuite être recouverts de terre. Selon la topographie du terrain, ces installations sont associées à un système de fossés destiné à assainir la surface de travail.

La préparation du minerai de fer, qui consiste à chauffer et ensuite à concasser la matière première brute, est attestée par la présence de blocs et de déchets de minerai dans les zones de rejets mais aussi par des aires de traitement sous la forme d'une nappe d'environ 8 m² de sédiment rougeâtre (poussière, granules et blocs de minerai chauffé). Un foyer ouvert de 1,20 x 0,40 m destiné à la chauffe du minerai brut a été découvert sur l'un des sites.

Les ateliers de réduction comprennent plusieurs bas fourneaux, situés en général sur les points culminants des sites. Les structures peuvent être abritées par une construction sur poteaux. Un dispositif de drainage assure l'assainissement des lieux de travail. Les déchets de réduction sont toujours rejetés en dehors de l'atelier dans les fossés, dans des fosses ou encore amoncelés en petits amas (ferriers). Les quantités de déchets produits sur les lieux de production sont estimées à une centaine de tonnes.

Les activités de post-réduction sont également présentes sur ces sites, elles sont attestées uniquement par des déchets.

3.2.3. Les bas fourneaux

Installés dans des fosses, les bas fourneaux de cette famille comportent deux parties (fig. 12) : le



Fig. 13. Vue générale d'un bas fourneau (F52). "La Jousserie", commune de La Bazoge, Sarthe. Cliché : Chr. Dunikowski (Inrap).

four construit en argile sableuse et une fosse d'accès longue et étroite. Seules les parties enterrées du dispositif sont conservées ; les parties en élévation (cheminée et gueulard) sont détruites.

La cuve de ce type de four en forme d'un léger tronc de cône d'un diamètre interne d'environ 0,80 m, constitue l'espace où le minerai est réduit et où les déchets vont s'accumuler. Construite à l'aide d'argile sableuse, la paroi présente une scorification épaisse de plusieurs centimètres, et des traces de rechapages successifs indiquant bien que la structure a été utilisée plusieurs fois. Une cloison d'argile percée à plusieurs niveaux d'orifices de 2 cm de diamètre sépare la cuve de la fosse d'accès (fig. 13).

Ce type d'appareil est muni d'un système de ventilation multiple. Le premier dispositif se situe au niveau du sol de circulation, à une hauteur de plus d'1 m par rapport à la sole du four, et se compose de quatre conduits¹³ percés dans les parois latérales

de la cuve. La porte, munie d'orifices sur plusieurs niveaux, constitue le second dispositif, assurant la circulation de l'air à la base de la cuve. L'air insufflé de manière naturelle ou forcée pouvait circuler entre les orifices supérieurs et les événements frontaux jusqu'à ce que ces derniers soient obstrués par de la scorie. À ce moment, la circulation de l'air n'est plus assurée dans la cuve, ce qui semble déterminer le terme de l'opération.

Les déchets découverts *in situ* dans la cuve de plusieurs fourneaux ont toutes les caractéristiques des scories de fond de four, c'est-à-dire qu'elles se présentent comme une masse de scorie irrégulière moulant de nombreuses empreintes de charbon de bois consommé. Leur poids est d'environ 200 kg.

3.2.4. La post-réduction

Les sites de transformation du minerai mis en évidence dans la région du Mans comprennent des activités de post-réduction. Ces dernières ne sont attestées que par la présence de déchets, c'est-à-dire, principalement des culots de forge, des déchets magnétiques évoquant des *gromps*¹⁴ et dans un degré moindre, des battitures. La présence de *gromps*, nodules de métal et de scorie, semble indiquer une phase d'épuration par martelage des masses de fer brut. Ces déchets sont les témoins directs du métal fabriqué. Les culots de forge sont de morphologies très variées ; on trouve des culots de scorie massive d'un poids pouvant aller jusqu'à la dizaine de kilos, des culots de scorie oxydée et des culots argilo-sableux. La grande variabilité de ces déchets laisse supposer que plusieurs stades du travail de la forge ont été pratiqués, probablement de l'épuration à chaud des masses de fer brut jusqu'à un travail de mise en forme. À l'heure actuelle, nous ne connaissons pas encore le produit de mise en forme destiné au lieu de consommation (demi-produits, objets, ...). Les analyses archéométriques en cours permettront probablement de mieux définir les étapes de la post-réduction.

Notre méconnaissance des activités de forge qui se pratiquaient au sein des habitats ne permet pas aujourd'hui de mettre en évidence les circuits de

13- Sur les sites de *La Jousserie* et des *Trois Couleurs*, les fourneaux comprennent quatre événements d'un diamètre d'environ 7 cm au

niveau du sol de circulation, soit à environ 1 m de hauteur par rapport à la base des fours.
14- Nosek 1994, 65-67.

