Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 54 (1992)

Artikel: L'établissement sidérurgique de Montcherand
Autor: Abetel, Emmanuel / Klausener, Max / Serneels, Vincent
Kapitel: II: Le processus sidérurgique
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835416

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

CHAPITRE II

LE PROCESSUS SIDÉRURGIQUE

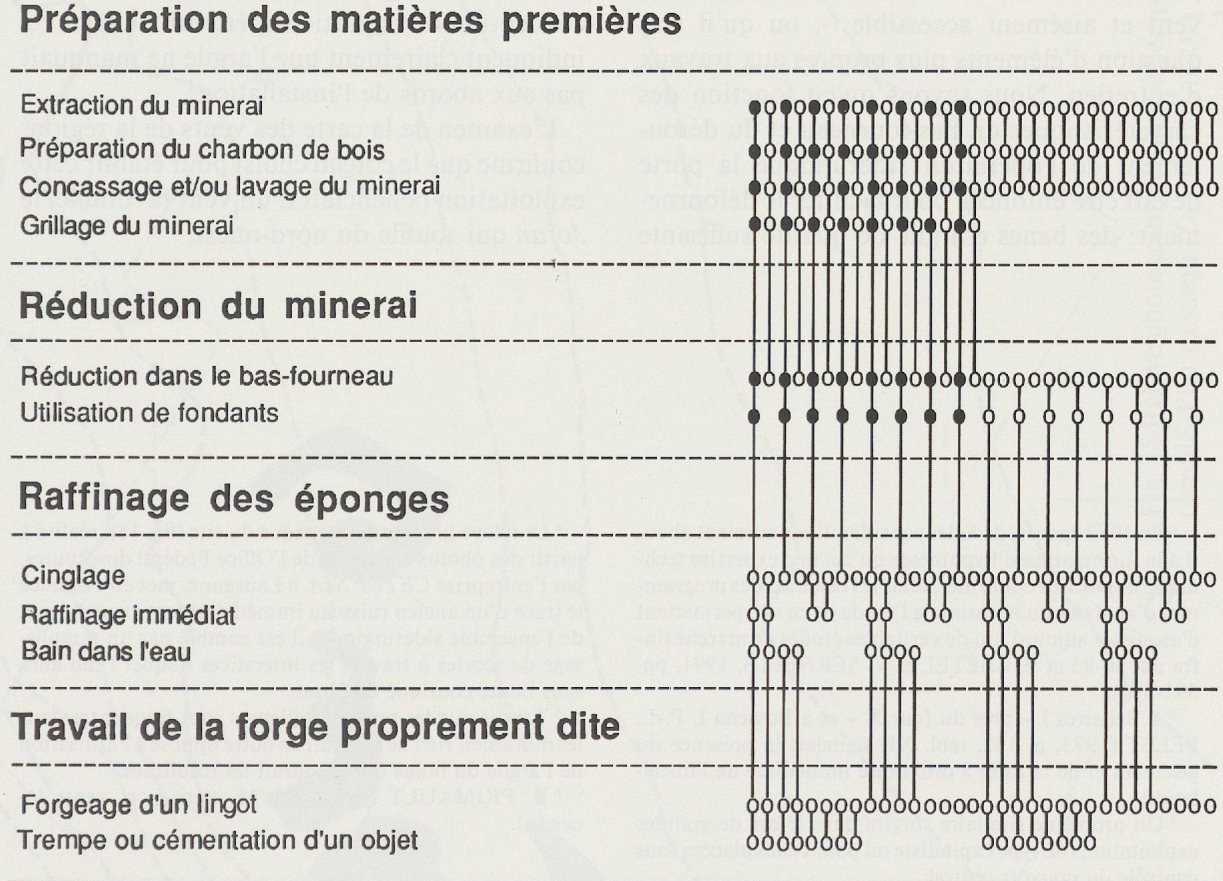
Nous décrirons tout d'abord la succession des opérations sidérurgiques au cours desquelles le minerai était transformé en fer puis en acier. Dans l'Antiquité, les dimensions du bas-fourneau étaient limitées par les difficultés à le chauffer et le ventiler, ce qui ne permettait de traiter que peu de minerai à la fois et nécessitait plusieurs unités pour assurer une production suffisante.

Au pied du Jura vaudois, malgré la dimension importante de certaines poches de sidérolithique, le rapide épuisement des réserves de bois était un obstacle à une exploitation de type industriel entendue comme celle impliquant un marché d'exportation pour écouler sa production. Dans la plupart des cas les quantités produites ne répondaient qu'aux besoins des établissements immédiatement voisins; l'existence d'un marché du fer ne fait toutefois pas de doute entre le Jura vaudois et les grands centres (infra p. 85).

1. Le travail de la ferrière

Entre l'extraction du minerai et la livraison d'objets manufacturés à leurs utilisateurs se place une série d'opérations dont la succession pourra présenter diverses variantes illustrées dans le tableau 2. L'une ou l'autre des étapes indiquées pourra manquer si elle se déroulait dans un autre endroit ou si on y renonçait: ainsi en est-il de celles des opérations qui ne sont pas attestées à Montcherand.

Tabl. 2 Cycles de production possibles (En noir, ceux susceptibles d'avoir été réalisés à Montcherand)



Aucune de ces filières ne peut être suivie jusqu'au bout, mais si certaines phases ne sont que fortement pressenties, d'autres sont obligatoires: ainsi pouvons-nous considérer que le minerai était forcément cassé – ou libéré de la matrice l'entourant lorsqu'il s'agissait de pisolithes (infra p. 39) –, puis trié par contrôle visuel ou par lavage – ou simplement passé au travers d'un crible –, avant d'être chargé avec du charbon de bois dans le bas-fourneau préalablement chauffé. L'éponge, obtenue en utilisant parfois des fondants, devait subir un martelage, indispensable pour éliminer les morceaux de scories qu'elle contenait encore, et destiné à isoler le fer dont la compression de plusieurs morceaux donnait un lingot; un nombre variable de recuits de cette éponge peut être suggéré.

Le fonctionnement d'une exploitation était lié à la distance séparant les trois centres que sont le gisement, le lieu de production et l'endroit où était écoulée celle-ci[1]. Dans le choix de ces emplacements il était indispensable de tenir compte de toutes les matières premières nécessaires au déroulement des opérations techniques, ainsi que des facteurs logistiques: qu'il s'agisse d'éléments majeurs – la mine et la réserve de bois[2] devront être aussi proches que possible d'un endroit favorablement exposé au vent et aisément accessible –, ou qu'il soit question d'éléments plus propres aux travaux d'entretien. Nous savons qu'en fonction des caractéristiques du bas-fourneau et du déroulement de l'opération sidérurgique la porte devait être enfoncée pour faciliter le défournement; des bancs d'argile de qualité suffisante pour permettre la réparation des cuves étaient nécessaires de même que des sources pour l'eau indispensable à la préparation de l'argile.

Il conviendrait encore d'évoquer la distance séparant les endroits où se déroulait une même activité qui, en cas d'exploitations contemporaines prenant trop d'ampleur, aurait naturellement posé, de façon plus ou moins prononcée, des problèmes autant lors de l'abattage des bois destinés au charbonnage que lors de la répartition du marché entre les différents producteurs[3].

La majeure partie des conditions nécessaires au fonctionnement optimal de l'installation existait à Montcherand: ainsi de grandes forêts se trouvent à 200 mètres de là de nos jours encore, tandis que le minerai provenait des gorges d'une rivière dans le voisinage immédiat et que plusieurs sources jaillissaient en contrebas de l'installation sidérurgique[4]. Les pierres ayant servi à la construction des dômes (infra p. 56) étaient extraites du talus même dans lequel étaient encastrés les bas-fourneaux. Les fréquentes réfections du glaisage intérieur des installations (supra p. 18 et tabl. 1), dans certains cas c'est même de reconstruction dont il s'agira de parler, mais surtout la conception de la partie supérieure de la cuve, indiquent clairement que l'argile ne manquait pas aux abords de l'installation[5].

