

Zeitschrift:	Minaria Helvetica : Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für historische Bergbauforschung = bulletin de la Société suisse des mines = bollettino della Società svizzera di storia delle miniere
Herausgeber:	Schweizerische Gesellschaft für Historische Bergbauforschung
Band:	- (1998)
Heft:	18b
Artikel:	Les scories du Mont Chemin et l'utilisation de la magnétite pour fabriquer du fer par la méthode directe de réduction
Autor:	Serneels, Vincent
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1089717

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: 24.01.2026

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

Les scories du Mont Chemin et l'utilisation de la magnétite pour fabriquer du fer par la méthode directe de réduction

Au début du XIXème siècle, lorsque l'Ingénieur des Mines Gueymard visite le Valais pour évaluer le potentiel minier de la région, il est un des premiers à relever la présence, aux environs des mines de magnétite du Mont Chemin, de nombreux amas de scories de fer (Gueymard 1814). Selon lui, la présence d'arbres de grande taille poussant sur ces débris est la preuve de la haute antiquité de ces vestiges. Par la suite, et peut-être même déjà avant Gueymard, c'est aux Romains ou même aux Celtes que la tradition attribuera la mise en valeur initiale de ces mines de fer. Depuis lors, cette opinion a été répétée par les érudits et les commentateurs. Mais, jusqu'à récemment, bien peu de faits permettaient d'évaluer l'exactitude de cette hypothèse.

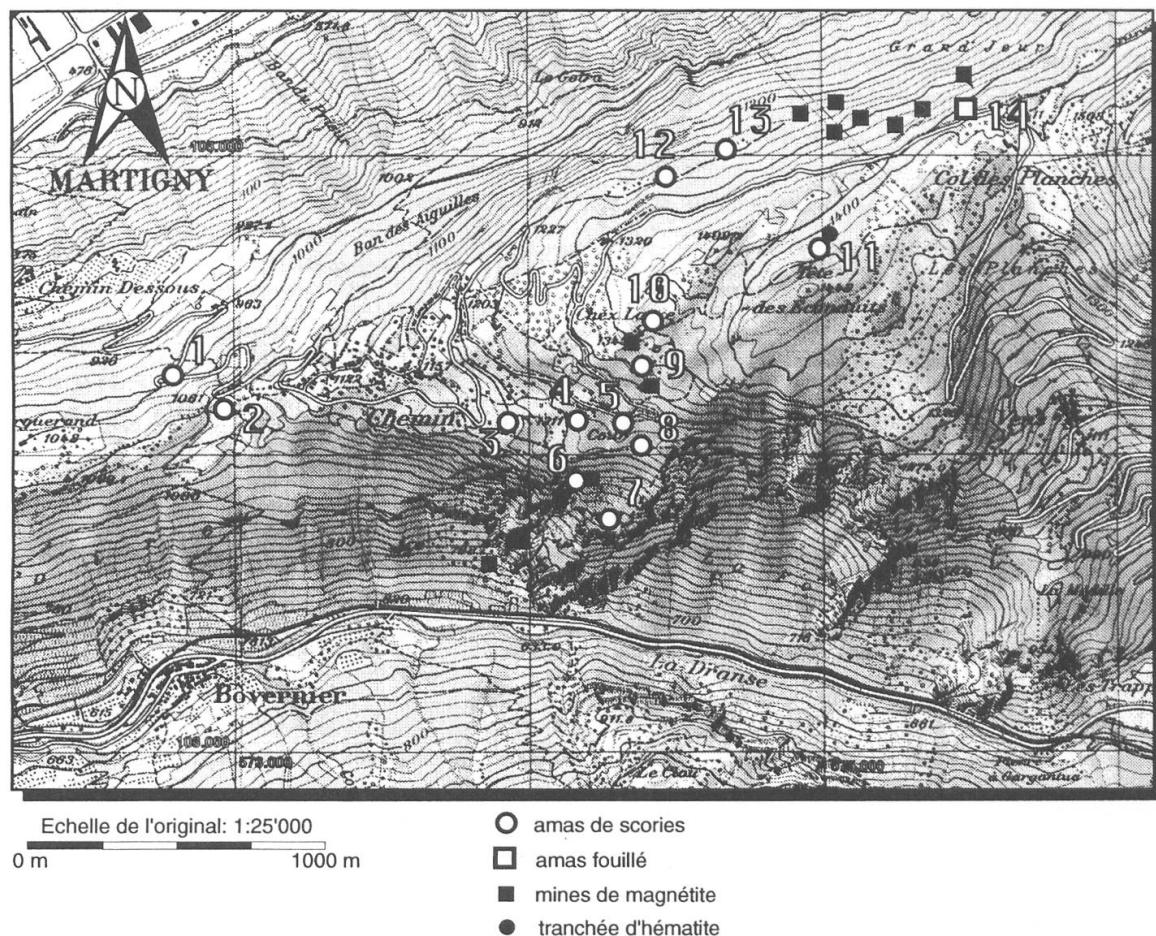


Fig. 1: Carte de répartition des anciennes mines de fer et des amas de scories du Mont Chemin. Le site du chemin du Planard est le n°14.

Les chercheurs comme les promeneurs qui parcourent régulièrement le Mont Chemin ont tous, un jour ou l'autre, observé la présence de ces scories dans les sous-bois. Par contre, ce n'est que récemment qu'une étude plus systématique a pu être lancée. Au cours de l'été 1995, grâce au soutien de M. F. Wiblé, responsable de l'Office des recherches archéologiques du Valais et de la Bourgeoisie de la commune de Martigny, il a été possible de relancer des recherches sur le terrain. C'est ainsi que Mlle. B. Beck a pu étudier ces scories anciennes, dans le cadre d'un travail de Diplôme de Géologue à l'Université de Lausanne (Beck 1997, professeur H.-R. Pfeifer et V. Serneels). Les différents laboratoires de la Section des Sciences de la Terre ont apporté leur concours à l'étude chimique et minéralogique des scories. Sur la base des renseignements existants et des indications fournies en particulier par MM. S. Ansermet, N. Meisser et P. Tissières, les scories ont été recherchées systématiquement sur le sommet de la montagne (Fig.1). Durant l'été 1995, une petite fouille a été entreprise sur un site voisin du Chalet du Planard, sous le Col des Planches, à proximité immédiate des galeries exploitées au cours de la seconde guerre mondiale. Le site est aujourd'hui intégré au parcours aménagé, le Sentier des Mines, qui permet de découvrir les différentes facettes du Mont Chemin. Enfin, plus récemment, au printemps 1998, plusieurs petits sondages ont été faits sur des amas de scories afin de prélever des charbons de bois permettant une datation par la méthode du ^{14}C en collaboration avec M. S. Reese du Physikalisches Institut de l'Université de Berne.

1 L'amas de scories du chemin du Planard.

1.1 Découverte du site et localisation

Ce sont les jeunes prospecteurs du Club vaudois de Minéralogie qui ont, les premiers, signalé la présence de scories de fer dans le talus du chemin menant depuis la route du Col des Planches en direction du chalet du Planard. La remise en état de ce chemin avait en effet mis au jour de nombreux fragments qui jonchaient le sol.

Le site se trouve à 1360 mètres d'altitude au milieu d'un versant assez raide, dominant la vallée du Rhône. Il occupait probablement un petit replat naturel mais la topographie ancienne est difficilement perceptible en raison de l'aménagement des routes modernes. L'amas de scories est tout proche de la route du Col des Planches qui est un itinéraire sans doute fort ancien. Il se trouve également à proximité immédiate d'un des secteurs miniers les plus importants du Mont Chemin (Fig.2).

Un nettoyage plus complet du talus a permis d'observer la disposition des couches de scories (Fig.3 à 5). Dans la partie centrale, les scories affleurent pratiquement à la surface du terrain mais en périphérie, on observe clairement un recouvrement par des limons bruns clairs qui scellent la couche. En surface, le sédiment est localement très cendreux et riche en charbons de bois. Il est probable que l'emplacement a été réutilisé pour y installer une meule de charbonnier.

