

Brandes en Oisans

Archéologie et paléoméallurgie d'un village de mineurs au Moyen-Age

DE MARIE-CHRISTINE BAILLY-MAÎTRE ET ALAIN PLOQUIN

1. Apport de l'archéologie

Le site de Brandes fait l'objet d'une étude historique et archéologique depuis 1977 et il est souhaitable qu'elle puisse être conduite à son terme, ce qui engage encore de nombreuses années.

Pourquoi un tel intérêt? Brandes est, à l'heure actuelle, le seul site permettant une approche quasi exhaustive du monde de la mine au XIII^e siècle, dans ses aspects techniques, économiques, politiques et sociaux.

En effet, à plus de 1800 m d'altitude, dans un pays de hautes montagnes, s'est implantée une véritable agglomération permanente autour de l'exploitation d'une mine d'argent. L'intérêt que l'on portait alors à ce métal justifie l'ampleur des aménagements mis en place pour son exploitation. La qualité des archives, certes rares, mais fiables, et celle des vestiges archéologiques permettent de comprendre comment vivaient, travaillaient et pensaient les mineurs de Brandes.

1.1 L'Agglomération minière

Le portrait d'une micro société bien spécifique apparaît au travers de l'étude des différentes composantes du village constitué d'environ 80 bâtiments auxquels s'ajoutent les zones d'extraction du minerai (Fig. 1 et 2).

La motte castrale surplombe le village d'une quarantaine de mètres. A son sommet, la plateforme servait de base à une tour ronde de 18m de diamètre dont il ne reste que quelques assises. Tour de guet, elle était parfaitement intégrée au réseau de fortifications de l'Oisans.

L'église paroissiale est dédiée à St. Nicolas, probable saint patron des mineurs au Moyen-Age, le culte de Ste. Barbe, patronne des artificiers, étant certainement lié à l'utilisation de la poudre en mine¹.

La nécropole entoure l'édifice religieux sur trois côtés. Plus de 180 squelettes ont été mis au jour. L'étude de ce matériel apporte des informations importantes sur ceux qui occupaient ce haut plateau. Les mineurs étaient des gens du pays, vivant en famille. Ils respectaient scrupuleusement les rites funéraires en usage à l'époque. L'anthropologie a montré que la population était à structure villageoise et familiale, sans sureffectif masculin².

Les habitations s'organisent le long du plateau, au pied du rocher qui porte la motte et le site religieux. Alignées le long de rues, elles forment trois à quatre rangées. Sans être

1 Une étude sur les rapports entre St. Nicolas et les sites miniers (spécifiquement de non-ferreux) a été réalisée par M. Chr. BAILLY-MAÎTRE dans le cadre de sa thèse consacrée à Brandes (1982). Les résultats réactualisés paraîtront avec la publication de cette recherche (courant 1992).

2 L'étude anthropologique des squelettes de Brandes a été réalisée par Madame Claude Olive du Muséum de Genève.

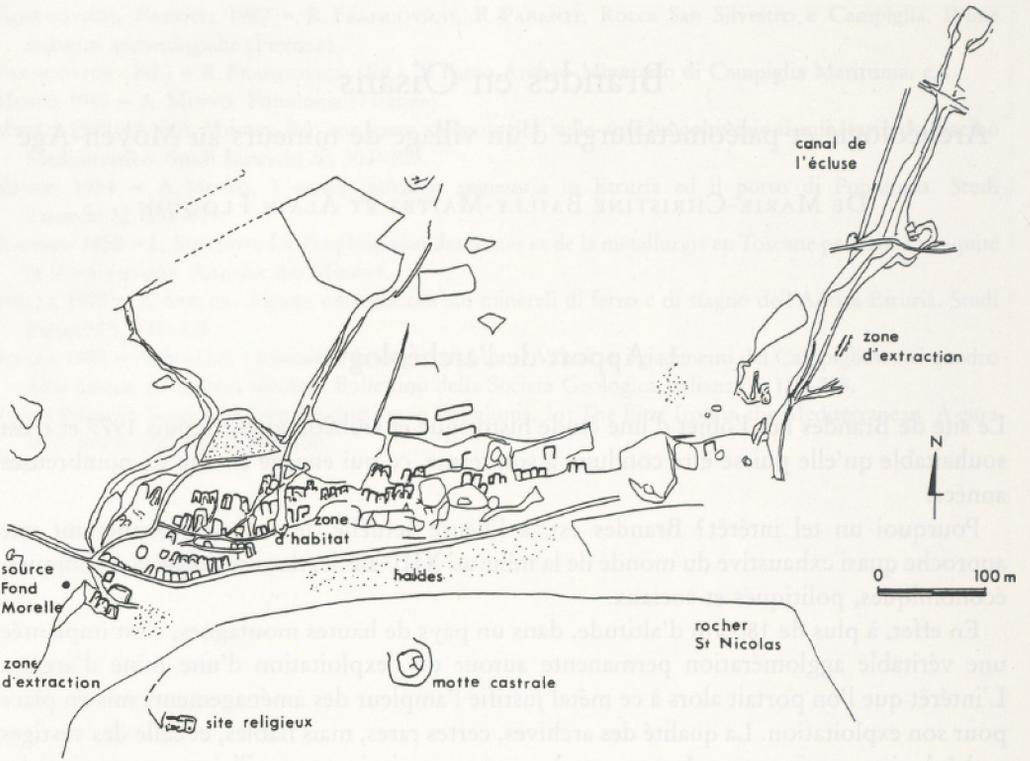


Fig.1 Organisation spatiale du village.



Fig.2 Vue générale du site de Brandes.

rigoureusement identiques, elles ont toutes le même module et paraissent avoir le même plan. Ce sont des maisons à pièce unique, en partie enterrées pour se protéger du froid. La toiture, soutenue par des poteaux, était en chaume et les aménagements intérieurs assez rudimentaires: une niche de rangement creusée dans l'épaisseur des murs, un foyer ouvert au sol, un sol en terre battue imprégnée de charbon de bois. Cependant, afin de pallier les problèmes liés à l'humidité, un système de drainage perfectionné avait été mis en place en arrière des murs et sous les niveaux d'occupation.

Un village permanent à une telle altitude est une création parfaitement artificielle. Les habitants pourvoyaient à leurs besoins en protéines (viandes et laitages)³ mais dépendaient de la vallée pour le reste de leur alimentation. Grâce à la pratique de l'élevage, ils possédaient la matière première pour le cuir et le tissu.

Malgré les relatives difficultés d'accès, le village n'était pas isolé, comme en témoigne la variété des monnaies trouvées sur le site, probablement en raison même de la production de métal précieux qui s'y faisait. Le goût du jeu et de la parure des habitants, attesté par les petits objets trouvés en fouille, montre bien le statut social du mineur médiéval, homme libre recherché pour ses compétences.

Le village de Brandes, avec ses bâtiments bien alignés, ses haldes devant les seuils, évoque une cité minière fondée d'un seul jet et vite désertée, à l'image des villes de l'Ouest américain lors de la ruée vers l'or.

1.2 La mine et la minéralurgie

Le minerai, un sulfure de plomb argentifère, était pris dans un filon de baryte qui affleurait par endroits, à la surface. Cette disposition a conduit les mineurs à exploiter à ciel ouvert et en galeries. L'extraction s'est faite principalement sur le plateau de Brandes, en contrebas du site religieux, et au Lac Blanc, à 2700 m d'altitude.