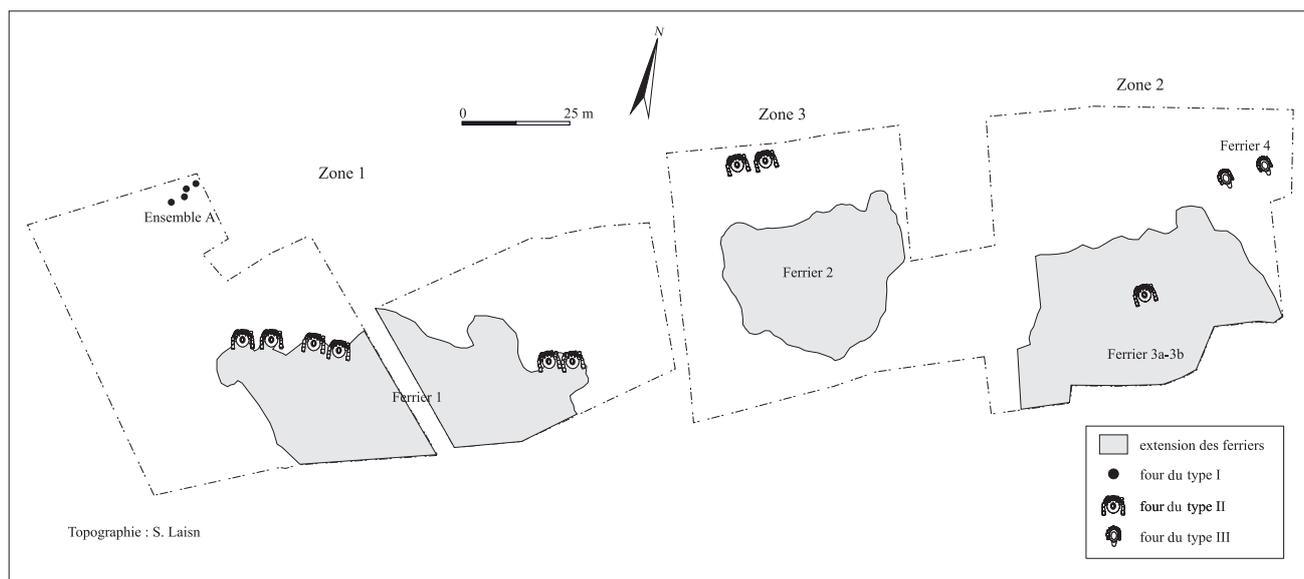


Fig. 14. Plan général du site de réduction des "Fouetteries", commune des Clérimois, Yonne.

distribution du métal. De ce fait, il est impossible de définir si les demi-produits ou objets réalisés sur ces sites de production sont destinés aux besoins locaux ou s'ils avaient une diffusion plus large.

3.3. La production de fer de La Tène finale au Haut Empire

3.3.1. Extraction et réduction du minerai

Seuls deux gisements ont permis d'étudier des installations de production de fer de La Tène finale ; il s'agit du site de l'*Aunay Truchet* à La Bazoge dans la Sarthe et du site des *Fouetteries* aux Clérimois dans l'Yonne. Sur ces deux ensembles installés dans les zones d'acquisition des matières premières apparaît une nouvelle technique de réduction. Elle se caractérise par l'usage de fourneaux de grandes dimensions mettant en œuvre des techniques de réduction sophistiquées qui comprennent l'évacuation de la scorie à l'extérieur des cuves et des systèmes de ventilation multiple (fig. 16 et 19). La production de fer s'accroît de façon considérable (de l'ordre de milliers de tonnes de scories produites). D'après les datations ^{14}C et l'analyse de la céramique découverte sur les deux gisements, on peut émettre l'hypothèse

que la production de fer à l'aide de ces appareils a débuté à La Tène finale (vers 150 a.C.) et se poursuit après la conquête romaine jusqu'au début du II^e s. p.C.

3.3.2. Les ateliers de réduction

Les ateliers des Clérimois (Yonne)

Les ateliers de réduction sont installés à la rupture de la pente du talweg (fig. 14). Les bas fourneaux, au nombre de neuf, sont érigés par deux dans des ateliers d'au minimum 20 m². Ils sont abrités par des appentis, dont il ne reste que les trous de poteaux. La disposition en batterie implique une organisation du travail assez soutenue ; lorsqu'un fourneau est en fonctionnement, on peut récupérer la masse de fer et restaurer le second sans interrompre la production.

Les résidus de réduction sont rejetés en dehors de l'espace de travail, c'est-à-dire au minimum à 20 m des fourneaux.

Le minerai est extrait sur place à ciel ouvert sur les pentes de la petite vallée. La matière première est ensuite chauffée et concassée comme le démontre l'abondance des résidus produits. Ces "déchets" de minerai ont été réemployés pour aménager la base



Fig. 15. Plan général du site de réduction de l'Aunay-Truchet, commune de La Bazoge, Sarthe.

des fourneaux et le sol des ateliers. Les matériaux de construction des fourneaux (sable et argile) sont également extraits sur les pentes du talweg.

En revanche, les traces du travail de charbonnage sont absentes et les déchets témoignant d'une activité de forge (épuration et/ou élaboration) sont très rares.