Le niveau de scories atteint une épaisseur de 60 cm et présente un profil bombé, typique d'une accumulation volontaire de débris. A la base, le substrat naturel est

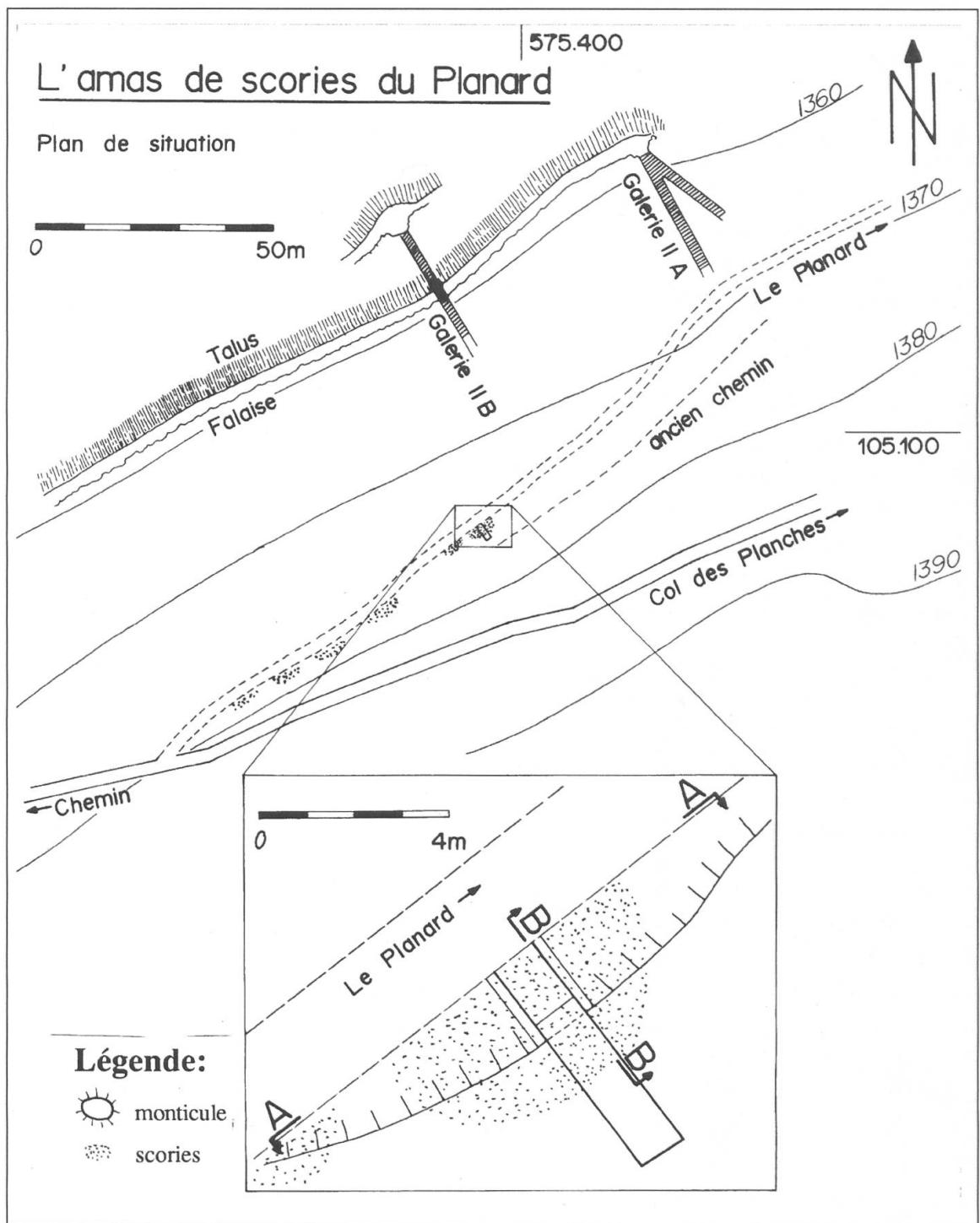


Fig. 2: Plan de situation des amas de scories du chemin du Planard et localisation des coupes stratigraphiques (Fig. 3 et 4).

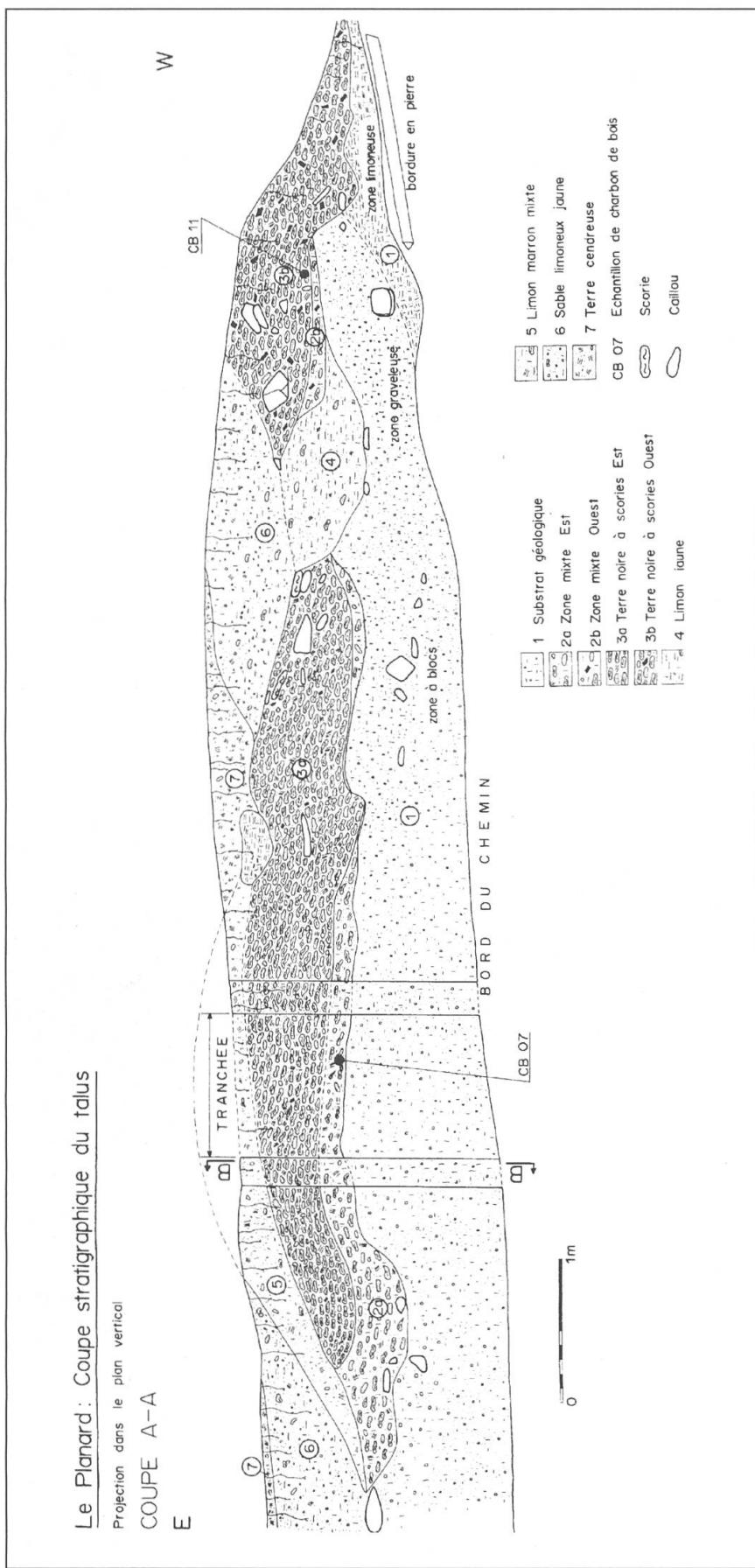


Fig. 3: Coupe stratigraphique est-ouest (A-A) le long du talus du chemin du Planard.
Dessin B. Beck.

Le Planard: Coupe stratigraphique de la tranchée, côté E

COUPE B-B

N

S

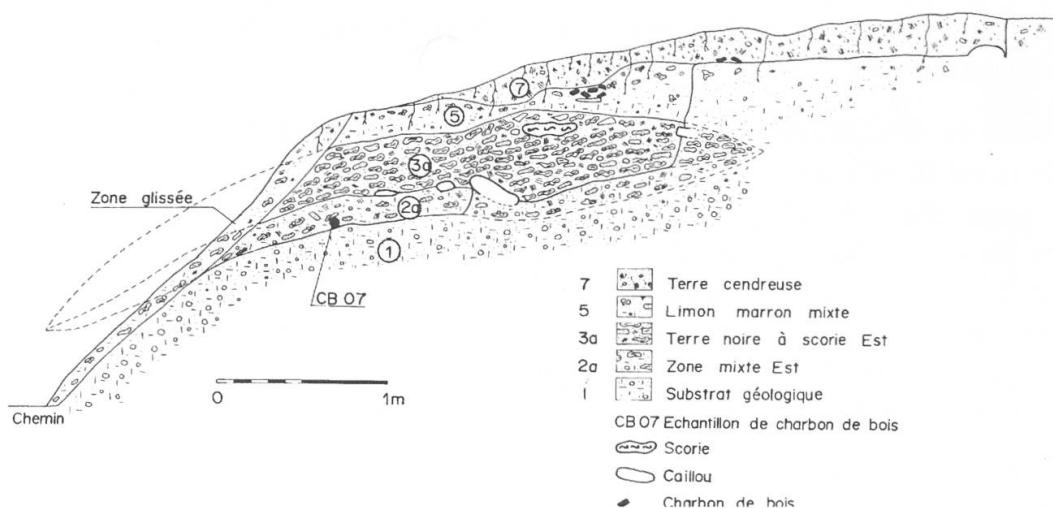


Fig. 4: Coupe stratigraphique nord-sud (B-B) perpendiculaire au talus du chemin du Planard.
Dessin B. Beck.