L'examen de la carte des vents de la région[6] confirme que le coteau choisi pour établir cette exploitation bénéficiait d'un vent favorable, le *Joran* qui souffle du nord-ouest.

---

[1] En 1983 encore, de telles considérations auraient abouti à la formulation d'hypothèses qu'aucune expertise technique ne pouvait confirmer, mais les résultats des programmes d'analyses qu'occasionna l'étude de ce site permettent d'esquisser aujourd'hui de véritables études de marché (infra pp. 84-85 et E. ABETEL et V. SERNEELS, 1991, pp. 591-594).

[2] A Bellaires I – près du four X – et à Bossena I, P.-L. PELET (1973, p. 152, tabl. XI) signalait la présence du gisement et de la forêt à proximité immédiate de l'installation.

[3] Un problème similaire surgira dans le cas de grandes exploitations de type capitaliste ou pour celles placées sous contrôle du pouvoir central.

[4] Le relevé photogrammétrique du site (fig. 18), réalisé à partir des photos aériennes de l'Office Fédéral des Routes, par l'entreprise *CETOP S. A.* à Lausanne, met en évidence le tracé d'un ancien ruisseau immédiatement au sud-ouest de l'ensemble sidérurgique; il est comblé par un remplissage de scories à travers les interstices duquel l'eau aura sans doute continué de filtrer.

[5] Tandis que les poches argileuses sont fréquentes dans les moraines, rien ne se serait en outre opposé à l'utilisation de l'argile du bolus qui entourait les pisolithes.

[6] B. PRIMAULT (1972, fig. 35 «Brises et vents locaux»).

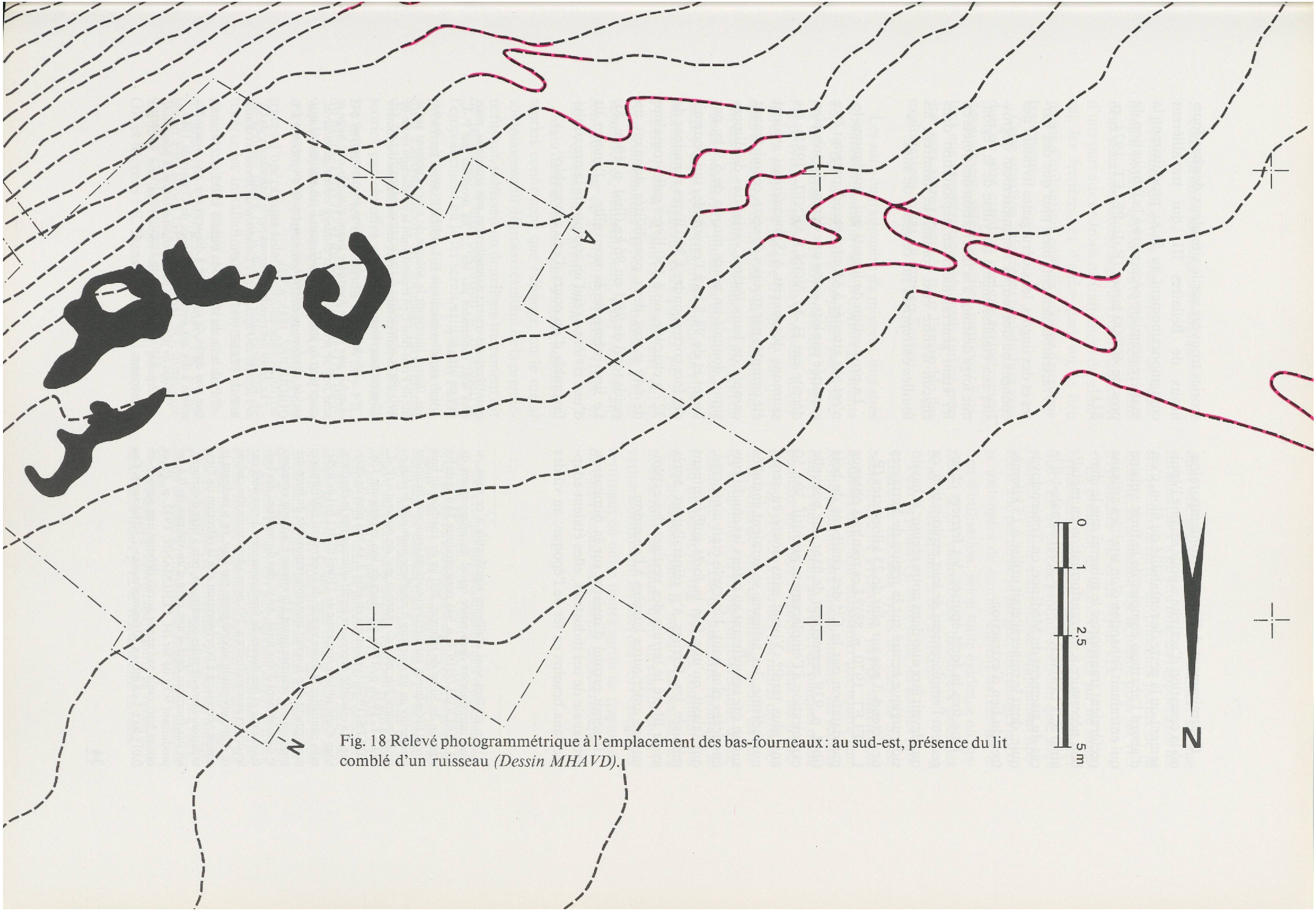


Fig. 18 Relevé photogrammétrique à l'emplacement des bas-fourneaux : au sud-est, présence du lit comblé d'un ruisseau *(Dessin MHAVD)*.

Contrairement à l'époque contemporaine, où la cessation d'activité a pour origine l'épuisement ou la perte de rentabilité du filon, c'est d'abord l'abattage complet de la forêt voisine qui entraînait l'abandon d'un site[7]; les artisans préféraient transporter le minerai que le charbon nécessaire à sa transformation en métal[8]: ainsi R. PLEINER (1977, p. 109) signale-t-il le cas du gisement de Měděnec, en Tchécoslovaquie, dont le minerai était utilisé à 15 kilomètres du lieu d'extraction.

Une fois la forêt épuisée, les ferriers changeaient l'emplacement de leur exploitation, ce qui devait être aisé dans notre région: le bassin sidérurgique centré sur la région de Ferreyres ne s'étend-il pas sur plus de 25 kilomètres (P.-L. PELET, 1970, p. 89)? Les résultats obtenus par datation par le C^{14} des charbons de bois (ibid. p. 93)[9] permettent de fixer une nouvelle exploitation à l'emplacement primitif, 30 à 50 ans plus tard[10]. Vivant sans doute en seminomadisme, les artisans se seraient installés sur un site remplissant au mieux les conditions énoncées plus haut. Un cycle était ainsi créé, qui faisait qu'une fois la forêt suffisamment reboisée les ferriers s'y réinstallaient après avoir libéré le terrain des vestiges des exploitations antérieures laissées à l'abandon.

Il serait erroné d'insister sur la dimension artisanale de ces industries, elles étaient adaptées aux besoins en fer de l'époque: au vu des scories trouvées sur le site, deux des bas-fourneaux de Bellaires III, qui travaillèrent contemporainement au 5e s., produisirent la matière première nécessaire à la fabrication de près de 40'000 lames (P.-L. PELET, 1974, p. 811).

Vraisemblablement, bien plus que des barres et des lingots, les sidérurgistes livraient des éponges ou des loupes sommairement dégrossies aux établissements ou villae de la région, une forge destinée à la fabrication des objets en fer étant généralement en exploitation dans chacun d'entre eux, comme le montrent les fouilles entreprises sur ce genre de sites.

