HAL
open science

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

Pierre-Michel Decombeix, Jean-Marc Fabre, Francis Tollon, Claude Domergue

To cite this version:

Pierre-Michel Decombeix, Jean-Marc Fabre, Francis Tollon, Claude Domergue. 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. Archeosciences, revue d'Archéométrie, 1998, 22 (1), pp.77-90. 10.3406/arsci.1998.964 . hal-01770295

HAL Id: hal-01770295

https://hal.science/hal-01770295

Submitted on 18 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Revue d'Archéométrie

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

Pierre-Michel Decombeix, Jean-Marc Fabre, Francis Tollon, Claude Domergue

Citer ce document / Cite this document :

Decombeix Pierre-Michel, Fabre Jean-Marc, Tollon Francis, Domergue Claude. 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. In: Revue d'Archéométrie, n°22, 1998. pp. 77-90;

doi : 10.3406/arsci.1998.964

http://www.persee.fr/doc/arsci_0399-1237_1998_num_22_1_964

Document généré le 22/03/2017

Résumé

Le Grand Ferrier romain du domaine des Forges (Les Martys, Aude, France) est célèbre auprès des paléosidérurgistes par ses dimensions et son volume. Il vaudrait la peine de connaître avec précision la masse de scories qu'il contenait pour pouvoir estimer la quantité de fer produite au cours des quelque trois siècles qu'il représente. Malheureusement il a aujourd'hui presque totalement disparu. Cependant, à l'aide de documents divers, de travaux de terrain et de calculs informatiques, on a pu estimer son volume. On a aussi calculé celui de l'autre ferrier du domaine (Montrouch), toujours existant. Alors, le nombre de kilogrammes de scories par mètre cube de ferrier étant connu et grâce aux données fournies par les expériences effectuées en 1991 aux Martys avec des fourneaux antiques, on peut évaluer la production minimale de fer à laquelle correspondent ces deux ferriers.

Abstract

The great Roman slag-heap at the «domaine des Forges» (Les Martys, Aude, France) is famous in the opinion of scolars because of its size and volume. It would be worth knowing the mass of slags it contained, to be able to estimate the amount of iron produced during about three centuries on the site. Unfortunately today it is almost completely destroyed. Nevertheless, with the help of ancient documents, fieldwork and computer program, we could estimate its volume. We also calculate that of the second slag heap still remaining in the estate (Montrouch). So, in view of the mass of the real slag in the heaps and of the evidence from the experiments carried out in 1991 at les Martys using ancient shaft furnaces, we can reckon the minimal quantity of iron produced in reference to these slag heaps.

BY: $ = creative commons

Revue d'Archéométrie, **22**, *1998, p. 77-90.*

EVALUATION 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

Pierre-Michel DECOMBEIX, Jean-Marc FABRE*, Francis TOLLON** et Claude DOMERGUE**

Résumé : Le Grand Ferrier romain du domaine des Forges (Les Martys, Aude, France) est célèbre auprès des paléosidérurgistes par ses dimensions et son volume. Il vaudrait la peine de connaître avec précision la masse de scories qu'il contenait pour pouvoir estimer la quantité de fer produite au cours des quelque trois siècles qu'il représente. Malheureusement il a aujourd'hui presque totalement disparu. Cependant, à l'aide de documents divers, de travaux de terrain et de calculs informatiques, on a pu estimer son volume. On a aussi calculé celui de l'autre ferrier du domaine (Montrouch), toujours existant. Alors, le nombre de kilogrammes de scories par mètre cube de ferrier étant connu et grâce aux données fournies par les expériences effectuées en 1991 aux Martys avec des fourneaux antiques, on peut évaluer la production minimale de fer à laquelle correspondent ces deux ferriers.

Summary : The great Roman slag-heap at the «domaine des Forges» (Les Martys, Aude, France) is famous in the opinion of scolars because of its size and volume. It would be worth knowing the mass of slags it contained, to be able to estimate the amount of iron produced during about three centuries on the site. Unfortunately today it is almost completely destroyed. Nevertheless, with the help of ancient documents, fieldwork and computer program, we could estimate its volume. We also calculate that of the second slag heap still remaining in the estate (Montrouch). So, in view of the mass of the real slag in the heaps and of the evidence from the experiments carried out in 1991 at les Martys using ancient shaft furnaces, we can reckon the minimal quantity of iron produced in reference to these slag heaps.

Mots-clés : Les Martys (Aude, France), paléosidérurgie, époque romaine, volume des ferriers, masse de scories, production minimale de fer.

Key-words : Les Martys (Aude, France), Roman iron making, volume of the slag heaps, mass of slags, iron minimal production.

Persée creative commons BY: =

Dans la Montagne Noire, entre Carcassonne et Mazamet (fig. 1), de nombreux ferriers témoignent d'une activité sidérurgique datée de l'époque romaine. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude) en renfermait deux, celui de Montrouch et le Grand Ferrier. Ce dernier avait pour particularité à la fois d'être le plus grand de la région et de représenter une durée de plus de trois siècles (entre 60-50 avant J.-C. et 260-270 de notre ère) (Domergue *et al.*, 1993) (1).

Entre 1972 et 1995, quatorze campagnes de fouilles sur le site des Martys ont fourni de très nombreuses données. En particulier, plusieurs bas-fourneaux datant du Ier siècle avant J.-C. ont été découverts à la base du Grand Ferrier (1989-1995), puis à Montrouch (1993-1995). En 1991, deux des fourneaux du Grand Ferrier ont été remis en état et utilisés pour des essais de réduction directe (Andrieux *et al.*, 1994). Ces essais ont montré notamment que l'on pouvait produire du fer plus ou moins carburé (acier) selon des procédés aussi proches que possible des procédés anciens, et que les scories écoulées hors des bas-fourneaux étaient très semblables à celles des ferriers antiques (Jarrier *et al.*, 1995, 1996, 1997).

(1) En fait, il y avait trois ferriers dans le domaine des Forges, mais l'un d'entre eux (Montrouch-b), exploité dans les années 1970, a été définitivement détruit lors de la construction du barrage de Laprade. Il n'y en a donc plus que deux, le Grand Ferrier (ou plutôt ce qu'il en reste) et Montrouch-a, qu'ici nous appellerons simplement Montrouch.
Nous ne tenons pas compte des deux petits tas de scories qui sont dissimulés sous la prairie de Montrouch, non loin de la route de Caudebronde (RD 62).

* *Université de Toulouse-Le Mirail (UMR 5608 CNRS), 5 allée Antonio-Machado, 31058 TOULOUSE Cedex.*
** *Université Paul-Sabatier (UMR 5563 CNRS), 39 allées Jules-Guesde, 31000 TOULOUSE.*

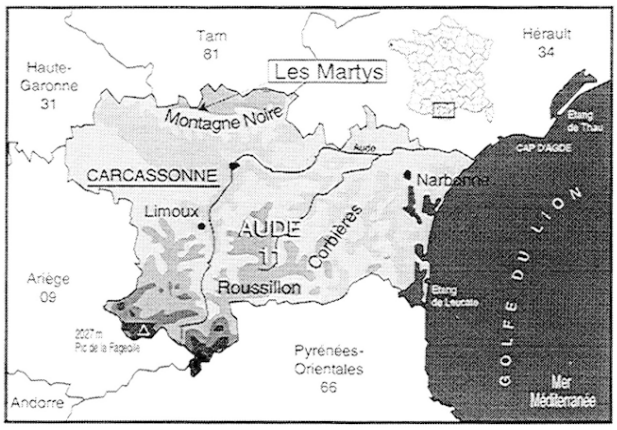


Fig. 1 : Situation des Martys (Aude, France).

À partir de toutes ces données et d'études minéralogiques et métallurgiques, C. Jarrier (1993, 198) a pu établir que la quantité de scorie «lourde» (2) était fonction de la masse de minerai de fer et de charbon de bois utilisée, ainsi que de la fusion d'une partie du revêtement réfractaire de l'intérieur de la cuve. On peut ainsi calculer que la masse de scorie produite au cours d'une opération de réduction antique était de 90 kg pour 200 kg de minerai et environ la même masse de charbon de bois, la quantité de fer récupérable et utilisable par les métallurgistes étant en moyenne d'au moins 30 kg, et souvent plus.

Il devenait alors envisageable d'estimer la production totale de fer métal ainsi que le nombre moyen de bas-fourneaux utilisés sur le site au cours de la période d'activité antique, autrement dit de reconstituer deux des principaux éléments de l'organisation de cette métallurgie pré-industrielle. Pour y parvenir, il fallait cependant mesurer au préalable le plus exactement possible la masse de scories lourdes contenues dans chacun des deux ferriers du site, le Grand Ferrier et celui de Montrouch (3).

I - LE GRAND FERRIER

Nous considérerons d'abord le Grand Ferrier, aujourd'hui presque entièrement disparu. Car, si l'exploitation moderne des scories est bien à l'origine des fouilles qui y furent entreprises, elle est aussi la cause de sa destruction. Or seule la connaissance de la masse des scories produites dans l'Antiquité peut permettre d'obtenir les résultats escomptés. Evidemment, on aurait pu envisager d'estimer la production relativement à d'autres ferriers, encore intacts, eux : mais cette option ne permettrait pas d'aller au-delà d'un chiffre global, car seule une bonne connaissance du site, avec des stratigraphies, du matériel archéologique, des structures métallurgiques et des bâtiments datés, peut permettre d'appréhender les conditions de la production. C'est dans ce but, plus ambitieux, que nous avons tenté de retrouver les caractéristiques du Grand Ferrier.

Diverses estimations de la masse de ce dernier ont été publiées depuis un siècle. Ces estimations varient beaucoup d'un auteur à l'autre (dans un rapport de 1 à plus de 4) et la méthode de calcul n'est jamais mentionnée ; seule la masse totale des scories est indiquée, sauf dans un cas où c'est le volume du ferrier qui est estimé. De plus, il n'apparaît pas qu'on ait tenu compte des éléments autres que les scories, que nous savons présents dans le ferrier. Enfin, ces estimations avaient pour la plupart un but commercial, lié à l'exploitation moderne des scories, et certaines exagérations n'ont pas manqué de se produire, car plusieurs études ont sans doute eu pour but de convaincre les propriétaires des potentialités de leur gisement. Toujours est-il que des estimations s'élevant jusqu'à 4 millions de tonnes ont été publiées (4), ce qui finit par nous paraître peu raisonnable, d'autant que l'emprise du ferrier avait été dans ce cas largement surestimée. Tout ceci méritait d'être repris plus attentivement.

Les scories du Domaine des Forges ont été effectivement exploitées depuis les années 1920, les quelques prélèvements antérieurs destinés à l'empierrement des chemins n'ayant été que marginaux, au sens propre du terme. A partir de 1930 environ, l'exploitation s'intensifia, pour aboutir, dans les années 90, à une disparition quasi totale du ferrier antique. Les scories, triées et lavées sur place jusque dans les années 70, furent ensuite vendues à l'état brut. Il ne semble pas exister de comptabilité du volume des transactions, ni chez les propriétaires, ni chez les différents acquéreurs : il n'est donc pas possible d'estimer par ce biais les quantités enlevées.