Fig. 5: Vue du sondage archéologique sur l'amas de scories du Chemin du Planard.
Photo V. Serneels.

constitué par une moraine. Le site a été partiellement détruit lors de la construction du chemin, mais on peut penser que la butte de scories atteignait un diamètre de 5 ou 6 mètres. Le volume total peut être estimé à une vingtaine de mètres cubes. En pesant systématiquement les déchets extraits du sondage archéologique, on constate qu'un mètre cube de sédiments contient environ 350 kg de scories. Au total, cet amas en contenait donc 6 ou 7 tonnes.

Une seconde concentration de scories apparaît nettement dans le talus. Elle est séparée de la première par une couche de limons bruns clairs plus ou moins stériles. Les deux accumulations ne se sont donc pas strictement contemporaines, mais dans un terrain présentant un relief aussi accusé, la mise en place de ces limons a pu être très rapide. En surface, aux alentours du site, on repère encore d'autres concentrations notables de scories. Elles semblent former au moins six amas distincts et couvrent en tout quelques 150 mètres carrés. Pour l'ensemble du site, la quantité de déchets métallurgiques peut donc être estimée entre 25 et 50 tonnes.

La fouille, trop exiguë, n'a pas permis la découverte d'un véritable fourneau mais de nombreux fragments de paroi en argile contenant de petits morceaux de gneiss et du sable étaient mêlés aux scories. La surface tournée vers l'intérieur du fourneau est complètement fondu et transformée. L'autre face des fragments est simplement cui-



Fig. 6: Vue d'un bas fourneau reconstitué au château de Wildegg. La reconstitution est faite sur la base des données archéologiques du site de Boécourt JU.
Photo V. Serneels.

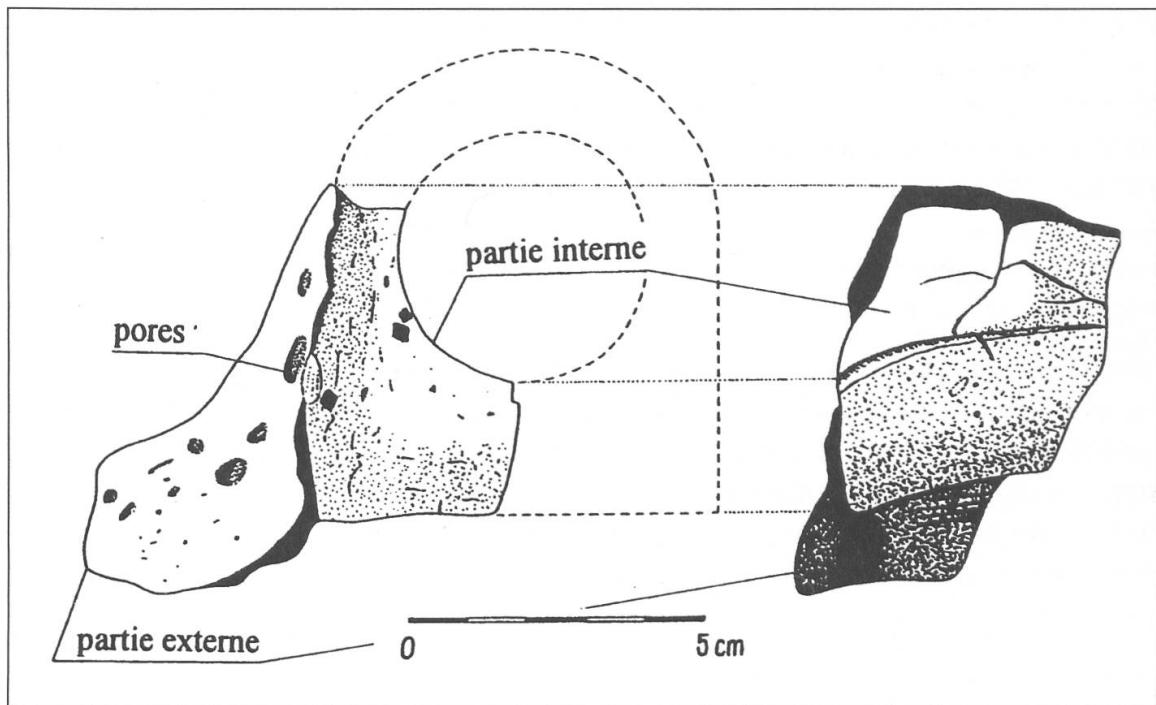


Fig. 7: Fragment de tuyère de l'amas de scories du chemin du Planard. Dessin B. Beck.

te. Les fragments ne représentent en fait qu'une partie de la paroi, celle qui a subi un fort impact de chaleur. On peut penser que ce n'est que le revêtement interne qui devait s'appuyer sur un manteau extérieur construit avec des blocs de pierre, comme c'est le cas pour les fourneaux connus dans le Jura (Pelet 1993, Eschenlohr et Serneels 1991). Les fragments conservés ne permettent pas de reconstituer fidèlement les dimensions de la cuve du fourneau ni sa hauteur. Les fourneaux du Jura vaudois eux, mesurent 150 à 200 cm de haut avec un diamètre interne de 50 cm ou plus (Fig.6). Le système de ventilation utilisé au Planard reste mal connu mais la fouille a livré un fragment de tuyère bien reconnaissable. Il s'agit d'une pièce en argile cuite, percée d'un trou et disposée dans la paroi du fourneau. Elle sert à amener l'air à l'intérieur de la cuve (Fig.7). La seule présence d'une tuyère ne démontre pas l'utilisation d'un soufflet mais c'est un argument en faveur de cette hypothèse. Le fragment du Planard n'est pas très bien conservé mais on observe que la pièce possède une base plate et que la paroi latérale semble s'incurver. Cette pièce est comparable à d'autres découvertes faites sur les sites Jura.

1.2 Les scories de fer

Les scories sont évidemment très abondantes. La plupart d'entre elles sont de couleur gris sombre et présentent la forme de coulure. Les plus typiques sont constituées par l'accumulation de cordons d'un diamètre centimétrique soudés les uns aux autres

(Fig.8). L'écoulement de la scorie se fait donc par venues successives de petits volumes séparés par un temps assez bref. Le refroidissement n'est donc pas complet et les cordons se soudent les uns aux autres. L'évacuation de la scorie est donc plus ou moins continue pendant une partie de l'opération. Quelques pièces possèdent une surface inférieure bombée qui semble moulée dans un chenal creusé dans le sol. D'autres pièces sont plus massives et ne présentent pas de forme d'écoulement aussi nette. Il est possible que ces pièces se soient solidifiées à l'intérieur du fourneau et n'ont pas pu être évacuées.

L'étude au laboratoire des scories du Mont Chemin a montré qu'elles sont principalement constituées par un silicate de fer, la fayalite (Fe_2SiO_4) et d'une proportion notable d'un oxyde de fer, la wüstite (FeO_{1-x}). En lame mince, la fayalite apparaît le plus souvent comme de grands cristaux allongés gris clairs avec de nombreuses lacunes de croissance qui lui donnent un aspect squelettique (Fig.9). Cette forme témoigne d'une cristallisation rapide. La bordure des cristaux de fayalite est souvent enrichie en calcium. Le cœur est un peu plus riche en magnésium. La wüstite, qui appa-

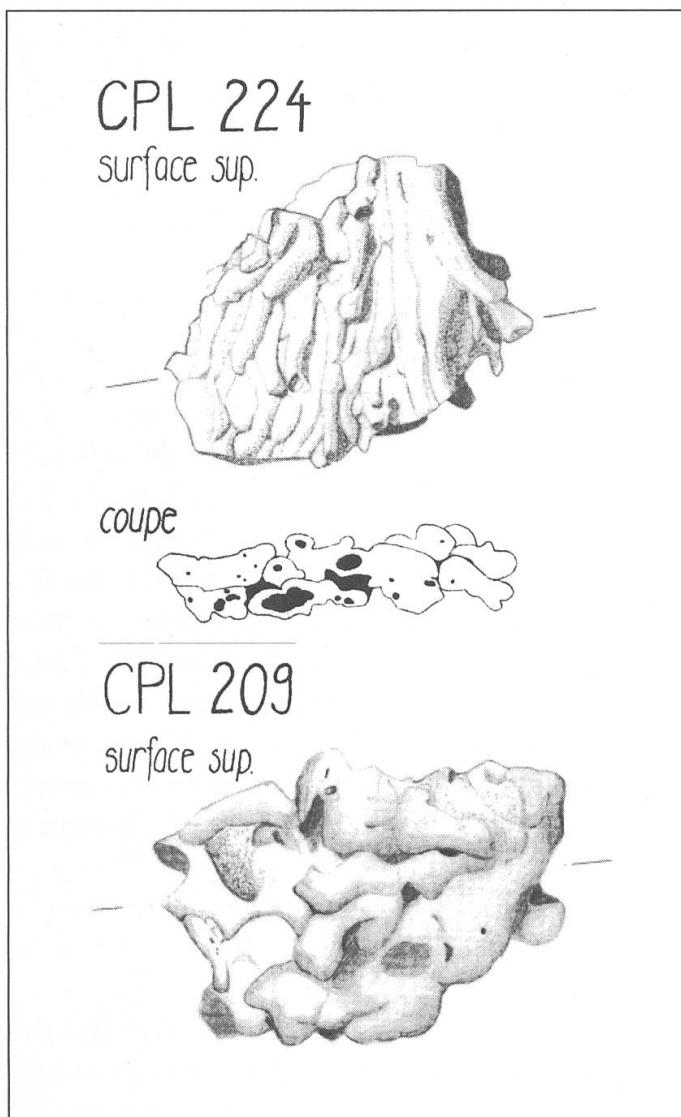


Fig. 8: Deux échantillons de scorie de l'amas du chemin du Planard. Echelle 1:2.
Dessin B. Beck.