La production de lingots qui, soulignons-le, n'est pas attestée à Montcherand, pouvait être exportée par lots, selon une démarche très bien décrite par H.-M. VON KAENEL (1981): les saumons découverts à *Schwadernau* avaient été comptés par groupes de seize, ce qui, tenant compte de leurs légères variations de dimensions, donnait un poids moyen de 5,9 kg par lingot et de 94,5 kg à l'ensemble, qui pourrait dès lors correspondre à 300 livres romaines de 327 g chacune, ou à 150 livres gallo-romaines de 640 g, ces deux possibilités donnant un poids total de 98,1 ou 96 kg (ibid. p. 19, n. 8). Le lieu même de la trouvaille – l'ancien lit d'une rivière – rend ici compte de la proximité favorable d'un cours d'eau navigable[11].

---

[7] Les chiffres sont d'ailleurs significatifs à ce sujet: si nous introduisons dans notre calcul les propositions de L.U. SALKIELD (1970, p. 94), pour produire 3 à 4 kg de fer à partir de 50 kg de minerai, 200 kg de charbon de bois seront nécessaires, car *« des estimations prudentes inclinent à admettre qu'un fourneau à soufflerie manuelle brûlait en poids quatre fois plus de charbon que de minerai »* (P.-L. PELET, 1973, p. 184): au cours de son expérience J.W. GILLES (1958) consomma en effet 3,34 fois plus de charbon. La quantité nécessaire serait obtenue par le charbonnage d'une surface moyenne de 110m² (0,011 ha) de forêt; sans connaître la durée exacte de l'opération sidérurgique proprement dite il serait toutefois impossible de faire des propositions réalistes quant à la vitesse à laquelle avancera le déboisement d'une forêt. Au vu des dimensions des bas-fourneaux et des durées de fonctionnement proposées par les divers auteurs (infra p. 59), nous admettrons une cadence d'une opération sidérurgique par jour, en y incluant le temps nécessaire à la préparation et à la réfection de l'installation. Dans de telles conditions, pris à titre d'exemple, un bas-fourneau doté d'une cuve d'un volume de 0,4 m³ produisant 9 kg de fer (H. FEHLMANN, 1932, p. 25) et utilisé huit mois par année aurait déboisé une surface de 0.011 ha x 3 x 8 mois x 30 fusions/mois = 7,92 hectares. Ces quantifications restent naturellement très grossières, mais elles sont confirmées par les 7,5 ha proposés par P.-L. PELET (1988, p. 37).

Voir aussi les calculs de P.-L. PELET (1960, pp. 93-94) qui, faisant intervenir le volume de scories présent sur le site de Prins-Bois I, en reconstituait la production totale de fer, qu'il mettait en rapport avec une estimation du nombre d'opérations sidérurgiques.

[8] *« ... dès les temps les plus anciens on commençait par chercher une région forestière avant d'établir une forge et sans trop se préoccuper de la distance même du minerai, parce qu'il est plus facile de transporter celui-ci que les masses de charbon qu'exigeait sa conversion en métal. »* (A. QUIQUEREZ, 1855, p. 42).

[9] Le détail des résultats obtenus par le *Laboratoire du C^{14} de l'Institut de Physique de l'Université de Berne* est donné in P.-L. PELET (1973, p. 206).

[10] Pour la fin du 16e s. P.-L. PELET (1983, p. 258) indique une durée de quatorze à dix-sept ans, qui descendra même à dix ans avec l'ordonnance de Colbert de 1669.

[11] Nous ne prendrons pas en considération la possibilité d'interpréter cette trouvaille comme un don votif par immersion.

2. Classification des sites sidérurgiques

L'examen de divers sites antiques de Suisse nous a montré qu'on trouve des scories dans deux situations archéologiques bien distinctes: d'une part aux endroits de traitement du minerai, les ferrières, et d'autre part sur le lieu même d'utilisation, où le fer subit un deuxième traitement.

Cette situation, relevée au pied du Jura vaudois où sont exploités presque exclusivement des gisements sidérolithiques, reste pour l'instant une caractéristique régionale qui ne peut être sans autre proposée pour l'ensemble des exploitations mises au jour en Europe.

Les sites de traitement du minerai, dits sites de *réduction,* sont forcément liés aux gisements donc à des formations géologiques particulières (C. SCHMIDT, 1920); toutefois, lorsque l'approvisionnement en bois le rendait nécessaire, le minerai a pu être transporté sur quelques kilomètres de la mine aux bas-fourneaux. Sur ces sites, les scories abondent et forment de grands crassiers de plusieurs mètres cubes, les haldes; dans cette catégorie, en plus du site de Montcherand figurent ceux publiés par P.-L. PELET (1973); d'autres installations de ce type sont connues en Suisse, comme à Heiligkreuz SG et, naturellement, dans l'actuel canton du Jura où A. QUIQUEREZ (1866 et 1871) en étudia un grand nombre.

Mais dans de nombreux autres endroits des scories confirment que l'éponge, ou le métal sommairement dégrossi résultant de la première fusion, subissait un deuxième traitement dit de *raffinage.* Cette opération se déroulait à l'emplacement où le fer serait utilisé, qui sait à proximité immédiate de la forge, mais sans qu'il s'agisse encore du forgeage proprement dit, ce raffinage consistant à enlever le reste des scories par chauffes et martelages successifs. De même que les oppida du Mont-Vully FR, du Mont-Terri JU et du Münsterhügel de Bâle, que le refuge de Toos-Waldi TG ou le castrum d'Yverdon VD, plusieurs villae ont restitué des traces d'opérations sidérurgiques sous la forme de scories alors qu'il n'était pas possible de repérer les installations de traitement: citons par exemple les découvertes faites ces dernières années à Colombier NE, Bussy FR, Courlevon FR, Riom GR et Biberist SO, ainsi que dans les établissements isolés de Motta Vallac GR et Morens FR. Dans le vicus de Lousonna, dont une grande partie a été fouillée, aucune installation n'a pu être mise en rapport avec les scories découvertes en plusieurs points de la localité, la situation est la même pour les vici d'Avenches VD et de Nyon VD.

La présence de scories isolées sur de nombreux sites d'époque romaine tend à prouver que c'est à l'état de produit semi-fini que, sous l'aspect informe d'une masse simplement libérée d'une partie de sa gangue, les éponges encore mélangées de scories étaient livrées sur le lieu d'utilisation: selon toute évidence on installait à cet endroit des bas-foyers pour les besoins occasionnels des artisans[12].

Pour la plupart d'entre elles, les scories provenant de ces deux types de sites de Suisse occidentale ne présentent pas de différences notables dans leur chimisme, par contre leur forme pourrait être discriminante: les scories coulées qui avaient un aspect de plaques ou de boudins sont plus fréquentes dans les ferrières[13] (fig. 31 et 32), lieu de l'opération de réduction; celles des sites de raffinage seront les seules à reprendre la forme caractéristique d'une calotte de 5 à 25 cm de diamètre épousant le fond du bas-foyer (fig. 19). Ces constatations sont possibles dans la mesure où les scories nous seront parvenues dans un état de conservation satisfaisant, les sites des deux catégories restituant en outre toutes sortes de fragments de corps fondus sans forme caractéristique.

---

[12] Des exemples du fractionnement de la production peuvent être apportés: J.-M. COUDERC (communication orale) signale un ensemble sidérurgique où le forgeage des lingots avait lieu dans un emplacement éloigné des bas-fourneaux: les saumons d'un poids de 2 à 3 kg obtenus après la fusion auraient été transportés en plaine où, au cours d'une opération de cinglage, ils étaient réunis à d'autres pour former une masse de 5 à 6 kg. DIODORE (5, 13, 1-2) décrivait en détail ce processus tel qu'il se déroulait à partir de l'île d'Elbe: *« Car ceux qui s'occupent des travaux cassent la pierre et brûlent dans certains fourneaux ingénieux les morceaux brisés. Au cours de ces travaux ils font fondre par un puissant feu les pierres et les divisent en morceaux de petite dimension, semblables dans leur apparence à de grandes éponges. Ces morceaux sont achetés ou échangés par des marchands et transportés à Dikaiarcheia ou vers d'autres comptoirs. De telles cargaisons sont achetées par quelques hommes qui, réunissant une multitude de métallurgistes, continuent de les travailler et en font des ouvrages en fer de toutes sortes. »* Nous remercions E. GRZYBEK, chargé de cours à l'Université de Genève, pour cette traduction.