Les seules possibilités qui s'offraient étaient donc, soit d'admettre les chiffres publiés au temps où le ferrier existait encore, (mais lesquels ?), soit de tenter une restitution du volume à partir des documents disponibles. Ce fut le parti retenu. Nous possédions deux types de photographies : d'une part des photographies verticales permettant une observation stéréoscopique, d'autre part un cliché publié dans un article daté de 1935, montrant le ferrier en cours d'exploitation, mais posant quelques problèmes d'interprétation. Les plus anciennes photographies verticales du site sont celles de la RAF, en 1944, puis, à partir de 1948, l'IGN a commencé ses missions régulières dans la région. En attendant d'effectuer ou de faire effectuer ce travail de restitution, nous avons, en 1994, procédé à une évaluation de la composition du ferrier afin de pouvoir déterminer la masse de scories une fois que serait connu le volume de celui-ci.

1 - LA PROPORTION DE SCORIES «LOURDES»

D'après les diverses observations effectuées par l'équipe de fouille depuis 1972, le ferrier était composé de scories, bien sûr, mais aussi d'autres éléments : matériaux de constructions (restes de fours, mais aussi de bâtiments édifiés dans la masse du ferrier), sols sableux ou argileux, charbon de bois, minerai non utilisé et débris divers résultant de l'activité humaine sur le site (Domergue *et al.*, 1993, 365-405). Il apparaissait aussi que tous ces dépôts avaient un aspect relativement constant, quelle que soit la période considérée : rien ne distingue, à part les types de céramique, les dépôts correspondant au début de l'activité (vers 60/50 avant notre ère) de ceux des derniers temps (vers 260/270 après J.-C.). Si le volume de déchets constitués

(2) On verra *infra* ce qu'il faut entendre par ce terme.
(3) La probable utilisation de scorie moulue comme fondant au cours des opérations de réduction pendant le Ier siècle avant notre ère au moins (Domergue *et al.*, 1997) n'a pas d'incidence sur le calcul de cette masse.
(4) J. Demarty, 1923, 119-120 : deux millions de tonnes au moins ; C. Domergue-F. Tollon, 1973, 101 : près de trois millions de tonnes (d'après F. Fitté de Hoste, propriétaire du domaine) ; A. Rebiscoul, 1989, 93 : un million cinq cent mille tonnes ; Domergue *et al.*, 1993, 21: trois ou quatre millions de tonnes.

par les matériaux utilisés dans la construction des bâtiments est négligeable, il n'en est pas de même des autres éléments cités. Il fallait donc faire des prélèvements d'un volume suffisant, à l'écart des bâtiments, pour obtenir un échantillonnage représentatif de la totalité du ferrier. L'utilisation d'un godet de pelle mécanique, de 800 litres environ, nous a paru garantir la représentativité, la quasi absence de fouissement et la possibilité pratique de tri de l'échantillon. Pour assurer une meilleure représentativité et pour vérifier la constance des résultats, quatre prélèvements ont ainsi été effectués d'une part à deux niveaux d'une butte résiduelle du Grand Ferrier (un dans les couches basses, un dans les couches hautes, échantillons M1 et M2), d'autre part en deux points du ferrier de Montrouch, en cours de fouille lui aussi, et qui présentait l'avantage d'être pratiquement intact (échantillons MH1 et MH2).

Les scories présentes dans le ferrier sont de deux types : d'une part, les scories «lourdes», constituées par les scories coulées, qui présentent une surface cordée, brillante, et par les scories de même nature, qui étaient rassemblées au fond du fourneau sous le massiau (5) bien que leurs constituants minéralogiques aient une densité élevée, supérieure à 4, ces scories lourdes renferment de nombreuses vacuoles qui abaissent leur densité apparente autour de 3,25. D'autre part il existe des scories moins denses (scories «légères») : ce sont celles qui restaient accrochées aux parois du bas-fourneau et que l'on retrouve dans le ferrier, collées à des restes de matériaux réfractaire (revêtement interne, fragments de portes).

L'objectif final que nous visons ici, c'est d'évaluer au plus près la masse de fer produite au domaine des Forges dans l'Antiquité. On a rappelé dans l'introduction les chiffres auxquels l'examen des résultats obtenus en 1991 avait permis d'aboutir (Jarrier, 1993, 198). Dans la mesure où ces chiffres ne concernent que les scories lourdes, les scories légères n'avaient pas à être prises en compte. Cela entraînait la nécessité d'un tri visuel des seules scories lourdes (6) présentes dans les quatre échantillons prélevés, les fragments de réfractaire plus ou moins scorifiés étant éliminés.

Ensuite, les échantillons ont été divisés en plusieurs lots selon la taille des éléments, pour faciliter le classement des scories. Ainsi, dans chaque échantillon, quatre lots ont été séparés et pesés : par tri manuel (" très gros éléments ", supérieurs à 10 cm), par criblage à sec (avec une maille de 2 cm, retenant les " gros éléments "), puis par criblage sous l'eau (maille de 5 mm, retenant les " petits éléments " et laissant passer les " éléments fins "). Le premier échantillon traité l'a été dans sa totalité (fig. 2), en

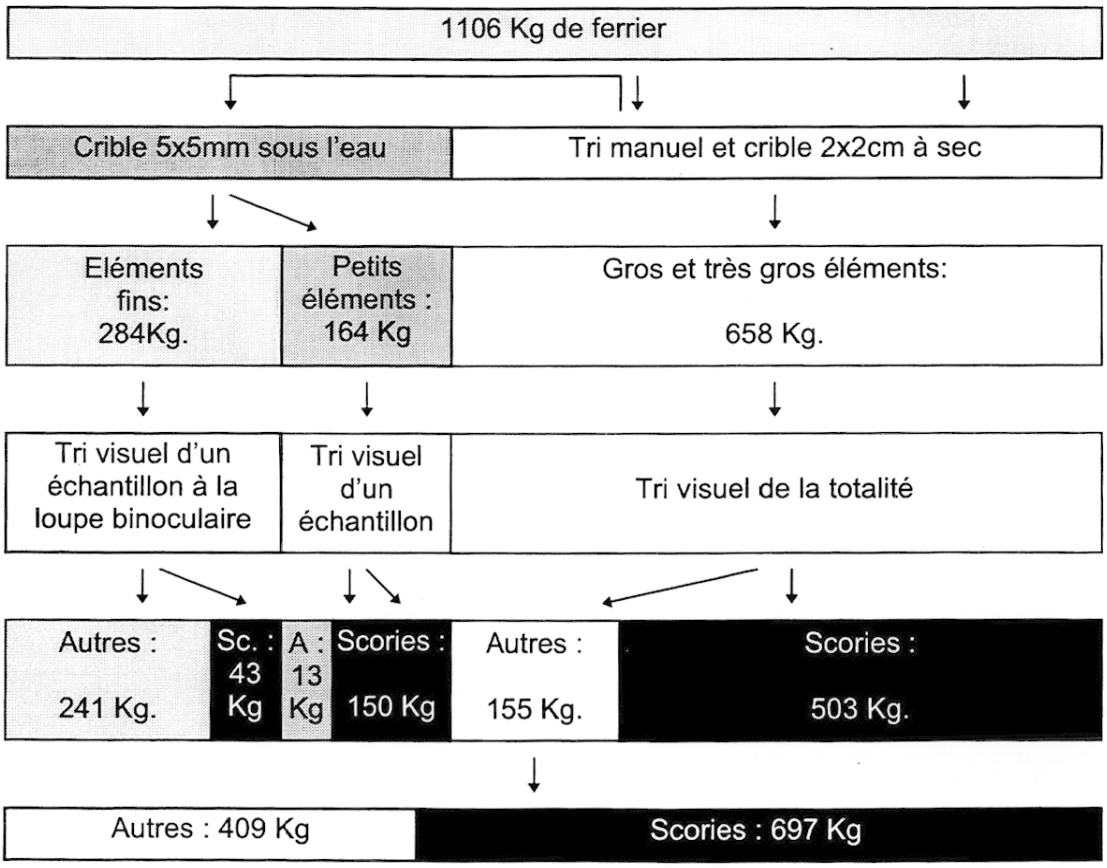


Fig. 2 : Schéma et résultat du traitement de l'échantillon MH-1.

(5) Le «massiau» est constitué par la loupe (ou éponge) de métal qui est produite au cours d'une réduction et à laquelle de la scorie adhère encore en fin d'opération.

(6) La même démarche est suivie par M. Leroy, 1994, p. 43, dans son évaluation de la masse du ferrier de l'atelier de Frouard (Ve-VIe siècle ap. J.-C.), près de Nancy, puisque cette masse est calculée en fonction des quantités de «scories écoulées hors du fourneau» et de «scories internes refroidies en fond de cuve», autrement dit nos scories coulées et scories de massiaux.
Dans les calculs qui suivent, le terme de «scorie» s'entend pour «scorie lourde».

trois lots (MH1-1, MH1-2 et MH1-3). La détermination de la quantité de scories présentes s'est faite par tri visuel et pesée de la totalité des éléments gros et très gros, par tri visuel et pesée d'un échantillon représentatif pour les petits éléments. Il est apparu que les éléments les plus fins étaient constitués essentiellement d'argile, la poussière de scorie étant en quantité négligeable. Seules les scories fines, supérieures à 2 mm, ont été estimées par charte visuelle.

Il est évident qu'un tel mode opératoire donne un résultat minimal, mais certifié, que nous retiendrons pour servir de base aux calculs qui viendront ensuite.

La remarquable constance des résultats dans les trois parties de l'échantillon MH1 (fig. 4 et 3), alors qu'aucune précaution n'avait été prise pour la séparation en trois lots, a conduit à réduire les opérations de tri en y soumettant simplement deux prélèvements de 44 litres effectués dans chacun des échantillons MH2, M1 et M2.

Les résultats de ce tri sont résumés dans un tableau (fig. 3) et représentés sur l'histogramme de la figure 4. On constatera que le volume de l'échantillon MH1 n'est que de 677 litres, alors que le prélèvement était de 800 litres environ. Nous pouvons proposer plusieurs hypothèses pour expliquer cette différence :

- l'échantillon est resté en attente, sous bâche, pendant 4 mois : le décompactage dû aux secousses de la pelle mécanique étant ainsi annulé, le volume à prendre en considération pour les calculs serait alors de 677 litres ;
- quand on observe une coupe dans les scories, on remarque qu'il existe des strates qui contiennent davantage d'éléments fins. Ces strates à éléments fins sont plus minces et correspondent vraisemblablement à des sols. De plus, les particules entraînées par ruissellement dans le ferrier au cours du temps ont été arrêtées par ces couches, qui n'ont fait que croître en épaisseur. Le tassement observé dans l'échantillon serait alors dû à un réarrangement plus dense de l'ensemble, ce qui semble possible car les couches ne contenant que des scories paraissent vacuolaires. Le volume à prendre en considération serait alors de 800 litres ;
- l'échantillon présentait une humidité importante, postérieure au prélèvement, qui a pu être la cause du tassement observé. Le volume à prendre en considération serait ici encore de 800 litres.

L'objectif recherché étant d'obtenir une évaluation minimale, c'est la valeur de 800 litres qui a été retenue pour les calculs.