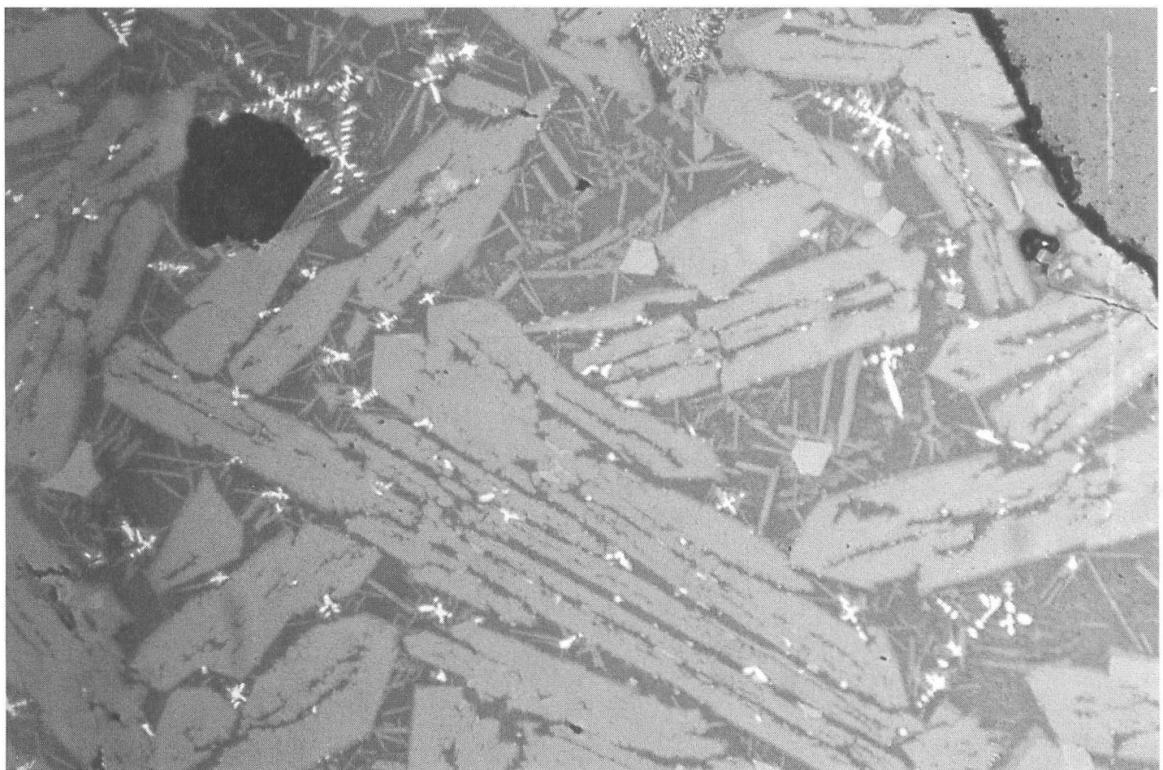


Fig. 9: Vue au microscope (lumière réfléchie) d'une scorie du chemin du Planard. Les grandes lattes squelettiques gris clair de la fayalite sont prise dans une masse vitreuse sombre. La wüstite apparaît sous forme de grains blancs. Quelques cristaux trapus de hercynite et de nombreuses petites aiguilles de rhönite sont visibles dans la matrice. Photo B. Beck.

raît en blanc, a cristallisé de deux manières différentes. Elle peut former de fines dendrites qui, en lame mince, apparaissent comme une succession de points alignés. On trouve aussi la wüstite sous la forme de vermicules non orientés pris dans le verre de composition leucitique.

Ces deux minéraux sont rares dans la nature mais ce sont les constituants habituels des scories de fer qui se forment pendant la réduction du minerai de fer au bas fourneau («méthode directe»). En effet, lorsque l'on introduit le minerai dans le bas fourneau rempli de charbon incandescent, il subit d'abord un fort échauffement. Puis, à la surface des morceaux de minerai, les oxydes de fer subissent une réduction par réaction avec les gaz de combustion ($\text{FeO} + \text{CO} \Rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$). Mais cette réaction, qui se produit à l'état solide, reste limitée et la réduction n'est que partielle. Lorsque la température atteint environ 1200°C, le mélange constitué par le reliquat d'oxydes de fer et les autres substances présentes dans le minerai entre en fusion et forme une scorie qui s'écoule vers le fond du fourneau. C'est donc une scorie très riche en fer qui se forme et s'échappe. Les particules de métal déjà formées s'agglutinent en une masse spongieuse. Ce fer, dont le point de fusion est bien supérieur aux températures atteintes pendant l'opération, ne fond pas. Il faudra arrêter le fourneau et l'ouvrir pour récupérer le produit métallique (Serneels 1993).

Dans le haut fourneau («méthode indirecte»), qui est plus grand et travaille à des températures plus élevées, la réduction des oxydes de fer est beaucoup plus importante et parfois même presque complète. La charge est complètement fondu et le carbone diffuse dans le métal ce qui provoque une diminution de son point de fusion. On fabrique alors, à l'état liquide, un alliage de fer et de carbone, la fonte. Les autres éléments chimiques présents dans le minerai forment un autre mélange liquide, le laitier, qui ne contient presque pas de fer. Le fourneau fonctionne de manière continue, c'est-à-dire que l'on charge continuellement du minerai et du combustible et qu'à intervalles réguliers, l'on soutire à la base la fonte et le laitier.

Les scories du Mont Chemin, par leurs compositions chimique et minéralogique, sont clairement identifiables comme des résidus obtenus par la méthode directe. Ce procédé technique a été mis au point dès le début de l'Age du Fer et, jusqu'au Moyen Age, sera la méthode de production prédominante. Peu à peu, à partir du XIIème siècle de notre ère, le haut fourneau va s'imposer. Les scories de la méthode directe sont donc, a priori, des témoignages d'une industrie vieille de plusieurs siècles au moins. Cependant, on ne peut pas utiliser ce critère pour formuler une datation précise d'autant plus que, dans certaines régions, des bas fourneaux ont encore été utilisés jusqu'à l'aube du XIXème siècle et que des confusions sont possibles avec les déchets résultants d'autres activités métallurgiques.

1.3 Les minéraux particuliers des scories du Mont Chemin.

En plus des constituants principaux que sont la fayalite et la wüstite, on observe la présence d'autres phases solides dans les scories du Mont Chemin (Fig.9). Une partie de la matière est restée à l'état vitreux. Deux verres, de compositions chimiques différentes, ont été identifiés. Le premier est riche en calcium, sodium et fer mais relativement pauvre en silicium. Le second, beaucoup moins abondant, possède une composition proche de la leucite, un silicate de potassium et d'aluminium ($KAlSi_2O_8$). Des phases vitreuses comparables sont fréquentes dans les scories anciennes.

Un minéral de la famille des spinelles a aussi été identifié. Il forme des cristaux aux formes géométriques bien développées, triangulaires, quadrangulaires ou hexagonales. C'est le premier minéral qui cristallise lors du refroidissement de la scorie. Sa composition chimique est assez proche de celle de la hercynite ($FeAl_2O_4$), avec un petit excès en fer.

On observe aussi la présence de petits globules de fer métallique, d'un diamètre compris entre 0.01 et 0.04 mm. Ce type de globule est toujours peu abondant dans les scories du Mont Chemin. Quelques rares pièces contenant une plus forte proportion de métal ont été observées également.

Enfin, des cristaux assez nombreux d'un minéral de la famille de la rhönite se présentent en aiguilles assez fines et acérées, cristallisant après la fayalite. Ce minéral est un silicate de fer contenant aussi de l'aluminium et du calcium. Il a déjà été observé dans d'autres scories (Serneels 1993, p.26–27, Kronz et Keesmann 1994).