[13] A ce sujet, il sera intéressant de suivre les travaux de V. SERNEELS (supra p. 13, n. 5) actuellement en cours.

3. Les matières premières

3.1. Le minerai

Le fer est un des éléments chimiques les plus abondants de la croûte terrestre, il entre dans la composition d'un très grand nombre de minéraux. Parmi ceux-ci citons:

- les *oxydes,* dont l'*hématite* (Fe_2O_3) avec 70% de Fe, et la *magnétite* (Fe_3O_4) avec 72,4% de Fe,
- les *hydroxydes,* dont la limonite ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) avec 59,9% de Fe,
- les *carbonates,* dont la sidérose ($FeCO_3$) avec 48,3% de Fe et
- les *sulfures,* dont les pyrites (FeS_2) avec 46,6% de Fe[14].

Dans certaines roches, ils peuvent former des accumulations importantes, qu'ils soient seuls ou en association; mais tous les *minéraux* dans la composition desquels entre le fer ne sont pas nécessairement utilisables comme *minerais.* C'était le cas dans l'Antiquité, où certains matériaux ne pouvaient que difficilement être traités en raison des faibles températures atteintes et de l'absence de fondants, d'autres filons étant inaccessibles par manque de moyens d'extraction appropriés.

C'est à partir de ces quatre familles que se sont formées les roches utilisables comme minerais, L. BUBENICEK (1968, p. 1024) en compte jusqu'à douze catégories. Les classifications proposées pour les minerais se différencient selon des critères qui, tour à tour pétrographiques ou visuels, sont à l'origine de fréquentes confusions.

Les minerais le plus souvent cités ont repris directement le nom du minéral ferrifère dont ils proviennent, mais leur teneur ne sera pas celle que nous aurions déduite de la formule chimique de celui-ci; il s'agit:

- des *hématites* avec 40 à 66% de fer[15]: présentes en de nombreux endroits, elles sont très manganifères, avec de fréquentes inclusions de limonites: mates d'aspect, l'espèce dominante en est l'*hématite rouge.* Généralement rocheuses ou pulvérulentes, avec une perte au feu très faible, elles sont souvent fragiles avec une porosité non négligeable;
- des *magnétites* qui ont de 60 à 68% de fer: seules à avoir un aspect métallescent, elles présentent souvent un gain au feu et sont habituellement dures, massives, compactes et difficilement fusibles;
- des *limonites* – dites aussi *hématites brunes* – qui ont une teneur variant entre 25 et 55% de fer: plutôt siliceuses, elles sont fragiles, scoriacées et poreuses, avec une teneur en eau qui occasionnera une forte perte au feu;
- des *sidéroses,* carbonates de fer avec 25 à 44% de fer enfin: massives, compactes, dures, non poreuses et présentant une perte au feu considérable, elles n'ont pas l'aspect d'un métal.

Dans le Jura vaudois les teneurs indiquées par P.-L. PELET (1973, p. 167, tabl. XIII) ainsi que celles relevées à Montcherand (infra p. 41, tabl. 4) n'atteignent que difficilement 50% et sont donc inférieures à celles recherchées pour l'approvisionnement des installations sidérurgiques contemporaines[16].

De ces minerais, trois sont connus dans nos régions (E. ABETEL et V. SERNEELS, 1987, pp. 217-218 et P.-L. PELET, 1960, p. 86) et par leur nature joueront un rôle non négligeable dans l'aspect même des installations sidérurgiques, influençant sans doute jusqu'à la forme des cuves.

L'*oolithe du callovien* – une limonite –, qui est présente aux abords du bassin de Delémont avec des lambeaux de couches allant jusqu'à l'extrémité sud-ouest du Jura: ses principaux gisements se trouvent dans le Fricktal, alors que dans le canton de Vaud on relève son existence au Mont-de-Baulmes; la *limonite valanginienne* correspondant à des sables de plage des couches du Crétacé des Jura neuchâtelois et vaudois, et qui se prolonge jusqu'à la Vallée de Joux; enfin le *sidérolithique* – lui aussi un hydroxyde de fer –, qui représente les restes d'une croûte latéritique et d'un remplissage

---

[14] L'utilisation des pyrites dans l'Antiquité reste à confirmer: courantes et riches en fer, elles auraient été difficiles à exploiter, la présence du soufre donnant naissance à un fer de mauvaise qualité.

[15] Nous reprenons les teneurs proposées par R.J. FORBES (1950, p. 381).

[16] A la fin du 18e s. les hauts-fourneaux du Jura vaudois avaient utilisé des minerais contenant 22% de fer (P.-L. PELET, 1983, pp. 116 et 118). Au début du 20e s. les grands complexes sidérurgiques ne recourent plus qu'à des minerais présentant au moins 40% de fer et vers 1980 ils ne seront intéressants qu'à partir de 50%; les gisements de Lorraine – 32,5 % –, du Luxembourg – 26-28 % – et de Czestochowa en Pologne – 30% – (L. BUBENICEK 1968, pp. 1025-1026) représentent des situations exceptionnelles.

