

La métallurgie extractive du fer dans la Montagne Noire (France) à l'époque romaine. Nouveaux documents

In: Revue archéologique de Narbonnaise, Tome 32, 1999. pp. 147-156.

Résumé

L'article présente les trois étapes des recherches paléosidéurgiques menées depuis 1989 sur le site romain du domaine des Forges (Les Martys, Aude) : découverte des premiers fourneaux (1989-1991), campagne d'expérimentations in situ (1991), études en laboratoire et nouvelles découvertes (1991-1993) qui conduisent à une deuxième série d'expériences (juin 1999).

Abstract

The article describes three stages in ancient iron-making researches which have been carried out since 1989 on the Roman site of the domaine des Forges (Les Martys, Aude) : the discovery of the first furnaces (1989-1991), the experimentation works in situ (1991), laboratory studies and new discoveries (1991-1993) leading to a new series of experiments (June 1999).

Citer ce document / Cite this document :

Domergue Claude, Jarrier Catherine, Tollon Francis. La métallurgie extractive du fer dans la Montagne Noire (France) à l'époque romaine. Nouveaux documents. In: Revue archéologique de Narbonnaise, Tome 32, 1999. pp. 147-156.

doi : 10.3406/ran.1999.1523

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/ran_0557-7705_1999_num_32_1_1523

LA MÉTALLURGIE EXTRACTIVE DU FER DANS LA MONTAGNE NOIRE (FRANCE) À L'ÉPOQUE ROMAINE

NOUVEAUX DOCUMENTS

Claude DOMERGUE*, Catherine JARRIER**, Francis TOLLON**

Résumé – *L'article présente les trois étapes des recherches paléosidéurgiques menées depuis 1989 sur le site romain du domaine des Forges (Les Martyrs, Aude) : découverte des premiers fourneaux (1989-1991), campagne d'expérimentations in situ (1991), études en laboratoire et nouvelles découvertes (1991-1993) qui conduisent à une deuxième série d'expériences (juin 1999).*

Abstract – *The article describes three stages in ancient iron-making researches which have been carried out since 1989 on the Roman site of the domaine des Forges (Les Martyrs, Aude) : the discovery of the first furnaces (1989-1991), the experimentation works in situ (1991), laboratory studies and new discoveries (1991-1993) leading to a new series of experiments (June 1999).*

Comme nous l'avons montré dans quelques publications récentes (Domergue 1993 a et b ; Andrieux *et al.*, 1994), les découvertes d'importants vestiges d'ateliers de sidérurgie antiques se sont multipliées ces dernières années au domaine des Forges (Les Martyrs, Aude) (fig. 1). Ce centre métallurgique d'époque romaine est le plus important de tous ceux qui ont été recensés dans la Montagne Noire, une courte chaîne qui, dans le sud de la France, constitue la pointe occidentale des Cévennes. D'altitude réduite (700 à 800 m en moyenne, 1 210 m au pic de Nore), ce massif, fait de terrains anciens, renfermait de nombreux chapeaux de fer, qui ont été intensément exploités dans l'antiquité en raison de la qualité des oxydes de fer qu'ils contenaient. Ces oxydes (hématites, goethites, limonites) ont été traités dans



Fig. 1. Le village des Martyrs est situé dans le nord du département de l'Aude (région de Languedoc-Roussillon, France).

*Unité Toulousaine d'Archéologie et d'Histoire (UMR 5608 CNRS), Université de Toulouse-le Mirail.

**Laboratoire de Minéralogie et Cristallographie (UMR 5563 CNRS), Université Paul Sabatier, Toulouse, et UMR 5608 CNRS.

plusieurs centres, comme le montre la carte de répartition (Domergue 1993 a, p. 17) et il en est resté, sur place, des monceaux de scories (ou « ferriers », selon le nom qu'on leur donne dans la région) souvent volumineux.

Le Grand Ferrier du domaine des Forges était l'un des plus imposants. En 1935, il était encore pratiquement intact et il formait dans le paysage un dôme aplati de près de 250 m de diamètre et d'une quinzaine de mètres de hauteur sur son côté sud-ouest, qui s'était constitué en quelque trois siècles (de 60/50 av. J.-C. à 260/270 de notre ère). Sa masse était alors évaluée à plus d'un million de tonnes, que des calculs plus rigoureux viennent de ramener à 112 000 tonnes de scories lourdes (Decombeix *et al.* 1998). Aujourd'hui, il n'en reste pas grand chose, car il a été exploité pour les besoins de l'industrie moderne (Domergue 1993 a, p. 20-27). A la fin de cette exploitation, on a découvert, à partir de 1989, à la base du monceau de scories, les restes de plusieurs bas-fourneaux de réduction antiques. Ces trouvailles, déjà remarquables par l'état de conservation des structures, ont été complétées, en septembre 1993, par la mise au jour d'un atelier comparable, mais mieux préservé encore, au-dessus d'un ferrier plus petit, situé lui aussi dans le domaine des Forges, à quelque 200 m au nord-est du premier, au lieu-dit « Montrouch ».

L'étude de ces fourneaux peut se diviser en trois phases, que nous présentons ci-après, en essayant d'en montrer les imbrications et la progression.

