

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

Claude Domergue

RÉSUMÉ

On commence à avoir quelque idée de ce qu'a été la production de fer sur le territoire de l'ancienne Gaule à l'âge du Fer. Mais l'on ne connaît pas encore assez de sites tant au niveau de la production primaire (réduction) que de la métallurgie de transformation (forge) pour faire un bilan valable de ces activités tout au long de cette période. Cependant la fouille de quelques centres importants de production primaire (Les Clérimois, La Bazoge, Les Martyrs) permet de comparer la Gaule Chevelue et la province romaine de Transalpine à la fin de l'âge du Fer, du point de vue de la technique (bas fourneaux) et de la production.

MOTS-CLÉS

fer, bas fourneaux, fin de l'âge du Fer, Gaule, Transalpine, influences, changements, technique, production

ABSTRACT

We are beginning to know something about iron production on the territory of ancient Gaul during the Iron Age. But excavations of both bloomery and smithing sites are still too rare to allow valid overviews on these activities throughout the whole period. Nevertheless, today some important bloomery sites (Les Clérimois, La Bazoge, Les Martyrs) are known well enough to compare Gallia Comata and the Roman province of Transalpina at the end of the Iron Age from the technical (shaft furnaces) and iron-production points of view.

KEYWORDS

iron, shaft furnaces, end of Iron Age, *Galliacomata*, *Transalpina*, influences, changes, technology, production

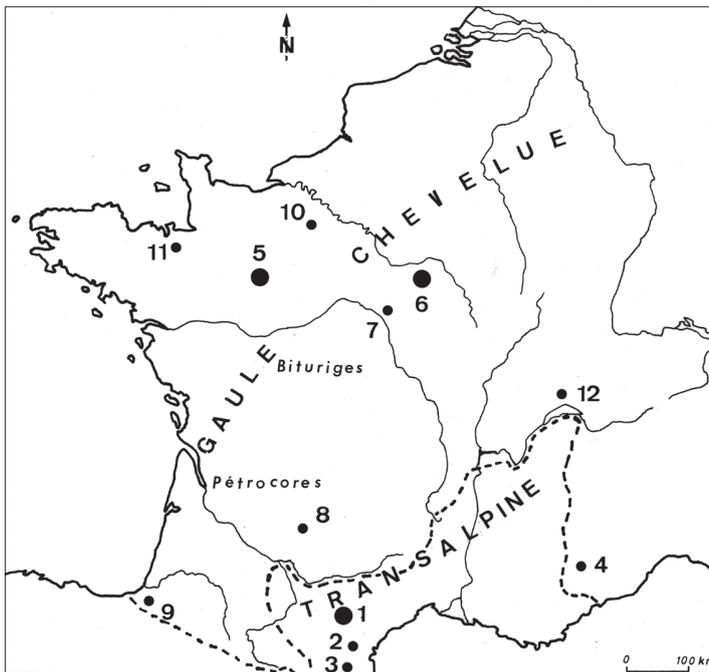


Fig. 1. Centres de réduction du fer en Gaule à l'âge du Fer. **1.** Les Martys (Aude) ; **2.** Corbières (Aude) ; **3.** Canigou (Pyrénées-Orientales) ; **4.** Mercantour (Alpes-Maritimes) ; **5.** Le Mans (Sarthe) ; **6.** Les Clérimois (Yonne) ; **7.** Les Ferrys (Loiret) ; **8.** Courcan (Lot) ; **9.** Errola (vallée de Baigorri, Pyrénées-Atlantiques) ; **10.** Haute-Normandie ; **11.** Bretagne ; **12.** Bellaires (Jura suisse). Les trois sites les plus mentionnés dans l'article sont indiqués par des points plus gros.

Mon exposé ne constituera pas un bilan général de la sidérurgie en Gaule à la fin de l'âge du Fer : un tel bilan est en effet prématuré, car le trop petit nombre de sites actuellement connus ne saurait être représentatif d'une activité dont de nombreux indices suggèrent qu'elle a dû être à la fois fréquemment et densément pratiquée¹. En revanche, on peut déjà présenter quelques remarques ponctuelles sur cette question.

On distingue couramment la métallurgie d'extraction et la métallurgie de transformation : s'agissant du fer, cette dernière s'articule globalement autour de la forge ; or, localisation des forges oblige – dans les habitats –, c'est là un domaine que les archéologues des âges du Fer et des autres périodes

1- On trouvera mentionnés ci-dessous, *passim*, la plupart des sites actuellement connus.

pratiquent habituellement et maîtrisent aujourd'hui fort bien, comme en témoignent diverses publications et en particulier deux toutes récentes². Je laisserai donc cet aspect de côté. D'autant qu'il est aussi largement traité dans un manuel à l'usage des archéologues, qui vient de paraître en 2004 : à propos des forges donc, mais aussi de tout ce qui entoure la réduction directe du fer (minerai, scories et déchets divers, métal sous tous ses aspects), ce petit ouvrage, intitulé simplement *Le fer*³, détaille les méthodes d'étude archéométriques, qui font aujourd'hui indissociablement partie de la recherche en paléosidérurgie ; il remplace désormais les interventions, parfois un peu rituelles, que faisaient dans les colloques les spécialistes de paléosidérurgie pour valoriser ces méthodes à l'attention des archéologues⁴.

En fait, l'idée du thème de cette communication m'est venue à la lecture d'une récente étude de la sidérurgie ancienne dans le centre de la Gaule⁵, qui s'appuie sur les données fournies par la fouille de deux sites de production primaire de fer, découverts au cours des quinze dernières années et dont l'activité passée présente la particularité de s'inscrire dans la longue durée, du premier âge du Fer à l'Antiquité tardive pour Les Clérimois, près de Sens (Yonne)⁶, au Haut-Empire pour le vaste complexe de La Bazoge, près du Mans (Sarthe), dont on attend avec intérêt la publication d'ensemble (fig. 1).

Il m'a paru qu'à partir de ces informations, on pouvait tenter une comparaison entre ce qu'avait été la métallurgie extractive du fer à la fin de l'âge du Fer, d'une part dans la Gaule indépendante, d'autre part dans la province romaine de Transalpine, représentée par le site des Martys (Aude), et présenter les réflexions que cette confrontation pouvait suggérer.

2- Orengo 2002, Anderson *et al.* 2003. Voir aussi Flouest 1993.

3- Mangin, dir. 2004.

4- Ploquin 1992 et 2001, Serneels 1994 et 2001, Fluzin 2001, Bienfait 2002, etc. Ces propos ne préjugent pas des nouveaux développements que prendra l'archéométrie sidérurgique, et qui, au fur et à mesure de leur apparition, nécessiteront, bien sûr, des compléments.

5- Dunikowski & Cabboi 2001.

6- Dunikowski & Cabboi 1995.

1. L'EXTRACTION DU FER DANS LA TRANSALPINE À LA FIN DE L'ÂGE DU FER.

LE SITE DES MARTYS ENTRE 60/50 ET 30/20 A.C.

Les centres de production du fer connus en Transalpine à la fin de l'âge du Fer ne sont pas très nombreux⁷ (fig. 1) : il y en a plusieurs dans le Canigou⁸, quelques-uns dans les Corbières (par exemple, Le Pe de la Gleizo, l'Adoux, etc.⁹), et on vient d'en découvrir un dans le Mercantour¹⁰. Mais ils ont tous été repérés en prospection ; n'ayant pas été fouillés, ils n'ont pas fourni d'information suffisante, excepté les données d'ordre chronologique. Il en va de même pour ceux de la Montagne Noire, à l'exception notable du domaine des Forges (Les Martyrs, Aude)¹¹.

C'est le centre sidérurgique le plus important de tous ceux qui ont été répertoriés dans la Montagne Noire ; il se trouve entre Carcassonne et Mazamet, en pleine montagne, à quelque 750 m d'altitude¹², au milieu de forêts de chênes et de hêtres, près d'une rivière, la Dure, et au coeur d'une zone riche en minerais de chapeaux de fer, dans un rayon de 5 à 6 km, surtout vers le sud. Il a été en activité pendant

trois siècles, des environs de 60/50 a.C. aux années 250-260. La masse du principal ferrier qui résultait de cette activité (le "Grand Ferrier") a été évaluée, de façon raisonnée, à quelque 110 000 tonnes de scories lourdes (principalement scories écoulées et scories de fond de four), qui correspondent à une production de fer de 30 000 tonnes sur trois siècles, dont 1 500 environ paraissent se rapporter à la période considérée ici.

Des ateliers de cette première période, quatre sont connus, qui forment un total de 10 bas fourneaux du type classique des Martyrs (fig. 2). Peut-être d'ailleurs y en avait-il quelques autres¹³. À ces ateliers, il faut joindre celui de Monrouch (fig. 3), également situé dans le domaine des Forges, avec ses six fourneaux, eux aussi de ce même modèle, qui ont produit à cette même époque environ 750 tonnes de fer. Ainsi, 2 250 tonnes de fer auraient été fabriquées aux Martyrs au cours d'une période d'une trentaine d'années, entre 60/50 et 30/20 a.C. Cela équivaut environ à 8 opérations par jour, pour des années de 300 jours, les 16 fourneaux comptabilisés fonctionnant une fois tous les deux jours¹⁴. Le rythme serait moins soutenu si le nombre réel de fourneaux était plus élevé.

Le charbon de bois destiné aux opérations de réduction était stocké dans des charbonnières. L'une d'elles se trouve au milieu des trois batteries du "Grand Ferrier". On n'a pas identifié d'aire de grillage, mais il est vraisemblable que le minerai était grillé avant de passer aux bas fourneaux : les fragments calcinés abondent parmi les scories. Des éléments de plusieurs grands moulins de type pompéien fabriqués dans une roche caractéristique, originaire de la région d'Orvieto (Italie), ont été retrouvés dans les scories de cette période : ils semblent avoir servi à moudre la scorie destinée à abaisser le point de fusion des charges¹⁵.