À ciel ouvert, le travail a pris la forme de dépilages plus ou moins profonds ayant parfois nécessité des paliers en bois. Sous terre, tout le réseau a été creusé dans la puissance du filon. Certaines galeries reliaient entre elles des poches de minéralisations plus riches exploitées en dépilages subverticaux mais on ne peut pas à proprement parler de travers-banc.

L'abatage mettait en oeuvre, de façon concomitante, le burin non emmanché (Fig. 4) et le feu (Fig. 5). Le stérile était parfois entassé sous terre, le long des parois, en arrière de murettes. Il pouvait également être utilisé, comme au Lac Blanc où les mineurs pratiquaient la technique de la «tranchée remblayée». Une partie de la baryte était, cependant, évacuée à l'extérieur sous forme de haldes. Pour faciliter le transport des matériaux, stérile et minerai, des aménagements avaient été mis en place. Deux galeries en ont conservé des traces. Il s'agit de rondins de bois, posés au sol, perpendiculaires à l'axe de la galerie et régulièrement espacés de trente centimètres. Chaque rondin est entaillé par deux ornières distantes de vingt-cinq centimètres. Cela correspond certainement au passage répété des patins d'un traineau, pratique qui n'aurait rien de surprenant dans un pays enneigé six mois par an (Fig. 3). Mais l'essentiel de la manutention, sous terre puis jusqu'aux ateliers situés sur le plateau, se faisait à dos d'homme, comme l'a montré l'étude anthropologique, probablement dans des hottes.

On ne sait rien ni de l'éclairage, ni de l'aération pour le moment car les opérations de désobstruction sont longues. Ce n'est qu'au cours de la campagne 1990 qu'il a été permis de

3 L'étude ostéologique du matériel osseux animal a été réalisée par Madame Claude Olive du Muséum de Genève.

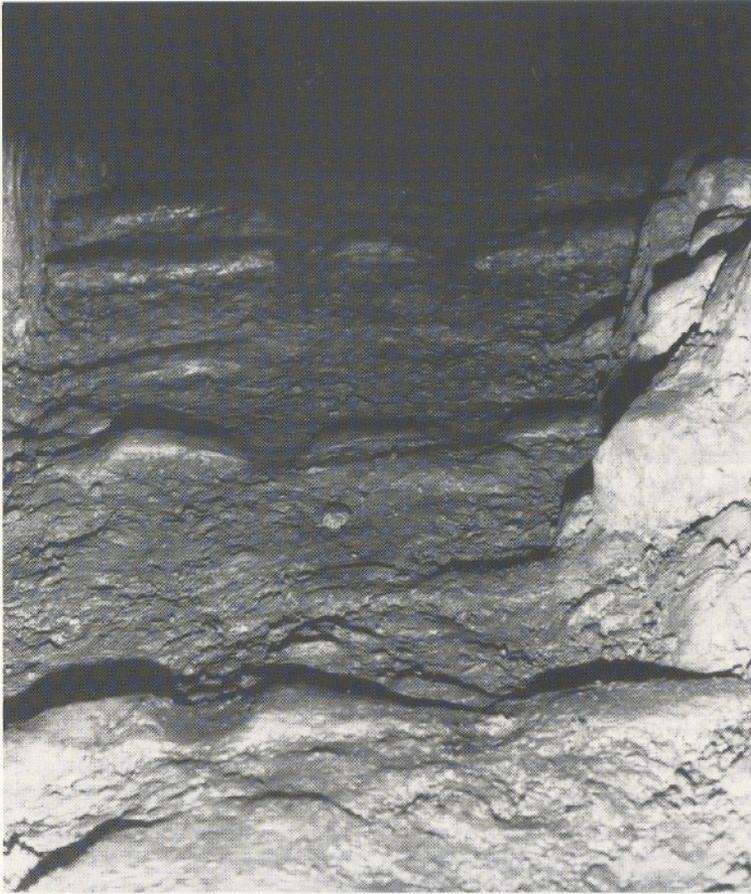


Fig. 3
Galerie du Porche,
voie de trainage.



Fig. 4
Burin d'extraction.

pénétrer dans une partie de réseau profond puisque l'on est maintenant à 80 m sous terre. Les prochaines opérations livreront peut-être des renseignements sur ces deux points. Les certitudes manquent aussi pour l'exhaure. La galerie St. Philippe, la plus basse du réseau, tout en étant creusée dans le filon, faisait vraisemblablement office de galerie de récupération et d'écoulement des eaux souterraines. Elle est, encore actuellement, parcourue par un courant d'eau plus ou moins fort selon la saison. Il reste à découvrir si un système de captage avait été mis en place dans les réseaux susjacentes.

La fouille a permis de mettre au jour un « quartier industriel » composé de plusieurs ateliers de métallurgie. Seul le traitement mécanique, c'est à dire l'enrichissement du minerai, a été fait sur place. Une fois extrait, le minerai pris dans sa gangue subissait un concassage à la main sur des mortiers à l'aide de percuteurs de pierre (Fig. 6). Un broyage fin était obtenu grâce à des meules rayonnées de 0,95 m de diamètre (Fig. 7). Elles étaient probablement mues par la force hydraulique⁴. Enfin, le lavage permettait la séparation

4 Deux remarques, à propos des meules de Brandes: H. MULLER, qui a le premier entrepris des fouilles à Brandes, écrivait dans son article « Notes sur les mines et la paroisse abandonnée de Brandes », B.S.D.E.A., T. VI, Juillet 1899, Grenoble: « Près du ruisseau de l'Ouest, plusieurs meules sont restées sur place, parfois par paire, quelques-unes baignant encore dans l'eau. » Quand nous avons repris la fouille, en 1977, il n'y avait plus une seule meule en place, et il n'a pas encore été possible de définir le mode d'entraînement et de fonctionnement de ces moulins. — Bien que les meules ne soient plus en place, plusieurs d'entre elles ont été retrouvées. Elles sont de deux types dont l'un est constitué de meules peu larges (0,95 m de diamètre),

Fig. 5
Exploitation au feu.



définitive du minerai de sa gangue (Fig. 8). Les aménagements hydrauliques constituent l'un des aspects les plus spectaculaires du travail fourni par les hommes de Brandes. Trois grandes canalisations drainaient les eaux des rifs voisins et les redistribuaient dans une série de canalisations secondaires liées soit à des bassins, soit à des meules. La plus importante mesure plus de 500 m de longueur et va chercher l'eau du déversoir du Lac Blanc par une petite conduite, près de 1000 m plus haut.

Une étude a été faite sur les stériles rejetés après chacune de ces différentes phases du traitement mécanique⁵ (Fig. 9). Aucune trace de réduction et coupellation n'apparaît sur le site par ailleurs abondamment pourvu des autres déchets. Une analyse palynologique pratiquée sur les tourbières qui entourent le site indique que le plateau était dépourvu de

épaisses et surtout, rayonnées du centre vers l'extérieur. Cette morphologie semble être à relier à la fonction métallurgique de ces outils puisque des meules identiques ont été retrouvées sur des sites médiévaux comme Pampailly, dans le Lyonnais, fouillé par Monsieur P. Benoit, sur divers sites d'Europe centrale (présentés dans ce même colloque) et en Allemagne.