On constatera que les masses de scories par m³ de ferrier dans les divers échantillons sont très homogènes. Les différences entre échantillons sont surtout des différences de maille d'un lot à l'autre, sans qu'on en voie la raison. D'autre part, MH-1 a été prélevé dans une zone qui, à l'oeil, ne contenait " que des scories " : il doit s'agir là d'une concentration pratiquement maximale.

Cet échantillonnage permet donc d'estimer que la masse moyenne des scories présentes dans le ferrier est de l'ordre de 775 kg/m³ (moyenne des quatre échantillons) (7).

2 - LE VOLUME DU FERRIER

Il faut maintenant considérer le volume du ferrier antique. Les documents dont nous disposons pour y parvenir sont les suivants (8) :

- un couple stéréoscopique de la RAF datant de 1944, au 1/13000 environ (3129-3131 - 235 F - 514 - 5PG - 9. June. 1944 - 10.30 - F/24" - 28.500') ;

Prélèvements	Volume mesuré (litres)	Masse (Kg)	Scories fines (Kg)	Petites scories (Kg)	Grosses et très grosses scories (Kg)	Total des scories (Kg)	Masse des scories par m³ (Kg/m³)	Volume considéré (litres)	Masse par m³ corrigée (Kg/m³)
MH 1-1	252	405	17,85	55,9	180	254	1008	800	853
MH 1-2	252	406	14,85	55,0	189	259	1028	au	870
MH 1-3	173	295	10,05	39,4	134	183	1058	total	895
MH 2-1	44	67,5	3,15	11,0	27,8	41,9	952	52	806
MH 2-2	44	68,8	3,11	11,9	25,5	40,5	920	52	779
M 1-1	44	67,5	4,20	31.1		35,3	802	52	679
M 1-2	44	69,0	4,31	13,7	17,5	35,5	807	52	683
M 2-1	44	70,0	4,05	12,4	24,5	40,95	930	52	788
M 2-2	44	69,0	4,50	11,3	22,0	37,8	859	52	727

Fig. 3 : Les résultats des opérations de tri. Seul l'échantillon MH-1 a été traité en totalité. Or nous n'avons mesuré pour celui-ci qu'un total de 677 litres, alors que le prélèvement avait été de 800 litres. Afin d'obtenir une valeur minimale certifiée pour la quantité de scories contenue dans l'échantillon, c'est la valeur de 800 litres qui a été retenue pour les calculs. Comme les trois autres prélèvements ont été soumis aux mêmes conditions de stockage et de traitement, il est probable qu'un traitement de leur totalité aurait donné un volume voisin de celui de MH-1, soit 677 litres. Les 44 litres de chaque échantillon ayant été mesurés dans les mêmes conditions que les 677 litres de MH-1, ce volume a été porté à 52 litres (soit 44 x 800/677) pour rester cohérent.

(7) Cette valeur peut paraître très basse, étant donné la densité apparente des scories coulées, à savoir 3,25. Il faut peut-être voir là la raison des fortes estimations anciennes (voir *supra*, note 4) : on avait sans doute multiplié des volumes estimés du ferrier par ce chiffre. En effet, la seule estimation de volume mentionnée dans les anciennes publications est de 300 000 m³, un chiffre qui, multiplié par 3,25, donne effectivement une masse de l'ordre du million de tonnes, plusieurs fois évoquée dans la littérature ancienne. Mais, comme on l'a vu, le ferrier contient en fait d'autres éléments, certaines scories sont plus légères, et il comprend lui-même de nombreux vides d'ordre centimétrique.

(8) Pour procéder à cette opération, nous avions d'abord sollicité l'IGN. Nous lui avions demandé de calculer le volume qui subsistait encore en 1948 (date de la première mission photographique aérienne verticale de cet organisme sur la région) par stéréoscopie différentielle entre 1948 et 1992, date à laquelle le ferrier avait pratiquement disparu. Mais cette étude ne put être menée à bien, d'un côté par suite de « la mauvaise qualité de la PVA de 1948» et de la «méconnaissance des paramètres de distorsion de la caméra» alors utilisée, de l'autre en raison de la « présence d'une forte végétation arborée sur la PVA de 1992» (lettre du 30.10.1996). Par ailleurs, l'IGN ne pouvait exploiter les tirages du couple stéréoscopique de la mission militaire de 1944 mentionnée ci-après. Et en 1953, date de la première mission techniquement satisfaisante de l'IGN, le ferrier était trop entamé pour que cette évaluation présentât un intérêt.

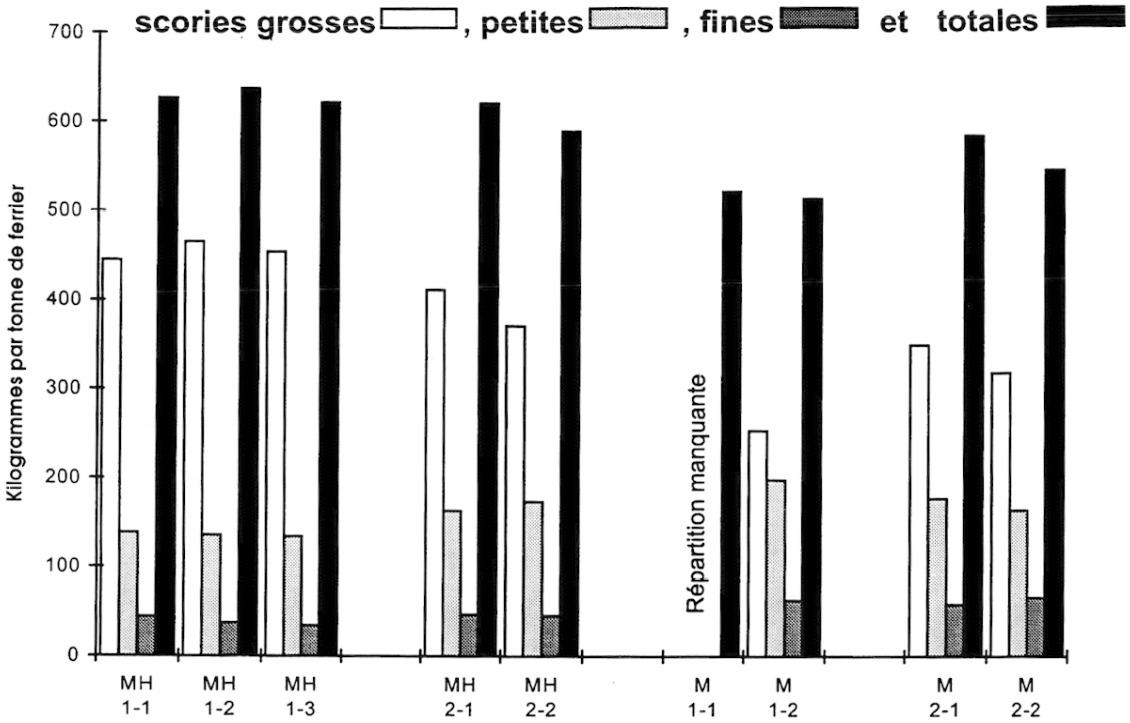


Fig. 4 : Répartition des scories - grosses, petites, fines, totales - dans les échantillons.

- les couples stéréoscopiques de l'IGN 1948 et 1992 ;
- les divers articles sur les ferriers de la Montagne Noire publiés avant l'exploitation massive du ferrier, dont l'un, paru en 1935, présente une photographie de l'exploitation en cours (fig. 5) ;
- les rapports de fouilles du site incluant plusieurs sondages, certains poussés jusqu'au sol géologique à travers des lambeaux du ferrier ;
- diverses photographies de ce qui restait du ferrier en 1972 (fig. 7) et plus tard, prises au sol par les équipes de fouille ;
- un plan de la zone au 1/2000, avec relevés altimétriques, datant de 1984 (alors qu'il restait des zones non, ou pas totalement, exploitées), établi en vue de l'édification du barrage de Laprade, situé à quelques centaines de mètres au nord-ouest du site (9).

À ces documents, il faut ajouter diverses prospections et mesures effectuées sur le terrain par des membres de l'équipe de fouille, ainsi que les souvenirs de la famille Fitté de Hoste, propriétaire du site, et de Léon Boscat, qui a travaillé à l'exploitation de ferrier entre 1945 et 1991.

L'examen de cet ensemble de données a permis de retrouver, avec une précision estimée à 10 mètres, l'extension du ferrier au nord et à l'ouest. Au sud, il était limité par une rivière, la Dure. S'il reste probable qu'une faible partie du dépôt a été emportée par l'eau au cours du temps, nous sommes certains que les rejets antiques dans la rivière ont été relativement peu importants (il n'y a pas de scorie sur la rive droite (10)), mais il est difficile de les évaluer ; aussi ne seront-ils pas pris en compte. L'extension à l'est pose davantage de problèmes, car, d'une part, nous ne possédons aucun document photographique montrant cette zone avant le début de l'exploitation moderne et, d'autre part, celle-ci a fait l'objet de remaniements (nivellements au XIXe siècle lors de la construction des bâtiments du Domaine des Forges au sud-est, dépôts de déchets et réaménagements du sol au nord-est lors des travaux modernes). Cependant, ces imprécisions restent limitées par l'existence du chemin d'accès aux bâtiments qui, à l'évidence, contourne le ferrier au sud-est, et par l'aspect du terrain visible sur le document photographique de 1935 (fig. 5) qui permet de définir une extension maximum vers le nord-est. La figure 6 montre le ferrier sur l'agrandissement d'une photographie verticale de 1944, et la figure 8-a son emprise, avec une double ligne à l'est, correspondant à cette incertitude. Le front de taille de la zone déjà exploitée en 1944 est en tireté sur la figure 6.

Restait à estimer le volume avant l'exploitation du ferrier ainsi délimité. Le document le plus ancien montrant le ferrier est la photographie, publiée en 1935, de la figure 5. Dans la publication originale, ce document mesure 7,7 x 10,3 cm et présente l'inconvénient d'être " tramé ". La bonne qualité de l'impression a cependant permis un agrandissement au format A4 après détramage par un logiciel de traitement d'image. L'étude de ce document avait déjà montré que la photographie n'avait pu être prise que depuis le secteur est (Domergue *et al.*, 1993, 21-22), car à l'horizon on remarque le dôme que forme un bois situé au nord-ouest du site, les pentes sur la droite de l'image étant celles qui se trouvent sous la ferme de Montrouch. Il est normal qu'on ne voie pas les installations d'exploitation (ensemble «ins.» de la figure 6), ni le chemin cx qui y mène depuis la RD 62, car ils ont été établis postérieurement à 1935. En revanche, on s'attendrait à voir les sapins présents sur la figure 6. En

(9) Nous avons pu disposer de ce plan en 1995, grâce au Conseil Général de l'Aude et à BRL Exploitation (1105 avenue P. Mendès-France, 30001 Nîmes Cédex), que nous remercions.
(10) Contrairement à ce qui se passe au site de Co d'Espérou (Saint-Denis, Aude), où la présence actuelle de cordons de scories sur la rive opposée, dans le prolongement du ferrier, implique qu'un " barrage " s'était formé, qui fut ensuite emporté par l'eau.