Les ateliers sont normalement organisés en batteries bâties sur le même modèle, constituées par des terrasses toutes orientées globalement nord-sud (fig. 2), et dans lesquelles sont encastrés les socles des bas fourneaux ouverts à l'est (fig. 3 et 4) ; chacune de ces batteries était sans doute couverte d'un toit

7- On a soutenu naguère que les métaux gaulois, parmi lesquels le fer, avaient joué un rôle important dans les échanges avec les Étrusques, dès la fin de l'âge du Bronze (Bouloumié 1989). Par sa situation et sa richesse en gîtes métallifères (non seulement de fer, mais aussi de cuivre et de plomb/argent), le sud de la Gaule aurait dû être une des premières zones à répondre à la demande étrusque. Mais on n'y connaît actuellement aucun site de production en activité à l'époque du Hallstatt et de la Tène ancienne. Il ne suffit pas qu'il y ait des potentiels d'exploitation, il faut qu'il y ait eu exploitation réelle ; or pour l'instant il n'y en a pas de trace à cette époque. L'hypothèse de B. Bouloumié reste donc une hypothèse de travail.

8- Barrouillet *et al.* 1989.

9- Rancoule & Solier 1977 ; Krawczyk 1991, 83-87 ; Pauc 1998.

10- Morin & Rosenthal 2003. En toute rigueur, le Mercantour se situe non sur le territoire de la Gaule, mais sur celui de la région qui deviendra, sous Auguste, le district procuratorien des Alpes-Maritimes.

11- Le site de Saint-Denis (Aude) a, lui aussi, été fouillé (Sablayrolles 1989, Maraval 1999). Mais son activité n'a commencé que vers le milieu du 1^{er} s. a.C. et non à la fin de l'âge du Fer.

12- Je résume ici les informations publiées principalement dans les travaux suivants : Decombeix *et al.* 1998 et 2000 ; Domergue 1993 ; Domergue *et al.* 1997, 1999 et 2003b ; Gorgues 1997 ; Rebiscoul 1981 et 1989. La publication du second tome des fouilles des Martyrs (1991-1995) est en préparation ; quelques informations encore inédites sont données ici.

13- Domergue 1993, 102, fig. 50.

14- Sur la base des variables indiquées dans Decombeix *et al.* 1998, 78.

15- Oliva *et al.* 1999 ; Domergue *et al.* 1997.

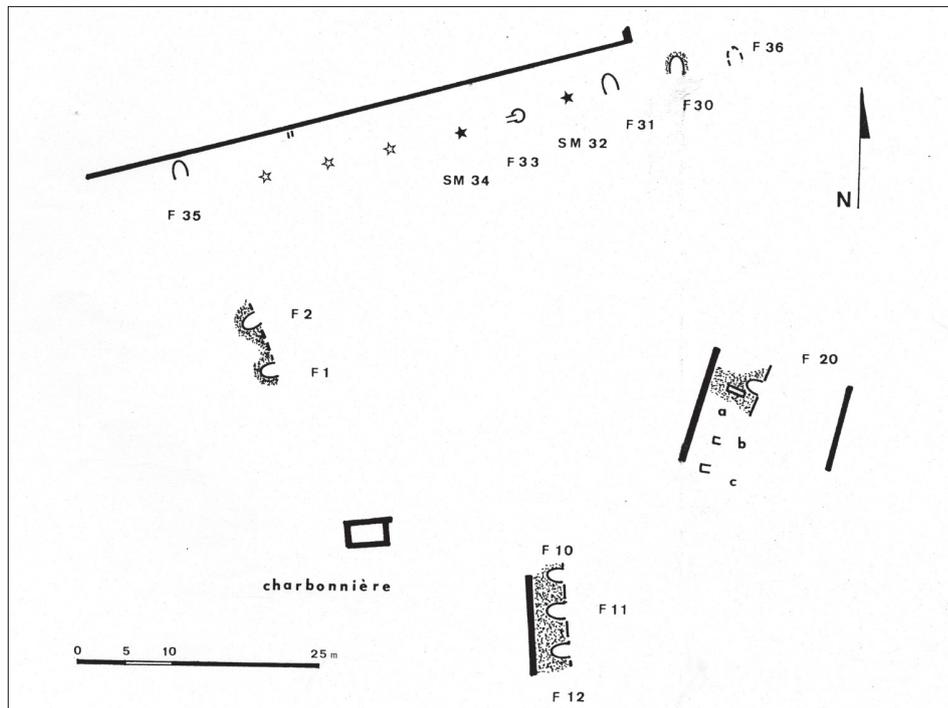


Fig. 2. Plan schématique et sans hypsométrie du site sidérurgique du Grand Ferrier (domaine des Forges, Les Martys) au cours de la première période (60/50 – 30/20 a.C.), d'après un relevé de J.-M. Fabre, 1995. Devant le mur nord, plusieurs structures métallurgiques, alignées sans grand ordre et isolées les unes des autres, constituent l'atelier 1 ; parmi ces structures, des bas fourneaux du type classique des Martys (F 30, F 31, F 35, F 36) sont insérés dans un talus de faible pente et sont orientés au sud. En revanche, les autres ateliers sont organisés en batteries (F 1 et F 2 ; F 10, F 11, F 12 ; F 20), dont les bas fourneaux ont leur socle encastré dans une terrasse, qui les oriente tous plus ou moins vers l'est.



Fig. 3. Domaine des Forges (Les Martys, Aude). Quatre des fourneaux de la batterie de Monrouch (de droite à gauche : F 103, F 102, F 101, F 104) en cours de fouille, vus de l'est. Dans F 101 et F 102, l'emplacement du conduit de ventilation arrière est bien visible (cf. fig. 12). Au second plan, les restes du mur qui devait aider à supporter un toit de protection. Devant le mur de la terrasse, vestiges d'aménagement divers : bacs de trituration, enclume en pierre, etc. (cliché UTAH, 1994).



Fig. 4. Le Grand Ferrier (domaine des Forges, Les Martyrs, Aude). La batterie des bas fourneaux F10, F 11, F 12 (dans l'ordre, de bas en haut), vue du nord. Devant la terrasse, sur le côté droit de chaque fourneau, subsistent les restes d'une plate-forme de service, en plaques de schiste (cliché UTAH, 1991).



Fig. 5. Domaine des Forges (Les Martyrs, Aude). Le bas fourneau F 30, de l'atelier 1 du Grand Ferrier, vu du sud. Il est enfoncé dans le talus, dont la surface a été labourée par les dents des bulldozers. A gauche, le piédroit a été arraché dans l'Antiquité, tandis que, devant le fourneau, semblent subsister les vestiges d'une fosse d'accès bordée, à droite, de blocs de granite (cliché UTAH, 1992).

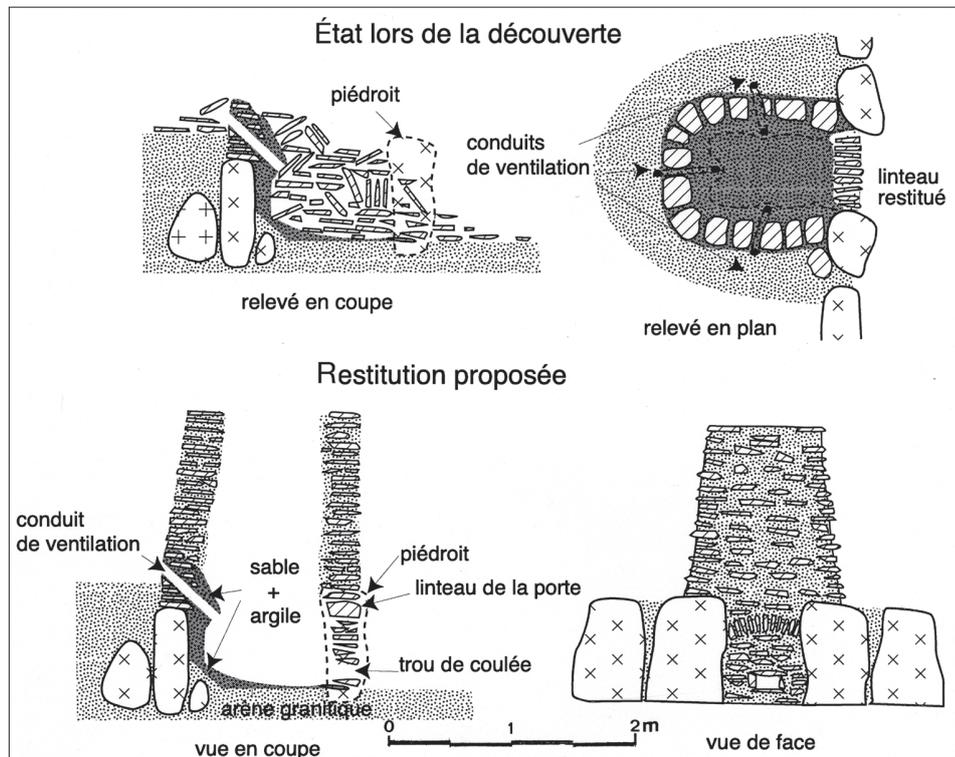


Fig. 6. Essai de restitution du bas fourneau classique des Martys (J.-M. Fabre *del.*) (cf. tableau, type D).

reposant sur des poteaux en bois. Devant chaque fourneau était aménagé un espace de travail, muni d'un bac à pétrir le réfractaire destiné au rechapage de l'appareil. L'atelier le mieux conservé, celui de Montrouch, pourvu d'une batterie de six bas fourneaux, disposait d'un canal d'amenée d'eau et d'une cabane de chantier. Un des ateliers fait exception : le plus ancien¹⁶, qui, devant le mur nord du Grand Ferrier (fig. 2), comprend une file de fourneaux, alignés sans beaucoup d'ordre et orientés dans des directions diverses ; on y voit un exemplaire isolé de petit module ainsi que quatre fourneaux de type classique, diversement disposés, dont trois au moins (F 30, F 35 et F 36¹⁷) étaient enfoncés dans le talus orienté au sud (fig. 5).

16- Si l'on tient compte des analyses ¹⁴C qui datent de 50 a.C. une batterie plus récente (Domergue 1993, 310), le plus ancien des ateliers pourrait remonter aux années 60.

17- Ce dernier n'a pas été fouillé.

Le modèle "classique" du bas fourneau des Martys (fig. 6) comprenait les éléments suivants : un socle de 0,90 m de hauteur, construit en gros blocs de granite et pris dans la terrasse ; au-dessus, une cheminée édiflée en plaquettes de schiste et de granite, haute d'environ 1,30 m à 1,40 m ; au niveau de la terrasse, trois conduits de 4 à 6 cm de diamètre, ménagés dans la paroi (un à l'arrière, un de chaque côté), inclinés à 49° et dirigés vers la partie antérieure de la cuve, assuraient la ventilation du fourneau ; la scorie s'écoulait par l'avant. Tous les fourneaux sont orientés à l'est. Il s'agit d'un modèle solide, au socle bien isolé, construit pour durer et fonctionner longtemps.