À l'époque augustéenne et sous le Haut-Empire, cette organisation du travail se maintient. La production s'accroît considérablement au moment de la conquête. Il est plausible que l'apparition d'une production semi-industrielle, dépassant sans conteste le stade artisanal, soit liée à la mise en place de structures administratives capables de gérer la distribution du métal. Les déchets produits durant toute la durée de l'exploitation, de La Tène finale au

Haut-Empire, sont évalués à 10 000 tonnes pour une production de l'ordre de 4000 tonnes de fer¹⁵.

Les ateliers de l'Aunay-Truchet (Sarthe)

Le site de l'Aunay-Truchet (fig. 15) est composé de six ensembles sidérurgiques (appelés ferriers), démontrant la continuité de l'activité de réduction au même endroit. Durant plus de deux siècles (fin du I^{er} s. a.C. – début du II^e s. p.C.), des ateliers se sont succédé pour une production totale d'environ 1 300 tonnes de scories¹⁶. Les ateliers datés par le ¹⁴C de La Tène finale sont au nombre de 6 avec 7 fourneaux dont 1 à scorie piégée et utilisations successives.

15- Dunikowski & Cabboi 1995, 170-171.

16- La production de fer n'a pas encore été calculée ; la première estimation fournie est de l'ordre de 300 tonnes.

Les installations sidérurgiques comprenant les fourneaux à scorie coulée sont complexes (fig. 15) ; elles comportent un ou deux bas fourneaux, des aires de traitement du minerai de fer, des zones de stockage des matières premières et des emplacements destinés à recevoir les déchets. Les activités de charbonnage ne se pratiquent pas sur les sites de transformation, tandis que les activités de post-réduction, épuration ou élaboration, sont quasiment absentes.

Les ateliers de réduction comprennent chacun un seul ou une batterie de fourneaux abrités par une construction sur poteaux. Parfois des fosses de stockage des matières premières (charbon de bois et minerai) jouxtent le four sous l'abri. La structure de réduction est installée sur un point culminant et des fossés ou des remblais de scories assurent l'assainissement de la zone de travail. Ces ateliers sont généralement associés à une aire de traitement du minerai. Celle-ci se dessine sous la forme d'une nappe de sédiment rougeâtre (déchet de minerai) et comprend des structures de stockage de minerai brut, chauffé et concassé. Les déchets de production sont rejetés en dehors du périmètre de travail ; ils sont soit amoncelés en ferrier, soit rejetés dans les fosses d'extraction de l'argile destinée à la construction des fours ou encore réemployés dans les dispositifs de drainage.

3.3.3. Les bas fourneaux

Les bas fourneaux de type II des Clérimois (Yonne)¹⁷

Les fourneaux sont encastrés dans des creusements du substrat naturel à la rupture de pente du vallon. La forme externe est en fer à cheval ou semi-circulaire (fig. 19, 4). Une imposante couronne de blocs de grès, de 3 m de diamètre et haute d'environ 1 m, soutient les parois argilo-sableuses du four. Elle a pu également servir de plate-forme de circulation autour du four, notamment pour le chargement de la cuve.

Les parois du four sont construites en argile sableuse, sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. Les faces internes présentent une couche de scorification



Fig. 16. Vue générale d'un bas fourneau (F141) des "Fouetteries", commune des Clérimois, Yonne. Cliché : Chr. Dunikowski (Inrap).

de 3 à 4 cm. La morphologie de la cuve est constituée de deux troncs de cône opposés et reliés par leur petit diamètre (forme de sablier) sur une hauteur estimée à plus ou moins 2,50 m (fig. 16). Les soles, circulaires ou ovales (1 m²), se prolongent par un canal d'évacuation des scories, aménagé devant chacune des structures.

Le problème de la ventilation est probablement un des plus délicats à traiter sur ce type de structure¹⁸ Trois dispositifs de ventilation ont été décelés :

- des tuyères qui se présentent sous la forme de blocs d'argile à fond plat, épais de 10 cm. Le conduit d'air est de 2 à 2,5 cm de diamètre à l'extérieur et se rétrécit à l'arrivée dans la cuve à 1 ou 2 cm. Certains exemplaires présentent un conduit principal se divisant en deux ou trois canaux de distribution divergents à 30° (tuyères bifides et trifides). Malgré l'attention portée à ce type de vestige lors de la fouille, leur position exacte dans le four n'a pu être déterminée ; ces tuyères devaient être placées dans la partie frontale du fourneau, peut-être au niveau de la porte ;

17- Les bas fourneaux de ce type présentent de grands traits communs et peuvent être classés dans une même famille. Cependant les nombreuses variantes obligent à considérer avec prudence la restitution théorique proposée.

18- Des expériences ont été menées afin d'interpréter le système de ventilation de ce type de four à gros volume interne. Les premiers résultats concluants ont été obtenus en couplant ventilation forcée et ventilation naturelle.