5 L'étude des haldes a été réalisée par Monsieur Gérard Verraes, Professeur à l'Ecole des Mines d' Alès.



Fig. 6
Concassage:
mortier et percuteur.

végétation au moment de l'exploitation minière⁶. L'absence de combustible alors même qu'une extraction au feu consomme beaucoup de bois a dû constituer un handicap majeur pour la métallurgie chimique. Par ailleurs, la réduction puis l'affinage donnaient accès au métal précieux pur. Il est certain que ces opérations étaient très surveillées et pratiquées ailleurs, dans un atelier seigneurial ou delphinal.

A travers les comptes de châtelainie⁷ et les différentes enquêtes⁸ et procès⁹ qui constituent le fond documentaire, il est possible de suivre l'histoire de cette mine pendant un peu plus d'un siècle. C'est ainsi qu'elle apparaît comme d'un rendement incertain et d'une exploitation difficile. Les années où elle ne rapporte rien mais coûte ne sont pas

6 L'étude des pollens a été réalisée par Monsieur Michel Couteaux, Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme d'Aix-Marseille.

7 Comptes de Chatellenie d'Oisans, 1320-1354, Archive Départementale Isère, sous-serie VIII B.

8 Enquête delphinale de 1250 dite Le Probus, Archive Départementale Isère, B 2662. Enquête delphinale de 1339, Archive Départementale Isère, B 3120. Enquête pontificale de 1339, Archives du Vatican, coll. 410.

9 Denis de Justice, 1337, Archive Départementale Isère, B 3333.



Fig. 7 Meule rayonnée (Photo H. Muller, coll. Musée Dauphinois).



Fig. 8 Bassin de lavage rond.



Fig. 9 Haldes en place à la fin du XIX^e siècle (Photo H. Muller, coll. Musée Dauphinois).

rars. Les enquêtes delphinale et pontificale de 1339¹⁰ la disent fermée depuis une dizaine d'années.

Malgré ces handicaps, Brandes fut probablement l'une des mines les plus importantes du Dauphiné au XIII^e siècle. Produisant un métal précieux très recherché, appartenant pour partie au Dauphin, les techniques minières et métallurgiques mises en œuvre sont représentatives d'un stade de perfectionnement extrême. Grâce à ce site, il est possible de saisir une technologie au moment où elle atteint son niveau de plafonnement. Le milieu du XIV^e siècle est marqué par une crise généralisée de l'activité minière qui ne s'explique pas uniquement par la série de catastrophes qui va frapper l'Occident à ce moment là. La reprise qui s'amorce au milieu du XV^e siècle met en œuvre des techniques sensiblement différentes mais se traduit surtout par une organisation différente de l'espace souterrain permettant un approfondissement des travaux miniers.

1.3 Le travail du fer

Les exemples iconographiques, archéologiques et bibliographiques attestent sans ambiguïté le lien organique qui existe, au Moyen-Age et aux Temps Modernes, entre la mine et la forge¹¹. Brandes illustre bien cette situation. Quatre forges ont été fouillées sur le site, toutes à proximité immédiate de la zone d'extraction. Les conditions d'exploitation obligeaient le forgeron à réparer quotidiennement l'outillage des mineurs soumis à de fortes contraintes

¹⁰ Op. cit. note 9.

¹¹ Pour plus d'informations sur ce sujet, consulter l'article de M. Chr. BAILLY-MAÎTRE, Mines et forges au Moyen-Age. In: Actes du Symposium «Paléoméallurgie du fer et culture», Sévenans, Novembre 1990.

lors de l'abattage du minerai pris dans une gangue quartzo-barytique. C'est pourquoi une forge est située au Lac Blanc, malgré le coût du transport du combustible sur place et une autre est implantée dans une pente telle que d'importants travaux de terrassements ont été nécessaires. Ces forges sont toutes construites sur le même modèle (Fig. 10).

L'espace intérieur est généralement assez réduit (environ 20 à 25 m² en moyenne), recouvert d'un sol très noir, très cuit et encombré par divers aménagements. La pièce contient un foyer principal sur une sole construite, rectangulaire de 2 m × 1,20 m, légèrement surélevée. Un second foyer, plus petit, occupe un angle du bâtiment. Il est matérialisé par un simple dallage de schiste. Ce dernier devait maintenir au chaud des pièces en cours de forgeage. Dans un angle de la sole, des trous de poteaux marquent l'emplacement du bâti du soufflet et le trou du billot d'enclume est juste devant le foyer de forge. Plus énigmatique est la fosse qui occupe le mur opposé au foyer principal. La cuvette, creusée dans le substrat argileux est cernée par un cordon de grosses pierres sur une seule assise. Elle est alimentée en eau par une canalisation qui passe sous le mur de fond de l'atelier. Peut-on parler de bassin de trempe? Le fait que l'on n'ait pas une eau »stagnante« mais »courante« n'est pas aberrant puisque Agricola y fait allusion dans son traité¹². Cette particularité a été observée dans une forge minière vosgienne du XVI^e siècle – le Samson¹³. Les analogies entre les forges de Brandes et cette dernière sont d'ailleurs surprenantes¹⁴. Cette fosse était remplie d'un »gâteau« complexe de débris de scories et de battitures.

Il reste maintenant à reconstituer les gestes du forgeron, en fonction de l'organisation spatiale de la forge. Il faut également définir la nature exacte du travail réalisé à Brandes: réduction? affinage? façonnage?

Comme dans la plupart des sites médiévaux, la fouille a livré très peu d'outils. Seuls, deux burins, quelques cales, une masse et deux pinces de forgerons ont été retrouvés. Une étude métallographique a été réalisée sur l'un des burins¹⁵. Elle a montré qu'il était constitué de quatre bandes d'acier soudées entre elles à la forge et prêt à se rompre. A peu de distance du site se trouvent des mines de fer exploitées à toutes les époques¹⁶. A quel stade du processus métallurgique intervenaient les hommes de Brandes: réduction du minerai pour obtenir une loupe, épuration de la loupe pour obtenir un lingot, fabrication des outils à partir du lingot, ou bien simplement, réparation et refaçonnage des outils en cours d'utilisation? Seule la dernière opération est, actuellement, prouvée par l'archéologie. Ces forges ont produit des déchets et plusieurs tonnes de scories ont été recueillies. Une analyse a été pratiquée sur quelques échantillons provenant de l'une des deux forges du plateau.

12 G. AGRICOLA, *De Re Metallica*, Bâle, Forben et Bischoff, 1557, rééd. trad. A. FRANCE-LANORD, éd. G. KLOPP (Thionville 1987) Livre 9, 341-346.

13 J. Grandemange, *Le Samson, ateliers et habitats d'une mine d'argent du 16^{ème} siècle*, Livret-guide, C.R.A., 1989.

14 Op. cit. note 11.

15 L'étude métallographique a été réalisée par Mademoiselle F. Bertin et Monsieur Y. Guillot, Université de Technologie de Compiègne.

16 Les archives médiévales mentionnent l'existence d'un martinet à fer à Article, sur la commune d'Allemont, dans la vallée voisine de celle de Brandes.