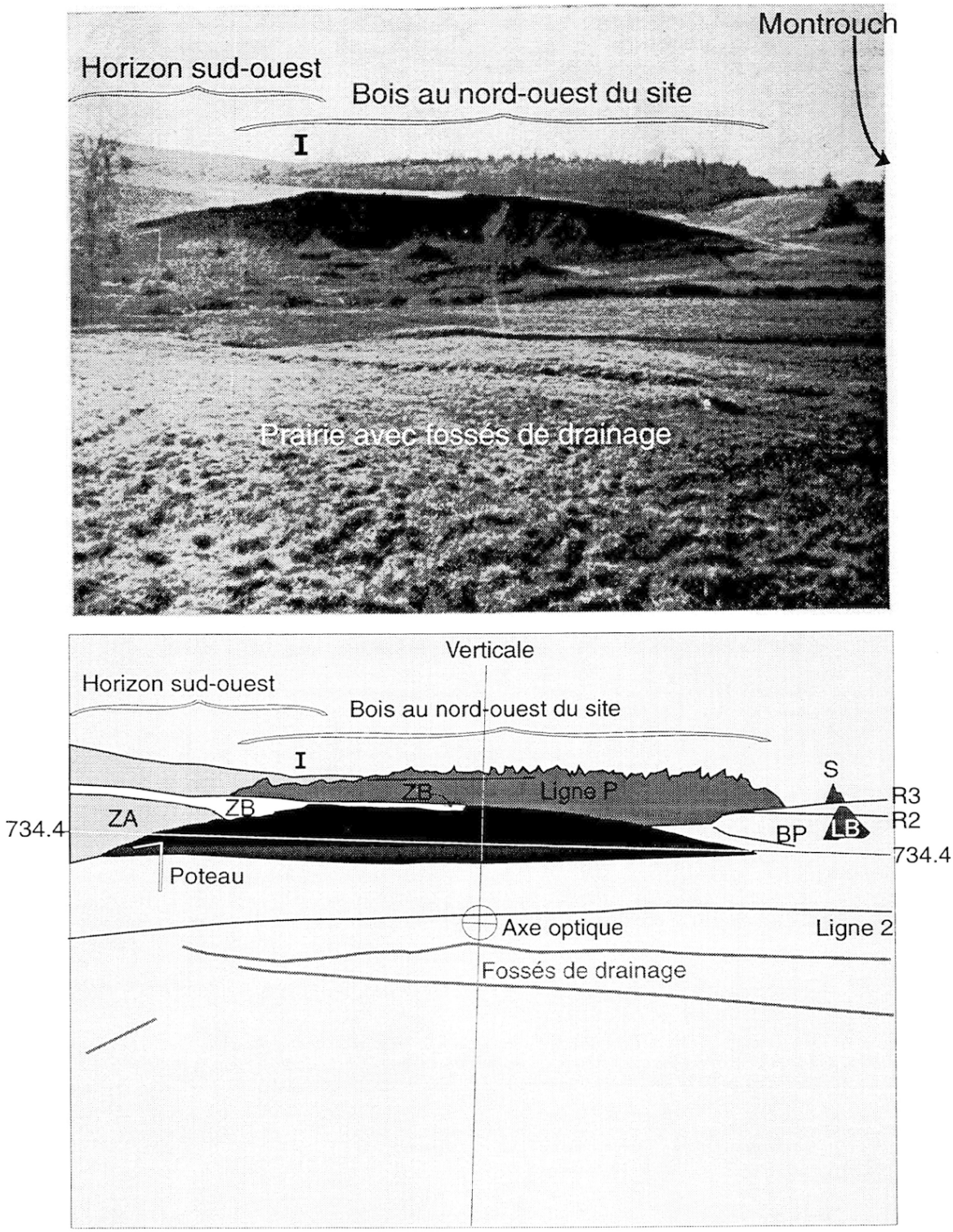
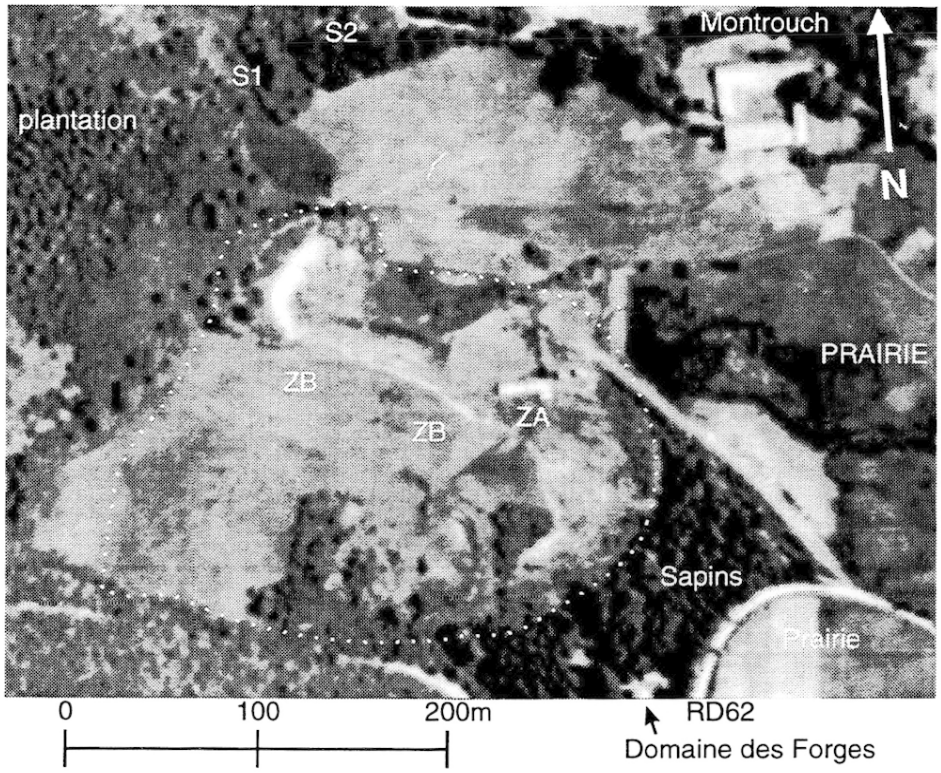
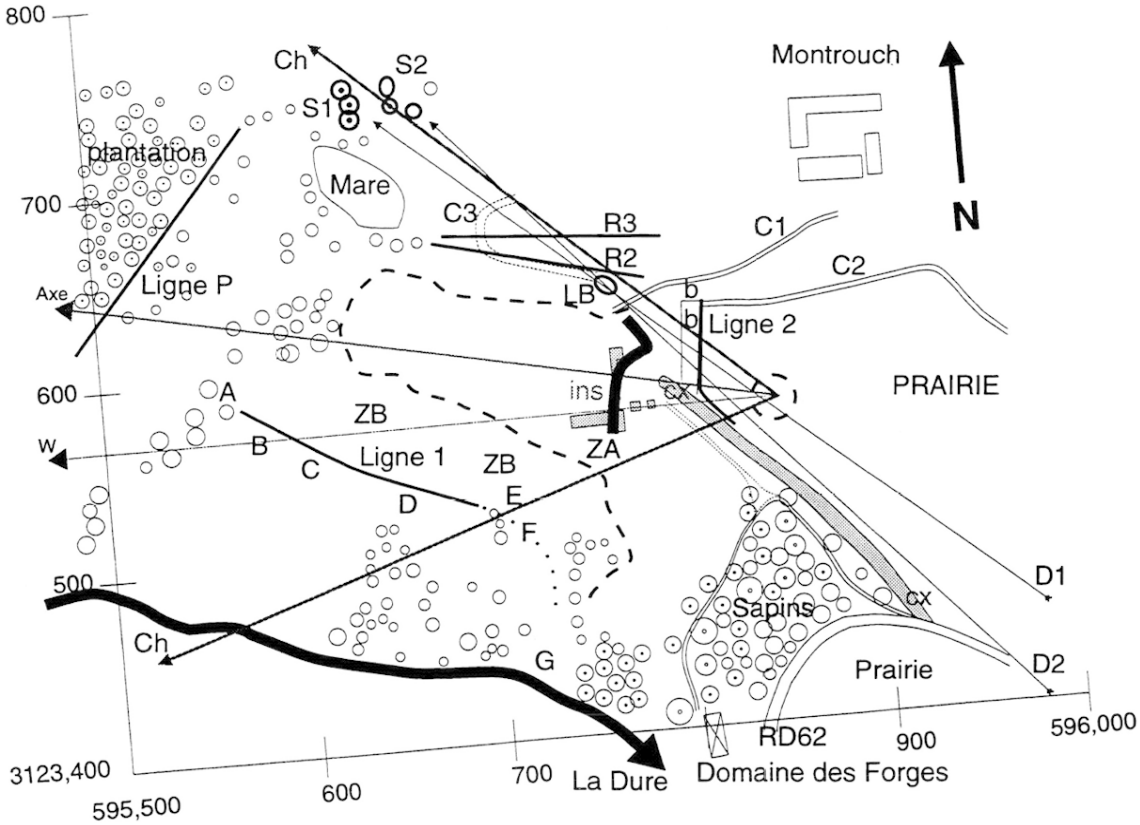


Fig. 5 : Une vue du Grand Ferrier du domaine des Forges aux environs de 1930-1935 : fac-similé du cliché publié dans le *Bulletin de la Société des Études Scientifiques de l'Aude* (1935) et croquis d'interprétation du paysage.

Fig. 6 : Agrandissement partiel d'une photographie aérienne verticale (mission RAF n° 3131, 235 F - 544 - 5 PG - 9 juin 1944 - 10.30. Dépôt CNRS, Centre Camille-Jullian, Université de Provence) montrant les ferriers du domaine des Forges en 1944, et croquis d'interprétation du cliché.

Commentaire des figures 5 et 6 : si l'on minimise les contraintes, c'est-à-dire si l'on ne tient compte ni de la présence probable du bois de sapins, ni de celle de la trémie (voir *infra*), la seule zone d'où a pu être prise la photo et qui soit compatible avec le premier plan et avec l'horizon s'étend à la prairie au sud de Montrouch. L'altitude de cette zone est comprise entre 730 et 735 mètres, ce qui implique une altitude de 731 à 738 m au maximum pour le plan de prise de vue (l'aspect des touffes d'herbes du premier plan semble indiquer une hauteur de l'objectif assez proche du sol). Or, il existe une trace dont nous connaissons l'altitude sur la figure 6 (la ligne 1) : elle résulte de l'enfouissement d'une conduite qui amenait l'eau par gravité jusqu'au domaine depuis un canal situé dans le bois au nord-ouest du site ; cette conduite fut longtemps épargnée par les travaux d'exploitation modernes, et, en 1988, il en existait encore des restes en place. Cette trace a pour altitude 744/745 m à son point de départ (A) dans le bois, elle descend rapidement à 742/743 m (B) puis reste sub-horizontale (741/742 m en C, comprise entre 741 et 742 m en D). Or, perpendiculairement à A-C, le ferrier descend en pente douce vers la Dure au sud-sud-ouest ; vers le nord-est, il reste à peu près horizontal, puis descend vers la limite d'exploitation en tireté. De plus, des prospections ont montré que l'altitude du ferrier aux points E et F devait être voisine de 739 m, et que la pente entre F et la Dure en G devait être de 30 à 35 cm/m et s'accentuait vers l'ouest (Fig. 8-c ou 8-d) pour atteindre 40 à 45 cm/m. Il est donc impossible, depuis la prairie située sous Montrouch, de voir la zone délimitée par les points A à G et





la Dure sous la forme que présente la zone ZB de la figure 5 : si c'était le cas, sa limite supérieure devrait, vers la gauche, " plonger " vers la Dure dont l'altitude n'est que de 729 m à l'ouest de la zone.