Les massiaux de fer, une fois extraits du bas fourneau par l'avant, subissaient une première épuration devant le fourneau même : tel bloc de granite grossièrement équarri a été interprété comme étant une enclume destinée à cet usage, et les sols qui constituent l'aire de travail devant les batteries

renferment des battitures. Mais, après ce premier traitement, ils en subissaient un deuxième, qui a laissé des vestiges de deux sortes : d'abord de longs foyers d'épuration, dont quatre ont été trouvés groupés : ils contenaient des fragments de métal plus ou moins carburés, interprétés comme étant des *gromps*¹⁸ ; ensuite des blocs-tuyères usagés, mis au rebut.

En dehors de clous, peu de matériel métallique. Les plus notables sont une masse et surtout quelques outils trouvés près d'un foyer, dans la cabane de chantier de Montrouch : un tranchant, une petite enclume en tas et ce qui semble être un coin destiné à imprimer une marque circulaire, en tout état de cause illisible.

On est mal renseigné sur la population qui travaillait aux Martys : pas de nécropole, pas d'habitat connus. Mais l'étude de la céramique, trouvée en abondance dans les couches de scories, permet de définir le cadre culturel dans lequel elle évoluait : un cadre culturel italique, nuancé d'influences indigènes assez marquées. Les pratiques culinaires que suppose cette vaisselle caractérisent une population italienne ou italianisée (ce qu'illustre encore la présence de graffiti en caractères latins sur des vases) sans doute mêlée d'indigènes.

2. LA SIDÉRURGIE EXTRACTIVE EN GAULE CHEVELUE¹⁹: LES SITES DES CLÉRIMOIS (SENS) ET DE LA BAZOGE (LE MANS)

Les fouilles préventives exécutées au cours des quinze dernières années par des équipes de l'ancienne Afan, d'une part, en 1990 et 1991, sur le tracé de l'autoroute A 5, aux Clérimois, près de Sens, d'autre part sur celui de l'A 28, à La Bazoge, au voisinage du Mans (Sarthe), entre 1996 et 1999, ont permis de mettre au jour coup sur coup deux ensembles sidérurgiques antiques, dont l'importance a jeté un jour nouveau sur la production de fer dans le centre de la Gaule, avant l'adoption du procédé indirect.

On peut, me semble-t-il, les présenter ensemble, car ils offrent pas mal de ressemblances²⁰.

Ne serait-ce que dans le paysage : des sites de plaine d'altitude réduite, aux collines basses et boisées (aux Clérimois, chênes et hêtres, qui furent utilisés pour le charbon de bois), creusées de vallons peu profonds. Sur les versants, affleuraient des minéralisations sédimentaires, faites d'oxydes et d'hydroxydes de fer (hématites et goethites) en nodules ou en plaques, faciles à atteindre en souterrain à partir des versants, et ailleurs par des fosses ou des puits peu profonds communiquant avec des réseaux de galeries horizontales, comme ce fut le cas à La Bazoge, tout près des ateliers. Aux Clérimois, tout au long des siècles, le minerai a été récolté dans un rayon n'excédant pas cinq à dix kilomètres.

Les deux sites se caractérisent par une longue activité : au Mans, sans interruption du Hallstatt jusqu'à la fin du II^e s. p.C., la période qui nous intéresse étant bien représentée. Aux Clérimois, l'activité sidérurgique a commencé au IV^e s. a.C. pour s'achever au V^e s. p.C., avec un hiatus à La Tène moyenne, puis une reprise à partir de La Tène finale. Nous ne disposons d'aucune évaluation de production pour Le Mans ; aux Clérimois, la production pour deux siècles (I^{er} s. a.C. et I^{er} s. p.C.) est évaluée à un peu plus de 4 000 tonnes²¹, un chiffre qui est à mettre en relation avec l'adoption d'une technologie nouvelle.

Au début de La Tène finale, les sidérurgistes des deux sites ont abandonné le fourneau à scorie piégée et à utilisation unique (tableau, type A ; fig. 7) qui datait du Hallstatt (au Mans, 209 exemplaires comptabilisés²²) ; de plus, au Mans, le modèle "intermédiaire" (fourneau à scorie piégée, mais à plusieurs utilisations successives, à moitié construit dans le sol, au bout d'une fosse d'accès) qui était en

18- Terme polonais, désignant des déchets produits lors de la première épuration d'une masse de fer brute issue de la réduction.

19- Plin., *Nat.*, 4.17.105.

20- Je m'appuie ici exclusivement, pour Les Clérimois, sur Dunikowski & Cabboi 1995, et, pour Le Mans, sur le seul article, déjà mentionné, qui en fait une présentation succincte, mais claire : Dunikowski & Cabboi 2001. Par ailleurs, je m'en tiens aux dates retenues par les auteurs sur la base des analyses ¹⁴C. Pour une discussion des datations des Clérimois, voir Pleiner 2000, 168.

21- Dunikowski & Cabboi 1995, 131.

22- D'après un tableau qui m'a été aimablement communiqué (avril 2004) par Chr. Dunikowski et S. Cabboi. Deux exemplaires ont cependant été datés de La Tène finale (Dunikowski & Cabboi 2001, 190, note 6).

	GAULE CHEVELUE				TRANSALPINE
	La Bazoge (Le Mans, Sarthe)	Les Clérimois (Yonne)	Les Ferrys (Loiret)	Courcan (Lot)	Les Martyrs (Aude)
Hallstatt (VIII ^e /fin V ^e s. a.C.)/La Tène ancienne (IV ^e s. a.C.)	A et B	A	A	A	
La Tène moyenne (III ^e /II ^e s. a.C.)	A et B	?	?		
La Tène finale (fin II ^e et I ^{er} s. a.C.)	B et (à L'Aunay-Truchet) D	C	C		D
Époque gallo-romaine (Haut-Empire)	D (L'Aunay-Truchet)	C	C		?

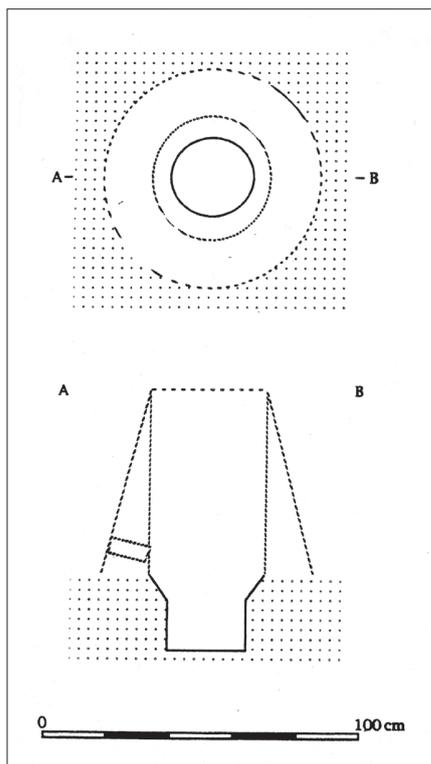
Tableau. Principaux systèmes de bas fourneaux de réduction du fer en usage en Gaule à l'âge du Fer

A. Bas fourneau à scorie piégée (*slag-pit furnace*) et à réduction unique (cf. fig. 7).

B. Bas fourneau à scorie piégée (*slag-pit furnace*) et à plusieurs réductions successives (cf. fig. 8).

C. Bas fourneau à écoulement extérieur de scorie et à coupole en dôme (*domed furnace*; type "Burgenland" et variantes); divers systèmes de ventilation (cf. fig. 10).

D. Bas fourneau à écoulement extérieur de scorie et à cheminée (*shaft furnace*); ventilation à la couronne du socle (cf. fig. 6, 9, 11 et 12).



▲ Fig. 7. Schéma du bas fourneau à scorie piégée (tableau, type A) en usage aux Clérimois (Yonne). Extrait de Dunikowski, Cabboi 1995, fig. 60 (Chr. Dunikowski del./AFAN).

► Fig. 10. Les Clérimois, Yonne, type II. Schéma d'un bas fourneau à écoulement extérieur de scorie (cf. tableau, type C). Extrait de Dunikowski, Cabboi 1995, fig. 61 (Chr. Dunikowski del./AFAN).

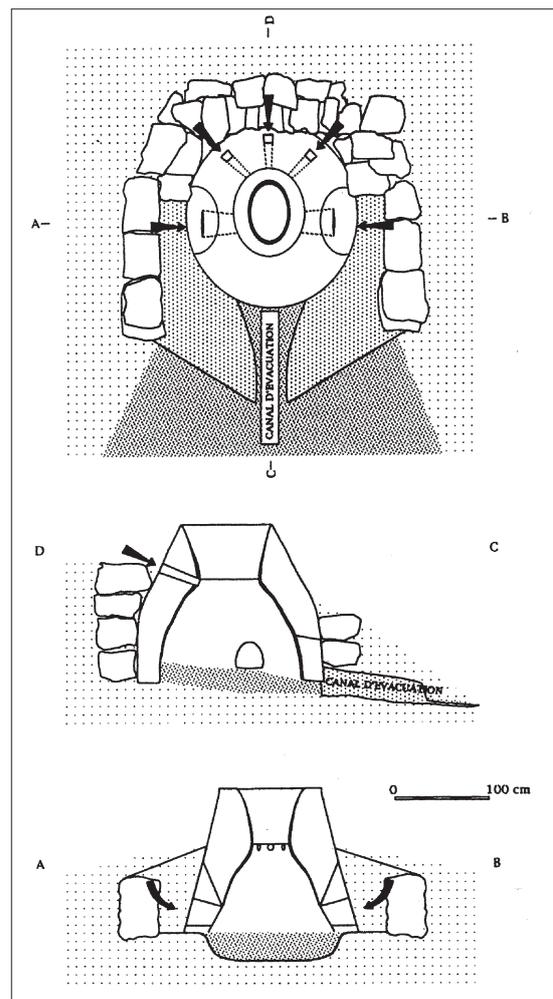




Fig. 8	Fig. 11
Fig. 9	Fig. 12

Fig. 8. La Jousserie (La Bazoge, Sarthe). Bas fourneau à scorie piégée, conçu pour plusieurs réductions successives, cf. tableau, type B. Cliché Cl. Domergue.