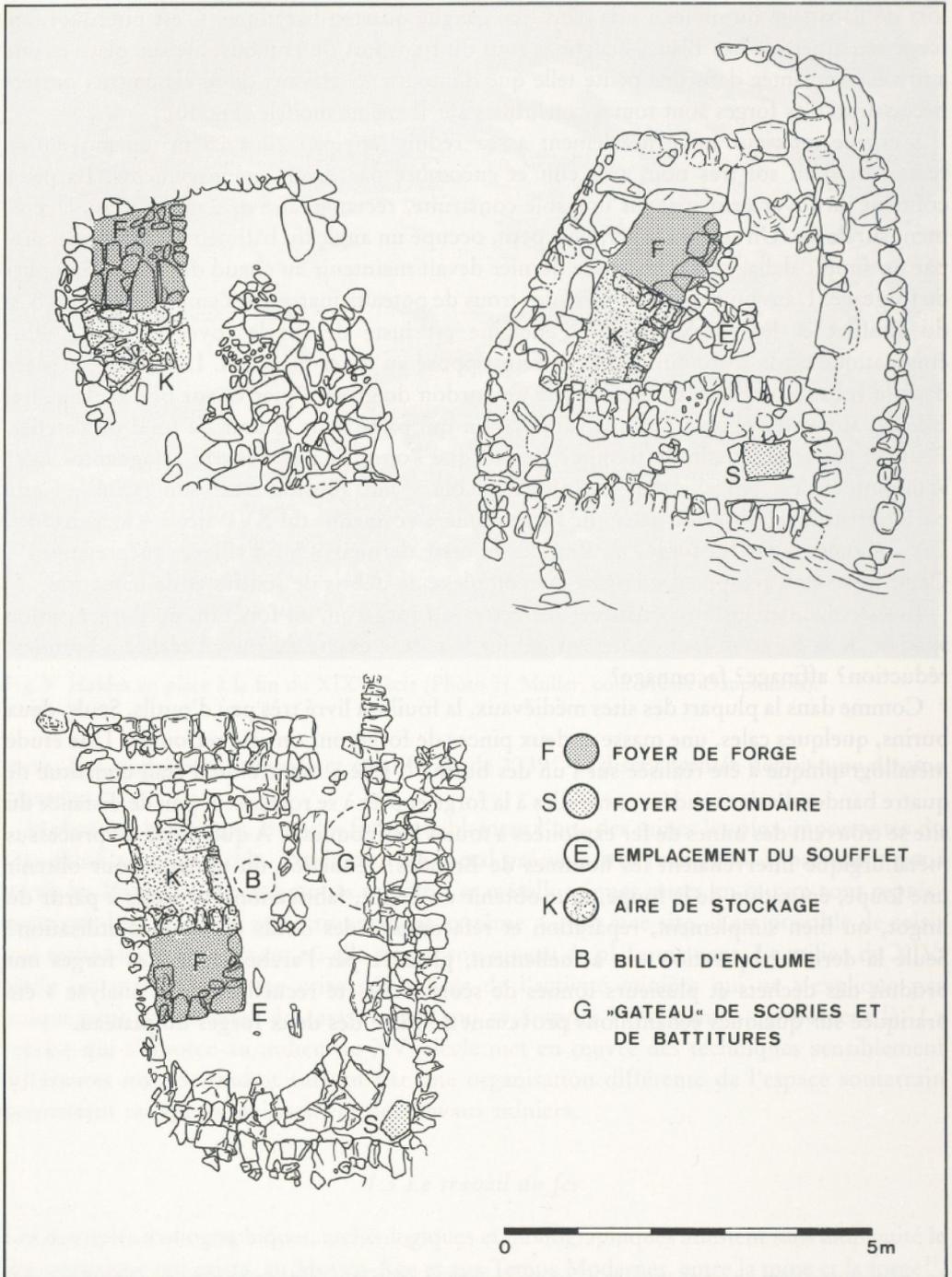


Fig. 10 Plans comparés des forges de Brandes.

2. Apport des analyses

2.1 Problème des scories de forges

a) Similarités

Actuellement, aucun critère morphologique, minéralogique ou chimique ne permet de distinguer sans ambiguïté une scorie dense de réduction directe (smelting ou bloomery) d'une scorie de forge (smithing).

Le tableau I illustre cette ressemblance chimique. Les différentes colonnes de ce tableau correspondent à des populations définies a priori sur sites et des »erreurs« de classement sont très vraisemblables. Néanmoins, les recouvrements des écarts-types n'en sont certainement pas trop augmentés. Les quelques »nuances« qui apparaissent seront discutées plus loin.

Tous les critères morphologiques parfois utilisés (notamment la forme en culot ou calotte, diamètre décimétrique) ont pu trouver leur contre-exemple, semble-t-il.

b) Position des scories de forge dans la chaîne des processus

La figure 10 illustre ce qui pourrait être la succession des processus du minerai au métal en forme et les types de déchets »normaux« que l'on peut attendre. Ce schéma est certes simplifié, par exemple le cinglage à chaud et la variante par concassage et tri à froid de la loupe ou éponge suivi d'un retraitement au four sont mentionnés mais les opérations d'affinage, c'est à dire d'ajustement de la qualité du métal, avant ou après le façonnage du lingot, ne sont pas explicitées. L'utilité d'un tel schéma est de constituer un support d'hypothèses de travail et de tests des cohérences et incohérences entre les données chimiques (en elles-mêmes ou par les paramètres physiques qu'elles permettent de fixer ou d'approcher); ce schéma est lui-même destiné à évoluer. Chaque étape de ce schéma permet d'envisager un bilan entre les matériaux »entrants« et les produits supposés obtenus (produits utiles et déchets). Cette notion de bilan matières à chaque étape conduit ipso facto à la notion d'héritage chimique selon deux filiations principales: une première à partir du minerai et des adjuvants et combustibles; une seconde à partir du métal d'oeuvre et ses adjuvants et combustibles.

c) Notion d'héritages chimiques

Les scories liées à l'élaboration du fer dans le bas fourneau sont des déchets des processus qui remanient la matière du minerai – composition globale modifiée par les traitements, les ajouts éventuels et les charbons de bois. Elles pourront donc être marquées par un certain héritage chimique puisqu'elles concentrent les éléments qui ne suivent ni le fer métal ni les gaz et vapeurs qui s'échappent.

Les compositions des scories liées à l'affinage (ou raffinage) de la loupe ou éponge doivent être très proches des précédentes, si ce n'est des effets dus aux réactions possibles entre le fer métal et les scories de réduction antérieurement formées et associées dans la loupe ou éponge traitée.

Par contre, les scories de forge sont issues de réactions entre du fer, du charbon de bois et les »décapants« de forge. On pourrait donc espérer des différences chimiques entre les compositions des scories de forge et celles de réduction puisque leurs héritages diffèrent. Malheureusement, les »décapants« traditionnels (argiles, sables, cendres de graminées, etc.) ont des compositions proches de celles des gangues fréquentes; les différences seront donc de second ordre. En toute rigueur, leur mise en évidence demanderait une meilleure