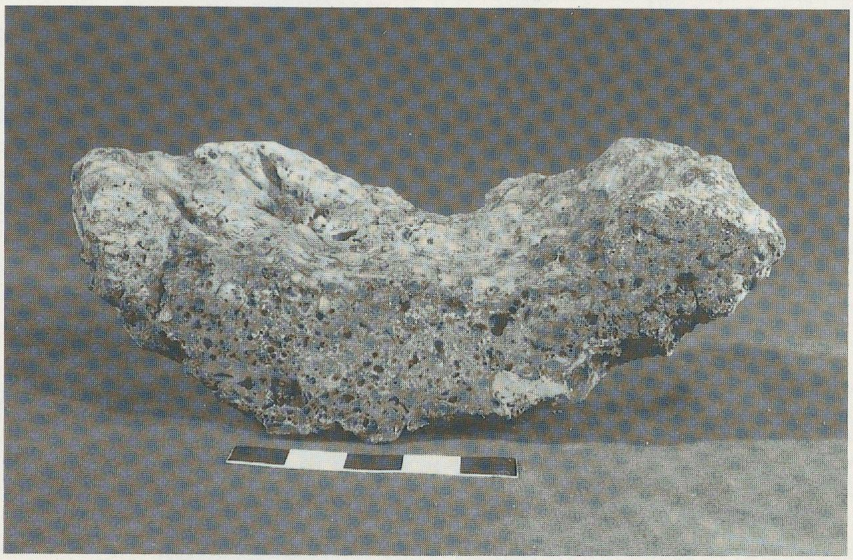
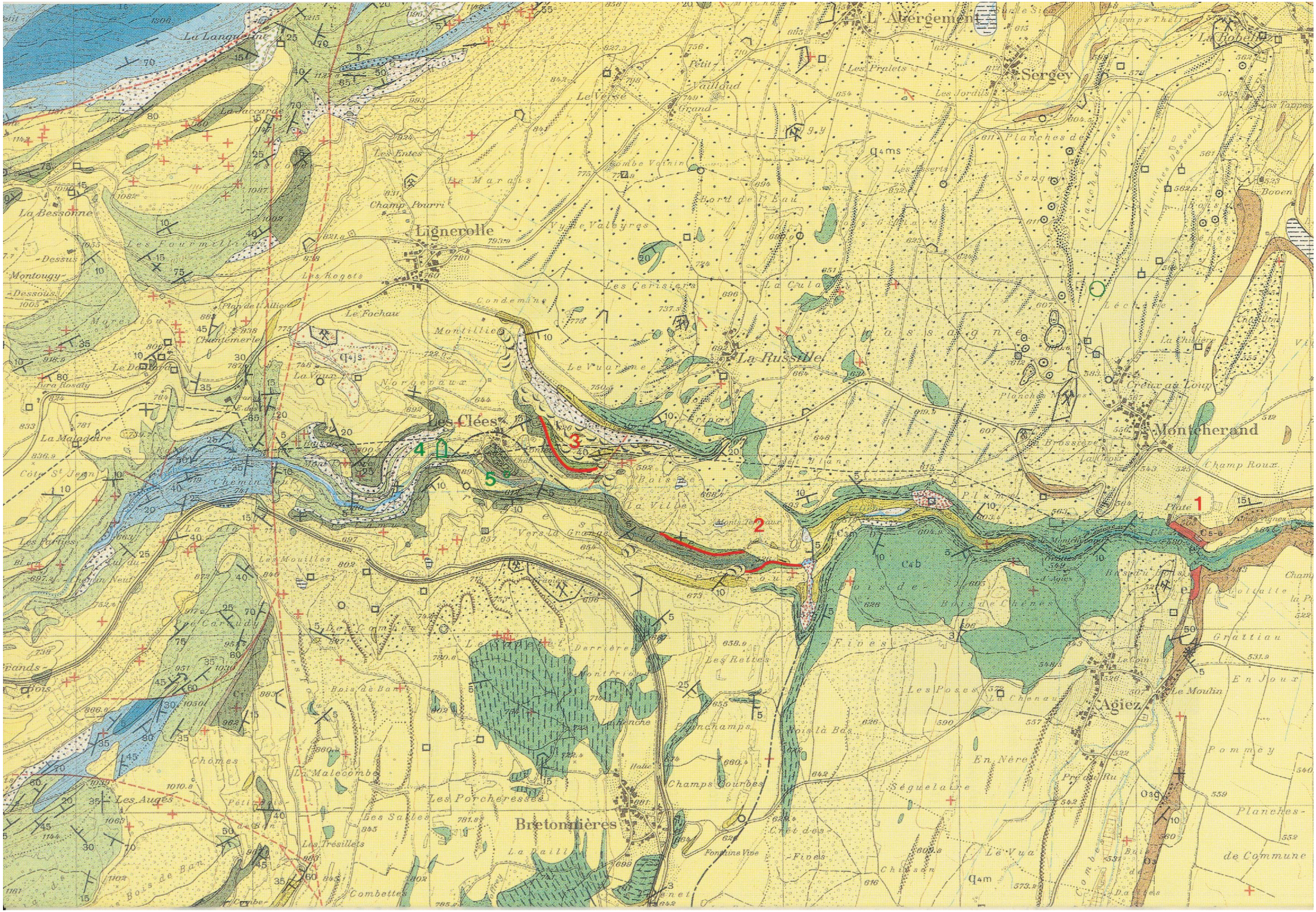


Fig. 19 Calotte provenant du fond d'un bas-foyer, sciée par son milieu : il s'agit de l'objet décrit par P.-L. PELET (1973, p. 226) et découvert à Yverdon (n° 64) sur le chantier du Technicum *(Photo IAHA)*.

Fig. 20 Minerai - échantillon n° 1 *(Photo IAHA)*.

Fig. 21 Minerai - échantillon n° 2 *(Photo IAHA)*.



L'Abergement
Sergey
Lignerolle
La Russille
Les Clées
Montcherand
Agiez
Bretonnières
1
2
3
4
5

N°	Description	Provenance Bas IIb	Fourneau V	site	Remarques	Section polie
1	Minerai			×	Sidérolithique (fig. 20). Aspect compact, couleur rougeâtre, tendant au violet: la section polie montre une grande quantité d'oxydes et d'hydroxydes de fer (iddingsite) cimentant une gangue quartzo-feldspathique fine.	×
2	Minerai			×	Sidérolithique (fig. 21). Matrice argileuse de couleur rouge contenant des pisolithes. La texture vacuolaire et l'aspect fritté de cet échantillon indiquent une première opération de grillage.	
55	Minerai				Bloc de marno-calcaire ferrugineux.	
11	Grenaille	×			Petits nodules sphéroïdaux brun-rouges d'un diamètre de 0,5 à 1 cm qui pourraient avoir subi un traitement thermique.	
12	Grenaille		×			

Tabl. 3 Examen visuel du minerai prélevé à Montcherand dans le périmètre des bas-fourneaux

karstique, et est répandu du canton de Schaffhouse à la Vallée de Joux, les gisements les plus intéressants étant ceux du canton du Jura; en sus de celle de Montcherand, les principales occurences dans le canton de Vaud sont celles du Mormont, de la colline de Chamblon et de Goumoens-le-Jux: ce dernier gisement, volumineux, massif, mais très pauvre en pisolithes, ne fut apparemment pas exploité[17].

Dans les terrains sidérolithiques on trouve des nodules – les *pisolithes* – allant jusqu'à 5 cm, composés en majeure partie d'oxydes et d'hydroxydes de fer. Ils sont généralement pris dans une masse argileuse – le bolus – contenant elle même une quantité appréciable de fer, ou forment localement des accumulations très riches sous forme d'agrégats pouvant aller jusqu'à 20 cm: il est difficile de définir avec certitude quelle est la partie utilisée par les anciens métallurgistes, mais les pisolithes lavés et triés devaient représenter le minerai le plus intéressant. Dans l'Antiquité, la majeure partie de l'approvisionnement des ferriers du pied du Jura vaudois est composée de sidérolithique (P.-L. PELET, 1960, fig. 3); les analyses chimiques du minerai ont montré qu'il était riche en silice et en alumine, pauvre en calcaire, avec environ 40% de fer (P.-L. PELET, 1974, p. 807).

[17] Des gisements d'autres natures sont aussi présents, comme par exemple en Valais, sous forme de lentilles de magnétite au Mont-Chemin, de pyrites à Aproz, de sidérite à l'Amône, ou même de chamosite à Chamoson...

◀ Fig. 22 Extrait de la carte géologique: l'apparition du minerai dans la zone de contact entre les diverses couches géologiques est parfois trop diffuse pour être représentée sur la carte *(Extrait de l'Atlas géologique de la Suisse, 1202 Orbe, reproduit avec l'autorisation du Service hydrologique et géologique national et de l'Office fédéral de topographie du 24. 5. 1991).*

A Montcherand nous sommes en présence de minerai sidérolithique *«sous forme massive et pisolithique»*[18]. Comme le montre bien l'Atlas géologique de la Suisse (feuille 1202, D. AUBERT, 1963), l'occurence sidérolithique dans les gorges de l'Orbe (fig. 22[1]), à près de 1500 mètres du site, est le gisement susceptible de l'avoir approvisionné[19] et qui par la suite (P.-L. PELET, 1978, p. 80) dut être exploité par la ferrière des Clées[20]: sa localisation n'aurait pas échappé aux artisans car la couleur rougeâtre propre à ce matériau tranchait sur celle des roches voisines.

Le sidérolithique peut avoir été exploité à même la falaise dans le ravin encaissé où coule la rivière ou a été recueilli au bord de celle-ci lorsqu'il tombait de la paroi: l'absence de traces de roulage sur les échantillons examinés indique qu'ils ne provenaient pas du cours d'eau[21]. Dans l'état actuel de la recherche, la ferrière que nous étudions est la seule à s'être approvisionnée à cet endroit.

Dans le Jura vaudois la *limonite valanginienne* est aussi présente, qui bien développée occupe le sommet du Valanginien supérieur à sa jonction avec l'Hauterivien inférieur. En raison de ses faibles dimensions, cette croûte limoniteuse riche en oxyde de fer n'est habituellement pas représentée sur les cartes géologiques: en remontant l'Orbe en amont de Montcherand, nous avons indiqué (fig. 22[2] et [3]) la jonction entre ces deux formations géologiques en aval des Clées et au nord-est du village sous la route: comme nous le verrons, il est possible que ces niveaux aient fourni du minerai aux ferriers de Montcherand.