La première phase va de 1989 à 1991. Au cours de cette période, à la base du Grand Ferrier du domaine des Forges, on découvre les restes de sept bas-fourneaux, qui étaient ensevelis sous des couches de scories du I^{er} s. av. J.-C.. De chacun de ces fourneaux, subsistait en place toujours la même partie, le socle, en forme de fer à cheval, construit en gros blocs de granite et encastré dans un talus naturel ou une terrasse artificielle, elle-même maintenue par des blocs de granite; sa hauteur était de 0,90 m (fig. 2). Lors de sa mise au jour, l'intérieur du socle a toujours été découvert remblayé par des plaquettes de schiste et des pans de réfractaire plus ou moins scorifiés; de toute évidence, les uns et les autres provenaient de l'effondrement d'une superstructure, dont la hauteur devait atteindre 1,30 m à 1,40 m et dont certains indices faisaient penser qu'elle avait une forme conique. La hauteur totale était donc proche de 2,20 m ou 2,30 m. A la base, la cuve avait la forme d'un rectangle aux angles arrondis, long de 0,90 m et large de 0,60 m. L'intérieur était revêtu d'une couche de matériau réfractaire (argile, sable et paille, malaxés avec de l'eau) destinée à protéger la paroi contre les attaques du feu et de la chaleur.

Au moment des fouilles, l'avant des fourneaux a toujours été découvert éventré, et c'est normal, car cette destruction, effectuée au moins sur une hauteur de 0,60 m ou 0,70 m au-dessus du sol, était nécessaire pour que l'on pût extraire le fer qui s'était rassemblé sous la forme d'un magma pâteux à la base de la cuve. Comme on le sait en effet, les techniques de la sidérurgie antique, qui reposent



Fig. 2. Le bas-fourneau F 11 (Grand Ferrier du domaine des Forges) en cours de fouille (1990) : on remarquera les gros blocs de granite appartenant au socle, et le remblai qui occupe l'intérieur de ce dernier et s'étale devant le fourneau. Ce remblai est constitué par des plaquettes de schiste et des pans de réfractaire rubéfié qui proviennent de l'effondrement de la superstructure.

sur l'usage de bas-fourneaux et sur la réduction directe, ne permettaient pas de dépasser une température de 1250-1350°, donc d'obtenir un métal assez liquide pour qu'il pût s'écouler hors de la cuve, à la différence de ce qui se passe pour la fonte dans les hauts-fourneaux modernes. On reconstruisait donc la partie antérieure du fourneau avant chaque nouvelle opération; qu'on ait découvert ces socles toujours éventrés s'explique simplement par le fait que, comme ils ne devaient plus être utilisés, il n'était pas utile de les remettre en état.

Le problème majeur pour l'archéologue consiste donc à reconstituer cette partie des appareils. Or, d'après des observations effectuées au cours des fouilles, il nous avait paru qu'il était possible de le faire en plaçant à l'avant, au-dessous d'une espèce de linteau (fig. 3), d'une part un conduit de ventilation oblique (fig. 4) par où l'air nécessaire à la combustion pouvait être introduit sous pression, d'autre part un trou ménagé à un niveau inférieur pour l'évacuation de la scorie (fig. 5) (Domergue 1993 a, p. 352-356).

Certes, il ne nous échappait pas qu'au cours de l'exploitation moderne des scories, les engins mécaniques avaient pu travailler sans rencontrer de résistance jusqu'à l'arasement même des socles et par conséquent détruire jusqu'à ce niveau tout ce qui avait pu être conservé de la superstructure de ces fourneaux. Mais l'état dans lequel nous avons découvert ces derniers nous paraissait, en 1991, si exceptionnel que nous avons tenté graphiquement d'en restituer

le type (fig. 6), en nous fondant sur toutes les observations archéologiques mentionnées plus haut. Quoi qu'il en soit, cette restitution¹ fut prise comme modèle lorsqu'en septembre 1991, nous entreprîmes de remettre deux de ces bas-fourneaux en état, puis en fonctionnement (fig. 7).

Cette opération, intitulée « Les Forges de Vulcain dans la Montagne Noire », constitue la deuxième phase. L'équipe qui l'a réalisée comprenait des archéologues, des minéralogistes, des métallurgistes et des praticiens des arts du feu². Ce n'est pas ici le lieu de décrire dans le détail son déroulement. On trouvera ailleurs, sous deux formes différentes — un reportage audio-visuel (Dars-Papillault 1992) et un article abondamment illustré (Andrieux *et al.* 1994) — le récit des trois expériences successives qui ont été exécutées au cours de l'opération. Rappelons seulement ici que

(1) En fait, il y a eu un premier essai de restitution tenté dès la découverte des deux premiers fourneaux en 1989. Il a été présenté au Symposium International du Comité pour la Sidérurgie Ancienne de l'UISPP de Kielce-Ameliowka en septembre 1989 (Domergue 1991, p. 113, fig. 8). Sur ce dessin, la cuve est cylindrique et moins haute, sa section et ses dimensions intérieures sont plus réduites, mais, comme dans la restitution de 1991, il y a un seul conduit de ventilation, placé à l'avant au-dessus de l'ouverture pour l'évacuation des scories.