1.4 Le minerai de fer du Mont Chemin

La magnétite est un oxyde de fer (Fe_3O_4) qui peut former de jolis cristaux octaédriques de couleur noire. Ses propriétés magnétiques sont connues depuis l'Antiquité. C'est un minéral abondant dans la nature qui est présent dans toutes sortes de roches mais le plus souvent en petite quantité et sous forme de cristaux dispersés. Au Mont Chemin, la magnétite apparaît sous forme massive, c'est-à-dire que la roche est principalement formée de petits cristaux informes serrés en une masse compacte avec seulement une faible quantité d'autres minéraux variés.

Cette magnétite forme des lentilles décimétriques à décamétriques qui sont disséminées dans les roches encaissantes. Au Couloir Collaud, au Col des Planches (Fig.10) et à Vens, la magnétite est associée à une roche particulière, un skarn. Les minéraux qui la constituent sont l'actinote, la chlorite, l'épidote, le quartz, le stiltomélane, la séricite et des carbonates. On y trouve aussi des phases accessoires qui sont la hornblende, le diopside, le grenat, la muscovite, la biotite et l'apatite. Chez Larze, la magnétite est glissée tectoniquement à l'intérieur d'une masse de marbre et les minéraux riches en calcium sont prépondérants dans la gangue (calcite, dolomie, quartz, diopside, séricite, trémolite, actinote, serpentine).

Les phénomènes géologiques qui ont abouti à la formation de ces lentilles de magnétite ne sont pas encore complètement éclaircis. Sur le terrain, on n'observe pas de zone de transition entre le granite du massif du Mont Blanc et les lentilles de magné-



Fig. 10: Vue de l'entrée de l'une des galeries d'extraction situées aux Grandes Ferrondes sous le Col des Planches. Photo B. Beck.

tite (Wutzler 1983). On n'observe donc pas le profil habituellement décrit pour les gisements de magnétite formés sous l'influence d'un métamorphisme de contact lors de la mise en place d'une masse de roches intrusives. Cependant, la position des masses de magnétite est spatialement en relation avec les roches granitiques et les skarns qui se sont formés vers 400° ou 500 °C ont été datés de moins de 335 millions d'années par la méthode 39Ar/40Ar (Marshall 1995). Cet âge peut être mis en relation avec celui du granite du Mont Blanc (307 millions d'années, méthode U/Pb, Bussy et von Raumer 1994). Il est donc probable que la minéralisation se soit formée au cours du cycle varisque et que la mise en place du granite du Mont Blanc ait provoqué l'apport de chaleur nécessaire.

Du point de vue d'un métallurgiste moderne, le minerai du Mont Chemin est de très bonne qualité. La magnétite est un des minéraux les plus riches en fer que l'on trouve dans la nature et la roche en contient une forte proportion. De plus, après broyage, il est possible de séparer assez facilement la magnétite des autres constituants en utilisant soit sa forte densité ou mieux encore, ses propriétés magnétiques. Il serait donc facile, dans un procédé moderne, d'obtenir un concentré à très haute teneur. Enfin, le minerai contient relativement peu d'éléments chimiques qui posent des problèmes au cours du traitement métallurgique. Il y a bien une certaine proportion de pyrite contenant du soufre dans le minerai du Mont Chemin, mais cet élément reste dans une proportion acceptable et la pyrite peut être éliminée par un traitement moderne. Le phosphore est également assez bas. Par contre, le gisement n'est pas propice à une exploitation moderne, principalement en raison de son extension relativement limitée et du caractère discontinu de la minéralisation. Les exploitations de fer modernes, qui demandent de lourds investissements, recherchent plus volontiers les gisements recelant un très fort tonnage de minerai, de plusieurs millions de tonnes, quitte à ce que la teneur moyenne soit relativement faible.

Pour une exploitation ancienne par contre, le gisement du Mont Chemin possède des réserves bien suffisantes. La principale difficulté vient plutôt de la dureté de la roche. Avant l'utilisation de la poudre, l'extraction de ce minerai a du poser un problème difficile et demander des efforts importants.

Au cours de la fouille de l'amas de scories du chemin du Planard, plusieurs morceaux de magnétite massive ont été retrouvés à l'exclusion de toute autre substance pouvant servir de minerai. Les morceaux étaient relativement petits, long de 4 ou 5 cm. L'un d'entre eux au moins a subi un chauffage partiel comme le montre la déshydration de certains minéraux de la gangue. On peut penser que ces fragments ont été perdus lors de l'opération de chargement du bas fourneau. Des morceaux de magnétite incomplètement réduits ont également été observés en inclusion dans des scories. Les très fortes teneurs en fer mesurées au laboratoire montrent qu'ils ne peuvent pas avoir été rejetés volontairement comme des déchets. Au contraire, il semble que les artisans ont sélectionné du minerai de la meilleure qualité possible.

1.5 La production de fer sur le site du Planard

Les analyses chimiques du minerai et des scories ont été effectuées au Centre d'Analyse Minérale de l'Université de Lausanne selon les procédures adaptées à ce genre de matériel (Pfeifer et al 1991). Elles ont permis de vérifier la compatibilité entre ces matériaux (Fig.11). Comme on pouvait s'y attendre, c'est bien la magnétite du Mont Chemin qui a été utilisée pour fabriquer les scories du site du Planard. En fonction de leur nature, certains de ces éléments vont se combiner avec le fer et entrer en alliage dans la phase métallique. C'est le cas du cobalt, du nickel et du cuivre. D'autres éléments vont se concentrer dans la scorie, en particulier Zr, Y, Ba ainsi que V et Cr (Serneels 1994). La magnétite du Mont Chemin contient des éléments traces particuliers qui sont nettement différents des autres minerais de Suisse. De la même manière, les scories du Mont Chemin possèdent un spectre des éléments traces tout-à-fait spécifique. La particularité la plus évidente est sans doute la présence de quelques dizaines de ppm d'étain dans ces matériaux, une particularité assez exceptionnelle et qui n'avait jamais été observée en Suisse.

En étudiant les analyses chimiques, on constate également qu'au cours de l'opération, le revêtement interne de la paroi subi une fusion partielle qui est suffisante pour influencer légèrement la composition chimique des scories. On détecte également un apport de la cendre de charbon de bois sous forme de calcium et probablement de zirconium, de strontium et de baryum.

Les analyses chimiques peuvent également être utilisées pour calculer un bilan entre les matières premières mises dans le fourneau et les produits et déchets qui en sont extraits. Le minerai apporte principalement des oxydes de fer mais aussi les autres substances qui sont contenues dans les minéraux de la gangue: du silicium, de l'aluminium, etc. Ces derniers ainsi qu'une partie des oxydes de fer non réduits forment la scorie. En connaissant la composition de la scorie et du minerai, il est donc possible de calculer la quantité de fer qui a été produite (Eschenlohr et Serneels 1991, p.99-106). Dans le cas du Mont Chemin, le minerai étant extrêmement riche en fer, la production calculée de cette manière est très élevée. Pour 100 g de minerai, on produit 46 g de scorie et 44 g de fer ! La contribution de la paroi est de l'ordre de 9 g. Le rendement, c'est-à-dire la quantité de fer obtenue par rapport à la quantité de fer présente dans le minerai est de 69%. Les chiffres obtenus pour la production de fer avec du minerai sidérolithique à Boécourt JU sont nettement inférieurs. Cela est principalement lié au fait que le minerai jurassien est plus pauvre.

2 L'ancienne industrie du fer du Mont Chemin et dans les régions voisines

2.1 Les autres amas de scories du Mont Chemin

L'amas de scorie du chemin du Planard n'est pas le seul connu sur le Mont Chemin. Au contraire, ce sont maintenant une quinzaine d'amas de scories qui ont été localisés sur une surface de 3 km² entre 1000 et 1400 m d'altitude (Fig.1). Il est fort probable que d'autres sites seront découverts à l'avenir car la prospection n'a pas été ex-

Catégorie	MINERAIS MAGNETITE COL DES PLANCHES	MINERAIS MAGNETITE AMAS DU PLANARD	SCORIE COULEE AMAS DU PLANARD	SCORIE COULEE AMAS DU PLANARD	SCORIE INTERNE AMAS DU PLANARD	PAROI DE FOURNEAU AMAS DU PLANARD
Ech.N°	CPL1022	CPL111	CPL201	CPL209	CPL231	CPL3031
Eléments majeurs (%)						
SiO ₂	5.95	7.51	26.45	34.79	28.73	66.80
TiO ₂	0.05	0.02	0.23	0.29	0.18	0.95
Al ₂ O ₃	0.36	0.54	4.28	5.32	3.04	15.80
Fe ₂ O ₃	64.69	66.33	21.22	14.16	27.49	5.65
FeO	17.78	20.24	33.98	24.20	27.22	0.53
FeM	0.00	2.55	5.86	8.51	6.37	0.07
MnO	0.18	0.23	0.33	0.51	0.31	0.15
MgO	4.21	1.14	1.83	2.80	2.15	2.01
CaO	4.09	0.98	3.51	6.71	3.44	1.04
Na ₂ O	0.00	0.00	0.25	0.32	0.09	1.95
K ₂ O	0.00	0.11	1.07	1.09	0.67	2.54
P ₂ O ₅	0.01	0.05	0.19	0.31	0.14	0.10
H ₂ O	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO ₂	1.36	0.33	0.22	0.29	0.18	1.65
Total	99.79	100.03	99.42	99.30	100.01	99.24
Eléments traces (ppm)						
Zr	12	6	55	62	40	132
Y	5	7	14	13	11	24
Sr	11	5	65	65	58	80
Rb	4	14	60	38	33	116
Ba	<7	<7	162	152	111	516
V	35	<5	28	31	25	80
Sn	187	127	51	8	18	<5
Sb	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	<2	<2	<2	<2	<2	<2
As	16	22	<8	<8	12	<8
Pb	30	15	<6	7	<6	15
Zn	243	127	33	30	21	65
Cu	18	<3	4	4	<3	<3
Ni	17	<4	5	5	<4	47
Cr	9	7	28	22	27	28
Co	28	71	9	8	<6	36