Les résultats des analyses[22] permettent de distinguer les échantillons de minerai à leur forte teneur en oxyde ferrique (Fe_2O_3) par rapport à l'oxyde ferreux (FeO): lorsque ce dernier composé est présent, il indique un traitement thermique de grillage ou de réduction partielle, discrimination qui était d'ailleurs possible à l'oeil nu: Mo1 n'aurait subi aucun traitement préliminaire tandis que le grillage de Mo2 a éliminé une partie de l'oxyde ferrique.

Mo11 et Mo12 – de nature proche de Mo3 (infra p. 78, tabl. 12) et produits dans une partie peu réductrice du bas-fourneau – auraient été séparés des scories qui les entouraient par concassage après une réduction incomplète[23].

Mo55, riche en CaO et en CO_2, est un minerai carbonaté qui se différencie clairement des autres échantillons. Il peut correspondre aux indices minéralisés de la région des Clées (fig. 22[2] et [3]), éventuellement au produit de l'altération des roches encaissantes du gisement de Montcherand: le spectre des éléments traces est également très différent.

Sauf pour Mo55, les analyses sont celles de minerais silico-alumineux typiques du sidérolithique: les teneurs chimiques (tabl. 4 et 5) de ces échantillons correspondent à celles des pisolithes analysés par P.-L. PELET (1960, p. 88, tabl. III) et se différencient de celles qu'il avait obtenues pour la limonite et l'oolithe. Les teneurs en manganèse (Mn) sont élevées, mais très variables.

3.1.1. Le concassage

Extrait aux endroits où il affleurait, le minerai subissait une première opération de concassage au cours de laquelle il devait être cassé en menus morceaux et ensuite trié par un contrôle visuel afin d'obtenir une charge optimale du bas-fourneau; c'est sans doute leur couleur qui permettait de discriminer les parties les plus riches en métal. Peut-être subissait-il un tri par *lavage* ou par *gravité,* opération au cours de laquelle les morceaux de minerai se déposent au fond d'un déversoir selon leur poids, un procédé qu'attestent parfois des installations particulières et dont le principe, sensiblement amélioré, s'applique encore de nos jours.

---

[18] *«Comblement de grottes par remplissage karstique en milieu continental»* selon le rapport établi par V. SERNEELS du *Centre d'Analyse Minérale de la Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne.*

[19] A une plus grande distance, P.-L. PELET (1973, carte p. 9) reporte les mines de Bellaires, de la Bossena et de Baulmes. La carte des sites montre bien la densité des exploitations dans une région où l'approvisionnement en minerai était possible en de nombreux endroits.

[20] La ferrière des Clées est mentionnée dès 1438 (fig. 22[4] et P.-L. PELET, 1978, p. 52): en 1551 il faut signaler l'implantation de l'affinerie Duvillard (fig. 22[5] et P.-L. PELET, 1978, p. 81).

[21] Le minerai pourrait en effet provenir du lit de la rivière (P.-L. PELET, 1960, p. 91): une fois tombé à l'eau il s'accumule dans des marmites – les «gors» ou «gours» – cavités circulaires pouvant atteindre quelques mètres et creusées dans le rocher par le mouvement tourbillonnaire des galets.

[22] La méthode utilisée pour les analyses est décrite au Chapitre IV, p. 75.

[23] Malgré des dimensions et un aspect général fort proches, il ne nous a pas été permis de déterminer s'il s'agissait de pisolithes qui auraient subi un grillage.

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	MnO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O+	CO_2	Total
Mo1	33,53	6,48	1,16	55,92	0,00	0,40	0,91	0,49	0,11	0,11	0,65	1,17	0,62	101,55
Mo2	30,56	6,44	3,18	44,87	6,37	0,36	4,62	0,94	0,05	0,12	0,81	1,88	1,28	101,48
Mo55	3,26	1,87	32,47	35,14	0,00	0,13	0,46	0,20	0,10	0,01	0,42	0,26	25,32	99,64
Mo11	21,04	7,14	5,56	42,91	10,67	0,39	2,05	0,59	0,06	0,41	0,78	0,00	9,35	101,75
Mo12	20,08	5,29	3,19	32,40	30,79	0,29	1,82	0,59	0,08	0,38	1,00	0,00	6,30	102,21

Tabl. 4 Teneurs des éléments majeurs contenus dans le minerai, exprimées en %

	Zr	Y	Sr	Rb	Ba	V	Sn	S	Ag	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
Incertitude ±	4	1	4	1	3	10	3	3	2	9	3	8	4	4	16	7
Mo1	156	21	49	5	77	797	<5	<5	<2	412	19	146	57	289	65	210
Mo2	145	21	57	9	55	854	<5	<5	<2	370	21	147	72	258	53	161
Mo55	49	13	60	3	57	335	<5	<5	3	306	17	87	55	118	5	28
Mo11	123	26	92	23	247	845	<5	6	<2	336	56	342	69	227	61	141
Mo12	126	23	69	23	141	885	<5	8	<2	427	20	237	96	268	65	148

Tabl. 5 Teneurs des éléments traces contenus dans le minerai, exprimées en ppm

C'est non seulement afin de séparer le minerai d'une partie de la gangue qui, suivant son origine, l'entourerait encore, mais aussi pour en faciliter la fusion, qu'il était opportun de le réduire préalablement en petits morceaux[24].

3.1.2. Le grillage[25]

La formation de FeO dans l'échantillon Mo2, relevée sur de nombreux spécimens provenant d'autres sites, a permis de confirmer que les traces de rubéfaction correspondaient à une opération de grillage; les morceaux prélevés présentaient des indices de frittage corroborant la présomption d'une première cuisson destinée à supprimer l'humidité du minerai[26].

Si le grillage semble s'être imposé surtout dans le cas des minerais sulfureux[27], et selon H. CLEERE (1976, pp. 129-130) pour ceux limoniteux et carbonatés, cette opération, qui aurait pu se dérouler dans des fosses aux parois revêtues d'argile comme au Hüttenberg (infra p. 50), mais aussi sur un simple feu de bois, améliorait sensiblement le rendement des bas-fourneaux. La cuisson de la limonite ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) contribuera à en éliminer l'eau, tandis que pour les minerais carbonatés ou sulfurés elle supprimera l'excès de CO_2, respectivement de soufre. Une température de 500 à 600° sera suffisante et contribuera en outre à brûler une partie de la gangue, allégeant l'ensemble destiné à charger le bas-fourneau, l'*«enrichissant»* selon le langage des métallurgistes.

3.1.3. Le «vieux fer»

Par cette expression, tirée du langage des anciens mécaniciens, nous voulons désigner le recyclage des divers déchets ferreux qui peuvent être utilisés au cours d'opérations sidérurgiques. Cette pratique est attestée dans l'Antiquité par la découverte de masses métalliques ayant subi un premier traitement thermique et qui contenaient encore des clous et d'autres

[24] Selon H. CLEERE (1976, p. 130), de trop petits morceaux auraient toutefois pu boucher le bas-fourneau, sans qu'il en précise le format idéal; P.-L. PELET (lettre du 12 août 1989) parle des dimensions d'une noix.

[25] Alors que formellement ce terme est utilisé pour l'opération d'élimination du soufre, absent dans le minerai employé à Montcherand et où il s'agirait plutôt d'une opération de déshydratation, nous l'avons jugé plus explicite que celui de chauffage préliminaire.

S. GARILLOT (1967, pp. 95-96) décrit avec clarté le déroulement de cette opération, bien qu'il s'agisse dans ce cas d'une présentation d'installations modernes.

[26] Portant essentiellement sur des éléments volatils, en plus de l'eau cette opération éliminait aussi les matières organiques. Si, au cours des siècles, l'humidité peut avoir rétabli la teneur en H_2O, des analyses répétées viseront à confirmer l'apparition de FeO.