(2) Les acteurs de cette opération, montée par le laboratoire d'Archéologie Minière et Métallurgique de l'Occident Romain (alors URA 997 CNRS) de l'Université de Toulouse-Le Mirail, étaient Ph. Andrieux, C. Domergue (responsable), C. Jarrier, B. Pieraggi, F. Tollon, et les étudiants d'archéologie de l'Université de Toulouse-le Mirail, avec le soutien de divers organismes et, en particulier, du Conseil Général de l'Aude.

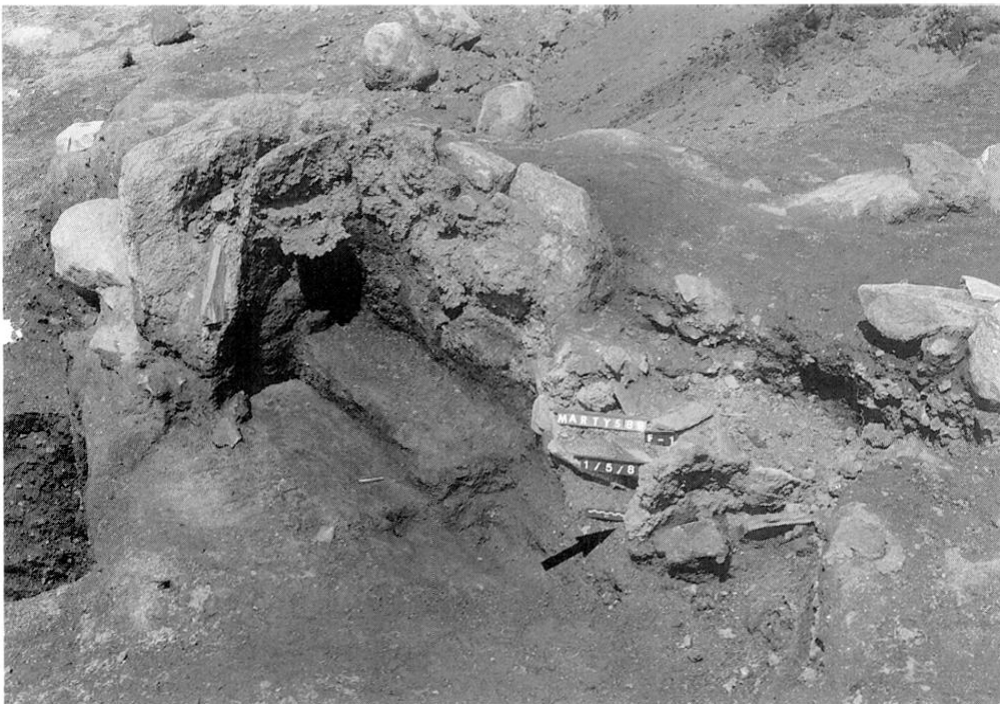


Fig. 3. Le socle du bas-fourneau F 1 (Grand Ferrier du domaine des Forges) en cours de fouille (1989). Le côté gauche a été enlevé par le tracto-pelle. A droite, devant le fourneau, on distingue le « linteau » (flèche), apparu à cette place, en stratigraphie.



Fig. 4. Bloc de réfractaire, dont le côté droit (dans l'ombre) est fortement scorifié. On distingue le conduit oblique de ventilation (flèche).

nous nous sommes efforcés de travailler dans des conditions aussi proches que possible de celles de l'antiquité (en particulier pour la ventilation), qu'à chaque fois ont été produits d'une part de la scorie (fig. 8), morphologiquement et minéralogiquement semblable aux scories coulées antiques — ce qui traduit une bonne maîtrise de l'appareil, utilisé en charge continue et conçu pour traiter à chaque fois d'importantes quantités de minerai (plus de 100 kg) — d'autre part des « massiaux »³ renfermant des amas de métal compacts (fig. 9 et 10).

Mais rien n'est parfait : ce métal n'était pas du fer proprement dit, ou fer « doux », qu'obtenaient, semble-t-il,

(3) On appelle « massiau » le produit de la réduction directe : il s'agit de métal plus ou moins abondant (ici une trentaine de kg par expérience), plus ou moins compact (par exemple, dans le massiau n° 2, une masse homogène de quelque dix-huit kg) et enrobé de scorie, qu'il faudra éliminer par un travail de forge (cinglage).