En revanche, il est vraisemblable que le bas de la pente sous Montrouch (ligne BP de la figure 5) correspond à la limite nord du ferrier. Il doit aussi y avoir correspondance entre les lignes de rupture de pente R2 et R3 de la figure 6 et de la figure 5. La portion du chemin C1 qui oblique vers le sud est ce que l'on voit au-dessous du massif végétal LB de la figure 5. Ce massif végétal apparaît aussi sur le croquis d'interprétation de la figure 6, où il est marqué semblablement LB. Sur la figure 5, il se trouve dans la même direction que deux grands arbres (S), au nord du bois, dont la base est cachée par la zone comprise entre les lignes R2 et R3. Les arbres S ne peuvent correspondre qu'aux ensembles S1 ou S2 de la figure 6. Si cette hypothèse est bonne, l'objectif de l'appareil photographique devait nécessairement se trouver dans le voisinage immédiat de ligne D1 ou de la ligne D2.

Nous avons essayé de retrouver les fossés de drainage, visibles aux premiers plans de la figure 5. Des fossés semblables existent encore à l'heure actuelle : ils sont localisés au nord-est de l'embranchement de la RD 62 et du chemin d'exploitation «cx» qui existe toujours. Certains semblent

se prolonger vers l'ouest, sous les amoncellements de déchets et le chemin d'exploitation. Il a donc pu exister des fossés sous les remblais qui forment le chemin d'exploitation, et au nord de celui-ci. En effet, toute cette zone a fait l'objet de travaux postérieurs à 1935 : épandages de rebuts et construction d'une digue pour éviter la pollution de la Dure par ruissellement (ce sont ces travaux qui sont à l'origine des zones humides qui apparaissent en sombre sur la photographie de la figure 6 dans ce secteur). On peut donc étendre la zone de prise de vue possible, vers le sud-est, jusqu'au chemin de desserte du domaine et, vers l'ouest, au moins jusqu'à la bande blanche («bb» sur la figure 6). Cela ne permet donc pas de lever l'incertitude entre D1 et D2. En revanche, on peut envisager une vue prise de plus près, de façon qu'elle soit compatible avec l'identification de la zone ZB de la figure 5 à la zone ZB de la figure 6 : la pente apparente de la limite supérieure de la zone ZB correspondrait alors à la partie visible d'un secteur dont l'altitude décroît de droite à gauche, mais dont les points situés le plus à gauche sont plus proches du point de prise de vue et se trouvent à des altitudes supérieures. La zone plus foncée ZA, sous la zone ZB de la figure 5, correspondrait alors à la zone ZA de la figure 6. La qualité du cliché ne permet pas de décider s'il s'agit d'une zone boisée ou en cours d'exploitation. Dans les deux cas, le front de taille visible sur la figure 5 correspondrait à une partie du ferrier seulement : soit celui-ci présentait à l'origine une " langue " qui s'étendait plus à l'est, soit la zone ZA figure un secteur déjà exploité, ce qui aurait eu pour effet de faire apparaître là une carrière dans le dôme primitif (fig. 8-a et 8-d).

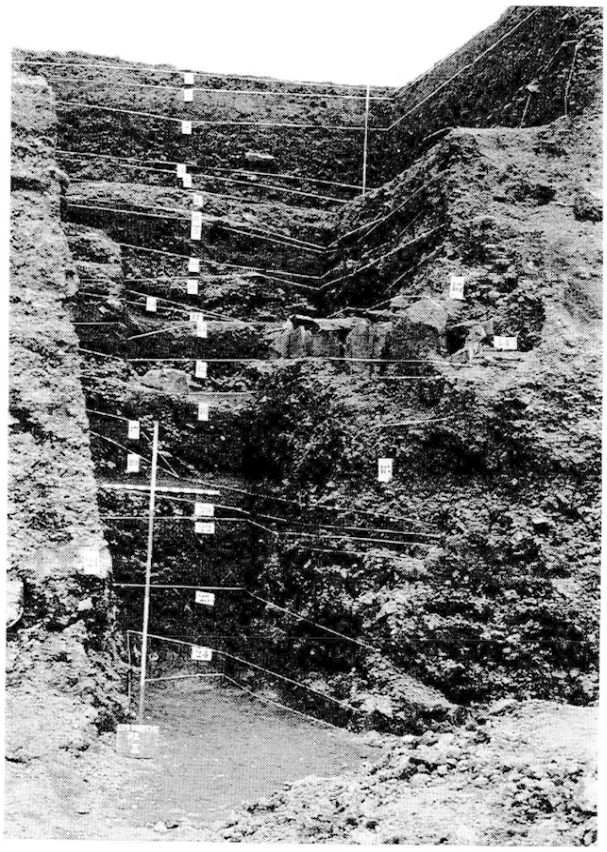


Fig. 7 : Sondage stratigraphique effectué dans le Grand Ferrier en juillet 1972. Hauteur de la coupe : 6,20 m.

1944, la hauteur de ces arbres, dont l'ombre portée par rapport à celle des bâtiments de hauteur connue permet une estimation, implique une plantation antérieure aux années 1930. Pour que le front de taille visible sur la figure 5 montre une coupe quasi nord-sud de la totalité du ferrier, il faudrait donc que cette photographie soit antérieure à 1930. En effet, si c'est bien la totalité du ferrier qui était visible, la zone ZB (fig. 5), de couleur claire, ne saurait être autre chose que la pente sud du ferrier, que l'on distinguerait jusqu'aux abords de la Dure. Or, étant donné la forme du ferrier, il faudrait, pour que cette surface soit visible sur la photographie, que le cliché ait été pris depuis un point suffisamment au sud. Dans ce cas, pour avoir une prairie au premier plan, il faudrait que le point de prise de vue se trouve soit au sud-est de la prairie, au sud de Montrouch, soit sur une hauteur à l'est des bâtiments des Forges, qui devraient alors être visibles, ainsi que la RD 62. De plus, depuis ce dernier emplacement, la ligne d'horizon sud-ouest devrait rencontrer le bois situé au nord-ouest beaucoup plus au nord. D'autre part, dans ce même article de 1935, une autre photographie montre la trémie de chargement des scories et, en arrière plan, un pan du front de taille. Cette trémie devrait donc être visible sur la figure 5, car il est peu vraisemblable que les deux photographies ne soient pas contemporaines. Or, sauf un poteau et une portion de toit, on ne voit pas de construction sur l'image.

Nous avons donc repris l'examen de la photographie de la figure 5, en minimisant les contraintes, c'est-à-dire en ne tenant compte ni de la présence probable du bois de sapins, ni de celle de la trémie. Comme on le constatera en se reportant au commentaire qui accompagne les figures 5 et 6, cet examen nous a conduits à considérer que le cliché avait été pris plus près du ferrier qu'on avait pu le penser d'abord et, par conséquent, que le front de taille qu'il représentait était plus réduit.

De façon à préciser le lieu de prise de vue, nous avons fait plusieurs simulations, en supposant que la photographie avait été prise sans redressement de perspective (autrement dit, sans décentrement ni bascule de l'objectif). Une photographie est une projection conique, qui ne conserve ni les angles ni les rapports de distances, mais il est possible, dans l'hypothèse invoquée, de calculer une conversion de repère entre les coordonnées et les altitudes Lambert et un repère arbitraire pris sur un agrandissement donné du cliché. La connaissance de quelques points suffit pour déterminer, par approches successives, les caractéristiques de la prise de vue, si l'on considère les déformations de l'objectif comme négligeables. De plus, il est probable que le poteau de la construction visible sur la figure 5 est vertical, ce qui permet de confirmer l'exactitude de l'inclinaison axiale de l'appareil (2°) calculée. Cette méthode a permis de fixer l'altitude et l'emplacement de l'objectif, ainsi que le champ «horizontal» couvert par l'image : ce sont les deux flèches «Ch» de la figure 6. La conversion inverse n'est possible que si au moins l'une des coordonnées Lambert du point est connue : cela a permis d'estimer la hauteur du front de taille visible sur la figure 5 en faisant des suppositions sur sa situation en plan à partir de l'altitude de sa base : bien que ses extrémités soient sur la même horizontale que l'objectif (à savoir 734,4 m) et qu'il soit par conséquent impossible de faire un calcul direct de leurs coordonnées, cela a permis de déterminer l'emplacement du front de taille - c'est la ligne noire épaisse de la figure 6 et de la figure 8-a - et les altitudes d'un certain nombre de points de passage obligés de la surface du ferrier : celles du front de taille, et aussi, avec une précision moindre, celles de la zone ZB.

Nous avons d'autre part pu établir les cotes altimétriques du sol géologique en de nombreux endroits par des relevés et des sondages sur le terrain. De plus, la présence de plusieurs ruisseaux implique une certaine pente du sol " naturel ", leurs points d'entrée et de sortie de la zone délimitée étant connus (ce sont les tracés en tireté des figures 8-b, 8-c, 8-d). Quant à la surface du ferrier, nous l'avons délimitée en nous appuyant sur les données photographi-

ques (mentionnées *passim*) et topographiques actuellement visibles : elle est de 5,5 ha (11). Nous avons alors calculé le volume du ferrier au moyen de deux méthodes : estimation de l'épaisseur en de nombreux points, et établissement d'un double système de courbes de niveaux, tous les mètres (fig. 8-b, 8-c, 8-d) (12). Toutes ces données ont été introduites dans un tableur dont chaque cellule représentait un carré de 5 mètres de côté, ce qui a permis, grâce à une macro-instruction, d'interpoler entre les données mesurées sur le terrain ou déduites des photographies et de donner une altitude à chacune des cellules. La possibilité d'observer alors un graphique en 3D de ces surfaces a permis d'affiner les interpolations afin de donner au ferrier le même aspect que sur le couple stéréoscopique dans sa partie encore présente en 1944 (13), et un aspect compatible avec la photographie de 1935 pour le reste. Il ne restait plus alors qu'à calculer le volume compris entre ces surfaces et à observer un graphique de l'épaisseur en chaque point. Celui-ci s'est révélé très proche de l'estimation directe de l'épaisseur (différence de volume par les deux méthodes de l'ordre de 10%). Les épaisseurs obtenues sont toutes compatibles avec ce qui a déjà été publié de raisonnable, et le volume minimal ainsi calculé est de 140 000 m³ (14).Ce volume est à comparer avec les 300 000 m³ indiqués par G. Vié (1937, 273), qui ignorait la présence, sous le ferrier, du bombement du socle, allongé vers l'est en forme de promontoire, que dessinent les courbes de niveau de la figure 8-b.