Fig. 11: Analyses chimiques des minéraux, scories et parois de fourneau du Planard (Centre d'Analyse Minérale, Uni. Lausanne).

haustive. A l'heure actuelle, le volume global de scories peut être estimé entre 300 et 600 tonnes. D'après les calculs effectués pour le site du Planard et compte tenu du fait que les scories et minéraux des autres sites présentent des compositions chimiques très similaires, on peut estimer la production totale de fer entre 300 et 600 tonnes. Bien sûr, il s'agit là de la production de fer brut et, au cours une partie de ce fer sera perdue au cours du travail de raffinage et ensuite lors du forgeage.

Le site du Planard a fait l'objet de deux datations par la méthode du ¹⁴C en 1996 (S. Reese du Physicalisches Institut de l'Université de Berne). Les résultats sont cohérents

N° échantillon	Localisation	Site N° carte Fig.1	Age Radiocarbon BP	Age calibré* 1σ cal.A.D
B-6586	chemin du Planard amas E	14	1409 ± 29	634-660
B-6587	chemin du Planard amas W	14	1481 ± 27	562-627
B-7066	Mon repos amas principal 4.3	4	1433 ± 29	613-654
B-7067	Mon repos amas secondaire 4.1	4	1485 ± 29	556-625
B-7068	Forêt du Goilly	11	1414 ± 24	634-658
B-7069	Botzaz des Sarrasins	1	1470 ± 66	545-653
B-7070	Chalet du Planard		1379 ± 29	651-669

*Stuiver et Pearson 1993, Radiocarbon 35.

Fig. 12: Datations ^{14}C des amas de scories du Mont Chemin (Physikalisches Institut, Uni. Bern).

et permettent de dater le site du Haut Moyen Age, plus particulièrement de la charnière entre les VIème et VIIème siècles ap. J.C. (Fig. 12). Les charbons ont été prélevés à la base de la couche de scories ce qui permet de dater le début de la production. Il est probable que la durée de l'activité est relativement brève: quelques années ou dizaines d'années au plus.

En 1998, des charbons de bois ont été prélevés sur d'autres sites du secteur (Fig.12). En tout donc, sept amas de scories ont été datés sur cinq sites différents. Par rapport aux quinze sites actuellement connus sur le Mont Chemin, on dispose donc maintenant de données chronologiques assez abondantes (30%). Les prélèvements ont été effectués à une profondeur moyenne de 60 cm sous la surface dans des sondages de très petites dimensions. Ils correspondent donc à une couche interne de l'amas mais pas au niveau le plus profond de celui-ci. Chaque datation représente donc une phase d'activité de l'atelier mais ne rend pas compte de la durée complète de l'occupation. On rappellera aussi que les différents sites du Mont Chemin présentent des caractéristiques assez similaires du point de vue de l'aspect et de la composition des scories et matériaux associés. Cette constatation laisse supposer qu'il n'y a pas eu d'évolution des techniques mises en oeuvre au Mont Chemin.

Il est frappant de constater que les dates obtenues sur ces cinq sites sont très cohérentes entre elles et regroupées dans un intervalle de temps très court, couvrant au maximum 100 ans. Clairement, la plus grande partie de la production de fer doit être datée de la période couvrant la seconde moitié du VIème et la première moitié du VIIème siècle de notre ère (Fig.12).

Compte tenu de la méthode de datation utilisée, la durée pourrait aussi bien être nettement plus courte, de l'ordre de quelques décennies ou même de quelques années.

A proprement parler, ces données chronologiques ne permettent cependant pas de prouver qu'il n'y a pas eu d'activité antérieure ou postérieure. Cependant les données sont tellement bien groupées que cette hypothèse est peu crédible. Dans cette perspective, les amas de scories du Mont Chemin sont donc le témoignage d'une activité intense et de courte durée.

Si on admet que la production est répartie sur une centaine d'années, la quantité de fer disponible par an est de l'ordre de 3 à 6 tonnes. Dans le contexte de la société du Haut Moyen Age, ces chiffres paraissent relativement élevés mais pourraient encore correspondre aux besoins locaux. Si, au contraire, l'activité métallurgique est de très courte durée, alors le produit annuel se chiffre en dizaines de tonnes. Une telle masse, pour autant que l'on puisse en juger, excède la demande normale. Ce fer a pu être exporté vers des régions limitrophes mais dans ce cas, on ne voit pas de raison d'arrêter aussi rapidement cette production. Cette grande masse de métal a pu aussi être produite pour faire face à des circonstances particulières, comme par exemple l'équipement d'une armée ou la fourniture de métal pour une construction de grande envergure. Les connaissances actuelles ne permettent pas encore de choisir entre ces différentes hypothèses.

2.2 Le développement de l'industrie du fer en Suisse au cours du Haut Moyen Age

La datation de la production de fer sur le Mont Chemin au cours du Haut Moyen Age est, au premier abord, un peu surprenante. En effet, le Mont Chemin surplombe directement la ville moderne de Martigny qui recouvre les vestiges de l'antique Forum Claudi Vallensium. Cette ville romaine, fondée au milieu du Ier siècle ap. J.C. succède à l'ancien bourg d'Octodurus, capitale des Vérages, un des quatre peuples du Valais. Cette fondation est en liaison avec l'aménagement de la voie du Grand Saint Bernard. En plusieurs points de la ville, les fouilles archéologiques ont mis au jour des scories de forge qui démontrent que l'on y travaille le fer. On aurait pu penser que les habitants de cette agglomération florissante au cours des premiers siècles de notre ère, auraient mis en valeur les ressources minières des environs. Pour le moment, les données archéologiques ne confirment pas cette hypothèse. Au contraire, c'est au cours des siècles suivants, alors que l'occupation du site de Martigny se fait nettement plus discrète, que les ateliers de réduction du minerai de fer travaillent à plein rendement au sommet du Mont Chemin.

On soulignera que c'est au même moment que l'industrie du fer se développe massivement dans tout l'arc jurassien (Senn-Luder, Serneels et GSAF 1993). Dans le Jura vaudois, si des traces plus anciennes ont effectivement été relevées, il est clair que la plus grande partie de la production doit être datées entre le VIème et le IXème siècle (Pelet 1993, Serneels 1993, Abetel 1992). Dans le Jura central, autour de la vallée de Delémont, les vestiges montrent un développement au même moment (Eschenlohr et Serneels 1991, Eschenlohr com. pers.). Des sites de la même époque ont été étudiés

dans la région de Berthelange en Franche Comté voisine (Laurent et al 1994). Enfin dans le canton de Schaffhouse, il semble aussi que les datations les plus anciennes remontent au Haut Moyen Age (Guyan 1946) . On ne peut pas encore affirmer que ce phénomène touche également les Alpes car les données ne sont pas assez nombreuses mais on rappellera que les sites de Ponte di Val Gabbia dans le Val Camonica, sont eux aussi datés du Haut Moyen Age (Cucini-Tizzoni et Tizzoni 1996).

A l'échelle d'une grande région, c'est donc un mouvement d'ensemble qui se dessine. Aux périodes préromaine et romaine, si la production de fer existe, elle semble très limitée. Par contre, de nombreux ateliers de réduction s'installent au cours du Haut Moyen Age. Ce sont le plus souvent des petites unités de quelques fourneaux, ayant produit quelques tonnes ou dizaines de tonnes de scories. Ils sont dispersées dans un rayon de quelques kilomètres autour des gisements de minerai. Par la suite, à partir du Xème siècle, la situation semble se modifier. Dans certains districts, la production se poursuit et augmente même probablement. Ailleurs, l'industrie périclite ou s'arrête.