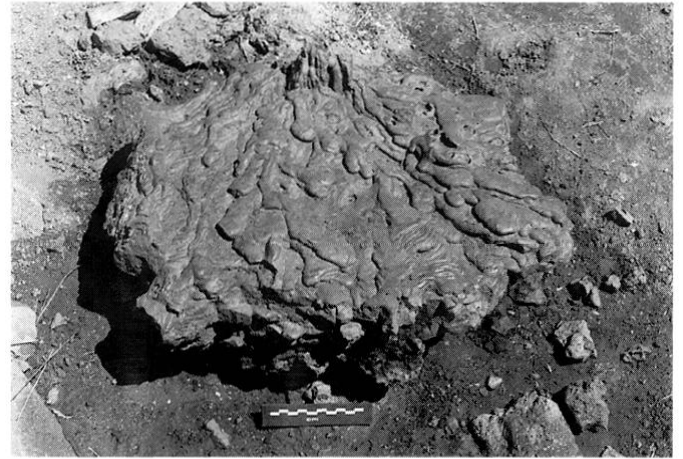
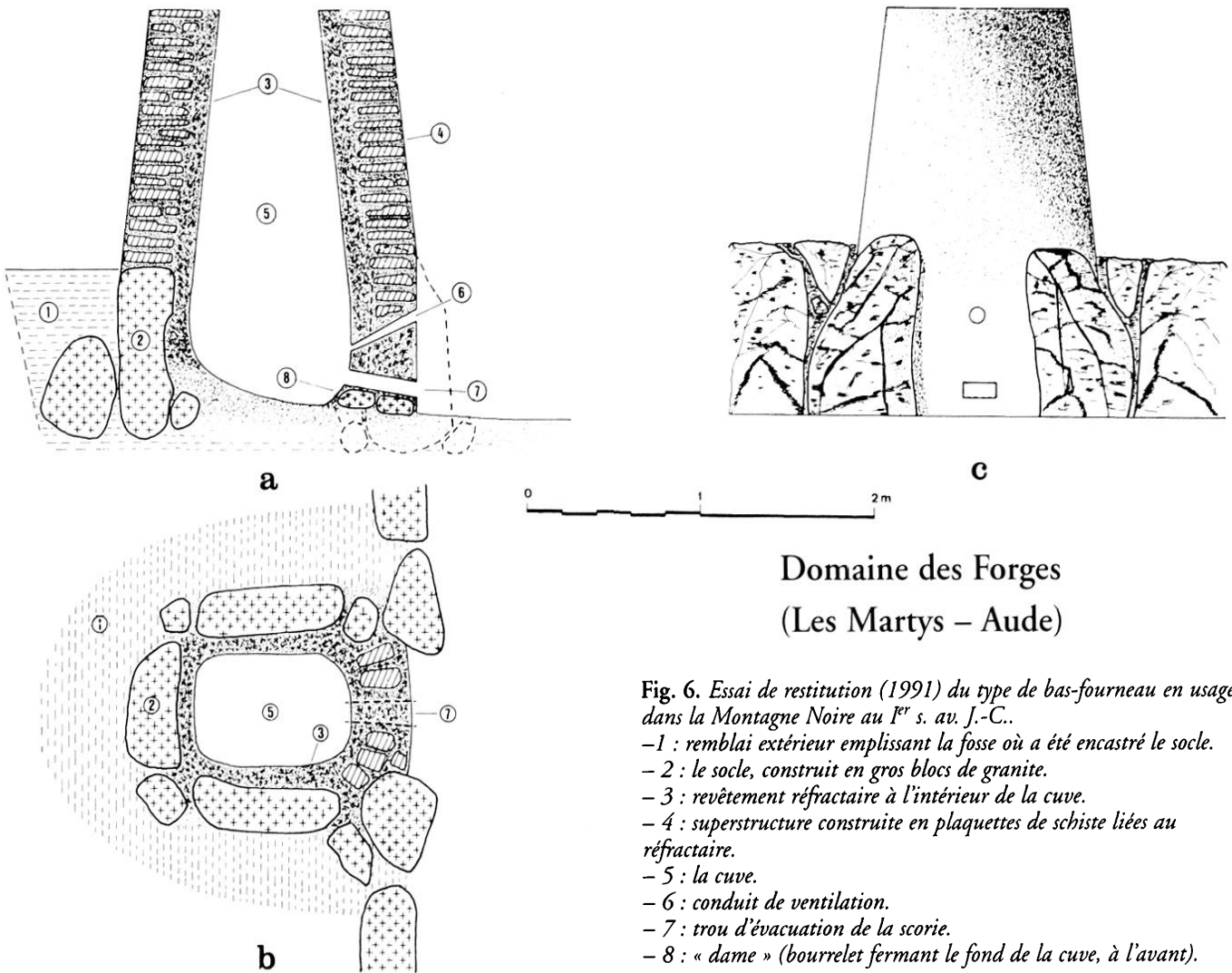


Fig. 5. Coulée de scorie antique, dont on voit clairement la racine, à l'arrière. Poids : 53 kg.

communément les Anciens, mais bien de l'acier, c'est-à-dire un alliage de fer et de carbone. Le métal cependant était forgeable, comme on a pu le constater expérimentalement. Il n'en reste pas moins que tout n'a pas fonctionné comme on l'eût souhaité, pour que l'opération ressemblât en tout point à une opération antique.

Nous n'envisagerons ici que deux points, à la fois différents et complémentaires. Le premier, qui concerne l'installation matérielle elle-même, a trait à la ventilation. Nous utilisons deux soufflets du type « soufflet de forge » (fig. 11), attesté dans l'antiquité; ils avaient été fabriqués d'après le modèle d'Agricola. Or, l'unique tuyère ayant été placée à l'avant conformément à notre restitution graphique, c'est devant le fourneau que furent disposés les soufflets. L'endroit n'était pas idéal, comme on s'en aperçut au moment d'ouvrir l'avant du fourneau et de sortir le massiau. Les soufflets et le bâti en bois qui les maintenait gênaient la manœuvre et durent être retirés en vitesse, au risque d'être abîmés.