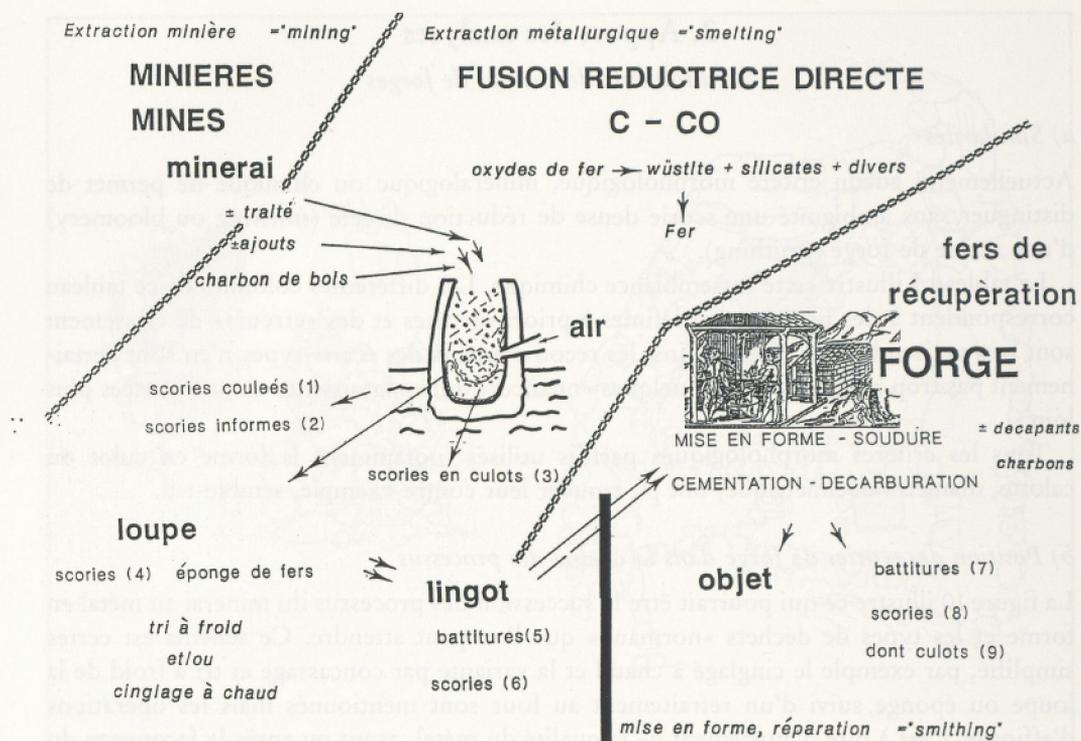


Fig. 11 La chaîne des processus.

connaissance de ces éléments, notamment des éléments mineurs en traces susceptibles de faire fonction de «traceur». Nous allons cependant discuter ce problème en fonction des données acquises à Brandes et de celles du corpus Artémise.

2.2 Chimie des scories de l'Alpe d'Huez

a) Les matériaux recueillis sur les trois forges

Scories de type dense, informes, de quelques centimètres ou en culots décimétriques, parois ou revêtements plus ou moins fondus, charbon de bois de petit calibre, battitures en paillettes ou en billes, gâteau trouvé en remplissage d'une fosse et agglomérant des débris de scories, battitures, roches, oxydes et «argiles» stockées en caisson.

b) Les données analytiques

Le tableau II rapporte les analyses chimiques effectuées sur des échantillons de ces matériaux. Ces analyses ont été réalisées au CRPG sur le quantomètre à diverses dates, d'où un nombre variable d'éléments en trace dosés – Laboratoire dirigé par K. Govindaraju, spectromètre d'émission Jobin Yvon JY70 à source plasma ICP, solution mère préparée après fusion au métaborate de Li et dissolution acide; dans les cas de difficulté de mise en solution, un ajout contrôlé de silice pure peut l'améliorer. Les courbes de dosage sont calibrées à l'aide d'étalons dont un minerai de fer groenlandais, Fiskenaeset. Des dosages complémentaires ou de contrôle peuvent être réalisés, en voie humide par exemple. Nous avons tenté d'analyser des cendres obtenues de charbons recueillis sur le site: des réactions avec les creusets n'ont pas pu être évitées et les manques au dosage sont importants. Les

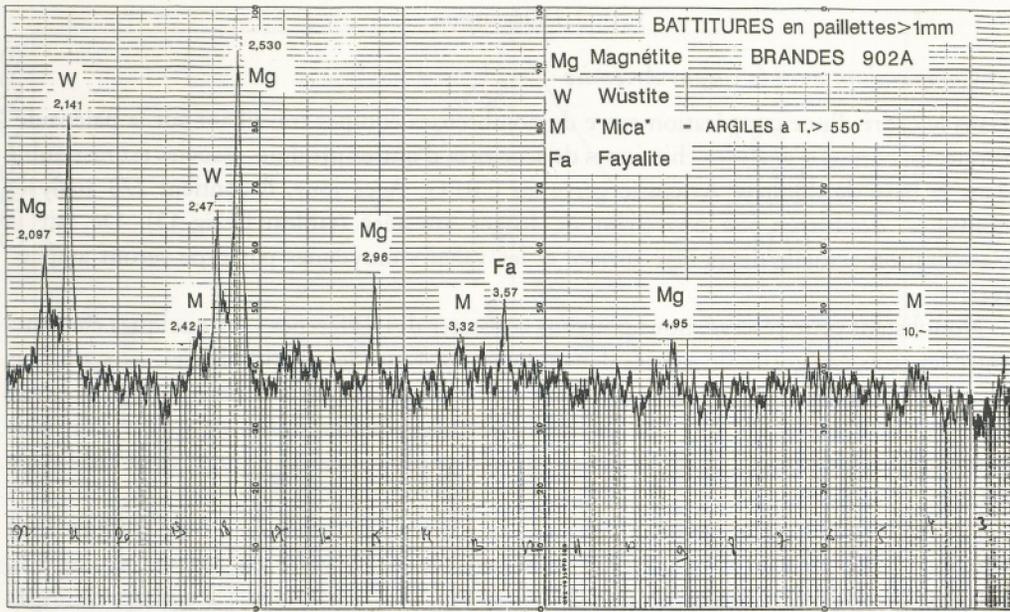


Fig. 12 Diffractogramme RX sur des battitures. Ces battitures en paillettes ont été triées une à une à partir de zones friables effritées à la main, du «gâteau» fond de bassin. Ce «gâteau» comprend également des battitures en billes, des fragments de scories, des sables et graviers, quelques morceaux de charbon de bois et des oxydes et hydroxydes. La magnétite paraît abondante, logiquement, mais aussi la wüstite, ce qui est plus surprenant et signifie que les réactions sont incomplètes. Un pic est caractéristique de la fayalite, résultat d'une réaction à chaud entre de la silice et du fer ou wüstite. Plusieurs pics permettent d'établir la présence d'une argile de réseau de type «mica», illite ou vraisemblablement smectite chauffée à plus de 500°.

totaux trop déficitaires sont précédés d'une *. Hormis les teneurs en baryum et en strontium, tous les éléments dosés paraissent «normaux» pour des scories ou parois. Ces excès en Ba ou Sr peuvent s'expliquer par l'environnement géologique et la mobilité de ces éléments. Par rapport aux scories de réduction directe, on pourrait les classer parmi les sites associés aux minerais de type «altération continentale».

A partir du «gâteau» prélevé dans la forge de Brandes (B68), des battitures en paillettes ou en billes ont été triées une par une. Des diffractogrammes RX ont été réalisés et l'un d'eux montre, outre les oxydes de fer, des pics caractéristiques de la fayalite et d'argile de type «mica», c'est à dire chauffée (Fig. 12). C'est là un indice sérieux d'usage de décapant.

c) Comparaison entre les forges de l'Alpe d'Huez

A Brandes et le Gua, les scories en culots sont abondantes et en épandage près de l'atelier alors qu'au Lac Blanc, les culots manquent et les scories fragmentées sont assemblées dans un caisson. Ces dernières ne sont pas de type «coulées» mais plutôt «informes».