3 - LA MASSE DE SCORIES DU GRAND FERRIER ET LA PRODUCTION DE FER CORRESPONDANTE

Vu les mesures effectuées sur sa composition (775 kg de scories lourdes dans un mètre cube de «tout venant»), le Grand Ferrier du domaine des Forges renfermait donc une masse minimale de près de 110 000 tonnes de scories lourdes. En supposant une activité continue depuis 60/50 avant notre ère jusqu'en 260/270 ap. J.-C. (Domergue *et al.*, 1997, 123-124), cela représente une moyenne de production annuelle de 340 tonnes. En prenant comme base une production de 90 kg de scories lourdes par opération de réduction antique (15), on dénombre environ 3800 opérations par an. On peut estimer qu'aux Martys, les sidérurgistes antiques travaillaient à peu près 300 jours par an, compte tenu des conditions climatiques de la région. Cela correspond au nombre arrondi de 13 réductions par jour, ce qui nécessitait l'existence, en permanence, d'au moins 26 bas-fourneaux s'ils fonctionnaient un jour sur deux (16).

Quant à la production minimale de fer pendant toute la durée de l'activité du site, elle se monte, compte tenu des chiffres de base rappelés dans l'introduction, à quelque 36 000 tonnes, soit 375 kg par jour en moyenne pendant 320 ans.

II - LE FERRIER DE MONTROUCH

Un second secteur d'activité métallurgique est situé à quelque deux cents mètres à l'est du Grand Ferrier, sur le versant méridional d'une butte sur laquelle se trouve la ferme de Montrouch (XIXe siècle). Le site a fait l'objet d'un premier sondage stratigraphique dans les scories en 1978 (Domergue *et al.*, 1993, 108-121) et de cinq campagnes de fouilles de 1993 à 1995 (Domergue, 1994, 1995, 1996). Ces travaux ont permis d'une part de mettre au jour, sous une couche de scories de la fin du Ier siècle avant J.-C. (= scories «augustéennes»), une batterie de six bas-fourneaux (60/50 - 30/20 avant J.-C.), d'autre part de caractériser assez précisément l'atelier de Montrouch et de le distinguer nettement de celui du Grand Ferrier. En effet, sur bien des points, les deux zones apparaissent très différentes. D'une part, l'atelier de Montrouch a une durée de vie relativement brève (17), d'où le faible volume de scories correspondant. D'autre part, la configuration topographique locale - une pente sud-ouest assez prononcée en contrebas de la batterie de fourneaux pré-augustéens - a engendré une gestion de l'espace particulière.

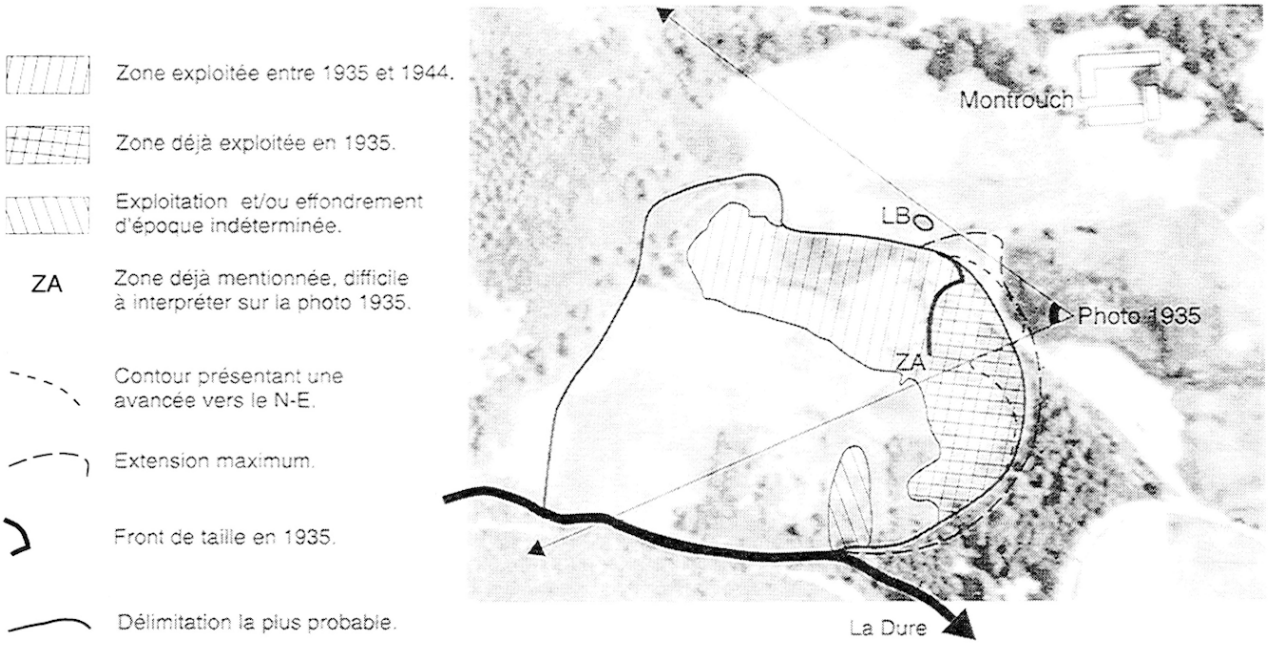
Ces deux caractères, faible volume de scories et pente naturelle relativement importante, expliquent l'enfouissement limité des structures sous des résidus métallurgiques postérieurs, ce qui a facilité le repérage et l'étude des bas-fourneaux. De plus, l'exploitation moderne des scories, tentée dans les années 1960 au pied de la butte, avait immédiatement cessé en raison de l'omniprésence de gros blocs de granite et d'agrégats de scories très durs, cimentés par les oxydes de fer. A Montrouch, nous possédions donc un atelier métallurgique indépendant du Grand Ferrier, peu perturbé par les travaux modernes et d'une extension limitée, conditions idéales pour envisager son étude globale.

En 1994, une évaluation générale du site fut programmée afin de mesurer l'extension du ferrier et de repérer les bas-fourneaux augustéens (18), ainsi que d'éventuelles structures liées à l'atelier.

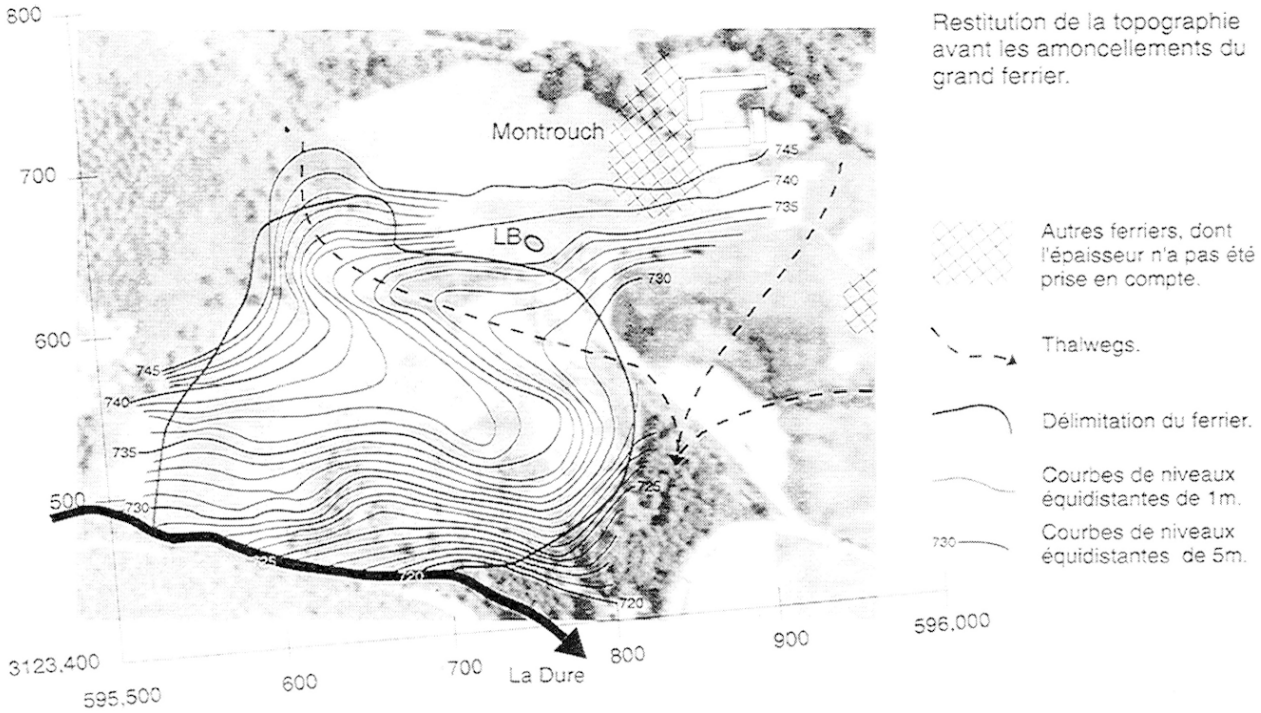
1 - LES TRANCHÉES D'ÉVALUATION

L'évaluation s'est faite par le biais de onze tranchées (fig. 9) creusées à la pelle mécanique (19). Ces sondages ont tout d'abord confirmé la présence de scories au nord du chemin et à l'ouest de la ferme de Montrouch, mais ils ont aussi contribué à mieux délimiter la butte-crassier étudiée par les sondages de 1978 et 1993 (fig. 9). En effet, les déchets métallurgiques ne sont pas présents de façon continue du nord au sud de la zone étudiée. Il y a une interruption sur le replat naturel qu'emprunte aujourd'hui le chemin de la ferme. Ce replat est d'ailleurs déjà perceptible à l'ouest, dans la première tranchée, secteur qui n'a été per-

(11) Les chiffres publiés antérieurement - jusqu'à 15 ha (J. Demarty, 1923, 120) - sont tout à fait erronés.
(12) Les courbes de niveau «sans le ferrier» (fig. 8-b) sont celles du sol géologique estimé.
(13) S'il n'a pas été possible de déterminer les altitudes absolues d'après les couples stéréoscopiques, nous avons pu estimer les pentes avec une marge d'erreur raisonnable.
(14) Toutes incertitudes cumulées, les calculs conduisent à un chiffre compris entre 140 000 et 200 000 m³.
(15) Voir *supra*.
(16) 39 s'ils fonctionnaient un jour sur trois, comme cela a été parfois envisagé.
(17) Tout le mobilier archéologique recueilli montre qu'il n'a fonctionné que durant la deuxième moitié du Ier siècle av. notre ère.
(18) Les scories «augustéennes» proviennent obligatoirement d'autres fourneaux qui n'ont pas été repérés mais qui doivent se trouver à quelque trente ou quarante mètres au nord.
(19) Des contraintes naturelles, la topographie et le couvert végétal (vieille hêtraie à préserver) ont imposé des tracés peu rectilignes, mais, dans l'ensemble, l'évaluation a pu se faire convenablement. Huit tranchées, orientées nord-sud, ont été ouvertes à l'ouest de la batterie de bas-fourneaux pré-augustéens, six au nord du chemin et deux au sud; une petite tranchée a été creusée au nord de l'atelier, tandis que deux courtes tranchées et un sondage ont été effectués respectivement au nord de la ferme et dans la cour même du bâtiment.