Le second point résulte d'une observation faite en laboratoire par C. Jarrier, lorsqu'au cours de l'hiver 1992-1993, elle étudia des échantillons de scories prélevés à l'arrière de la paroi d'un fourneau ancien (F 30) (fig. 12). Or ces scories étaient anormalement riches en magnétite ($Fe^3 O_4$), ce qui attestait une plus forte quantité d'oxygène que celle qui était nécessaire à la formation de wustite ($Fe O$), le seul oxyde normalement présent dans la scorie à l'intérieur du fourneau; il fallait donc qu'il y ait eu dans le voisinage une entrée d'air, ce qui amenait C. Jarrier à restituer une tuyère à l'arrière des fourneaux. Son hypothèse était d'ailleurs corroborée par l'analyse d'un échantillon de scorie moderne



Domaine des Forges
(Les Martyrs – Aude)

Fig. 6. Essai de restitution (1991) du type de bas-fourneau en usage dans la Montagne Noire au I^{er} s. av. J.-C..

- 1 : remblai extérieur emplissant la fosse où a été encastré le socle.
- 2 : le socle, construit en gros blocs de granite.
- 3 : revêtement réfractaire à l'intérieur de la cuve.
- 4 : superstructure construite en plaquettes de schiste liées au réfractaire.
- 5 : la cuve.
- 6 : conduit de ventilation.
- 7 : trou d'évacuation de la scorie.
- 8 : « dame » (bourrelet fermant le fond de la cuve, à l'avant).



Fig. 7. Les deux bas-fourneaux romains (F 11 et F 12) du domaine des Forges (I^{er} s. av. J.-C.) remis en état, puis utilisés au cours des expériences de septembre 1991.

provenant, lui, de l'avant d'un fourneau ayant fonctionné en 1991 (fig. 9) et prélevé au voisinage du nez de la tuyère : il présentait lui aussi une haute teneur en magnétite (Jarrier 1993, vol. 1, p. 119-126 et 180-186).

Ainsi le minéralogiste et le métallurgiste interpellèrent l'archéologue. Ce dernier, comme on s'en souvient, avait effectué sa restitution, et en particulier inséré une seule tuyère à l'avant du fourneau, d'après les observations effectuées lors de la fouille. Mais l'état de conservation de ces derniers était-il suffisant pour qu'on pût se fonder exclusivement sur elles ?

La réponse est venue lors de la campagne de fouille suivante, à l'automne 1993, à Montrouich. Nous connaissons déjà le site : en 1978, un sondage stratigraphique avait été



Fig. 8. Au cours de la deuxième expérience, la scorie s'écoule hors du fourneau (septembre 1991).

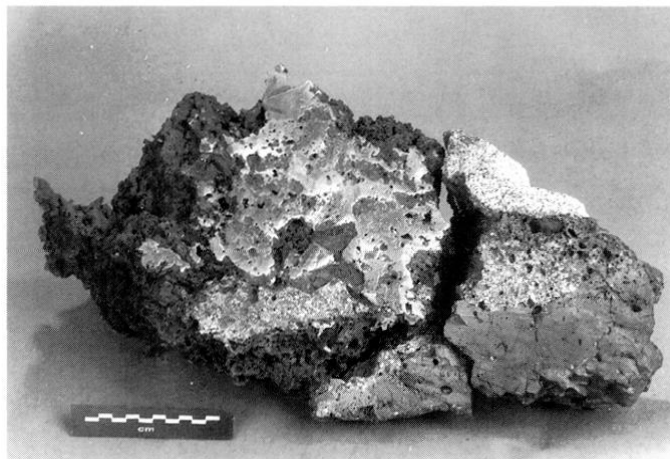


Fig. 10. Bloc métallique compact, provenant du massiau visible sur la figure 9. Il a été photographié après sciage et avant polissage.



Fig. 11. Les soufflets en action lors de l'expérience de septembre 1991 : le bâti en bois qui les supporte est placé devant le fourneau. Au premier plan, l'équipe de prise de vue de la cassette-vidéo (J.-F. Dars et A. Papillault, CNRS Audio-Visuel) en action.



Fig. 9. Expérience de septembre 1991 : après la deuxième opération de réduction, le « massiau » obtenu a été remis à sa place (flèche) à la base de la cuve, derrière la dame et derrière la coulée de scorie.

effectué dans un ferrier collé sur la pente, près de la ferme de même nom, et avait montré qu'il était constitué par des scories du milieu du I^{er} siècle av. J.-C. (Sablayrolles, dans Domergue, 1993, p. 108-121). Mais nous n'étions pas allés plus avant. Or, ce ferrier ni son voisinage n'avaient été touchés par les travaux d'exploitation modernes. Il valait donc la peine de rechercher l'atelier qui avait produit ces scories.

Logiquement, il devait être situé en arrière du ferrier lui-même, sur le replat, large d'une cinquantaine de mètres, qui s'étendait à l'ouest de la ferme. Après quelques tâtonnements, l'atelier fut découvert sous une couche de scories d'époque augustéenne, épaisse de plus d'un mètre. Avec ses bas-fourneaux encastrés dans une terrasse soutenue par une rangée de gros blocs de granite et son mur de



Fig. 12. Les vestiges du bas-fourneau F 30 (Grand Ferrier du domaine des Forges : 1992) : la flèche indique le point où a été prélevé l'échantillon de scorie accrochée à la paroi, dont l'analyse devait révéler la richesse en magnétite.