Globalement, les scories du Lac Blanc paraissent un peu plus pauvres en P, V, Co et Ni (voire Cr, Ti ou Rb) et peut-être un peu plus riches en Ca. Les différences sur les principaux éléments, pris un à un, ne seraient pas significatives mais combinés entre eux, c'est à dire sous forme de diagramme paramétrique, des décalages apparaissent. Faut-il voir là des indices de matériaux (décapants, charbons, voire métal) ou de techniques différentes, soit entre ateliers, soit dans le temps?

2.3 Discussion

a) Comparaison avec le corpus Artémise

Dans le cadre d'une coopération entre de nombreuses équipes travaillant sur la paléosidérurgie, un corpus d'analyses chimiques de scories et d'autres produits associés est rassemblé dans la base de données Artémise gérée au CRPG. A ce jour, il contient 770 analyses nouvelles, dont très peu provenant de forges attestées (tableau I, fig. 13). De fait la classification actuelle devra être révisée et les valeurs moyennes par type seront améliorées.

Nonobstant cette réserve, nous pouvons constater des différences sur quelques éléments entre les trois catégories de scories denses retenues. Entre les scories denses, avec ou sans fer métal visible, les différences sont ténues et il n'y a guère que le manganèse qui pourrait être franchement significatif. Les scories cataloguées comme issues de forges sont plus nettement différentes ... mais la moitié des échantillons de ce groupe vient de l'Alpe d'Huez.

Par rapport au groupe «scories denses», les scories des forges de l'Alpe d'Huez sont nettement plus riches (hormis en Ba et Sr) en Na et K, voire en Mg, Si, Cu et Rb. Inversement, on peut estimer un léger déficit en Mn, Ti, P et la plupart des autres éléments dosés.

b) Comparaison avec le schéma

Si l'on considère les nuances chimiques rapportées ci-dessus et les compositions des cendres de charbon et d'argile prélevés en forges, il est très tentant d'attribuer la relative richesse en Mg, Cu, voire Rb au charbon de bois, celle en Si, Na, K, voire Rb à l'argile (décapant). La relative pauvreté en éléments mincurs ou en traces, par rapport aux scories de réduction directe, peut être interprétée comme l'absence d'héritage direct des minerais. Ba et Sr sont trop mobiles et trop présents sur le site pour être pris en compte, ils «imprègnent» tout. Par contre, le Cu est nettement moins abondant dans certains produits associés: argile stockée et paroi; il est donc vraisemblablement apporté par le charbon de bois. Remarquons que le charbon prélevé dans la forge du Lac Blanc est calcique ... et que deux sur quatre de ces scories sont nettement plus calciques. Tout ceci est cohérent avec le schéma présentant la notion d'héritage chimique.

Bibliographie sommaire

- ANDRIEUX, Ph.: Dix ans d'expérimentation: le Feu entre la Terre et le Métal. Dans: R. PLEINER (1989) 77-90.
- BAILLY-MAÎTRE, M. Chr.: La production d'un métal précieux au Moyen-Age - l'argent - à partir de l'exemple de Brandes-en-Oisans. Dans: Colloque Artistes, artisans et productions artistiques au Moyen-Age, Rennes II, Mai 1983. Vol. 1 (Paris 1986) 475-480.
- IBID.: Première approche des techniques minières médiévales à partir des exemples cévenols. Dans: Actes du 110e CNSS, Montpellier 1985 (1986) 149-158.
- IBID., DUPRAZ, J.: Un aperçu de l'extraction minière au Moyen-Age dans les massifs de la Chartreuse et de l'Oisans. Dans: Actes du 108e CNSS, Grenoble 1983 (1986) 165-174.
- IBID.: Le site de Brandes-en-Oisans (Huez-Isère), XIII^e-XIV^e siècles, étude historique et archéologique. Dans: Caesarodunum 22. Actes du colloque «Les mines et la métallurgie en Gaule et dans les provinces voisines» Paris 1986 (Errance 1987) 297-306.
- IBID.: Un coron du Moyen-Age, le site de Brandes-en-Oisans. Dans: Actes du congrès du Groupe d'Histoire des Mines et de la Métallurgie, St Briec 1988. Annales de Bretagne 1989, 133-144.

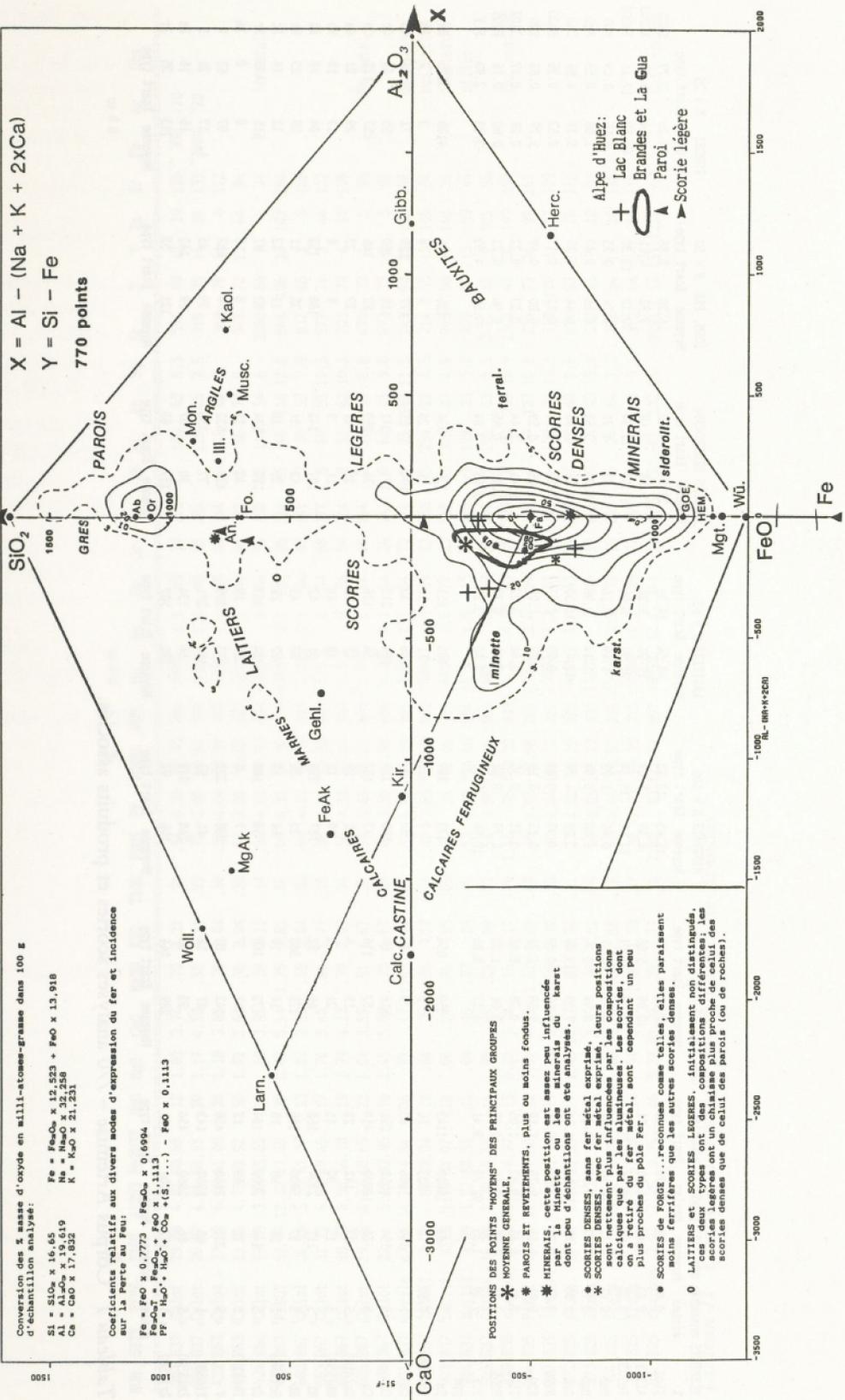
SCORIES ET PRODUITS ASSOCIÉS A LA PALEOMETALLURGIE DU FER

BASE DE DONNEES 'ARTEMISE'