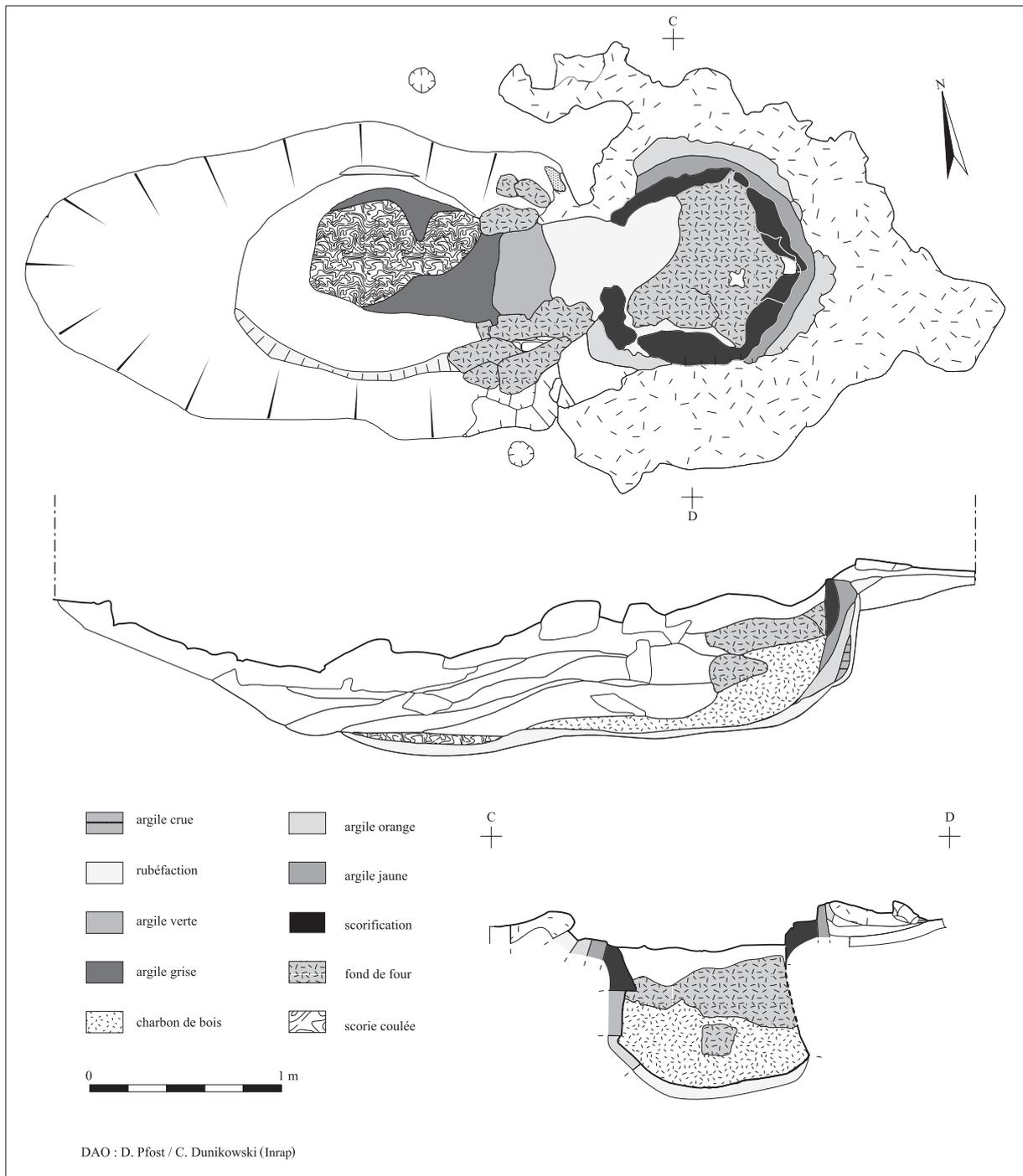


Fig. 17. Plan et coupe d'un bas fourneau (F34) de l'Aunay-Truchet, commune de La Bazoge, Sarthe.

– une ou deux ouvertures latérales à la base des fours situées à environ 0,20 m au-dessus de la sole. Ces ouvertures (fig. 19, 4) communiquent avec de petites “alcôves” aménagées à l’extérieur des fours, mais qui s’inscrivent dans le diamètre de la structure ;

– trois conduits (entre 6 et 8 cm de diamètre) percés dans la paroi arrière des fours, aménagés sur un même plan à environ 0,80 m au-dessus des soles, dans la paroi arrière des fourneaux. Ces conduits, inclinés en moyenne à 30° vers la base des cuves, sont orientés vers la partie frontale des fours.

Ces bas fourneaux ont la particularité d’avoir été utilisés un nombre très important de fois, de l’ordre de plusieurs dizaines. En effet, lorsque la face interne de la cuve est endommagée, elle est restaurée en ôtant la couche de scorification installée sur tout le pourtour et en la remplaçant par une couche d’argile très sableuse (le rechapage). Lorsque le volume interne du four, qui se réduit au fur et à mesure des rechapages, n’est plus satisfaisant, une partie de la paroi est détruite et restaurée de la même manière. C’est ainsi que sur les coupes longitudinales des fours, on peut voir une série de traces successives correspondant à ces nombreux rechapages et destructions des parois. Cette technique a permis d’épargner l’imposante couronne de grès qui, pour être reconstruite, aurait demandé un important travail.