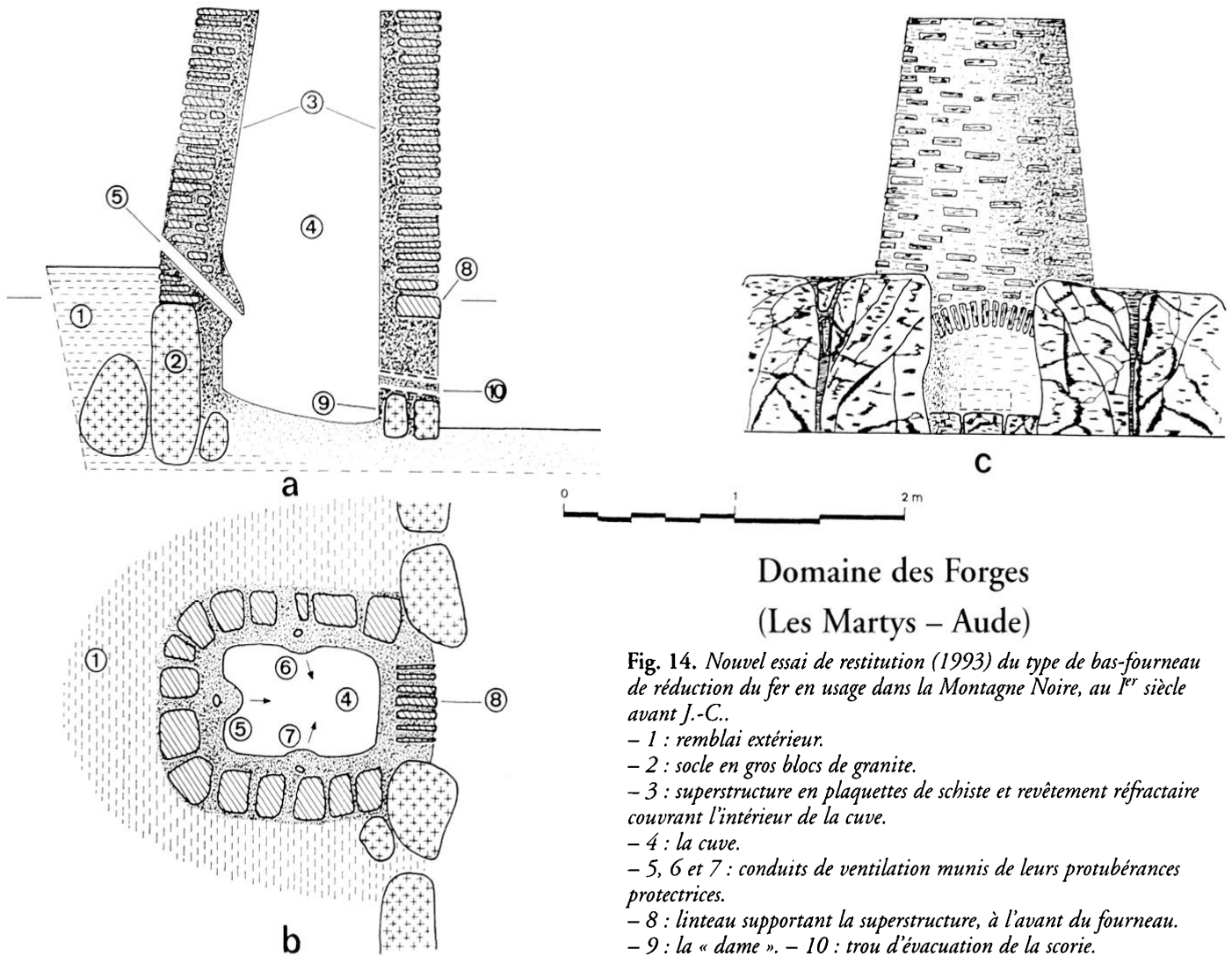


Fig. 13. Les deux bas-fourneaux de Montrouch (octobre 1993) : F 101 à gauche, F 102 à droite. Sur la couronne du socle de F 101, on voit nettement l'emplacement des conduits de ventilation. À l'intérieur de la cuve de F 102, on remarque les protubérances en réfractaire qui protégeaient l'embout des conduits de ventilation, à l'arrière et sur le côté droit. La protubérance arrière est particulièrement bien visible. L'emplâtre de réfractaire représenté à la figure 4 est tout à fait semblable à ceux-ci.

fond de structure plus légère, il était du type que nous connaissions déjà, à la suite des découvertes survenues dans le Grand Ferrier, que nous avons évoquées plus haut. En 1993, deux fourneaux appartenant à cette batterie furent fouillés (fig. 13)⁴. Comme dans le cas des exemplaires du Grand Ferrier, leur superstructure s'était effondrée dès l'an-

tiquité, mais pas totalement. En fait, au-dessus du socle, il en subsistait suffisamment pour qu'aient été conservés en place les conduits de ventilation qui le surmontaient : il y en avait trois, un à l'arrière, et un de chaque côté. Comme nous l'avions déjà constaté en étudiant les fragments découverts entre 1989 et 1991 sous le Grand Ferrier (Domergue 1993 a, p. 344-345), il s'agissait, plus que de tuyères, de conduits obliques, inclinés à 47° et de 8 cm environ de diamètre, ménagés dans l'épaisseur de la paroi, à la limite du socle de granite et de la superstructure en plaquettes de schiste et de granite. A leur entrée dans la cuve,

(4) La fouille de la batterie et de ses abords a été poursuivie en 1994 et s'est achevée en 1995. La batterie compte au total six bas-fourneaux, tous du même type, celui que nous avons appelé type « classique » des Martyrs (Domergue *et al.*, à paraître) et qui est illustré au Grand Ferrier par neuf exemplaires au moins.