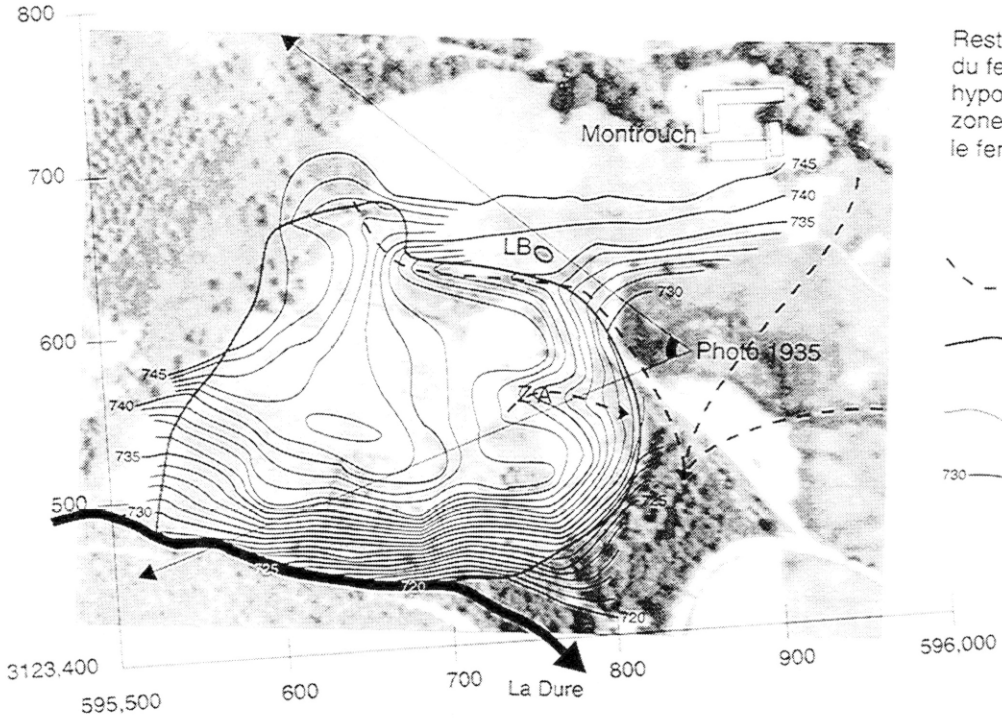


a



b

Fig. 8 : Restitution des courbes altimétriques avant et après les entassements de scories du Grand Ferrier. - a) Les étapes de l'exploitation moderne du Grand Ferrier. - b) Restitution de la topographie du site avant les amoncellements de scories romaines. - c) et d) deux hypothèses de reconstitution de la topographie du Grand Ferrier avant l'exploitation moderne.



Restitution de la topographie du ferrier avant l'exploitation: hypothèse minimale, et où la zone ZA est un thalweg dans le ferrier (142 000m³).

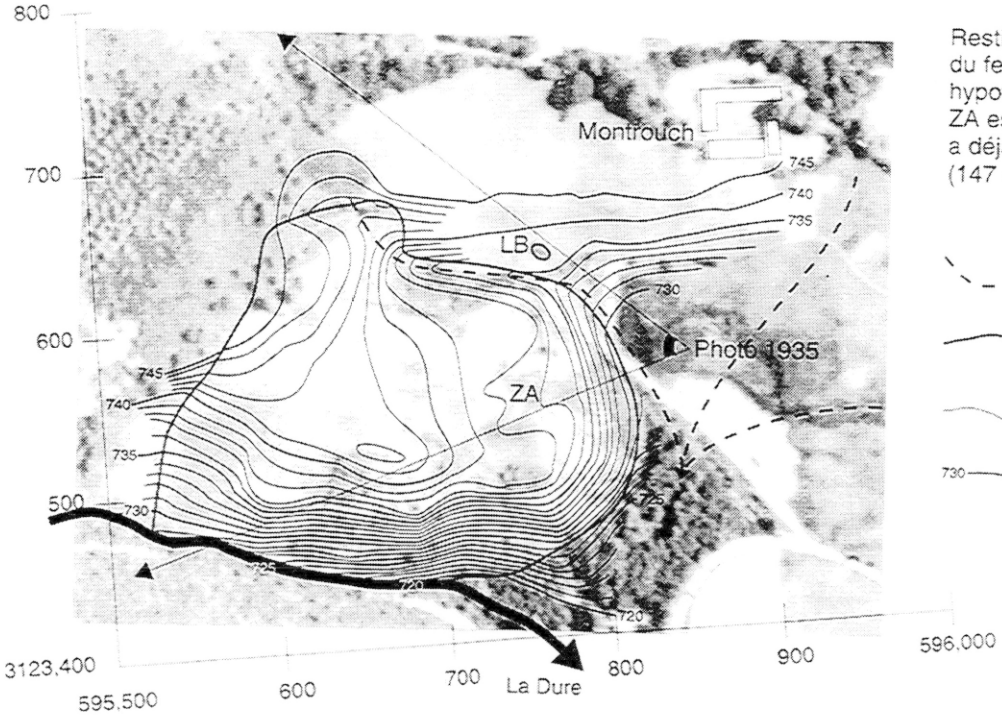
Thalwegs.

Délimitation du ferrier.

Courbes de niveaux équidistantes de 1m.

730 Courbes de niveaux équidistantes de 5m.

c



Restitution de la topographie du ferrier avant l'exploitation: hypothèse basse où la zone ZA est une zone du ferrier qui a déjà été exploitée en 1935 (147 000m³).

Thalwegs.

Délimitation du ferrier.

Courbes de niveaux équidistantes de 1m.

730 Courbes de niveaux équidistantes de 5m.

d

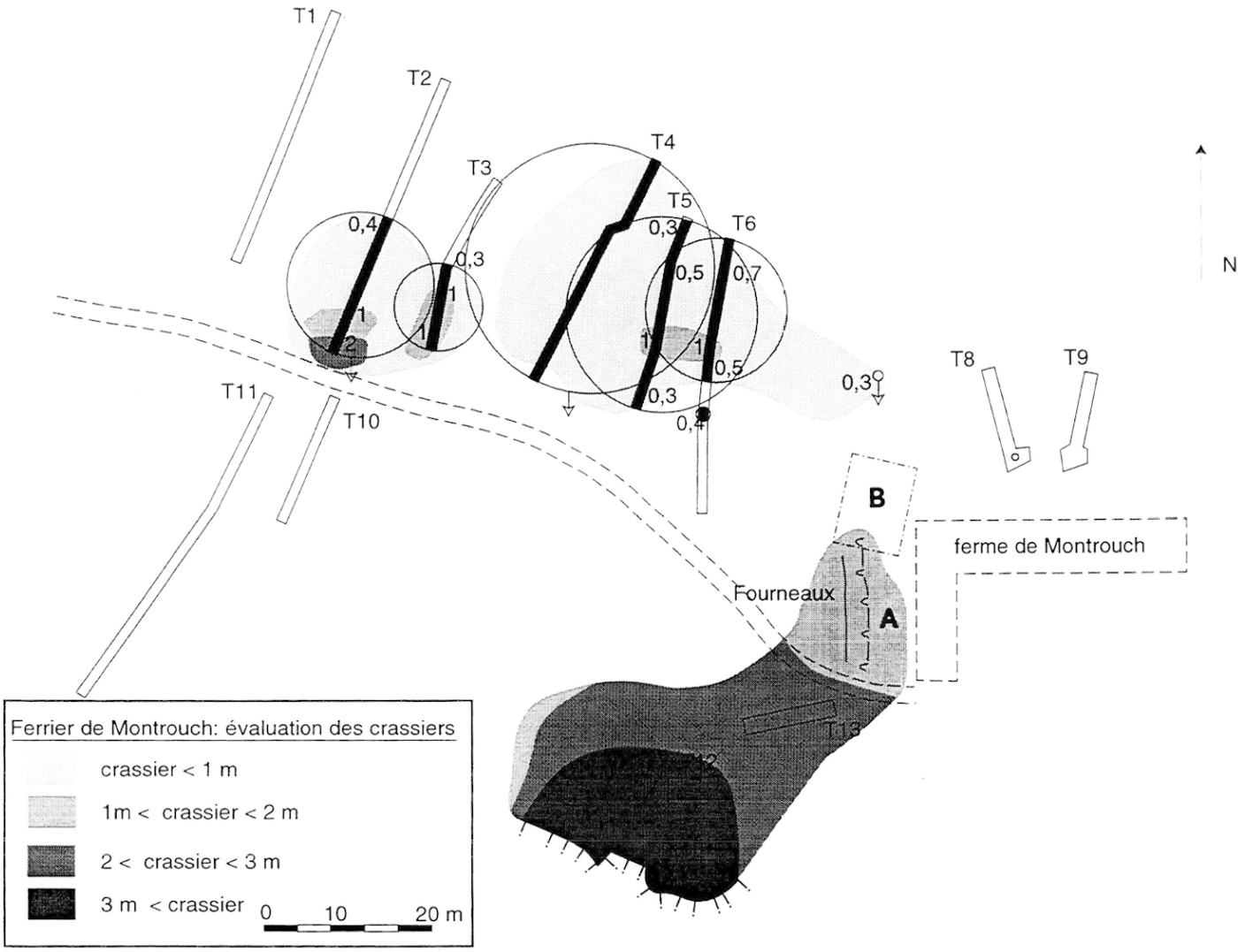


Fig. 9 : Montrouch : en bas, le crassier dépendant de la batterie préaugustéenne de bas-fourneaux (A). Dans la moitié supérieure de la figure, les amas de scories repérés au nord du chemin Montrouch-Laprade grâce aux tranchées de prospection (T1, etc.). En (B), l'emplacement d'une «cabane de chantier» antique.
Les indications telles que 0,3 etc. signalent l'épaisseur (en mètres) des amas de scories.

turbé ni dans l'Antiquité ni à l'époque moderne. De même, les amas observés à l'extrémité sud de la deuxième tranchée s'interrompent sous le chemin. Ces compléments d'information sur l'extension de la zone de dépôt de scories à Montrouch permettent d'entreprendre l'évaluation quantitative de la production.

2 - L'ÉVALUATION DE LA PRODUCTION

Les stratigraphies relevées dans les tranchées indiquent de façon précise les altitudes et les pentes tant du terrain naturel que des amas de scories, ainsi que l'extension de ces derniers. Bien sûr, ces données demeurent partielles et ne constituent que des éclairages ponctuels à l'échelle du site. Elles ont dû être extrapolées pour permettre l'évaluation globale des résidus métallurgiques de l'atelier de Montrouch.

Cette extrapolation a été effectuée en deux étapes. La longueur de chaque amas de scories recoupé par les tranchées a été considérée comme le diamètre d'un cercle qui a été reporté systématiquement sur le plan.

Ce premier report, compte tenu de l'épaisseur des amas de scories, de leur pendage et des recoupements de cercles, a dégagé des tendances que l'on peut dessiner sur le plan. On obtient ainsi une cartographie des crassiers avec les indications ponctuelles d'épaisseur relevées dans les sondages. Cette extrapolation ne concernant que les espaces entre les tranchées, la marge d'erreur est difficile à calculer, mais nous paraît raisonnable.