On peut penser que ce sont les mêmes facteurs qui stimulent ce mouvement d'ensemble. Il est tentant d'imaginer qu'à l'époque romaine, un système d'approvisionnement en fer à longue distance a été mis en place. De grands districts produisent des quantités de fer considérables et exportent celui-ci sous forme de lingots qui alimentent les autres régions (Feugère et Serneels 1998). Dans cette configuration, le territoire de la Suisse actuelle est une zone où l'on importe du fer pour satisfaire les besoins locaux. C'est sans doute avec les tensions qui se développent au cours du IIIème siècle ap. J.C., que cette organisation de la production se dégrade. Après les grandes invasions des tribus germaniques, le marché suisse du fer n'est plus approvisionné de l'extérieur. Pour répondre à la demande, le métal doit être produit sur place et les ressources locales sont mises en exploitation.

Peu d'éléments permettent de suivre l'introduction de nouvelles techniques de réduction dans nos régions où la sidérurgie extractive paraît peu pratiquée auparavant. On peut voir dans ce phénomène une influence extérieure mais il faut tout de même rappeler que des vestiges rattachés à l'époque romaine ont été mis au jour dans le canton de Vaud (Pelet 1993). Dans cette région, du point de vue technologique, les fourneaux mérovingiens semblent les héritiers de leurs prédécesseurs. C'est donc un développement du volume de la production plus qu'une évolution technique qui est mise en évidence. On soulignera cependant que les données actuellement disponibles, malgré leur lacunes, montrent une certaine homogénéité des techniques mises en oeuvre pendant le Haut Moyen Age dans une aire géographique assez vaste, incluant également la Bourgogne et la Lorraine. Les recherches futures permettront certainement de préciser ce point.

2.3 Le Moyen Age

Les datations obtenues au Mont Chemin semblent indiquer que l'activité minière s'interrompt pendant le Moyen Age. De même, les documents historiques ne font

pas mention d'une industrie sidérurgique dans cette région pour cette période. Le seul indice intéressant est fourni par un texte de 1319 portant sur la délimitation entre les territoires de Vollèges et de Martigny. On y mentionne un toponyme «Les Ferreires» à Chemin (Farquet 1946-7). Mais d'après le contexte, c'est le nom d'un endroit et il n'y a aucune allusion à une mine contemporaine ou à un fourneau en activité. Il se pourrait donc qu'à cette époque, la toponymie ne fasse que conserver le souvenir d'une industrie plus ancienne. On ne connaît pas d'autre mention médiévale d'une activité sidérurgique au Mont Chemin. De même, à cette période, l'exploitation de la forêt de ce massif montagneux ne semblent pas orientée vers la production de charbon de bois.

L'histoire est différente dans d'autres régions du Valais où, au contraire, la métallurgie du fer se développe au XIVème siècle ou même un peu avant. Les documents relatifs au Val Ferret et au Val de Trient montrent l'existence, à cette période, d'une ferrière hydraulique à Ferret puis d'une autre à Champex (Pelet 1988). On sait aussi qu'une mine, probablement celle des Tseppe, est en activité avant 1377.

Dans l'état actuel de nos connaissances, rien ne permet donc de comprendre cet arrêt de l'activité sidérurgique sur le Mont Chemin. Le minerai est toujours présent aujourd'hui et sa qualité n'est pas en cause. Le couvert forestier a sans doute souffert d'une exploitation intensive au cours d'un siècle mais les superficies boisées devaient être considérables à l'époque. Les conditions naturelles favorisant le développement de l'activité minière et métallurgique ne semblent donc pas en cause. Des raisons politiques ou bien économiques ont pu nuire à l'industrie: monopole de l'exploitation, taxation excessive, manque de main d'œuvre ou bien encore accès facile à une matière première moins chère. Mais pour une période aussi obscure de l'histoire, de tels phénomènes ne peuvent pas facilement être appréhendés. En cela, ces nouvelles données sur l'exploitation des mines de fer du Mont Chemin apportent un éclairage nouveau et permettent d'esquisser de nouvelles questions.

3 L'utilisation de la magnétite pour produire du fer par la méthode directe de réduction

La pratique des métallurgistes contemporains montre que la magnétite est un excellent minerai pour le haut fourneau moderne. Par contre, on trouve dans de nombreux ouvrages sur la sidérurgie ancienne, l'opinion que les minerais de ce type seraient difficiles ou même impossibles à traiter dans un bas fourneau et n'auraient donc pas été exploités anciennement. Or, au Mont Chemin, c'est bien la magnétite qui a été utilisée pour produire du fer par la méthode directe de réduction. Les recherches récentes le démontrent clairement. En fait, il est difficile de savoir sur quel argument est fondée cette opinion défavorable à la magnétite et pourquoi elle a prévalu si longtemps car les observations qui la contredisent ne manquent pas.

La manière la plus évidente de démontrer qu'il est possible de fabriquer du fer par la méthode directe avec de la magnétite est celle de l'expérimentation. Depuis plusieurs années, des artisans vaudois, en particulier MM. François Morier et Yves Pec-



Fig. 13: Réduction de la magnétite du Mont Chemin par François Morier, au Col des Planches, lors de l'inauguration du Sentier des Mines en 1998. Photo V. Serneels.

clard, ont entrepris d'utiliser la magnétite du Mont Chemin pour fabriquer du fer dans des petits bas fourneaux conçus d'après les fourneaux traditionnels du Japon. Le métal qu'ils ont produit et forgé est une preuve incontestable. Lors de l'inauguration du Sentier des Mines du Mont Chemin, en mai 1998, F. Morier a mené à bien une telle réduction au Col des Planches (Fig.13). Des essais plus anciens ont également été faits en laboratoire et ont montré que la magnétite est utilisable (Tylecote 1981).

D'autres exemples proviennent de l'ethnographie. On peut citer parmi d'autres, le cas des Akikuyu au Kenya (Routledge et Routledge 1910, p.82-84). Au début du XXème siècle, cette peuplade exploitait la magnétite dispersée sous forme de petits cristaux dans la couche d'altération d'un massif granitique arénisé. Ces faits qui ont été observés directement ne peuvent pas non plus être contestés. On sait aussi que la magnétite provenant de placers marins est la matière première préférée de certains artisans japonais travaillant selon les méthodes traditionnelles dont l'origine remonte au Moyen Age.

Ces témoignages expérimentaux et ethnographiques ne laissent aucun doute en ce qui concerne la possibilité d'utiliser la magnétite mais ne démontrent pas que, en Europe et par le passé, ces minéraux ont réellement été exploités. Pour cela, il fallait mettre au jour des vestiges archéologiques qui témoignent effectivement de cette pratique. Sur ce plan, il faut souligner que, jusqu'à récemment, les données archéo-

logiques étaient très peu explicites. Plusieurs facteurs ont contribué à cet état de faits.

Tout d'abord, on constate que les grands gisements de magnétite sont relativement rares en Europe (Zitzmann 1977). La magnétite est un constituant important des minéraux métamorphiques rubanés qui forment actuellement les minéraux les plus exploités dans le monde, avec d'énormes gisements situés principalement en Amérique du Nord et du Sud, en Australie et en Afrique du Sud. Par contre, cette catégorie de minéral est pratiquement inexistante en Europe occidentale.

Des gisements de magnétite sont également associés aux roches plutoniques basiques ou alcalines. En Europe, ce type de minéral se rencontre principalement dans l'Oural et en Scandinavie. Il n'y a que quelques gisements alpins qui sont rattachés à ce type, comme ceux du Val d'Aoste. Les skarns à magnétite sont liés aux phénomènes de métamorphisme de contact. Des gisements importants appartenant à cette catégorie se rencontrent dans l'Oural et dans la Sierra Morena en Espagne. Le long de la chaîne alpine, en Italie, en Suisse (Mont Chemin), dans les Balkans et en Turquie, les gisements sont souvent isolés et de relativement faibles tonnages. Enfin, les placers de magnétite détritique qui résultent de l'accumulation de grains arrachés à d'autres roches par l'érosion et redéposés dans le lit des rivières ou mélangés aux sables des plages en bordure de mer, ne sont que d'un intérêt économique limité actuellement. Pour cette raison, il est difficile de dresser aujourd'hui une carte de ces minéralisations qui ne sont généralement pas mentionnés par les géologues miniers. On sait cependant qu'ils furent nombreux le long des côtes de la Méditerranée, en particulier en Italie, en Grèce du Nord et en bordure de la Mer Noire.

Au contraire, les autres types de minéraux de fer, comme les minéraux sédimentaires marins (oolithiques) et continentaux (minéral des marais) et d'altération continentale (latérites, sidérolithique, chapeaux de fer) ou les minéraux hydrothermaux sont nettement plus abondants en Europe. Ils peuvent contenir un peu de magnétite mais ce sont d'autres minéraux ferrifères, comme l'hématite, la limonite et la sidérite qui sont les constituants majeurs.

D'autre part, la recherche dans le domaine de la sidérurgie ancienne est très inégalement développée dans les différentes régions d'Europe. Pour des raisons historiques et culturelles, c'est un domaine d'étude qui s'est nettement affirmé en Europe centrale: Pologne, Tchécoslovaquie, Sud de la Scandinavie, Allemagne, Angleterre et plus récemment en France. L'histoire de la sidérurgie dans les régions potentiellement riches en témoins de l'exploitation de la magnétite comme l'Espagne, la Grèce et l'Italie, est encore très mal connue.