Les bas fourneaux à scorie coulée et utilisations successives de l’Aunay-Truchet (Sarthe)

Les caractéristiques principales de ce type de fourneau de grandes dimensions sont la présence d’un dispositif d’évacuation des déchets à l’extérieur des cuves et la complexité du système de ventilation.

Construits dans des fosses, les bas fourneaux à scorie coulée sont composés de deux parties (fig. 17-18) : le four, construit en argile sableuse, et une fosse de travail relativement importante (5 m de long au maximum). Seules les parties enterrées du dispositif sont conservées.

Les cuves, d’un diamètre interne compris entre 0,70 et 0,80 m, ont une forme particulière, en trèfle, avec cinq concavités. Ces dernières marquent l’emplacement de cinq orifices de ventilation, d’un diamètre compris entre 5 et 7 cm, qui percent le pourtour du four au niveau du sol, trois à l’arrière,



Fig. 18. Vue générale d’un bas fourneau (F35) de l’Aunay-Truchet, commune de La Bazoge, Sarthe. Cliché : L. Cabboi (Inrap).

deux sur les parois latérales (fig. 17). Ces événements sont aménagés à environ 0,90 m au-dessus de la sole du four, au niveau du sol de circulation. À la fouille, aucun élément précis n’a permis de discerner si la ventilation était naturelle ou forcée. Construites à l’aide d’argile sableuse, les parois des fours sont toujours marquées par une scorification interne importante et par des traces de rechapages successifs, indiquant l’usage répété de la structure.

Les parties frontales des fours ne sont jamais conservées et elles ne peuvent être restituées avec précision. Toutefois, on peut imaginer une “porte” munie d’un orifice permettant l’évacuation des scories et éventuellement d’une prise d’air. Les scories s’écoulent dans la fosse de travail dont la base est aménagée à cet effet. Ces fourneaux vont produire, en plus des scories coulées, une masse importante de scories de fond de four qui va s’accumuler dans la cuve. Les scories de fond de four accumulées à la base de la cuve ont un poids qui avoisine les 100 kg, tandis que les scories écoulées entières pèsent environ 80 kg.

3.3.4. La post-réduction.

Sur les sites de production du fer de l’Aunay-Truchet et des Clérimois les activités de post-réduction se sont avérées très marginales. La forge sur ces gisements aurait plutôt un caractère occasionnel,

sans commune mesure avec l'estimation du métal produit. Il faut en conclure que le produit final de réduction, dont on ignore la forme et le poids, a été acheminé à l'état brut vers des lieux spécialisés où il a subi l'ensemble des traitements afin d'obtenir un demi-produit ou un objet élaboré. Dans les deux régions minières concernées, l'état actuel des connaissances n'a pas permis d'identifier le ou les types de sites où se pratiquait cette activité de post-réduction. Les problématiques des études en cours sont de définir sous quelle forme était distribué le fer produit sur ces sites de l'Yonne et de la Sarthe. Y avait-il un commerce de produit non épuré ou bien existait-il des centres de contrôle de la production où tout le fer brut était transformé en semi-produit ou en objet ?

Sur le territoire des Sénons qui est mieux connu grâce aux fouilles préventives menées dans les vallées de l'Yonne et de la Seine, il semble que les activités de forge se généralisent sur les habitats de divers types, fermes et agglomérations. Toutefois, l'étude très fragmentaire de ces ateliers souvent attestés uniquement par la présence de déchets, ne permet pas aujourd'hui de définir les différentes activités pratiquées (épuración, élaboración, réparation, récupération).

4. ÉBAUCHE D'UNE SYNTHÈSE SUR L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DE FER DU PREMIER ÂGE DU FER AU DÉBUT DE L'ÉPOQUE ROMAINE

Les sites sidérurgiques fouillés récemment, notamment dans le cadre préventif sur les autoroutes A5 et A28, ont produit une riche documentation sur les techniques et sur l'organisation du travail du fer durant les âges du Fer¹⁹. L'organisation et la vie des ateliers de production varient au cours du temps en fonction des techniques employées. Toutefois, ces changements résultent avant tout des variations des besoins économiques et du cadre politique qui administre la production de fer.

19- Les descriptions des ateliers et des fourneaux présentées dans les parties précédentes ne rendent pas compte de toutes les variations et de toute la richesse des vestiges découverts sur les ensembles sidérurgiques fouillés. Nous avons tenté dans cette première partie de synthétiser les données les mieux étudiées, celles qui ont été observées à plusieurs reprises sur un même site ou sur plusieurs sites.

Nous allons tenter d'esquisser une première synthèse sur les évolutions techniques et d'offrir quelques axes de réflexion sur les raisons de tels changements. Ces premières conclusions doivent être considérées comme des hypothèses, car notre niveau de connaissance des sites sidérurgiques et surtout des sites de consommation de fer, dans le Nord de la Gaule, reste encore trop partiel.

4.1. Du Hallstatt à La Tène ancienne

La dizaine de sites de cette période fouillés dans la Sarthe, l'ensemble A mis au jour sur le gisement des Clérimois, ainsi que les découvertes récentes faites dans la région de Saint-Malo²⁰ et en Seine-et-Marne montrent de nombreuses similitudes.