Pour l'évaluation de la production, il ne reste plus qu'à calculer le volume des résidus, en se fondant sur la surface probable et l'épaisseur des crassiers identifiés. On obtient ainsi les résultats suivants, concernant le volume des divers ensembles observés (fig. 9, tab. 1).

A l'aide des observations effectuées lors de l'expérimentation de 1991 (90 kg de scories lourdes et au moins 30 kg de fer produits par une opération de réduction) et en utilisant le chiffre de 775 kg de scories lourdes par m³ de ferrrier «tout venant», il est désormais possible de convertir ces volumes de résidus en chiffres de production :

Compte tenu du volume de scories et par suite du tonnage de scories lourdes évalués pour la période préaugustéenne (*Cf.* tab. 2), le nombre d'opérations nécessaires à cette production est de 24 833. Ce nombre, qui correspond à une période d'activité d'une trentaine d'années, implique près de trois opérations de réduction par jour, au

Secteur	Volume (en m^3)	Chronologie
Zone T2/T3	345	Indéterminée (20)
Zone T4/T6	637	Indéterminée
Scories recouvrant la batterie	211	Epoque augustéenne
Butte de scories provenant de l'activité de la batterie	2884	Epoque pré-augustéenne (60/50 - 30-20 av. J.-C.)
Total Montrouch	4077	60/50 av. J.-C. - 0

Tab. 1

	Epoque pré-augustéenne	Epoque augustéenne	Epoque indéterminée	Total 60/50 av. J.C.- 0
Ferrier (m^3)	2 884	211	982	4077
Scories lourdes (tonnes)	2 235	164	761	3160
Nombre d'opérations de réduction	24 833	1822	8455	35 100
Fer produit (tonnes)	745	55	254	1053

Tab. 2

rythme de 300 jours d'activité annuelle. Or on a la chance de connaître la batterie qui a fonctionné durant cette période : elle comprend six bas-fourneaux (Domergue, 1996). Cela signifie qu'en moyenne, chacun de ces fourneaux aurait fonctionné un jour sur deux, ce qui confirme l'hypothèse émise plus haut sur le rythme de fonctionnement des fourneaux. Pour parler en termes de production, cette batterie de six bas-fourneaux aurait fourni, pendant trente ans, 25 tonnes de fer chaque année.

CONCLUSION

Ce n'est pas la première fois que l'on tente d'évaluer la production de fer d'un centre sidérurgique antique, médiéval ou moderne à partir de la masse de scories contenue par le ferrier correspondant. Ainsi M. Mangin (1992, p. 236) rappelle les tentatives effectuées dans ce sens, avec des degrés de précision divers, à Boécourt (550-650 ap. J.-C) dans le Jura suisse par V. Serneels et L. Eschenlohr (1991, p. 99-106), à la Grande Taille (Maillet, Indre) par N. Dieudonné-Glad, ainsi que sur des sites plus étendus contenant un grand nombre d'ateliers, par exemple dans le Jura Bernois (IVe siècle avant J.-C. - Ve siècle de notre ère) par P.-L. Pelet (1974, p. 810), dans le Weald (50 - 240 ap. J.-C.) (Grande-Bretagne) par H. Cleere (1976, p. 234-237), dans le Jämtland suédois (du milieu du Ier millénaire avant notre ère jusqu'au XVIe siècle) par G. Magnusson, dans les monts Sainte-Croix en Pologne (milieu du IIe siècle avant J.-C. - milieu du IIIe siècle de notre ère) par K. Bielenin. Il faut y ajouter les résultats obtenus par M. Leroy (1994, p. 43-44) à Frouard (Ve siècle ap. J.-C.) et par Chr. Dunokowski et S. Cabboi (1995, p. 122) aux Clérimois (IVe siècle avant J.-C. - Ve siècle de notre ère) dans l'Yonne.

Pour notre part, nous avons obtenu les chiffres suivants. Les deux ferriers du domaine des Forges considérés contenaient au minimum 144 000 m^3 de tout venant, soit près de 112 000 tonnes de scories lourdes. Compte tenu des résultats expérimentaux de 1991, ce dernier chiffre correspond à une production minimale démontrée d'environ 37 000 tonnes de fer, pour une durée totale de fonctionnement de quelque 320 ans.

Les calculs que l'on vient d'effectuer pour les Martys ont cependant ceci de particulier qu'ils concernent deux ferriers dont l'un (à Montrouch) était intact mais pratiquement invisible et que seuls des sondages profonds et relativement nombreux ont permis d'évaluer, tandis que le second (Grand Ferrier) n'existe plus depuis plusieurs années. Mais son importance et le prestige dont il jouissait auprès

(20) Ce terme signifie qu'on ne sait si les amas de scories concernés sont de l'époque pré-augustéenne ou de l'époque augustéenne. Mais, vu la chronologie du site, il est certain qu'ils ne peuvent appartenir qu'à l'une ou à l'autre de ces deux périodes.

des paléométallurgistes - c'était un des premiers qui eussent été identifiés en France, on rêvait sur son volume, sur sa masse, sur la production de fer correspondante, enfin sur la durée d'activitée (plus de trois siècles) qu'il représentait - rendaient indispensable son étude de ce point de vue. Nous l'avons tentée, avec les moyens et les documents dont nous disposions, et pensons avoir estimé au plus juste le volume et la masse de l'un et de l'autre ferrier, en espérant que ces résultats serviront de base à des évaluations plus étendues. Ces dernières devraient porter désormais sur l'environnement proche des Martys (le bassin supérieur de la Dure) et, à plus long terme, sur l'ensemble des ferriers antiques de la Montagne Noire. Cela permettrait de mieux apprécier l'importance de cette région parmi les *ferrariae Galliarum* mentionnées dans plusieurs inscriptions procuratoriennes sous l'Empire (Sablayrolles, 1989, 159).

BIBLIOGRAPHIE

ANDRIEUX, Ph., DOMERGUE, C., JARRIER, C., PIERAGGI, B. et TOLLON, F., 1994 - La sidérurgie antique : des fourneaux romains remis en fonctionnement dans l'Aude, *Archéologia*, **301**, 59-66.

CLEERE, H., 1976 - Some operating parameters for Roman ironworks, *Institute of Archaeology Bulletin*, **13**, 233-245.

DEMARTY , J., 1923 - Note sur les scories anciennes de la Montagne Noire, *Bulletin de la Société des Études Scientifiques de l'Aude*, **28**, 1923, 118-128.

DOMERGUE, C., CAUUET, B., LAVIELLE, E., PAILLER, J.M., SABLAYROLLES, R., SILLIÈRES, P. et TOLLON, F., 1993 - *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude)*, Paris, CNRS Éditions, 477 p.

DOMERGUE, C., 1994 - Les Martys. Domaine des Forges, dans *Languedoc-Roussillon. Bilan scientifique 1993*, Ministère de la Culture, Montpellier, p. 46.

DOMERGUE, C., 1995 - Les Martys. Domaine des Forges, dans *Languedoc-Roussillon. Bilan scientifique 1994*, Ministère de la Culture, Montpellier, 64-66.

DOMERGUE, C., 1996 - Les Martys : Montrouch-Domaine des Forges, *Languedoc-Roussillon. Bilan scientifique 1995*, Ministère de la Culture, Montpellier, 34-35.

DOMERGUE, C. et TOLLON, F., 1975 - Minerais et scories de la fonderie gallo-romaine du domaine des Forges, Les Martys (Aude), *Actes du 98e Congrès National des Sociétés Savantes (Saint-Étienne, 1973). Archéologie minière. Forez et Massif Central*, Paris, 101-114.

DOMERGUE, C., CAUUET, B., LAVIELLE, E., PAILLER, J.M., SABLAYROLLES, R., SILLIÈRES, P. et TOLLON, F., 1993 - *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude)*, Paris, CNRS Éditions, 477 p.

DOMERGUE, C., BÉZIAT, D., CAUUET, B., JARRIER, C., LANDES, CHR., MORASZ, J.-G., OLIVA, P., PULOU, R. et TOLLON, F., 1997 - Les moulins rotatifs dans les mines et centres métallurgiques antiques, dans M.-C. Amouretti, D. Garcia et D. Meeks (éd.), *Techniques et économie antique et médiévale. Le temps de l'innovation*, Paris, 48-61.

DUNIKOWSKI, Chr. et CABBOI, S., 1995 - *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, DAF, **51**, 186 p.

ESCHENLOHR, L. et SERNEELS, V., 1991 - *Les bas-fourneaux mérovingiens de Boécourt, Les Boulies (JU/ Suisse)*, Cahiers d'archéologie jurassienne, **3**, 143 p.

JARRIER, C., 1993 - *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*, Mémoire de thèse multigraphié, 2 vol., Université Paul-Sabatier, Toulouse III.

JARRIER, C., DOMERGUE, C., PIERAGGI, B., PLOQUIN, A. et TOLLON, F., 1995 - Caractérisation minéralogique, géochimique et métallurgique des résidus de réduction directe, d'épuration et de forge du centre sidérurgique romain des Martys (Aude, France), *Revue d'archéométrie*, **19**, 49-61.

JARRIER, C., DOMERGUE, C., PIERAGGI, B., PLOQUIN, A. et TOLLON, F., 1996 - Archéologie et archéométrie de la sidérurgie romaine dans la Montagne Noire au Ier siècle avant J.-C.. Le cas des Martys (Aude), *Bulletin de la Société des Études Scientifiques de l'Aude*, **96**, 11-22.

JARRIER, C., ANDRIEUX, Ph., DOMERGUE, C., PIERAGGI, B., PLOQUIN, A. et TOLLON, F., 1997 - Élaboration du fer par réduction directe : essais de reproduction des procédés antiques, *La Revue de Métallurgie. CIT/Science et Génie des Matériaux*, 691-704.

LAFFITTE, L., 1935 - Essai sur les scories de la Montagne Noire, *Bulletin de la Société des Études Scientifiques de l'Aude*, **39**, 116-150.

LEROY, M., 1994 - La sidérurgie ancienne en Lorraine et les conditions de l'utilisation du minerai oolithique lorrain en réduction directe, dans M. Mangin (éd.), *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie (Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993)*, Annales Littéraires de l'Université de Besançon, **536**, Paris, 41-47.

MANGIN, M., KEESMANN, I., BIRKE, W. et PLOQUIN, A., 1992 - *Mines et métallurgies chez les Éduens. Le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Annales Littéraires de l'Université de Besançon, **456**, Paris, 364 p.

PELET, P.L., 1974 - Une industrie bimillénaire : la sidérurgie du Jura vaudois, *Annales. Économie, Sociétés, Civilisations*, 789-812.

REBISCOUL, A., 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, dans C. Domergue (éd.), *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France Méridionale. Recherches récentes (Journées de Perpignan, 21-22 février 1987)*, Perpignan, 85-98.

SABLAYROLLES, R., 1989 - L'administration des mines de fer en Gaule romaine, dans C. Domergue (éd.), *Mineria y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterraneas y europeas (Coloquio Internacional Asociado, Madrid, 24-28 octobre 1985)*, Madrid, **2**, 157-162.

VIÉ, G., 1937 - L'utilisation des scories des anciennes «ferrières» de la Montagne Noire, *Le Génie Civil*, **61**, 273-274.