Fig. 9. L'Aunay-Truchet (La Bazoge, Sarthe). Bas fourneau à écoulement de scorie, cf. tableau, type D. Cliché Cl. Domergue.

Fig. 11. L'Aunay-Truchet (La Bazoge, Sarthe). Détail de la couronne du socle du bas fourneau représenté à la figure 9 : vestiges des conduits de ventilation. Cliché Cl. Domergue.

Fig. 12. Domaine des Forges (Les Martyrs, Aude). Le fourneau F 101, de l'atelier de Monrouch, vu de trois-quart arrière. Sur la couronne du socle encastré dans la terrasse, on remarque l'emplacement des trois conduits de ventilation, un à l'arrière (cf. le bec de scorie), un sur chaque côté, cf. tableau, type D. Cliché UTAH, 1994.

usage à La Tène moyenne (tableau, type B ; fig. 8) tombe en désuétude. Désormais ils ont adopté le bas fourneau à écoulement de scorie : près du Mans, sur le site de L'Aunay-Truchet, un modèle attesté à 16 exemplaires, au socle de forme légèrement tronconique construit en argile sableuse au fond d'une fosse (tableau, type D ; fig. 9 et 11), muni de cinq conduits de ventilation au niveau du sol, et complété sans doute par une cheminée ; aux Clérimois, un four "en dôme", creusé généralement sur la pente d'un talus, coiffé le plus souvent d'une coupole en sablier et muni de divers systèmes de ventilation (type Clérimois II = tableau, type C ; fig. 10). Dans les deux cas, il s'agit de modèles de grand volume (0,70/0,80 m de diamètre intérieur pour le type de L'Aunay-Truchet, 0,90/1,40 m pour celui des Clérimois), dont la maîtrise suppose un savoir-faire remarquable.

En même temps, les ateliers s'organisent. Ceux des Clérimois, aménagés tout près des lieux d'extraction du minerai, ont couramment deux fourneaux et disposent d'une aire de stockage des déchets (les "ferriers"). Au Mans, le souci de l'organisation progresse lentement : à l'époque du Hallstatt, elle est inexistante, et cela est dû au mode de fonctionnement des fourneaux, abandonnés après un seul usage. À la période suivante, des ateliers se forment par juxtaposition de deux ou trois fourneaux ; au voisinage, existent des aires de préparation du minerai, de stockage de charbon de bois, de décharge pour les déchets, et peut-être aussi d'épuration des massiaux. À La Tène finale, mêmes préoccupations, mais chaque atelier (on en compte six) n'a qu'un fourneau, qu'on remplace quand c'est nécessaire ; il n'y a pas de témoignage d'activité d'épuration ni de forge.

Les autres données disponibles ne fournissent plus guère d'information utile à notre réflexion. Les fouilles n'ont découvert ni habitat, ni nécropole. On ne connaît pas les populations sidérurgiques. Aux Clérimois, le mobilier céramique est rare et mal conservé : les fragments de céramique protohistorique non tournée trouvés à la base des ferriers ne permettent guère de se faire une idée de leurs utilisateurs, mais il s'agit sûrement de populations gauloises.

Ces deux sites ont révélé l'ancienneté et le haut degré de technicité de la sidérurgie gauloise. Il faudrait maintenant mieux connaître sa distribution. Dans cette quête, les jalons ne sont pas actuellement très nombreux ni toujours assurés²³ : aux alentours des Clérimois, quelques sites présentent des vestiges de réduction, les uns du début, les autres de la fin de l'âge du Fer, dans l'Aube (Bois de Chérigny, à Palis), en Seine-et-Marne (Charmoy, à Écuellen ; Beau Champ, à Varennes), dans l'Yonne (Noslon, à Cuy ; Les Boulins, à Saint-Julien-de-Sault)²⁴. Aux Ferrys (la Bussière, Loiret)²⁵, l'activité remonte au Hallstatt, avec les restes d'un bas fourneau identifié comme étant à scorie piégée (tableau, type A ; début du Hallstatt ?), et l'on y constate, à partir du début du 1^{er} s. p.C., une grande période de production avec l'usage de fourneaux du type II des Clérimois. En Haute-Normandie, à quelques kilomètres au sud d'Évreux, des fourneaux à scorie piégée sont datés du 5^e s. a.C., et un fourneau en dôme du 3^e s. a.C.²⁶. En Bretagne, entre Rennes et Saint-Malo, ont été identifiés des bas fourneaux à scorie piégée, datés du premier âge du Fer au 1^{er} s. p.C.²⁷. Sur le tracé de l'A20, à Courcan (Cours, Lot), près de Cahors, chez les Cadurques, un bas fourneau à scorie piégée et utilisations successives, daté entre le 7^e et le 5^e s. a.C., a été récemment découvert (tableau, type A)²⁸. Aux Bellaires (Jura suisse), le fourneau X, à écoulement de scorie et peut-être ventilation naturelle, est daté par ¹⁴C du 4^e s. a.C.²⁹. tandis qu'au Pays basque (Errola 3 et Errola 5, commune d'Urepel), chez les Aquitains, un type de bas fourneau à écoulement de scorie, daté de la fin de La

23- Les structures sidérurgiques de Choisy-au-Bac (Oise), datées du premier âge du Fer et présentées naguère comme les vestiges de réduction les plus anciens connus en Gaule (Blanchet 1984, 423-425), sont désormais considérées avec plus de circonspection. Les informations publiées sont en effet trop imprécises pour que l'on puisse décider s'il s'agit d'une forge ou d'un site de réduction : quelle est la morphologie des scories ? Quelle est la composition de ces dernières ? Que sont les "plaquettes", dont l'analyse a mis en évidence la présence d'oxydes de fer (Fe₂O₃), le métal ayant disparu ? M. Leroy et V. Serneels, consultés, sont sceptiques. Je ne compte donc pas Choisy-au-Bac parmi les sites de réduction de l'âge du Fer.

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

25- Rebiscol 2003.

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

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

28- Rigal *et al.* 1999.

29- Pelet 1973, 54. La forme complète n'est pas connue.

Tène moyenne (II^e s. a.C.), paraît s'inscrire, avec sa longue fosse d'accès, dans une tradition "indigène"³⁰. Enfin, il faudrait donner une base matérielle aux informations fournies par les auteurs anciens sur les *ferrariae* des Pétrécocores et des Bituriges³¹, et découvrir, dans ces zones où les minerais sédimentaires (formations sidérolithiques, alios) sont bien connus et ont été exploités encore à des dates récentes³², près des ferriers datés de l'époque romaine ou dissimulés par eux, les ferriers gaulois³³.

3. SIDÉRURGIE GAULOISE ET SIDÉRURGIE ROMAINE EN GAULE À LA FIN DE L'ÂGE DU FER

Ces deux sidérurgies présentent des ressemblances et des différences, dont certaines tiennent simplement aux contraintes naturelles d'installation des ateliers de réduction. En règle générale, dans l'Antiquité, ils se trouvent au voisinage des gisements³⁴. Pour peu qu'il y ait là des forêts pour produire du combustible (charbon de bois) et de l'eau pour les divers besoins de l'établissement, ce sont des avantages supplémentaires qui expliquent davantage encore le choix du lieu. Nos trois sites – Les Clérimois et La Bazoge d'une part, Les Martys de l'autre sont dans ce cas. Des différences tiennent aux conditions de gisement des minerais : exploitation, ici, de minerais de chapeaux de fer (Montagne Noire, Corbières, Canigou) par tranchées et travaux souterrains irréguliers, là de minerais sédimentaires, qui entraînent des modes d'exploitation spécifiques (par exemple le modèle défini par le couple "puits d'accès" et "réseau de galeries horizontales"), qui, il est vrai, sont davantage répandus dans les régions du Centre et du Nord, où ces minerais prédominent. En revanche le grillage et

le concassage des minerais obéissent à des nécessités semblables : les débarrasser des éventuels sulfures et de l'eau qu'ils contiennent, les rendre friables, les réduire au format le plus favorable à la réduction ; un lavage préalable s'imposait dans le cas des minerais sédimentaires à gangue argileuse.

Il y a cependant des domaines dans lesquels une comparaison est plus fructueuse. J'en évoquerai seulement deux : l'aspect technique, avec les modèles de bas fourneaux, et le contexte socio-économique dans lequel se déroulait cette activité.

3.1. Les bas fourneaux et l'histoire des techniques

Il s'agit ici essentiellement de l'évolution des types dans les centres sidérurgiques de la Gaule Chevelue et de l'apparition d'un modèle qui paraît nouveau aux Martys, phénomènes qui, à La Tène finale, dans les deux zones, sont couplés à l'adoption de bas fourneaux à écoulement de scorie (tableau). Au Mans, on suit la progression : d'abord (fig. 7), fourneau à scorie piégée à réduction unique (Hallstatt/La Tène ancienne), puis (fig. 8) sa variante à scorie piégée et à plusieurs réductions successives (La Tène moyenne), enfin fourneau à scorie écoulee (fig. 9). Le passage du type général à scorie piégée au fourneau à écoulement de scorie est constaté, à partir de La Tène ancienne, dans le Sud-Ouest et l'Ouest de l'Europe centrale, où le fourneau "en dôme" qui représente ce dernier type est considéré comme lié au monde celtique (en particulier le modèle "en sablier", appelé aussi "du Burgenland")³⁵, à la différence du fourneau à scorie piégée, qui, dans le monde "barbare" situé au nord du Danube (*Germania libera*), se maintient en proliférant de 150 a.C. au VI^e s. p.C.³⁶. Le fourneau à écoulement

30- Beyrie 2003, 199-204 ; Beyrie *et al.* 2003.

31- Str. 4.2.2 ; Caes., BG, 7.22.

32- Bordeloup 1994, 207-208 ; Dieudonné-Glad 1994.

33- Quelques ferriers des environs d'Argentomagus semblent remonter au I^{er} s. a.C., mais il n'y a jamais eu de fouille (Dumasy 1994, 216). Le "maillet à rainure" du ferrier de l'Étang-Marie, à Argenton-sur-Creuse (*ibid.* et fig. 4) est-il un instrument minier ? N'est-il pas plutôt, avec ses petites dimensions (L. : 12 cm) et ses deux extrémités tronquées horizontalement, un outil "de précision", comparable à tel outil d'orfèvre de l'âge du cuivre (cf. Butler & Van der Waals 1967, fig. 14 et 15) et donc présent dans ce lieu pour une raison inconnue ?

34- Domergue 2004, 175-176.