Du point de vue technologique, les fourneaux employés sur ces divers ateliers ont des caractéristiques communes : leur utilisation unique et l'absence de système d'évacuation des scories à l'extérieur des cuves (fig. 19, 1-2). Ces appareils appartiennent à la famille des *slag-pit furnaces*, présentés par L. R. Pleiner²¹. Cette technologie est bien connue dans les centres de réduction du fer d'Europe centrale et septentrionale, tels que, pour la période antique, les Montagnes Sainte-Croix en Pologne²². Les datations C¹⁴ les plus hautes font remonter l'usage des fourneaux à fosse dans la Sarthe entre le milieu et la fin du premier âge du Fer, il s'agit là des ensembles sidérurgiques fouillés les plus anciens d'Europe occidentale²³. Cette technique a été employée de manière exclusive jusqu'à la fin du v^e s. a.C. Au cours du temps, ce type de fourneau a probablement subi des innovations, comme semblent le démontrer les sites où l'activité a perduré longtemps²⁴.

Pour les sites de transformation distants des zones d'habitation, leur implantation est probablement liée à la proximité des gîtes d'approvisionnement en matières premières (minerai

20- Cf. Vivet dans ce même volume, infra p. 63-84.

21- Pleiner 1958, 127, fig. 26.

22- Bielenin 1992, 77, fig. 38.

23- En Europe centrale et orientale, quatre ateliers attestent la production de fer hallstattienne (Pleiner 1994, 181). Un site d'époque hallstattienne est connu en France à Choisy-au-Bac, Oise (Mangin 1989).

24- L'état d'avancement de notre étude ne permet pas encore de fournir les caractéristiques de cette évolution.

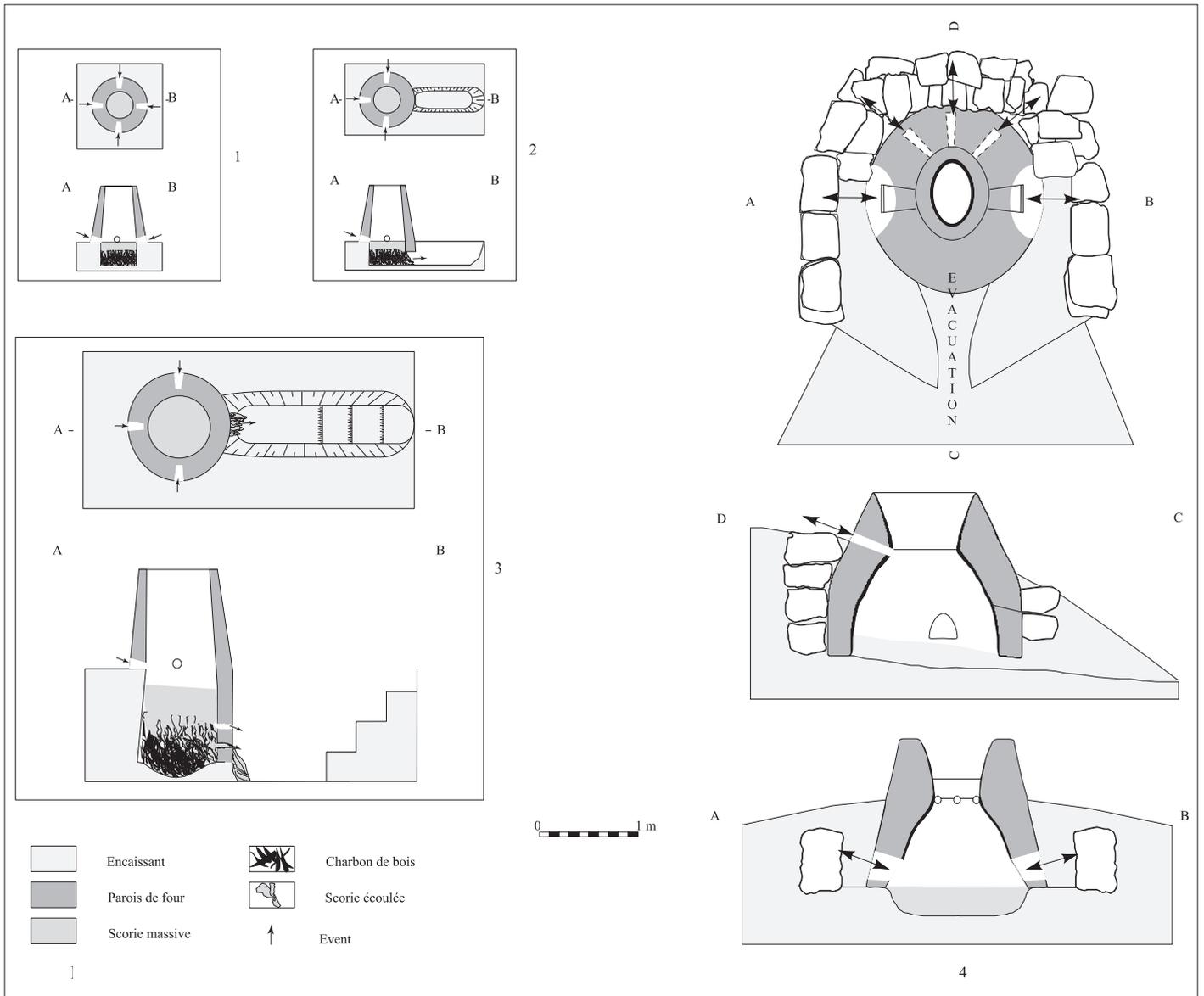


Fig. 19. Schéma évolutif des bas fourneaux protohistoriques.