Ainsi, à la fois pour des raisons géologiques et à cause de l'inégal développement de la recherche archéologique, il a été longtemps possible de soutenir l'affirmation que la magnétite ne fut pas utilisée dans l'Antiquité, faute d'exemple concret correctement étudié. L'étude du Mont Chemin modifie cette perspective. De plus, les résultats de recherches encore plus récentes, menées en Suède vont dans le même sens (Larson et al 1997). A Fullerö, au Nord de Uppsala, à 25 kilomètres de la grande

mine de magnétite de Dannemora, un site datant du IIème siècle ap. J.C. a livré des scories et des morceaux de magnétite. Les analyses chimiques ont, dans ce cas également, démontré le lien entre le minerai et les déchets métallurgiques. Jusqu'à maintenant, on estimait que seul le minerai des marais avait été utilisé aux périodes anciennes dans cette région. Les chercheurs suédois, en collaboration avec P. et S. Crew, ont également tenté avec un certain succès de reproduire expérimentalement le procédé utilisé.

La question de l'utilisation de la magnétite aux périodes anciennes se trouve donc relancée de manière générale et les données concernant de nombreux cas doivent être réinterprétées. Depuis longtemps, par exemple, on parle de l'ancienneté de l'exploitation du gisement de Cogne, près d'Aoste en Italie, un autre amas de magnétite massive. L'activité minière médiévale transparaît au travers de quelques documents remontant au XVème siècle mais le passé plus ancien reste encore dans l'ombre. L'hypothèse d'une exploitation antique a bien sûr déjà été émise mais il reste à en découvrir les traces matérielles (Foretier et al 1990).

Les placers à magnétite sont des gîtes particulièrement propices à l'exploitation ancienne, compte tenu de la facilité avec laquelle la magnétite peut être récoltée et concentrée. Malheureusement, l'exploitation de tels gisements, le plus souvent des plages en bordure de mer, ne laisse aucune trace d'activité minière visible. Seules les scories peuvent être utilisées pour démontrer l'existence d'une industrie ancienne. Ces minerais sont particulièrement bien représentés en Grèce du Nord, à l'Est de la Macédoine, en Thrace et sur l'île de Thasos. Cette zone a certainement été exploitée intensivement sous la domination ottomane mais de nombreux indices confirment une industrie plus ancienne (Davies 1935, p. 228-230, Photos et al 1986). L'exploitation ancienne de sables à magnétite est également supposée sur le pourtour de la Mer Noire, en Géorgie (Tsetskhladze 1995) et sur la côte nord de la Turquie (Tylecote 1981). Il est probable que de nombreuses autres régions ont pu fournir du minerai de fer sous cette forme.

L'exemple du Mont Chemin montre bien que, dans le domaine de la sidérurgie ancienne, il faut ce méfier des idées préconçues.

Bibliographie

- Abetel, E. 1992: L'établissement sidérurgique de Montcherand, Cahiers d'Archéologie Romande 54, Lausanne 1992.
- Beck, B. 1997: Réduction de la magnétite dans un bas fourneau au Mont Chemin (Valais - Suisse), Travail de diplôme de Géologue, Université de Lausanne, 1997.
- Bussy, F. et von Raumer, J. 1994: U-Pb geochronology of Paleozoic magnetic events in the Mont Blanc crystalline massif, western Alps. Schweizerische Mineralogische Petrographische Mitteilungen, 74 / 3, 1994, p. 514–515.

- Cucini-Tizzoni, C. et Tizzoni, M.: Un impianto siderurgico di epoca longobarda nelle Alpi bresciane: Ponte di Val Gabbia I - Bienno (Brescia). Rassegna di studi del civico museo archeologico di Milano, 58, 1996, p.47–76.
- Davies, O. 1935: Roman Mines in Europe, Oxford 1935.
- Eschenlohr, L. et Serneels, V. 1991: Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt-Les Boulie (JU / Suisse), Cahier d'Archéologie Jurassienne 3, 1991.
- Farquet, P. 1946-7: Le versant rhodanien du Mont Chemin. Bulletin de la Murithienne vol. 164, 1946–7, p. 90–102.
- Feugère, M. et Serneels, V. 1998: Production, commerce et utilisation du fer entre l'Ebre et le Rhône: premiers éléments de réflexion, p. 251-262 in Feugère, M. et Serneels, V. (dir.): Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale, Monographies Instrumentum 4, Montagnac 1998.
- Foretier, P., Gerbore, R. et Vassoney, G. 1990: Cogne e la sua miniera, Cogne, 1990.
- Guyan, W.U. 1946: Bild und Wesen einer Mittelalterlichen Eisenindustrilandschaft im Kanton Schaffhausen, Schriften des Institutes für Ur- und Frühgeschichte der Schweiz 20, Basel 1946.
- Kronz, A. et Keesmann, I. 1994: Die vornezeitliche Eisentechnologie im Lahn-Dill-gebiet, Deutschland, p. 237-245 in Mangin, M. (dir.): La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, actes du colloque de Besançon 10–13 nov. 1993, Annales littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris 1994.
- Gueymard, M., Extrait d'une notice sur la géologie et la minéralogie du Simplon et sur les moyens d'utiliser dans les arts les substances minérales que ce département renferme, Journal des Mines 205, vol. 35, Paris, janvier 1814.
- Larson, L., Hjärthner-Holdar, E. et Kresten, P.: Magnetite ore in the Bloomery Process, Experiments and Archaeological Evidence, p.66 in Crew, P. et Crew, S. Early Ironworking in Europe, archaeology and experiment, abstract of the International Conference Plas Tan y Bwlch, 19–25 sept. 1997, Plas Tan Y Bwlch Occasional Paper 3, 1997.
- Laurent, H., Laurent, S. et Raïssouni, B. 1994: Zones de réduction et zones de forge ? La région de Berthelange et le Finage dôlois (Franche Comté), p. 189-200 in Mangin, M. (dir.): La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, actes du colloque de Besançon 10–13 nov. 1993, Annales littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris 1994.
- Marshall, D., 1995: Alpine and Variscan Pressure-Temperature-Time Paths, N-E Mont Blanc Massif, Valais, Switzerland. thèse de doctorat, Université de Lausanne, 1995.
- Pelet, P.L. 1988: Ruiner la végétation ou sauvegarder la nature: la ferrière de Champex au XIVe siècle, revue suisse d'Histoire, 38/1, 1988, p.30–44.
- Pelet, P.L. 1993: Une industrie reconnue: Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud, Cahiers d'Archéologie Romande 60, Lausanne 1993.
- Pfeifer, H.R., Lavanchy, J.C. et Serneels, V. 1991: Bulk Chemical Analysis of Geological and Industrial Materials by X-Ray Fluorescence, recent Developments and Application to Materials Rich in Iron Oxide, Journal of Trace and Microprobe Techniques, 9/2-3, 1991, p. 127–148.
- Photos, E., Koukouli-Chrysanthaki, H. et Gialoglu, G. 1986: Iron Metallurgy in eastern Macedonia: A Preliminary Report, p. 113-120 in: Scott, B.G. et Cleere, H. (ed): The Craft of the Blacksmith, Symposium Belfast 16-21 sept. 1984, Belfast 1986.
- Routledge, W.S. et Routledge, K.: With a Prehistoric People, The Akikuyu of British East Africa, London 1910.

- Senn-Luder, M. Serneels, V. et GSAF: Die Eisenverarbeitung in der Schweiz vor dem Hochofenverfahren: Karte der Eisenindustriellen Funde, Minaria Helvetica 13b, 1993, p. 84–90.
- Serneels, V. 1993: Archéométrie des scories de fer, recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale, Cahiers d'Archéologie Romande 61, Lausanne 1993.
- Serneels, V. 1994: L'apport des analyses chimiques de minerais, scories et produits associés à l'étude de la sidérurgie ancienne, p. 75-81 in Mangin, M. (dir.): La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, actes du colloque de Besançon 10–13 nov. 1993, Annales littéraires de l'Université de Besançon 536, Paris 1994.
- Tsetskhadze, G.R., 1995: Did the Greeks go to Colchis for Metals ? Oxford Journal of archaeology 14(*), 1995, p. 307–331.
- Tylecote, R.F., 1981: Iron Sands from the Black Sea, Anatolian Studies 31, 1981, p.137–9.
- Wutzler, B. 1983: Geologisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen am Mont Chemin (Nordöstliches Mont Blanc Massiv). Clausthaler geologisches Abhandlungen 42, Clausthal-Zellerfeld, 1983.
- Zitzmann, A. (ed.) 1977: The Iron Ore Deposits of Europe and adjacent Areas, vol.1, Hannover 1977.

Adresse des auteurs: Vincent Serneels et Barbara Beck
Centre d'Analyse Minérale
BFSH 2, Université de Lausanne,
CH - 1015 Lausanne, Suisse.