35- Le fourneau en dôme se maintient toujours dans ces régions sous le Haut-Empire romain ; tels sont les bas fourneaux de Möselsdorf, dans l'ancienne province romaine du Norique, aujourd'hui en Autriche (Glaser 2000). L'un d'eux est présenté dans le musée de site du Magdalensberg.

36- Pleiner 2000, 163, 169. Sur le territoire de la Pologne par exemple, dans les régions sidérurgiques de la Masovie, de la Silésie orientale et des Monts-Sainte-Croix. Le dernier ouvrage paru sur cette question, très intéressant pour l'information qu'il livre sur les deux premières de ces régions, est un livre de Mélanges en l'honneur de K. Bielenin publié en polonais à Kielce (Orzechowski 2002) ; il est donc difficilement accessible à des lecteurs occidentaux, à l'exclusion des brefs résumés en anglais.

extérieur de la scorie présente sur ses prédécesseurs l'avantage d'être conçu pour pouvoir produire davantage en une seule opération, être utilisé à plusieurs reprises et durer longtemps.

Ce qui se passe dans les deux sites considérés est donc normal, mais, dans un cas (Clérimois), c'est un modèle de fourneau en dôme qui est retenu (fig. 10) et que l'on retrouve aux Ferrys (tableau, type C), alors que, dans l'autre (L'Aunay-Truchet, près du Mans), c'est un modèle assez différent, à socle enterré de forme légèrement tronconique (tableau, type D ; fig. 9 et 11) et sans doute muni d'une cheminée. Les fouilleurs des Clérimois et de La Bazoge ont rapproché globalement ces divers appareils du fourneau classique des Martys³⁷ et concluent ainsi : "l'impression qui 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 ici la part des apports d'origine celtique et romaine".

En fait, il me semble que, même si nous ne disposons pas encore d'une restitution de la cheminée, le type qui est morphologiquement le plus proche du modèle des Martys (fig. 3, 4 et 6) est celui de L'Aunay-Truchet (fig. 9 et 11), classé dans notre type D (tableau) : dimensions comparables, présence de conduits de ventilation inclinés à la hauteur de la couronne du socle³⁸, enterré dans un cas, encastré dans une terrasse dans l'autre (fig. 12), destruction de l'avant du four pour l'extraction du massiau. Ajoutons encore la date d'apparition de l'un et de l'autre : y a-t-il un lien ?

En fait, il y a ici au moins trois options possibles. La première est la piste romaine, ou plutôt italique, car qui connaît des fourneaux de réduction du fer romains ? Aussi en pensant à un site comme Populonia et à ses montagnes de scories coulées, vaudrait-il mieux parler de fourneaux italiques. Mais on les connaît mal, et même, pour tout dire, on ne

les connaît pas³⁹. C'est là une lacune regrettable, qu'il faudrait combler le plus rapidement possible.

La deuxième option est l'option ibérique, que l'on ne saurait ignorer. On sait l'ancienneté globale des mines d'au-delà des Pyrénées. S'agissant du fer, nous disposons depuis peu de données qui montrent que, dans une région assez proche de la Transalpine où le fer a été exploité intensément jusqu'au ^{xx}e s., la Sierra Menera (provinces de Teruel et de Guadalajara), les Celtibères avaient donné le signal au ⁱⁱe et au ⁱer s. a.C.⁴⁰. Vers la fin du ⁱⁱe s. a.C., des mineurs de ces régions semblent avoir migré ailleurs, en particulier vers les mines de cuivre et de plomb/argent de la Sierra Morena⁴¹ : ne peut-on imaginer que, dans la première moitié du ⁱer s. a.C., des nouveautés technologiques, peut-être transportées par des ouvriers ou des "maîtres de forges" venus de ces régions du bassin de l'Èbre, très tôt romanisées, aient marqué les débuts de l'activité sidérurgique de la Transalpine⁴² ? Mais, de ce côté, nous manquons aussi, pour l'instant, de données précises, en particulier nous ne connaissons pas encore les types de bas fourneaux de réduction utilisés par les Celtibères.

Considérons enfin l'option celtique. Elle a pour elle de bons arguments, en particulier la vitalité de la sidérurgie gauloise et l'existence, à La Tène finale, d'un modèle de bas fourneau celtique, dont le type de L'Aunay-Truchet serait une des illustrations. Par ailleurs, avant de devenir la province romaine de

Dans ces régions, la réduction du fer n'apparaît pas avant la fin du ⁱⁱⁱe s. a.C. (communication orale de S. Orzechowski, mars 2004), le fourneau à scorie piégée règne en maître et le fourneau "en dôme" n'y est attesté que tard (ⁱⁱⁱ/^{iv}e s. p.C.) et timidement.

37- Dunikowski & Cabboi 2001, 200.

38- Vu la profondeur de la cuve du type des Martys, ce dernier serait plus proche de la variante "ancienne" de L'Aunay-Truchet (cuve de 0,90 m de profondeur) que des exemplaires les plus récents (cuve profonde de 0,60 m). Voir Dunikowski & Cabboi 2001, 194.

39- Sur cette question, on renvoie habituellement à Voss 1988 et au schéma de restitution d'un bas fourneau publié à la p. 95 de cet article. Mais les rapprochements qui ont été faits entre ce schéma et tel ou tel type de bas fourneau sont incertains (Pleiner 2000, 153) et n'ont rien à voir avec le bas fourneau classique des Martys. Enfin, et surtout, il semble que les vestiges étudiés par O. Voss soient d'une époque bien plus tardive et n'aient pas de rapport avec la métallurgie (communication orale de V. Serneels, en date du 22.05.04). Il faut donc désormais attendre que de véritables fouilles aient lieu à Populonia.

40- Burillo 1998, 278-284. Cf. Polo Cutando & Villargordo Ros dans ce même volume, infra p. 107-114. Les ferriers correspondant à cette activité font actuellement l'objet d'un programme d'étude hispano-français, dont on attend des informations sur les ateliers et les fourneaux qui y étaient utilisés.

41- Blázquez Martínez *et al.* 2002, 395.

42- Ainsi, le gentilice d'une famille de producteurs de plomb actifs à *Carthago Nova* au ⁱer s. a.C., *Planius* (Domergue 1990, 255 et 327-329), rare dans les provinces, est attesté huit fois dans l'épigraphie de Narbonne, sous le Haut-Empire (*CIL*, XII, p. 879) : ces *Planii* narbonnais pourraient être les descendants d'un producteur de plomb venu du sud-est de l'Espagne exploiter les mines de la *Provincia*.

Transalpine, le midi de la Gaule faisait partie de la *Keltikè*, donc du monde celte⁴³, même si des influences méditerranéennes s'y faisaient sentir. Comme on l'a vu plus haut, nous ne connaissons pas pour l'instant dans cette région de centre de production primaire du fer antérieur à l'époque romaine, mais il en a sûrement existé, et lorsqu'on en découvrira, on peut s'attendre que les techniques de réduction et les modèles de bas fourneaux soient de type celtique. ...

Quoi qu'il en soit, et compte tenu de la documentation actuellement à notre disposition, il me semble possible d'avancer, à propos du type classique des Martys, l'hypothèse d'une interprétation romaine d'un modèle celtique tel que celui de L'Aunay-Truchet, dont l'élément caractéristique principal me semble être la couronne de conduits de ventilation disposés au niveau du haut du socle. Dans cette hypothèse, la formule romaine des Martys serait d'une part plus rationnelle, grâce à l'aménagement d'une terrasse où sont encastrés les socles et qui conserve les deux niveaux de travail (devant le fourneau et autour de la cheminée), tout en évitant les inconvénients de la fosse d'accès (espace étroit, réceptacle des eaux de pluie) ; le système de la terrasse permet en outre de maîtriser au mieux l'orientation des fourneaux selon les vents dominants⁴⁴; enfin la version romaine serait particulièrement bien adaptée aux conditions locales, les puissants blocs de granite du site remplaçant de fragiles parois d'argile et de sable dans la construction du socle⁴⁵.

43- Str. 4.1.1.

44- En l'occurrence, le vent d'autan, vent violent venu de l'est. *Contra*, Domergue *et al.* 1993, 32, où l'on s'est rangé à l'avis de David, selon qui le vent d'ouest, qui domine sur le versant nord de la Montagne Noire, règnerait aussi sur le secteur des Martys, à la différence du versant sud, plus bas (David 1925, 59-60). Mais, en amont du domaine des Forges, où se situent les ateliers du Grand Ferrier et de Monrouch, le vallon au fond duquel coule la Dure est largement ouvert à l'est : comment, par ailleurs, justifier l'orientation systématique des fourneaux à l'est ?

45- Cette question de l'origine des modèles de bas fourneaux est délicate. Si l'on suit l'opinion commune, la maîtrise de la réduction du fer s'est diffusée, à partir de l'Anatolie, d'Orient en Occident, à compter du IX^e s. (Pleiner 2000, 268), par des routes diverses : danubienne, cimmérienne, méditerranéenne. On vient de voir ce qu'on peut dire de cette dernière, qui passait par Populonia. Certains y ajoutent un autre itinéraire méridional, par le sud de l'Espagne, via les Grecs et surtout les Phéniciens (Orengo 2003, 199), mais les jalons allégués de Toscanos, sur la Costa del Sol, et de El Castellar (Murcie), datés respectivement

Mais il est encore trop tôt pour se prononcer en toute connaissance de cause. Nous manquons de données archéologiques abondantes et précises. Je me contente donc ici de faire part de mes réflexions à partir de la documentation existante, qui permettrait de privilégier plutôt l'option celtique.

3.2. Les aspects socio-économiques

Qui travaille dans ces ateliers ? Qui les contrôle ? Dans les deux cas, la question est difficile : pas de texte ni d'inscription. On ne peut même pas, comme on l'a fait pour les ateliers de forge du Hallstatt ou de La Tène⁴⁶, arguer de leur insertion ou de leur place dans tel ou tel type d'espace urbain, pour tenter de répondre : on sait que, dans l'Antiquité, ces centres de production primaire sont situés près des gîtes minéralisés, donc loin des agglomérations courantes. Certes, une archéologie du paysage bien comprise devrait pouvoir dépasser ce constat et avancer des hypothèses plus précises, mais, par exemple, dans aucun de ces centres on ne connaît le lieu de vie des populations métallurgiques. Les éléments de culture matérielle abandonnés par ces dernières sur leur lieu de travail ? Ils sont pratiquement inexistantes aux Clérimois et, semble-t-il, au Mans.