de fer et charbon de bois). Les activités présentes sont la réduction du minerai de fer et, plus rarement, l'épuration à chaud des masses de fer brut. Les ateliers comprennent un nombre très faible de fourneaux, parfois un seul, et l'organisation en batterie de deux ou trois appareils n'est attestée que par quelques rares exemples. Pour résumer, ces sites se caractérisent par une faible production. La quantité des déchets produits, est tout de même de dix tonnes pour le site des *Barnes* où l'activité a perduré longtemps et où 56 fourneaux se sont succédé ; elle se résume à quelques dizaines de kilos pour l'ensemble A des Clérimois. Sur le site d'Ecuelles, c'est au sein de l'habitat que se déroule la production. Dans ce cas, il semble que toutes les étapes de la production sont présentes.

Cette production de fer, même si elle apparaît réduite et peu structurée, devait apporter une richesse non négligeable pour ceux qui la contrôlaient.

4.2. De la fin de La Tène ancienne jusqu'au début de La Tène finale

Dans la Sarthe, la seule région largement documentée pour cette période, les sites sidérurgiques fouillés ont démontré des changements considérables dans l'organisation et l'intensité de la production de fer.

Les bas fourneaux sont toujours dépourvus de système d'évacuation des scories ; celles-ci restent piégées dans la cuve. Toutefois, ces structures de réduction deviennent permanentes et sont utilisées plusieurs fois (fig. 19, 3). En effet, grâce au système d'accès (fosse) et à la porte, le four, à la fin de l'opération de réduction, est débarrassé des scories qui l'encombrent et restauré. Les traits morphologiques de ces fours trouvent des analogies avec les appareils contemporains mis au jour dans le Burgenland en Autriche²⁵. Les fourneaux du type Burgenland sont également dépourvus de système d'évacuation des scories ; ils sont précédés d'une fosse d'accès et ils ont été utilisés plusieurs fois. Toutefois, le système de ventilation semble différent, puisque des fragments de tuyères étaient associés à ces structures.

L'image donnée par les ateliers de la Sarthe est celle d'une production de fer très organisée. Les bas fourneaux sont "standardisés" ; la morphologie et les volumes des appareils utilisés sur les divers sites sont très proches. Les scories, récoltées dans les cuves des fours et qui témoignent de la dernière opération de réduction, ont toutes un poids voisin des 200 kg. Sur trois sites, les fourneaux sont organisés en batterie, ce qui indique une rationalisation de la production.

Cette "standardisation" se traduit également dans l'organisation des ateliers qui se répète d'un site à l'autre. Ceux-ci deviennent très structurés et comprennent différentes activités de la chaîne opératoire du fer. La préparation du minerai est présente de même que l'activité de charbonnage, bien attestée par des ateliers complexes comprenant plusieurs meules. La forge d'épuration et, dans une moindre mesure, la forge d'élaboration sont également confirmées par la présence de déchets. Sur ces sites de transformation, implantés à proximité des lieux d'extraction du minerai, on a donc préparé les matières premières, élaboré le métal et mis en forme ce métal brut afin d'obtenir un produit fini ou semi-fini (barres, lingots ?) destiné aux lieux de consommation.

L'intensification de la production du fer (de l'ordre de la centaine de tonnes de scories produites par site) et l'organisation de cette activité laissent entendre, dans le secteur du Mans, une réelle gestion et probablement un contrôle de ce travail. Cette situation répond vraisemblablement à une demande accrue en fer. Dans l'état de nos connaissances sur les sociétés de La Tène de cette région, nous ne pouvons savoir si la production couvrait les besoins locaux ou s'il y avait des excédents destinés à être commercialisés.

4.3. Intensification de la production à La Tène finale

À La Tène finale, sur les deux sites étudiés dans la Sarthe et l'Yonne, apparaît une nouvelle technique de réduction ; les fourneaux employés sont désormais pourvus d'un système d'évacuation des scories à l'extérieur des cuves (fig. 19, 4). La production de fer à l'aide de ces appareils se pratique sans interruption avant et après la conquête romaine, dans des bas fourneaux qui n'ont que peu évolué au cours de ce

25- Bielenin 1994, 255-258.

temps. Les bas fourneaux de type II utilisés aux Clérimois trouvent des analogies avec ceux qui ont été fouillés à l'Aunay-Truchet, hormis le volume des cuves – plus réduit sur ce dernier site – et des différences dans la technique de construction qui tiennent plutôt de la “tradition” locale. Ces fourneaux peuvent également être comparés avec les fours du type “classique” des Martys²⁶. L'impression qui en ressort est qu'une même technologie, avec des variations locales, se diffuse sur le territoire des Gaules dès La Tène finale, sans que l'on puisse aujourd'hui définir de manière définitive la part des apports d'origine celtique et romaine²⁷.