Domaine des Forges (Les Martyrs – Aude)

Fig. 14. Nouvel essai de restitution (1993) du type de bas-fourneau de réduction du fer en usage dans la Montagne Noire, au 1^{er} siècle avant J.-C..

- 1 : remblai extérieur.
- 2 : socle en gros blocs de granite.
- 3 : superstructure en plaquettes de schiste et revêtement réfractaire couvrant l'intérieur de la cuve.
- 4 : la cuve.
- 5, 6 et 7 : conduits de ventilation munis de leurs protubérances protectrices.
- 8 : linteau supportant la superstructure, à l'avant du fourneau.
- 9 : la « dame ». - 10 : trou d'évacuation de la scorie.

leur embout était protégé par un amas de réfractaire fortement scorifié, extérieurement tout à fait semblable, comme on peut le voir dans le fourneau F 102, à un essaim de guêpes. La disposition de ces conduits de ventilation devait permettre un meilleur rendement thermique que celui qu'on pouvait obtenir avec une seule tuyère placée à l'avant.

Il est donc clair désormais qu'au I^{er} s. av. J.-C., le bas-fourneau de réduction du fer typique des Martyrs avait trois conduits de ventilation disposés sur la couronne du socle. Ils sont bien sûr intégrés dans la nouvelle restitution graphique (fig. 14). Vu les difficultés matérielles qu'aurait entraînées, comme on l'a vu, l'insertion d'un conduit analogue à l'avant du four, il est techniquement improbable que les fourneaux des Martyrs en aient été pourvus. D'autre part, l'existence de trois conduits dont l'orifice extérieur s'ouvrait au niveau de la terrasse paraît exclure que le système de soufflage ait été constitué par trois paires de souff-

flets du type « soufflet de forge » : il n'y aurait pas eu assez de place autour du fourneau, d'autant que la charge continue de ce dernier en charbon de bois et minerai exigeait que les servants eussent assez d'espace pour évoluer. Dans ces conditions, ou bien il n'y avait qu'un soufflet de ce type par conduit (donc trois en tout) ou bien la soufflerie était d'un type plus rudimentaire et consistait en trois paires d'ouïes, manœuvrées à la main, par pressions alternées.

Quoi qu'il en soit, nous étions loin du compte, nous qui prétendions recréer aussi exactement que possible les conditions de travail de l'antiquité! Et aujourd'hui encore, nous ignorons les conséquences d'un tel système sur le fonctionnement interne du fourneau et sur le déroulement du processus chimique conduisant à la réduction des oxydes. Autrement dit, il faut désormais procéder à une opération comparable à celle de septembre 1991, mais qui tienne compte des nouveaux paramètres qu'a fournis opportunément la fouille de Montrouch, et dont les travaux

de laboratoire avaient déjà fait pressentir l'indispensable nécessité. Cette campagne d'expériences aura lieu du 6 au 12 juin 1999, sur la plate-forme expérimentale qui a été construite près du Musée de la Montagne Noire, au pied des châteaux de Lastours, à une vingtaine de km au sud-est des Martyrs⁵.

Les esprits chagrins diront qu'avant de réaliser une opération comme celle de septembre 1991, il eût été sage d'attendre que nous disposions de tous les éléments, et en particulier de ceux qu'a révélés la fouille de Montrouch. Sans doute, mais pouvait-on deviner alors ce qu'allaient être les découvertes de 1993-1995?

Quoi qu'il en soit, il n'est pas possible de revenir sur le passé. De plus, les expériences n'ont pas été inutiles, ne serait-ce que pour démontrer, en travaillant expérimentalement avec des bas-fourneaux romains, que l'on pouvait produire de la scorie, en contrôler l'évacuation et obtenir des massiaux suffisamment riches en fer métal pour renfermer des amas compacts pesant au moins quelque vingt kg, aisément forgeables. Elles nous ont aussi permis d'avoir une idée de la quantité de fer métal produit à partir du minerai utilisé par les anciens métallurgistes des Martyrs.

(5) La construction de cet équipement a été rendue possible grâce au soutien financier du Conseil Général de l'Aude. Participeront à l'opération de juin 1999 les UMR 5608 (Unité Toulousaine d'Archéologie et d'Histoire, Université de Toulouse-Le Mirail) et 5563 CNRS (Laboratoire de Minéralogie et Cristallographie, Université Paul-Sabatier, Toulouse), l'UPRESA 5071 CNRS (ENSCT, Institut National Polytechnique de Toulouse), l'École des Mines d'Albi-Carmaux.

L'histoire enfin est exemplaire par la façon dont la fouille est venue à point nommé vérifier l'hypothèse. Elle illustre la confiance que l'on doit accorder aux « archéomètres » lorsqu'ils travaillent en symbiose avec les archéologues⁶.