Il n'en va pas de même aux Martys, où l'on a vu que leur étude montrait la présence d'un groupe d'Italiens ou de personnes italianisées, auquel se mêlaient des indigènes. On est tenté de voir dans le

du VII^e et du VIII/VII^e s. a.C., ne sont pas convaincants : la situation des vestiges dans les habitats, ainsi que la morphologie et la composition des rares scories (Keesmann & Niemeyer 1989 ; Ros Sala 1993 ; Arana & Pérez-Sirvent 1993, 117-118) font penser qu'il s'agit plutôt de foyers de forge que de bas fourneaux de réduction (Rovira 1993, 60-61). Revenons à l'idée habituelle et commode que la diffusion de la réduction du fer s'est faite d'est en ouest. Ainsi, le fourneau à scorie piégée caractérisant les tribus barbares du nord du Danube et le fourneau en dôme le monde Celtique, on a fini par penser que les influences avaient toujours joué dans ce sens : l'un et l'autre type de fourneau seraient donc aussi apparus pour la première fois dans ces régions et de là se seraient diffusés en Europe, principalement vers l'ouest. Mais voilà qu'on constate aujourd'hui que les plus anciens fourneaux à scorie piégée actuellement connus sont ceux du Mans, datés du Hallstatt/La Tène ancienne. Par ailleurs, selon certains (Pleiner 2000, 163), le premier fourneau à écoulement de scorie du type "domed furnace" serait apparu à La Tène ancienne, dans le massif de l'Eifel, sur la rive gauche du Rhin (mais les restes semblent peu clairs). Quelle est donc l'origine de chacun de ces types ?

46- Flouest 1993, Orengo 2003.

premier groupe l'équipe dirigeante d'une entreprise qui exploite le centre des Martys et dont l'importance se mesure d'une part à l'ampleur de son implantation dès le 1^{er} siècle a.C., d'autre part, et plus matériellement, à l'importation depuis les carrières de la région d'Orvieto, en Étrurie, de plusieurs de ces *molae asinariae*⁴⁷, des "grosses pièces" que le touriste est plus habitué à voir dans les boulangeries de Pompéi ou d'Ostie que dans les solitudes de la Montagne Noire. Une comparaison peut être faite avec une société minière contemporaine – la *societas argentifodinarum Rotenensium*⁴⁸ –, implantée elle aussi dans cette partie du pays Rutène qui, peut-être dès les dernières décennies du II^e s. a.C., constituait le nord de la *Provincia*⁴⁹ ; on a retrouvé ses traces au fond du vallon de Lascours au milieu des gisements de plomb argentifère et de cuivre de la haute vallée de l'Orb. L'entreprise des Martys pouvait être une société de même genre, qui exploitait pour son compte le fer de la Montagne Noire contre une redevance due à l'État romain. Installée sur les bords de la Dure, sans doute vers 60 a.C., elle manifeste aussitôt esprit d'initiative et efficacité : après une brève période d'essai (premier atelier), elle adopte le bas fourneau "classique", en construit plusieurs exemplaires, tous semblables, aux Martys et aux alentours, et organise les espaces de travail de façon rationnelle et systématique (les ateliers en batterie) ; et elle produit : 2250 tonnes de fer en quelque trente ou quarante ans, et nous savons qu'en trois siècles (de 50 a.C. à 260 p.C.), le complexe sidérurgique des Martys et de ses environs mettra près de 80 000 tonnes de fer sur le marché⁵⁰, alors qu'à cette même période, en 200 ans (1^{er} s. a.C. et 1^{er} s. p.C.), les Clérimois n'en auront produit qu'un peu plus de 4 000⁵¹ : différence d'échelle, différence d'organisation, peut-être d'attitude face à des exigences de productivité.

M. Mangin a souligné à juste titre "le contraste qui pouvait exister entre les productions de deux mondes parallèles, barbare et romain, produisant pour des besoins sans commune mesure"⁵². Mais

quels étaient ces besoins ? Il est difficile de caractériser ceux des populations du centre de la Gaule autrement que de façon vague : des outils, des armes⁵³, des objets de parure, etc. Certes, mais en quelles quantités ? Pour les Martys, on a pu évoquer quelques pistes. Ainsi, la coïncidence entre le moment où cette entreprise s'installe dans la Montagne Noire et le déroulement de la Guerre des Gaules nous a incités à proposer une hypothèse que certains jugeront peut-être folle : est-il impensable que César, qui avait l'habitude de traiter avec des hommes d'affaire installés en Gaule, ait poussé l'un d'eux à produire du fer pour faire face aux besoins de ses légions et, pour ce faire, à s'installer sur les gisements de la Montagne Noire⁵⁴ ? Hypothèse certes, mais qui cherche à rendre compte de la destination du premier fer produit aux Martys en quantité importante : on peut évaluer l'équipement d'une légion à quelque 120 tonnes de fer⁵⁵, et l'armée de César comprenait dix légions.

Autre piste pour tenter d'imaginer où ira le fer qui sera produit par la suite aux Martys : les cargaisons de barres de fer retrouvées dans les épaves du 1^{er} s. a.C. et surtout du 1^{er} s. p.C., identifiées et expertisées devant l'embouchure d'un ancien bras du Rhône, près des Saintes-Maries-de-la-Mer⁵⁶. Nous les verrions bien destinées aux marchés du Rhin : principalement les légions du *limes*, peut-être aussi les provinces des Germanies. Le recours à des méthodes archéométriques est ici payant : en comparant les associations de minéraux identifiées d'un côté dans les minerais des Martys et d'autres sites⁵⁷ et, de l'autre, dans les micro-inclusions de scories présentes dans les barres de fer de ces cargaisons, les minéralogistes parviennent à la conclusion que quelques-unes de ces barres au moins peuvent provenir des Martys et, plus globalement, de la Montagne Noire⁵⁸, sans doute le plus important des districts de production de fer de l'ouest méditerranéen à cette période, les

47- Oliva 1999, Domergue *et al.* 1997.

48- Gourdiolle & Landes 1998, 60-61.

49- Gruat & Izac-Imbert 2002, 84.

50- Decombeix *et al.* 2000.

51- Dunikowski & Cabboi 1995, 131.

52- Dans Dunikowski & Cabboi 1995, 10.

53- Cf. Vercingétorix à Alésia (52 a.C.) : "il fixa la quantité d'armes que chaque cité devait fabriquer chez elle et avant quelle date" (BG, 7.4.8).

54- Domergue *et al.* 2003a.

55- Domergue *et al.* 2003a, 245 : 1 200 tonnes pour les dix légions de César (60 000 hommes). Cf. aussi le chiffre de 100 tonnes avancé par V. Serneels dans Anderson *et al.* 2003, 174).

56- Long *et al.* 2002.

57- Coustures 2001, Coustures *et al.* 2003.

58- Coustures *et al.* 2006.

autres étant les Corbières, le Canigou et, en Espagne, la Sierra Menera (Teruel), et, bien plus au sud, la Sierra Nevada (Grenade).

On connaît les formes sous lesquelles circulaient dans le monde gaulois, au second âge du Fer, les semi-produits de ce métal : les *Doppelspitzbarren* et les *currency bars*. Les premières semblent davantage liées à l'Europe continentale que les secondes, dont la carte de diffusion couvre la partie sud de l'Angleterre⁵⁹. Il reste à leur appliquer la méthode suivie pour les Martys, de façon à identifier leur provenance et, plus généralement, celle du fer qui était traité dans les ateliers de forge des agglomérations et des campagnes gauloises. Pour cela, il faut aussi faire les mêmes recherches sur les minerais de fer d'abord des centres de production que nous connaissons chez les Sénons, les Cénomans, les *Tarbelli*, les Cadurques, ensuite de ceux qui seront découverts dans le futur, chez les Bituriges, les Pétrocores, et, ailleurs sur le territoire de l'ancienne Gaule, de façon à augmenter la banque de données de référence. Appliquée à des armes découvertes sur le site de Puy d'Issolud (sans doute l'*Uxellodunum* de la Guerre des Gaules), cette méthode d'étude devrait se révéler déterminante, en particulier sur la question de savoir quelles armes sont gauloises, quelles sont romaines⁶⁰.

La façon dont j'ai abordé ce sujet m'a fait sortir du ferrier des Martys, et m'intéresser à ceux qui témoignaient, dans un monde différent, d'une activité comparable et dont j'ai découvert la richesse et l'énorme potentiel. D'une part en matière de technique : comme les ingénieurs romains qui ont conçu le fourneau des Martys, les sidérurgistes des Clérimois ou de La Bazoge ont eu le souci de mettre au point des appareils capables d'économiser de l'énergie humaine, des matériaux et du temps, et de remplacer des fourneaux qui n'existaient que le temps d'une réduction – donc éphémères, au sens propre du terme – par d'autres fourneaux capables de produire et durer davantage. Ils ont d'abord

cherché, comme au Mans, à aménager le vieux bas fourneau à scorie piégée, puis ils ont fini par élaborer des fourneaux à écoulement de scorie, qui, pour peu qu'ils fussent solidement construits, pouvaient défier le temps. Et c'est là que nos sidérurgistes, les Gaulois comme les autres, sont admirables : comment ont-ils conçu ces divers types de fourneaux ? Et même, comment les ont-ils fait fonctionner, car ils ont fonctionné, et efficacement : il suffit de considérer les montagnes de scories qu'ils ont produites. Je ne sais si les fouilleurs de la Bazoge et des Clérimois ont réussi à maîtriser, dans des conditions comparables à celles de l'Antiquité, la marche de tel ou tel de leurs fourneaux à écoulement de scories ; honnêtement, avec celui des Martys, nous n'y sommes pas encore vraiment parvenus. Devant ce constat, nous ne pouvons qu'admirer non seulement le savoir-faire, mais aussi les connaissances théoriques qui soutenaient cette pratique : quels sont les rapports, comme aime s'interroger tel d'entre nous, entre la physique épicurienne telle que la présente le *De Natura Rerum* de Lucrèce et la métallurgie des Romains ?

Mais il n'y a pas que les Romains ! Les ingénieurs gaulois sont du même acabit : le fonctionnement du type II des Clérimois (fig. 10) n'obéit-il pas aux subtilités de la dynamique des fluides ? Pour ma part, j'ai évoqué la possibilité que le bas fourneau des Martys pût être inspiré par la technique gauloise. Mais j'ai mentionné aussi les hypothèses ibérique et italique, qui, pour l'heure, manquent toutes deux encore de base.