Sur les deux gisements de la Sarthe et de l'Yonne, les activités sont analogues ; ces sites sont implantés dans les zones d'acquisition du minerai et la matière première est préparée à proximité des ateliers de réduction. On y note l'absence des activités de fabrication du charbon de bois et la rareté des rebuts de forge. Le métal est donc exporté à l'état brut, vers des lieux de transformation. Même si les fouilles de forges se sont multipliées ces dernières années, l'état actuel des connaissances ne permet pas de définir le circuit de circulation du métal, ni même de définir la part des besoins locaux. Il est probable, surtout pour la zone de production qui s'étend sur le territoire des Sénons, que la production dépassait largement les besoins locaux. En effet, le gisement des Clérimois s'inscrit, pour une part infime, dans une vaste zone de production de fer qui s'étend entre la Nièvre, le Loiret et l'Yonne (5 000 km²) où des centaines de milliers de tonnes de scorie ont été produites entre les âges du Fer, l'époque romaine et le Moyen Âge²⁸. Bien que de nombreux travaux aient été réalisés sur cette zone, il est bien difficile d'avoir une image précise de la production de fer durant le second âge du Fer.

À La Tène finale, la production de fer, déjà importante et organisée dans les deux régions, devait être contrôlée par les autorités locales (Sénons et Cénomans). Cet aspect ne peut être abordé que par le biais de l'étude des forges et notamment la définition des activités présentes sur les divers sites afin de mettre en évidence les circuits de circulation du fer.

Bibliographie

- Beck, P., Ph. Braunstein, C. Dunikowski, et M. Philippe (1992) : “La sidérurgie ancienne en forêt d'Othe”, in : *Proto-industries et histoire des forêts, Actes du colloque de Foix 1990*, Les Cahiers de l'ISARD, 301-316.
- Bielenin, K. (1992) : “Starozytne gornictwo i hutnictwo zelaza w gorach swietokrzyskich”, *Kieleckie Towarzystwo Naukowe*, Kielce.
- (1994) : “Der Rennofen vom typ Burgenland in der frühgeschichtlichen eisenverhüttung in Mitteleuropa”, in : *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Actes du Colloque de Besançon 10-13 novembre 1993*, Annales Littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris, 255-267.
- Bouthier, A. (1982) : “Données nouvelles sur l'utilisation du minerai de fer dans le Nord Ouest de la Nièvre à l'époque gallo-romaine”, in : *Mines et Fonderies antiques de la Gaule, Actes de la table ronde du CNRS, Toulouse novembre 1980*, Paris, 139-156.
- Domergue, Cl., C. Jarrier, et F. Tollon (1999) : “La métallurgie extractive du fer dans la Montagne Noire (France) à l'époque romaine. Nouveaux documents”, *Revue Archéologique du Narbonnaise*, 32, 147-156.
- Dunikowski, C. et S. Cabboi (1995) : “La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)”, DAF 51, Paris.
- Fluzin, Ph. (1993) : “Apport de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire des procédés sidérurgiques directs à partir des vestiges archéologiques ; intérêts des comparaisons ethnoarchéologiques”, in : *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change, Jernkontorets Bergshistoriska Utskott, May 8-13*, 56-64.
- Mangin, M. (1989) : “La production du fer en France avant le haut-fourneau : présentation sommaire des recherches récentes et en cours”, in : *Archeometallurgy of Iron : Actes du Symposium du Comité pour la Sidérurgie Ancienne, Liblice 1987*, Prague, 239-252.
- Mangin, M., dir. (2004) : *Le fer*, collection “Archéologiques”, Paris.
- Mauvilly, M., I. Antenen, E. Garcia Cristobal, M. Ruffieux et V. Serneels (1998) : “Sévaz 'Tudinges' : chronique d'un atelier de métallurgistes du début de La Tène dans la Broye”, *Archéologie Suisse*, 4, 147-144-154.
- Nosek, E.-M. (1994) : “The Metallography of gromps”, in : *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Actes du Colloque de Besançon 10-13 novembre 1993*, Annales Littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris, 65-73.
- Pleiner, R. (1958) : “Zaklady Slovanského Zelezarskeho Hutnictvi v Ceskych Zemich”, Praha : Ceskoslovenske Akademie Ved.

26- Domergue et al. 1999.

27- Dunikowski & Cabboi 1995, 170-171.

28- Serneels & Mangin 1996 ; Bouthier 1982 ; Dunikowski & Cabboi 1995 ; Beck et al. 1992.

- (1994) : "Early bloomery in Central Europe", in : *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen, Actes du Colloque de Besançon 10-13 novembre 1993*, , Annales Littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris, 181-188.
- Serneels, V. et M. Mangin (1996) : "Sidérurgie ancienne (âge de Fer- Moyen âge) : les zones productives principales entre le Rhin, les Alpes et les Pyrénées", *Revue Archéologique de l'Est et du Centre - Est*, 47, 193-198.