(Toulouse, octobre 1998)

EXPÉRIMENTATIONS 1999 : PREMIER BILAN

Deux bas-fourneaux expérimentaux du type classique des Martyrs ont été utilisés en alternance. Six réductions ont été opérées en six jours, les quatre premières avec soufflerie mécanique, les deux dernières avec soufflerie manuelle. Le minerai utilisé, tout à fait comparable à celui qu'avaient traité les sidérurgistes romains des Martyrs, était constitué par des oxydes (limonite, goëthite) du chapeau de fer de Salsigne. À chaque expérience, un paramètre a été modifié, la quantité respective de minerai (70 kg) et de charbon de bois restant la même. Dans tous les cas, des massiaux ont été obtenus, sans être accompagnés de coulées de scorie. Un fragment du premier massiau a été forgé et mis en forme (lingot parallélépipédique de 2 kg) sur place par J.-C. Leblanc. Les examens physico-chimiques et minéralogiques des divers produits sont en cours. Il faut en attendre les résultats pour que le bilan soit plus précis.

(6) Cet article avait été présenté sous forme de communication à l'*European Symposium on Ancient Metallurgical Mining*, organisé par le Groupe PACT Belgium (Prof. T. Hacken) au Laurion (Grèce) en avril 1994. Nous l'avons actualisé, en tenant compte des études récentes (Jarrier *et al.* 1995, 1996, 1997) qui ont exploité les données archéométriques fournies par Jarrier 1993, et de la préparation de la nouvelle campagne d'expériences.

BIBLIOGRAPHIE

- Andrieux *et al.* 1994 : ANDRIEUX (Ph.), DOMERGUE (C.), JARRIER (C.), PIERAGGI (B.), TOLLON (F.), La sidérurgie antique. Des fourneaux romains remis en fonctionnement dans l'Aude, *Archéologia*, 301, mai 1994, p. 58-66.
- Decombeix *et al.* 1998 : DECOMBEIX (P.M.), FABRE (J.-M.), TOLLON (F.) et DOMERGUE (C.), Évaluation du volume des ferriers romains du domaine des Forges (Les Martyrs, Aude), de la masse de scories qu'ils renferment et de la production de fer correspondante, *Revue d'archéométrie*, 22, 1998, p. 77-90.
- Domergue 1991 : DOMERGUE (C.), Récentes découvertes aux Martyrs (Aude, France) : des fours de réduction du fer du I^{er} siècle avant
- J.-C., Actes du Symposium *From Bloom to Knife, Materialy Archeologiczne*, 26, 1991, p. 107-114.
- Domergue 1993 a : CAUET (B.), DOMERGUE (C.), PAILLER (J.-M.), SABLAYROLLES (R.), SILLIERES (P.), TOLLON (F.), dans DOMERGUE (C.) éd., *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martyrs Aude)*, 27e Supplément à la *Revue Archéologique de Narbonnaise*, CNRS, Paris, 1993, 477 p., 292 fig.
- Domergue 1993 b : DOMERGUE (C.), Les fourneaux romains de réduction du fer des Martyrs (Aude, France). Questions de typologie et d'origine, *Matières à faire. Actes des Séminaires Publics d'Archéologie, année 1991*, Besançon, 1993, p. 75-82.

- Domergue *et al.*, à paraître : DOMERGUE (C.), JARRIER (C.), TOLLON (F.), Two types of Iron Smelting Furnace (Ist Century B.C.) at the « Domaine des Forges » (Les Martyrs, Aude, France), à paraître dans *International Symposium on Archaeometallurgy in Central and Western Asia (19-24 april 1997, Teheran, Iran)*.
- Jarrier 1993 : JARRIER (C.), *Minéralogie, pétrologie et géochimie des résidus sidérurgiques gallo-romains (Ariège et Montagne Noire). Comparaison avec les résultats des essais in situ de réduction directe du fer*, Thèse, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 2 vol., 1993 (multi-graphiée).
- Jarrier *et al.* 1995 : JARRIER (C.), DOMERGUE (C.), PIERAGGI (B.), PLOQUIN (A.), TOLLON (F.), Caractérisation minéralogique, géochimique et métallurgique des résidus de réduction directe, d'épuration et de forge du centre sidérurgique romain des Martyrs (Aude, France), *Revue d'archéométrie*, 19, 1995, p. 49-61.
- Jarrier *et al.* 1996 : JARRIER (C.), DOMERGUE (C.), PIERAGGI (B.), PLOQUIN (A.), TOLLON (F.), Archéologie et archéométrie de la sidérurgie romaine dans la Montagne Noire au I^{er} siècle avant J.-C.. Le cas des Martyrs (Aude), *Bulletin de la Société des Études Scientifiques de l'Aude*, 96, 1996, p. 11-22.
- Jarrier *et al.* 1997 : JARRIER (C.), ANDRIEUX (Ph.), DOMERGUE (C.), PIERAGGI (B.), PLOQUIN (A.), TOLLON (F.), Élaboration du fer par réduction directe : essais de reproduction des procédés antiques, *La Revue de Métallurgie. CIT/Science et Génie des Matériaux*, mai 1997, p. 691-704.

AUDIO-VISUEL

- Dars-Papillault 1992, *Les forges de Vulcain*, cassette vidéo (durée : 28 minutes), Service audio-visuel du CNRS, 1992.