La connaissance et la maîtrise du fonctionnement de ces fourneaux sont, pour l'archéologue, des préalables essentiels s'il veut comprendre l'attitude des anciens sidérurgistes face à la matière qui les défiait, tester l'efficacité des appareils, calculer au plus près et de façon convaincante les volumes de production, juger de la place occupée par cette activité dans les sociétés où elle se développe, apprécier l'action des groupes qui la contrôlent, enfin jauger son impact sur la nature et sur les hommes. Pour y parvenir, plusieurs étapes sont nécessaires : faire une fouille archéologique soignée, bien saisir les articulations de ces appareils, d'autant que, comme c'est souvent le cas, ils nous parviennent incomplets, ensuite comprendre la façon spécifique dont chacun d'eux est agencé pour mieux réussir la réduction, pratiquer avec

59- On a ainsi trouvé des exemplaires des premières dans l'Oise, et des secondes dans la Saône près de Chalon (Mangin, dir. 2004, 166, fig. 18 ; Bonnamour 1985, 29), plusieurs en Bretagne (Langouet et al. 1990, 87) ; celles du dépôt "rituel" de Montans (Tarn) sont datées d'avant la fin du II^e s. a.C. (Martin & Ruffat 1998).

60- Renoux et al. 2001.

humilité des expériences sur des fourneaux qui soient l'exacte copie du modèle dont nous cherchons à percer les secrets, enfin savoir ce qu'il faut demander à l'archéométrie : de la maîtrise de la technique aux projections dans l'histoire.

Je viens de parler d'archéométrie : dans le domaine de l'impact des métaux sur les économies anciennes, elle est devenue indispensable. La traçabilité est le sésame qui permet de suivre les itinéraires des métaux anciens, de leur naissance à leur dernier avatar. Certes, les appareils capables de la mettre en évidence, s'ils sont de plus en plus performants, sont de plus en plus coûteux ; mais on peut les utiliser là où ils existent déjà : dans les laboratoires de nos collègues des "sciences dures", ils tournent rarement 24 heures sur 24. Or voici le point délicat : où sont les personnels formés à la fois aux méthodes archéométriques et à l'archéologie, capables de tirer les conclusions des "manipulations" qu'ils font, des gens qui ne soient pas seulement des "interfaces" ? Ces chercheurs sont indispensables au progrès des études paléosidéurgiques. Les recherches en paléométaballurgie ont un coût, qu'il faut assumer si l'on veut tirer tout le parti des fouilles, également coûteuses, que notre collectivité est de plus en plus capable d'effectuer. Les organismes qui les ont en charge doivent y penser⁶¹.

Bibliographie

- Anderson, T., C. Agustoni, A. Duvauchelle, V. Serneels et D. Castella (2003) : *Des artisans à la campagne. Carrières de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR)*, Archéologie fribourgeoise 19, 77-174 (chap. 6 : "La forge et le travail du fer").
- Amouretti, M.-C., D. Garcia et D. Meeks, éd. (1997) : *Techniques et économie antique et médiévale. Le temps de l'innovation*, Paris.
- Arana Castillo, R., A.M. Muñoz Amibilia, S. Ramallo Asensio et M.M. Ros Sala, éd. (1993) : *Metalurgia en la península Ibérica durante el primer milenio a.C. Estado actual de la investigación*, Universidad de Murcia.
- Arana, R. et C. Pérez Sirvent (1993) : "El trabajo del hierro en el poblado protohistórico de El Castellar (Murcia). II. Estudio mineralógico", in : Arana Castillo et al., éd. 1993, 111-129.
- Barrouillet V., A. Lamy, G. Mut, J. Pinéda et A. Siret (1989) : "Mines et fonderies antiques et médiévales du Canigou", in : Domergue, éd. 1989a, 21-28.
- Beal, J.-C. et J.-C. Goyon, éd. (2002) : *Les artisans dans la ville antique*, Collection Archéologie et Histoire de l'Antiquité, 6, Université Lumière-Lyon 2.
- Bayrie, A. (2003) : *Mines et métallurgies antiques au pays Basque : un vecteur de romanisation ?*, thèse pour le doctorat en Sciences de l'Antiquité (mention Archéologie), Université de Toulouse-Le Mirail (multigraphiée).
- Bayrie, A., D. Galop, F. Monna et V. Mougou (2003) : "La métallurgie du fer au Pays Basque durant l'Antiquité. État des connaissances dans la vallée de Baigorri (Pyrénées-Atlantiques)", *Aquitania*, 19, 49-66.
- Bienfait, M. (2002) : "La sidérurgie en milieu urbain dans la Gaule de l'Est : réflexions sur les types d'activités pratiquées", in : Beal & Goyon, éd. 2002, 69-74.
- Blanchet, J.-C. (1984) : *Les premiers métallurgistes en Picardie et dans le nord de la France. Chalcolithique, Âge du Bronze et début du premier âge du fer*, Mémoires de la Société Préhistorique Française, 17, 608 p.
- Blázquez Martínez, J.-M., Cl. Domergue et P. Sillières (2002) : *La Loba (Fuenteobejuna, Cordoue, Espagne). La mine et le village miniers antiques*, Ausonius-Publications, Mémoires 7, Bordeaux.
- Bonnamour, L. (1985) : "Les sites de la Saône aux âges du Fer : problématique", in : Bonnamour et al. éd. 1985, 25-31.
- Bonnamour, L., A. Duval, et J.-P. Guillaumet éd. (1985) : *Les âges du Fer dans la vallée de la Saône (VI^e-I^{er} s. av. notre ère. Paléométaballurgie du bronze à l'âge du Fer. Actes du 7^e colloque de l'AFEAF tenu à Rully (12-15 mai 1983)*, Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est Suppl. 6, Paris.
- Bordeloup, J.-M. (1994) : "Observations récentes sur la métallurgie ancienne en forêt d'Allogny (Cher)", in : Mangin, dir. 1994, 207-211.
- Bouloumié, B. (1989) : "L'Étrurie et les ressources de la Gaule", in : *Secondo Congresso Internazionale Etrusco, Firenze 26 Maggio - 2 Giugno 1985, Atti, Studi Etruschi Suppl. 2*, 813-892.
- Burillo, F. (1998) : *Los celtiberos. Etnias y estados*, Barcelone.

61- Je remercie J.-M. Fabre et Chr. Rico, qui ont relu ce texte et dont les remarques, ainsi que celles du reviewer, J.-L. Flouest, ont contribué à son amélioration.

- Butler, J.-J. et J. Van der Waals (1967) : "Bell-Beakers and early metal-working in the Netherlands", *Palæohistoria*, 12, 41-139.
- Coustures, M.-P. (2001) : "D'où proviennent les barres de fer des épaves antiques des Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône) ?", Mémoire de DESS, Université de Bourgogne, Dijon.
- Coustures, M.-P., D. Béziat, F. Tollon, Cl. Domergue, L. Long et A. Rebiscol (2003) : "The use of trace element analysis of entrapped slag inclusions to establish ore – bar iron links: examples from two gallo-roman iron-making sites in France (Les Martys, Montagne Noire, and Les Ferrys, Loiret)", *Archaeometry*, 45, 4, p. 589-603
- Coustures, M.-P., Chr. Rico, D. Béziat, D. Djaoui, L. Long, Cl. Domergue et F. Tollon (2006) : "La provenance des barres de fer romaines des Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône). Étude archéologique et archéométrique", *Gallia*, 63, 243-261.
- Crew, P. (1994) : "Currency Bars in Great Britain: Typology and Function", in : Mangin, dir. 1994, 345-350.
- Daubigny, A., éd. (1993) : *Fonctionnement social de l'âge du Fer. Opérateurs et hypothèses pour la France, Table ronde internationale de Lons-le-Saunier (Jura) 24-26 octobre 1990*, Lons-le-Saunier.
- David, A. (1925) : *La Montagne Noire (Aude, Hérault et Tarn), essai de monographie géographique*, Carcassonne.
- Decombeix, P.-M., Cl. Domergue, J.-M. Fabre, A. Gorgues, Chr Rico et B. Tournier (2000) : "Réflexions sur l'organisation de la production du fer à l'époque romaine dans le bassin supérieur de la Dure, au voisinage des Martys (Aude)", in : Domergue & Leroy, éd. 2000, 23-36.
- Decombeix, P.-M., Cl. Domergue, J.-M. Fabre et F. Tollon (1998) : "Évaluation du volume des ferriers romains du domaine des Forges (Les Martys, Aude), de la masse de scories qu'ils renferment et de la production de fer correspondante", *Revue d'Archéométrie*, 22, 77-90.
- Dieudonné-Glad, N. (1994) : "Minerais de fer disponibles et minerais de fer exploités. Exemple de choix à l'époque romaine chez les *Bituriges Cubi*", in : Mangin, dir. 1994, 323-329.
- Domergue, Cl. (1990) : *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, Coll.Efr 127, Rome.
- Domergue, Cl. (2004) : "Fer et société", in : Mangin, dir. 2004, 175-213.
- Domergue, Cl., éd. (1989a) : *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France méridionale. Recherches récentes, Journées de Perpignan (février 1987)*, Perpignan.
- (1989b) : *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterraneas y europeas. Coloquio Internacional Asociado, Madrid, 24-28 octobre 1985*.
- Domergue, Cl. (dir.), B. Cauuet, E. Lavielle, J.-M. Pailler, R. Sablayrolles et P. Sillières (1993) : *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude)*, Revue Archéologique de Narbonnaise Suppl. 27, Paris.
- Domergue, Cl. et M. Leroy, éd. (2000) : "Mines et métallurgies en Gaule. Recherches récentes", *Gallia*, 57, 1-158.
- 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 de Narbonnaise*, 32, 77-86.
- Domergue, Cl., D. Béziat, B. Cauuet, C. Jarrier, C. Landes, J.-G. Morasz, P. Oliva, R. Pulou et F. Tollon (1997) : "Les moulins rotatifs dans les mines et centres métallurgiques antiques", in : Amouretti, et al. éd. 1997, 48-61.
- Domergue, Cl., L. Benquet, P.-M. Decombeix, J.-M. Fabre, A. Gorgues, Chr Rico et F. Tollon (2003a) : "La Guerre des Gaules et les débuts de la sidérurgie romaine en Montagne Noire", *Pallas*, 63, 241-247.
- Domergue, C., A. Beyrie, C. Jacquet, C. Jarrier et F. Tollon (2003b) : "Un bas fourneau de petit module sur le site sidérurgique romain du domaine des Forges (Les Martys, Aude, France)", in : Stöllner et al. éd. 2003, 127-136.
- Doswald, C. (1994) : "Les lingots de fer protohistoriques en Europe occidentale : problématique générale", in : Mangin, dir. 1994, 333-344.
- Dumasy, F. (1994) : "La métallurgie du fer dans la cité des *Bituriges Cubi*", in : Mangin, dir. 1994, 213-222.
- Dunikowski, Chr. et S. Cabboi (1995) : *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, DAF 51, Paris.
- Dunikowski, Chr. et S. Cabboi (2001) : "L'extraction du minerai de fer, la production du charbon de bois et la réduction du minerai de l'Âge du fer, de la période romaine et du haut moyen Âge dans le nord de la France (les exemples du site des Clérimois, département de l'Yonne, et ensemble des sites de la Sarthe)", in : *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*, Andorre, 189-210.
- Feugère, M. et V. Serneels, éd. (1998a) : *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale*, Monographie *Instrumentum* 4, Montagnac.
- Feugère, M. et V. Serneels (1998b) : "Production, commerce et utilisation du fer entre l'Èbre et le Rhône : premiers éléments de réflexion", in : Feugère & Serneels 1998a, 251-263.
- Flouest, J.-L. (1993) : "Activités métallurgiques et commerce avec le monde méditerranéen au V^e siècle av. J.-C. à Bragny-sur-Saône (Saône-et-Loire)", in : Daubigny, éd. 1993, 21-31.
- Fluzin, Ph. (2001) : "Apport de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire ; matériaux archéologiques et procédés. Etudes métallographiques", in : *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*, Andorre, 336-365.
- Friesinger, H., K. Pieta, J. Rajtár, éd. (2000) : *Metallgewinnung und -verarbeitung in der Antike (Schwerpunkt Eisen)*, Nitra.
- Garcia, D. et F. Verdin, éd. (2002) : *Territoires celtiques. Espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale. Actes du XXIV^e colloque international de l'AFEAF (Martigues, 1^{er}-4 juin 2000)*, Paris.
- Glaser, F. (2000) : "Antike Eisengewinnung in Noricum", in : Friesinger et al., éd. 2000, 49-62.
- Gorgues, A. (1997) : *Le mobilier céramique des Martys. Les fouilles récentes*, Mémoire de maîtrise d'Histoire de l'Art et Archéologie, Université de Toulouse-Le Mirail, 116 p. (multigraphié).
- Gourdiolle, R. et Chr. Landes (1998) : "La Transalpine minière : des Monts d'Orb au bassin de Lodève", in : Schneider & Garcia 1998, 53-66.
- Gruat, Ph. et L. Izac-Imbert (2002) : "Le territoire des Rutènes : fonctionnement et dynamiques territoriales aux deux derniers siècles de notre ère", in : Garcia & Verdin, éd. 2002, 66-87.