CRPG-CNRS

PROJET DES PRODUITS DE FER DE LA FERRERIE D'ARTEMISE

- R. FLAMINI - OCTOBRE 80



Conversion des % masse d'oxyde en milli-atomes-grame dans 100 g d'échantillon analysé:

$Si = SiO_2 \times 16,65$
 $Fe = FeO_2 \times 12,523 + FeO \times 13,918$
 $Ca = CaO \times 17,852$
 $Al = Al_2O_3 \times 19,619$
 $Mg = MgO \times 32,258$
 $K = K_2O \times 21,231$

Coefficients relatifs aux divers modes d'expression du fer et incidence sur la pente du fer:

$Fe = FeO \times 0,7773 + Fe_2O_3 \times 0,6994$
 $Ca = CaO \times 0,7773 + Ca_2O \times 1,1113$
 $PP = MgO \times 0,7773 + CO_2 \times 1,1113 - FeO \times 0,1113$

POSITIONS DES POINTS "MOYENS" DES PRINCIPAUX GROUPES MOYENNE GENERALE,

- * PAROIS ET REVERTEMENTS, plus ou moins fondus.
- * MINERAIS, cette position est assez peu influencée par la Minette ou les minerais du karst dont peu d'échantillons ont été analysés.
- * SCORIES DENSES, sans fer métal exprimé.
- * SCORIES DENSES, avec fer métal exprimé, leurs positions sont nettement plus influencées par les compositions des minerais du karst. Les points les plus proches du pôle FeO ont le plus de fer métal, et sont donc plus proches du pôle Fe.
- * SCORIES de FORGE... reconnues comme telles, elles paraissent moins ferrifères que les autres scories denses.
- o LAITIERS et SCORIES... initialement non distingués, les scories légères ont un chimisme plus proche de celui des scories denses que de celui des parois (ou de roches).

Fig. 13 Diagramme typologique. Ce diagramme présente l'ensemble des données de la banque en courbe d'isodensité de points ainsi que les points représentatifs des moyennes des grands groupes (tableau I). Les analyses de l'Alpe d'Huez sont surimposées (tableau II).

ELEMENTS ensemble des 770 produits associés	dont PAROIS N = 76		MINERAIS N = 106		LAITIERS N = 63		SCORIES DENSES-384		IDEM, FER N = 50		FORGES N = 26	
	minima	Maxima	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
SiO2	0.01	27.09	58.13	19.49	11.45	10.32	48.54	14.76	16.28	8.86	24.26	7.79
Al2O3	0.03	6.46	12.09	5.66	4.40	5.69	10.91	5.26	3.92	4.01	6.24	5.21
Fe2O3t	0.32	25.61	11.38	11.01	67.95	15.34	21.77	6.06	70.12	15.30	60.52	17.11
MnO	0.01	0.77	0.15	0.17	0.46	1.03	1.49	2.16	0.24	0.35	0.16	0.09
MgO	0.01	0.77	0.94	0.76	0.46	0.90	1.14	0.98	0.65	0.47	1.08	0.55
CaO	0.01	6.08	7.33	13.46	2.25	4.29	11.47	11.50	6.44	6.35	5.37	4.86
Na2O	0.01	0.20	0.62	0.69	0.03	0.06	0.29	0.27	0.12	0.13	0.53	0.36
K2O	0.01	1.15	2.59	1.71	0.15	0.19	0.89	1.01	0.80	0.49	1.79	0.83
TiO2	0.01	0.45	0.78	0.44	0.21	0.35	0.61	0.22	0.23	0.22	0.26	0.17
P2O5	0.01	0.85	0.61	1.22	0.79	0.88	0.64	0.72	0.96	0.72	0.60	0.16
P.F.	-7.39	1.35	4.17	8.86	10.66	5.53	0.40	3.19	-0.56	4.99	-3.23	2.99
P.P.M												
Ba	< 5	484	559	654	179	599	585	651	126	154	4100	3525
Be(558)	0.50	8	3	2	7	11	11	11	4	6	3	7
Co	< 5	100	79	47	80	57	96	52	177	120	72	74
Cr	< 5	154	118	64	190	327	185	313	116	150	55	48
Cu	< 5	86	10000	57	116	47	107	126	82	146	253	172
Ga(414)	< 5	23	142	22	28	29	12	10	27	22	29	21
Nb(558)	< 5	13	90	11	10	10	10	11	9	8	13	10
Ni	< 5	111	2304	168	68	328	51	42	188	152	84	48
Rb	< 5	57	5000	175	563	29	36	67	32	11	59	25
Sc(558)	< 1	18	98	14	14	15	32	20	11	13	14	14
Sr	< 5	144	2000	172	168	55	108	129	93	97	515	433
Th(413)	< 5	12	69	12	7	6	26	19	8	8	9	8
V	< 5	336	3166	456	85	333	373	509	274	453	97	63
Y(558)	< 1	65	1500	143	41	53	164	271	29	45	17	21
Zn(558)	< 5	86	1060	93	83	248	379	134	29	143	16	16
Zr(558)	< 5	172	1000	289	144	106	92	157	121	52	113	35
	minima	Moyenne	Maxima	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type

Tableau I Corpus Artémise - 770 analyses scories et produits associés.