[27] Communication orale de Y. RIALLAND.

objets de fer usagés[28], comme à Bliesbruck, en Moselle, où les agrégats de clous à tête ronde forment des «boulets» d'oxyde de fer, aptes à une nouvelle réduction par combustion en atmosphère oxydante (C. FORRIERES et alii., 1987, p. 101).

Il est toutefois impossible de se prononcer sur d'éventuels dosages qui auraient été tentés pour obtenir des produits aux caractéristiques particulières, rappelant celles des objets récupérés.

3.2. Le charbon de bois[29]

Le rôle du charbon de bois est fondamental: combustible indispensable pour atteindre les températures nécessaires à approcher le point de fusion au cours de l'opération sidérurgique[30], il fonctionnera en outre comme agent réducteur, contribuant à fixer l'oxygène du minerai dans le dioxyde de carbone (CO_2) qui s'échappe du bas-fourneau sous forme gazeuse (infra p. 56).

Si nous nous en tenons aux données transmises par P.-L. PELET (1973, p. 184) et H. FEHLMANN (1932, p. 50) pour un bas-fourneau doté de tuyères, le rapport entre le poids du charbon de bois et celui du minerai aurait oscillé entre 4 et 7.

La présence de fosses, possible sur le site Montcherand (P.-L. PELET, 1983, p. 265), tendrait à prouver que dans l'Antiquité, pour le Jura vaudois tout au moins, c'est la carbonisation en *fosses* de faibles dimensions qui aurait été pratiquée[31]; le passage à la *meule,* que semble pourtant déjà mentionner THEOPHRASTE (5, 9, 4) repris plus tard par PLINE L'ANCIEN (16, 23), serait plutôt lié aux besoins accrus d'une sidérurgie qui dès la fin du Moyen Age applique le procédé de la fusion indirecte.

C'est peut-être à cette époque que remontaient les meules dont le fonctionnement est décrit par A. QUIQUEREZ (1871, p. 76); le charbon était fabriqué à partir de troncs débités en bûches de mêmes dimensions et groupées autour d'un mât central. L'ensemble était recouvert par une couche d'argile et de gazon, de façon à créer une enceinte thermique dans laquelle, une fois allumé par le bas, le bois n'aurait pas brûlé, mais se serait lentement carbonisé en raison du manque d'air. Dès la fin de la combustion la meule était démantelée et les bûches de charbon encore chaudes arrosées d'eau. Les branchages et les racines étaient traités de la même façon, mais étaient placés dans une fosse.

P.-L. PELET (1983, p. 259) dresse un tableau présentant les diverses essences de bois mentionnées pour les opérations de réduction; nous y ajouterons le bois de pin qui, selon PLINE L'ANCIEN (33, 94), était excellent pour fondre le cuivre et le fer. Au cours des fouilles de sites d'Europe occidentale remontant à l'époque romaine, en sus du matériau trouvé au pied du Jura vaudois (P.-L. PELET, 1973, p. 186), ce tableau signale l'exploitation de bouleau, noisetier et prunier dans le Weald en Grande-Bretagne; à Populonia, C. DAREMBERG et E. SAGLIO (1896, sv *ferrum*, p. 1087) relatent la découverte de charbon de bois de châtaignier en plus du chêne omniprésent.

P.-L. PELET (1973, p. 185) proposait avec prudence une production de 30 tonnes de charbon de bois par hectare, valeur sans doute proche de la réalité puisque d'un même ordre de grandeur que celle suggérée par L.U. SALKIELD (1970, p. 94): ce dernier précise qu'un chêne de quarante ans produit 60 kg de charbon et qu'on pourrait dénombrer 300 arbres de cette essence par hectare, fournissant 18 tonnes de combustible.

Quels que soient les rendements des diverses essences, il est certain que le charbon de bois sera d'un transport plus facile que les bûches elles-mêmes: il aura aussi un meilleur pouvoir calorifique, permettant d'atteindre des températures auxquelles on ne peut arriver par la flamme vive d'un morceau de bois, même sec: enfin, il produira un bain de braises homogène tout autour du minerai.

---

[28] Le procédé est connu dès l'Age du bronze (communication orale de M. KLAUSENER). P.-L. PELET nous a rendu attentif à la découverte de conglomérats de ce type qui s'étaient formés lors d'incendies: on verra à ce sujet le spécimen conservé au *Musée du fer* de Vallorbe (lettre du 12 août 1989).

[29] Pour un état de la question sur le charbonnage jusqu'aux temps modernes, le lecteur pourra parcourir avantageusement P.-L. PELET (1983, pp. 257-267).

[30] A. BOUTHIER (1973, pp. 155-156) signale plusieurs découvertes de houille remontant à l'époque romaine: relevons cependant que les trop fortes teneurs en soufre de ce combustible auraient difficilement permis d'y avoir recours pour le traitement du fer.

[31] P.-L. PELET (lettre du 12 août 1989) qui a reconnu le site, mentionne en effet une fosse creusée dans le sable pur et au fond de laquelle des restes de charbon de bois correspondraient à la préparation du combustible.

3.2.1. *Analyse des essences utilisées*

A Montcherand, 2735 échantillons ont été examinés: les recherches entreprises par le *Laboratoire de paléoethnobotanique du Département d'Anthropologie de l'Université de Genève* ont confirmé que c'est principalement l'essence de chêne qui a été utilisée pour ces bas-fourneaux. Comme c'est fréquemment le cas, ne serait-ce qu'à l'allumage où ils recouraient même à des racines ou des branchages pas encore secs[32], les ferriers n'ont pas hésité à employer d'autres bois, tels le hêtre, l'aulne, l'érable, le frêne, le noisetier ou l'épine noire fréquente dans la région.

1504 g de charbon de bois ont été prélevés: leur répartition par essences est donnée dans le tableau 6[33].

Dans tous les bas-fourneaux le chêne fournit au moins 90% du charbon: le I (89,9% de chêne) utilise aussi 9,8% de hêtre, le IV (90% de chêne) 6,3% d'aulne. La nette prédominance du chêne ne permet pas de mettre l'apparition d'autres essences en rapport avec un changement dans l'approvisionnement du site, elles auraient été de toute manière minoritaires dans les forêts de feuillus du piémont jurassien. Le chêne caractérisait les forêts de la région de Montcherand et est même à l'origine de leur nom: au Moyen Age la forêt de Chassagne (1141 Cassanea) s'étendait d'Orbe aux Clées (E. MOTTAZ, 1914, vol. 1, sv *Chassagne*, p. 366). De nos jours encore les massifs forestiers immédiatement au nord-est de la Léchère et sur la rive droite de l'Orbe au sud-ouest de l'établissement sidérurgique portent le nom de *Bois de Chênes*.

Si l'examen dendrochronologique (infra p. 89) des bois de Montcherand confirme la présence d'arbres âgés, le chêne pubescent même vieux de quatre-vingts ans ne dépassant guère une vingtaine de centimètres de diamètre il ne sera pas possible de proposer l'abattage de futaies: en effet, alors que P.-L. PELET (1973, p. 187) a montré la forte exploitation dont faisaient l'objet les taillis, les plantes de faibles dimensions présentent en outre de meilleures aptitudes au charbonnage (P.-L. PELET, 1973, p. 189); ces dernières auraient toutefois pu être utilisées intentionnellement en même temps que des arbres plus âgés, des dosages étant pratiqués en fonction, qui sait, des résultats escomptés lors de l'opération sidérurgique.

Les résultats obtenus par P.-L. PELET (1973, p. 186, tabl. XXIV), s'ils plaçaient le hêtre en tête des bois utilisés (44% des morceaux examinés) ne situaient le chêne qu'en deuxième position (34%) et ignoraient l'aulne. L'érable y était lui aussi relativement bien représenté (10,5%); le peuplier, l'orme et les arbres fruitiers, tels que pommiers ou poiriers, répertoriés à Bellaires, Bossena ou Prins-Bois, sont absents à Montcherand.