- Keessmann, I. et G. Niemeyer (1989) : "Un centro primitivo de la elaboración de hierro en la factoría fenicia de Toscanos", in : Domergue, éd. 1989b, 99-108.
- Khanoussi, M., P. Ruggeri, C. Vismara, éd. (2002) : *L'Africa Romana . Lo spazio marittimo del Mediterraneo occidentale : geografia storica ed economia. Atti del XIV convegno di studio, Sassari, 7-10 dicembre 2000*, Rome.
- Krawczyck, E. (1991) : *Die gallo-römische Eisentechnologie in der Montagne Noire und im Massiv von Mouthoumet (Südfrankreich)*, Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften", am Fachbereich Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, Mayence.
- Langouet, L., M.-Y. Daire, P.-R. Giot et J.-P. Le Bihan (1990) : "Les artisanats armoricains au 2^e âge du Fer", in : *Les Gaulois d'Armorique. La fin de l'âge du fer en Europe tempérée, Actes du Xlle colloque de l'AFEAF, Quimper (mai 1988)*, Revue Archéologique de l'Ouest Suppl. 3, 85-96.
- Lepetz, S. et V. Matherne, éd. (2003) : *Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes gallo-romaines. Matières premières et produits transformés, Actes du Colloque AGER, tenu à Compiègne les 5, 6 et 7 Juin 2002*, RAP, 1/2.
- Long, L., Chr. Rico et Cl. Domergue (2002) : "Les épaves antiques de Camargue et le commerce maritime du fer en Méditerranée nord-occidentale (I^{er} siècle avant J.-C./I^{er} siècle après J.-C.)", in : Khanoussi et al., éd. 2002, 161-188.
- Mangin, M., dir. (1994) : *La Sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, archéologie et archéométrie, Actes du Colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993*, Annales Littéraires de l'Université de Besançon 536, Archéologie 40, Paris.
- (2004) : *Le fer*, Collection "Archéologiques", Paris.
- Maraval, M.-L. (1999) : *Gestion informatisée des données archéologiques. Analyse du mobilier d'une fouille ancienne : la villa gallo-romaine du Co-d'Espérou (Saint-Denis, Aude)*, Mémoire de maîtrise d'archéologie, Université de Toulouse-Le Mirail (multigraphié).
- Martin, T. et H. Ruffat (1998) : "Un dépôt de lingots de fer du début de La Tène III à Montans (Tarn)", in : Feugère & Serneels 1998a, 110-115.
- Morin, D. et P. Rosenthal (2003) : *Mines et métallurgie du fer en Provence et dans les Alpes du Sud (Département des Alpes-Maritimes)*, DFS, SRA de Provence-Côte d'Azur.
- Oliva, P., D. Béziat, Cl. Domergue, C. Jarrier, F. Martin, B. Pieraggi et F. Tollon (1999) : "Geological sources and use of rotary millstones from the Roman iron-making site of Les Martys (Montagne Noire, France)", *European Journal of Mineralogy*, 11, 757-762.
- Orengo, L. (2003) : *Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne d'Auvergne. Fabrication et consommation de produits manufacturés en fer en Gaule à l'Âge du Fer*, Monographies Instrumentum 26, Montagnac, 325 p.
- Orzechowski, S., éd. (2002) : *The Swietokrzyskie region metallurgy and other centres of ancient iron smelting in Polish territories*, Kielce.
- Pauc, B. et P. (1998) : "Quelques sites de réduction du minerai de fer dans les Corbières (Aude)", in : Feugères & Serneels 1998a, 116-128.
- Pelet, P.-L. (1973) : *Une industrie méconnue. Fer, charbon, acier dans le pays de Vaud*. Les sources archéologiques, Bibliothèque historique Vaudoise 49, Lausanne.
- Pleiner, R. (2000) : *Iron in Archaeology. The European Bloomery Smelters*, Prague.
- Ploquin, A. (1992) : "Du minerai au fer avant le haut fourneau et le passage au haut fourneau, apports de l'analyse chimique des scories et autres déchets", in : *Le Berry et le Limousin à l'âge du Fer : artisanat du bois et des matières organiques, XII^e colloque de l'AFEAF (Guéret, mai 1989)*, Guéret, 21-28.
- (2001) : "Une introduction à la pétrographie des scories paléosidérurgiques", in : *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*, Andorre, 289-334.
- Rancoule, G. et Y. Solier (1977) : "Les mines antiques des Corbières audoises", in : *Mines et mineurs en Languedoc-Roussillon et régions voisines de l'Antiquité à nos jours*, Fédération Historique du Languedoc méditerranéen et du Roussillon, Montpellier, 23-39.
- Rebiscol, A. (1981) : *Observation et prospection sur photographies aériennes verticales de vestiges gallo-romains liés à l'exploitation minière et métallurgique (ferrières et zones d'extraction de minerai) dans la Montagne Noire*, Mémoire de maîtrise d'archéologie, Université de Toulouse-le Mirail (reprographié).
- (1989) : "Contexte géologique et morphologique de quelques fonderies antiques de la Montagne Noire. Origine des minerais et implantation des fours de réduction dans les ateliers", in : Domergue, éd. 1989a, 85-98.
- (2003) : "Le site paléométallurgique des Ferrys, commune de La Bussière (Loiret)", in : Lepetz & Matherne, éd. 2003, 129-139.
- Renoux, G., J.-M. Pailler et F. Dabosi (2001) : "Première étude paléométallurgique des armes en fer du Puy-d'Issolud (Lot)", *La Revue de la Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux*, 1147-1158.
- Rigal, D., L. Wozny, P. Beltran, A. Bouchette, S. Brossier, V. Deloze et J.-C. Leblanc (1999) : *Opération A 20 – section 3. DFS de sauvetage urgent (01/07/98 – 30/09/98). Courcan (Cours – Lot), 46 077 103 AH, Autorisation n° 128/98*, AFAN Antenne régionale Grand Sud-Ouest.
- Ros Sala, M.M. (1993) : "El trabajo del hierro en el poblado protohistórico de El Castellar (Murcia). I : análisis arqueológico", in : Arana Castillo et al., éd. 1993, 71-109.
- Rovira Llorens, S. (1993) : "La metalurgia de la Edad del hierro en la Península ibérica : una síntesis introductora", in : Arana Castillo et al., éd. 1993, 45-70.
- Sablayrolles, R. (1989) : "Six années de recherche à Saint-Denis (Aude)", in : Domergue, éd. 1989a, 73-82.
- Schneider, L. et D. Garcia (1998) : *Le Lodévois, Carte Archéologique de la Gaule*, Pré-inventaire archéologique publié sous la responsabilité de M. Provost, Paris.
- Serneels, V. (1994) : "L'apport des analyses chimiques de minerais, scories et produits associés à l'étude de la sidérurgie ancienne", in : Mangin, dir. 1994, 75-81.
- (2001) : "Apport des analyses chimiques à l'étude des vestiges sidérurgiques", in : *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*, Andorre, 268-288.
- Sperl, G., éd. (1988) : *The First Iron in the Mediterranean*, PACT 21, Strasbourg.
- Stöllner, T., G. Körlin, G. Steffens et J. Ciemy, éd. (2003) : *Man and Mining – Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65th birthday*, Der Anschnitt Beiheft 16, Bochum.
- Voss, O. (1988) : "The Iron Production in Populonia", in : Sperl, éd. 1988, 91-110.