NUM. SITE	TYPE	%										p p m										Obs.										
		SiO2	Al2O3	Fe2O3T	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	PF	TOTAL	NUM.	Ba	Be	Co	Cr	Cu	Nb	Ni		Rb	Sc	Sr	V	Y	Zn	Zr	Pb	Ag	
284	B37	Culot	29.00	4.81	60.68	.12	1.02	3.74	.72	2.21	.21	.54	-5.26	97.79	284	5000	1.1	4.3	30	173	-	106	62	6.5	551	69	15	10	126	~ 300	(10	
285	B37	Culot	26.07	4.81	58.55	.20	1.17	4.12	.55	2.21	.23	.73	-3.00	95.64	285	4824	1.2	4.8	30	245	-	119	65	7.5	716	75	16	21	133	~3000	~20	
422	B63	Culot	27.62	6.69	61.00	.20	1.18	3.83	.78	2.04	.30	.50	-4.64	99.50	422	4876	1.4	2.8	50	244	5	46	62	9	360	78	14	6	112			
423	B63	Culot	23.83	4.75	62.92	.50	1.02	3.62	.38	2.24	.20	.63	-3.26	96.83	423	5000	1.2	4.0	40	402	5	86	78	9	948	72	12	44	94			
424	B64	Culot	19.23	3.33	65.62	.10	.68	3.95	.28	1.12	.14	.54	-4.62	90.37	424	5000	.8	5.0	50	430	5	114	54	6	2000	64	8	6	74			Fe metal
425	B63	PAROI	52.69	12.32	17.28	.38	2.08	5.14	1.75	3.82	.56	.60	-0.30	96.30	425	5000	2.4	10.2	86	184	5	46	116	12.8	848	106	20	102	154			
682	B67	Culot	26.28	5.55	61.37	.13	1.02	3.12	.59	2.04	.22	.64	-4.63	96.33	682	~2.22%	1.1	6.4	47	281	7	60	57	7.8	837	65	2	5	105			
683	B67	Culot	31.72	6.85	49.45	.17	1.70	3.40	.86	1.77	.35	.58	-1.62	95.23	683	~1.5%	.8	5.4	58	277	8	55	62	10.1	703	73	4	10	109			Fe metal
684	B67	Culot	28.83	6.50	56.10	.19	1.79	4.12	.79	2.07	.34	.56	-4.15	97.14	684	~1.5%	.6	5.6	54	214	8	55	62	10.1	703	73	4	10	109			
685	B67	Culot	19.78	4.37	68.65	.22	1.04	3.59	.51	1.67	.20	.59	-5.45	95.17	685	~1.03%	.6	6.4	40	264	7	78	53	8.6	470	73	1	5	96			
686	B67	Culot	22.46	5.19	62.95	.16	1.45	5.99	.75	1.67	.28	.65	-3.56	97.99	686	~1.37%	1.1	5.4	34	245	8	62	45	9.8	677	73	2	5	95			
901	B37	argille	67.56	14.75	4.84	.06	.97	.17	1.63	3.47	.65	.32	4.87	99.29	901	3900	2.2	5.4	70	74	9	25	149	11.5	143	90	25	123	198			ds caisson
902	B37	battit.	3.70	.89	78.94	.10	.64	.28	.04	.17	.04	.48	-1.65	83.63	902	4800	1.5	6.9	22	368	5	254	22	4.5	714	55	5	105	34			paillettes
903	B37	battit.	4.65	1.10	84.07	.12	.66	.29	.06	.15	.05	.54	.35	92.04	903	4800	1.5	7.7	23	513	5	305	23	4.9	905	58	5	148	36			paillettes
904	B37	battit.	4.99	1.27	88.55	.11	.64	.46	.07	.24	.06	.52	-2.46	94.45	904	1%	1.1	45	30	470	5	129	23	5.2	408	57	5	69	44			billes
905	B37	Gateau	16.89	2.70	55.44	.14	.96	.69	.29	.69	.12	.54	3.98	82.44	905	4833	.5	6.3	30	669	5	198	43	5.5	2000	43	9	305	56			sur cendres
898	B35	charbon	47.42	13.18	4.97	.13	6.15	3.70	.15	4.17	.76	1.45	.25	82.33	898	1%	4.09	41	85	~5000	8	90	208	16.9	~2500	47	24	192	193			
286	B35	PAROI	58.75	11.76	17.30	.12	1.61	4.53	1.62	4.05	.49	.48	-1.03	99.68	286	1201	2.2	6.9	30	198	-	97	127	10.8	236	73	26	99	161			
287	B35	legere	35.85	8.22	45.74	.17	1.94	5.09	.99	2.70	.52	.58	-1.64	100.16	287	5000	1.7	5.2	30	395	-	128	81	12.5	512	100	23	52	129			
372	B25	fragm.	27.00	6.96	55.33	.17	1.45	10.47	.87	1.38	.32	.37	-4.52	99.79	372	4126	1.1	4.3	39	253	7	45	48	9.6	634	63	16	10	111			
373	B25	fragm.	16.61	3.42	78.96	.16	.52	3.95	.36	1.52	.09	.64	-6.05	100.17	373	14400	.7	3.6	17	256	5	25	43	5.9	552	45	9	10	91			
374	B25	fragm.	24.55	5.51	60.38	.19	.88	8.79	.68	2.81	.18	.45	-4.44	99.97	374	15000	1.1	3.1	19	203	6	24	64	7.3	763	54	13	10	105			
375	B25	fragm.	27.53	6.17	61.28	.14	.94	2.51	1.08	1.73	.27	.38	-2.73	99.29	375	7500	1.1	2.6	37	249	5	54	48	9.1	312	64	14	10	118			
897	B25	charbon	7.24	7.05	6.76	.46	8.78	28.79	.22	.27	.13	7.80	3.83	71.33	897	9999	12.1	24.1	27	9999	5	401	102	24	9999	12	151	1222	44			

Tableau II Données analytiques des matériaux de Brandes.

- IBID., DUPRAZ, J.: Brandes-en-Oisans. Mittelalterlicher Silbererzbergbau in den französischen Alpen. *Der Anschnitt* 42, 1990, 122-130.
- IBID., PLOQUIN, A.: Un exemple d'expérimentation cistercienne à propos de la métallurgie du fer au XIII^e siècle. Dans: M. FIXOT, J.P. PELLETIER: *Porteries, bâtiments d'accueil et métallurgie aux abbayes du Thoronet et Silvacane*. *Archéologie Médiévale* 20, 1990, 181-252, spécialement 217-221 et 249-252
- IBID., CHAPON, Ph.: Un essai de grande métallurgie en Oisans, Evocations, Patrimoines de l'Isère »La pierre et l'écrit«. PUG (Grenoble 1990) 137-155.
- IBID.: Pour une histoire des mines au Moyen-Age: l'exemple des mines de la Terre d'Hierle (Gard). *Archéologie du Midi Médiéval* 7, CAML 1989, 61-71.
- IBID.: Mines et techniques extractives dans le Sud de la France. Dans: Actes du 113e CNSS Strasbourg 1988 (à paraître).
- BENOIT, P., GUILLOT, I., PLOQUIN, A., FLUZIN, Ph.: Archéologie et Paléoméallurgie des sites de Fontenay et Minôt en Bourgogne, Symposion Archäometallurgie von Kupfer und Eisen in Westeuropa. Mainz, 12.-15. September 1986. *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz* 35, 1988, 620-638.
- JACOB, J. P., MANGIN, M.: De la mine à la forge en Franche-Comté des origines au XIX^e siècle. *Ann. Litt. de l'Univ. de Besançon* 410, 1990, 318.
- DE LA ROCHE, H.: Revue sommaire de quelques diagrammes chimico-minéralogiques pour l'étude des associations ignées ou sédimentaires et de leurs dérivées métamorphiques. *Science de la Terre* 17, 1-2, 1972, 31-46.
- LEROY, M., FORRIERES, C., PLOQUIN, A.: Un site de production sidérurgique du haut Moyen-Age en Lorraine. *Archéologie Médiévale* 20, 1990, 141-179.
- LETERRIER, J., MARCHAL, M., DUBUIT, M., GREUX, M.: La banque de données géochimiques Artémise, exemples de valorisation scientifique. *Bulletin de la Société Géologique de France* 25, 5, 1983, 697-704.
- MANGIN, M.: La production du fer en France avant le haut fourneau: un état de la question. Dans: PLEINER (1989) 239-252.
- NOSEK, E. M.: The polish smelting experiments in furnaces with slag pits. Dans: *Furnaces and smelting technology in Antiquity*, ed. P.T. CRADDOCK and M.J. HUGHES. *British Museum Occasional Paper* 48 (London 1985) 165-178.
- PLEINER, R. (Ed.): *Archaeometallurgy of Iron*. International Symp. Liblice October 1987 (Prag 1989).