Ces données confirment que ce sont le chêne et le hêtre qui, en raison de leur abondance au pied du Jura et de leur haut pouvoir calorifique, avaient la faveur des ferriers[34].

3.3. *Les fondants*

Dans la métallurgie moderne, les fondants sont utilisés pour faciliter la scorification des composants non ferreux du minerai que les opérations de tri et de lavage n'auraient pas éliminés complètement; une scorie dont le point de fusion aura ainsi été abaissé sera plus vite liquéfiée, assurant rapidement l'évacuation des résidus.

Par ailleurs, dans les conditions habituelles, jusqu'à 75% du fer était perdu: il se combinait à la silice pour donner naissance à la fayalite de laquelle les moyens de l'époque n'auraient plus permis de le dissocier; les métallurgistes se seraient rendus compte qu'une manière de pallier cet inconvénient était de recréer l'équilibre entre chaux et silice en ajoutant celui de ces deux composants qui aurait fait défaut[35], un dosage de l'alumine pouvant aussi intervenir. En compensant la présence de silice on aurait évité qu'elle se fixe à l'oxyde de fer, un apport de chaux pouvant aussi contribuer à abaisser le point de fusion des scories: à l'inverse, si la gangue était calcaire, il s'agissait précisément d'y ajouter de la silice.

---

[32] A Bouhy, dans la Vallée Saint-Pélerin, A. BOUTHIER et alii. (1987, p. 264) ont découvert des empreintes de feuilles dans des scories, ce qu'ils interprètent comme la preuve de l'utilisation de bois vert lors de l'opération sidérurgique.

[33] Le poids total de 1400 g reporté dans le tableau au lieu de 1504 g ne tient pas compte du matériel provenant d'une couche commune aux bas-fourneaux III et IV.

[34] A cette époque, le charme, excellent combustible lui aussi, n'a pas encore colonisé le *querceto-fagetum* traditionnel.

[35] C'est une répartition économique des quatre constituants principaux du minerai – Al_2O_3 (présent dans l'argile), SiO_2 (sable), CaO (calcaire) et Fe_2O_3 – qui régit l'opération sidérurgique.

	Poids total	% du poids de chaque essence par rapport au poids de charbon trouvé dans le bas-fourneau				
Bas-fourneau	1400 g	I	II	III	IV	V
Chêne	1330 g	89,9% 128 g	96,2% 77 g	96,61% 834 g	90,0% 143 g	95,5% 148 g
Hêtre	17 g	9,8% 14 g		0,23% 2 g	0,6% 1 g	
Aulne	32,7 g	0,2% 0,3 g		2,59% 22,4 g	6,3% 10 g	
Erable	19 g		3,8% 3 g	0,46% 4 g	3,1% 5 g	4,5% 7 g
Frêne	0,7 g			0,07% 0,7 g		
Epine noire	0,2 g	0,1% 0,2 g				
Noisetier	0,4 g			0,04% 0,4 g		

Tabl. 6 Résultats de l'étude anthracologique

Les ferriers antiques n'auraient pu se passer des fondants que dans le cas idéal où ils utilisaient un minerai extrêmement pur, au point de fusion bas: il n'y aurait alors eu que peu de matériau à scorifier, et l'action du carbone aurait été suffisante pour obtenir le métal. Des difficultés devaient apparaître avec le recours à des minerais moins riches: agissant par empirisme alors qu'ils ignoraient les modalités du processus chimique engendré, les artisans réussirent pourtant à résoudre ces problèmes en mélangeant des minerais de provenances différentes[36] afin d'obtenir une charge de composition optimale, ou par l'adjonction de matériaux spécialement adaptés.

A. BOUTHIER et alii. (1987, p. 266) ont constaté la présence de grains de quartz dans des scories: les contours anguleux de ces inclusions indiquaient qu'elles ne pouvaient se trouver dans le minerai d'origine, mais avaient été ajoutées intentionnellement lors de la charge du bas-fourneau: la formation de cryptes d'érosion montrait bien que ces grains avaient cédé de leur substance au mélange réactionnel.

Dans une installation dont les parois étaient souvent refaites on peut se demander s'il n'eût pas été opportun d'utiliser un matériau aux caractéristiques proches de celles d'un fondant pour le revêtement intérieur de la cuve: pour A. QUIQUEREZ (1871, p. 78) les artisans antiques auraient déjà eu conscience de ce détail technique en utilisant des pierres calcaires pour construire le dôme de leurs bas-fourneaux[37] puisque ce matériau fixait le SiO_2 de la gangue.

[36] Une opération que confirment les découvertes de Montcherand, des gisements de nature différente se trouvant à proximité immédiate (supra p. 40).

[37] Ainsi en 1871 A. QUIQUEREZ écrivait-il: *«Les pierres calcaires bordant l'orifice du gueulard, se calcinaient plus ou moins durant l'opération et les parcelles, qui tombaient dans la cuve, servaient de fondant.»* Il peut être intéressant de replacer ce propos dans le contexte scientifique de l'époque: vers 1863, en effet, P. MARTIN avait mis au point un four dont la couverture de la sole aurait joué un rôle actif durant la fusion; la réduction du silicium contenu dans le sable de quartz la recouvrant exerçait une action désoxydante sur les aciers produits à partir de minerais à forte teneur en SiO_2 (50-55%), avec pour corollaire une usure rapide du fond du four; ingénieur des mines, sans doute au courant des découvertes techniques les plus récentes, A. QUIQUEREZ s'en inspira-t-il dans son interprétation des restes qu'il mit au jour?

En 1878 – huit ans après les propositions de l'auguste archéologue jurassien –, les cousins Sidney et Percy GILCHRIST réaliseront un four, dont les briques réfractaires étaient en dolomie (mélange de chaux et de magnésie), à laquelle serait venu se combiner le phosphore du bain de fonte, de la chaux étant en outre utilisée comme fondant.

Il est certes difficile d'interpréter la teneur en chaux (CaO) des scories analysées, mais dans les échantillons Mo5 et Mo13 (infra p. 76 et p. 78, tabl. 12) l'excès de CaO suggère l'usage de fondants; cette teneur inhabituelle pourrait être mise en rapport avec l'apparition d'un procédé d'enrichissement et les scories présentant de fortes teneurs de cet oxyde semblent en outre correspondre aux bas-fourneaux les plus récents[38]: nous avons vu que du minerai carbonaté est précisément susceptible de provenir d'un gisement voisin et sa gangue étant de la calcite $CaCO_3$ – un des fondants les plus utilisés de nos jours sous le nom de *castine* –, il aurait pu être ajouté au matériau de base pour améliorer les conditions de fusion de l'ensemble, dont les scories vitreuses ont d'ailleurs la coloration bleue caractéristique de la présence de CaO.

Au vu des procédés sidérurgiques modernes, nous serions tenté d'attribuer un rôle important au revêtement des cuves dans le déroulement de l'opération sidérurgique[39]: sans que les artisans s'expliquent forcément la nature des processus chimiques qu'ils créaient, auraient-ils eu recours à des argiles basiques lorsque les minerais étaient acides et inversement? Une pareille démarche, si elle ne peut être prouvée archéologiquement – le revêtement existe en fonction de son rôle premier de couverture –, doit en tout cas être prise en compte car elle aurait complété – si ce n'est même rendu inutile – le recours à des fondants.

[38] Certes les mêmes considérations que pour la chronologie des bas-fourneaux (P.-L. PELET, 1973, pp. 133-134 ou 1982b, p. 210) pourraient être faites ici: leur évolution sera influencée autant par le progrès technique que par le retour à des procédés traditionnels.

[39] Dans sa thèse P. ANDRIEUX (1990) précise le comportement et le rôle du revêtement intérieur des bas-fourneaux au cours du processus de réduction.