

L'OR DANS L'ANTIQUITÉ

DE LA MINE À L'OBJET

Sous la direction de Béatrice Cauuet

AQUITANIA
Supplément 9

CET OUVRAGE A ÉTÉ PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS FINANCIER
du Ministère de la Culture et de la Communication,
Direction du Patrimoine, Sous-Direction de l'Archéologie
de la Région Limousin,
de la Région Midi-Pyrénées,
de la COGEMA,
de la Communauté Européenne PDZR,
de l'Unité Toulousaine d'Archéologie et d'Histoire (UMR 5608)

COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Détail de la maquette de la mine d'or des Fouilloux
(Jumilhac, Dordogne, France), exploitée à la Tène finale.*

Conception B. Cauuet, réalisation P. Maillard de MAD Entreprise (cliché : Studio 77).

PHOTO DU BAS : *Extrémité d'un collier d'or datant du Bronze final, Gleninsheen, Co. Clare, Irlande
(cliché National Museum of Ireland).*

DOS DE COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Bouloun-Djounga (Niger) : mine d'or ouverte dans la latérite (cliché G. Jobkes).*

PHOTO DU BAS : *Femme Fulbe (Mali) parée de boucles d'oreilles massives à lobes effilés (cliché B. Armbruster).*

La publication de cet ouvrage
a été préparée par Béatrice Cauuet,

assistée de

Claude Domergue,
Martine Fabioux,
Jean-Michel Lassure,
Maurice Montabrut et
Jean-Marie Pailler

qui ont assuré les relectures, des traductions pour certains
et parfois quelques remaniements des textes,

ainsi que de

Patrice Arcelin
pour les cartes informatisées.

MAQUETTE

Teddy Bélier (Toulouse)

IMPRESSION

Achever d'imprimer en octobre 1999

Imprimerie Lienhart à Aubenas d'Arèche

Dépôt légal octobre 1999 - N° d'imprimeur : 1716

Printed in France

ISBN : 2-910763-03-X

A Richard Boudet,

Sommaire

page 9 Robert SAVY, *Président du Conseil Régional du Limousin*,
Préface

page 10 Martine FABILOUX,
Avant - propos

page 11 Béatrice CAUJET,
Introduction

Aux origines de l'or : géologie - aires - techniques

page 17 Marie-Christine BOIRON et Michel CATHELINÉAU,
Les gisements aurifères, théories anciennes et nouvelles, or visible et invisible : exemples des gisements d'Europe de l'Ouest

page 31 Béatrice CAUJET,
avec des annexes de Béatrice SZEPERTYSKI et Marie-Françoise DIOT,
L'exploitation de l'or en Gaule à l'Age du Fer

page 87 Filippo GAMBARI,
Premières données sur les *aurifodinae* (mines d'or) protohistoriques du Piémont (Italie)

page 93 Claude DOMERGUE et Gérard HERAIL,
Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne)

page 117 Volker WOLLMANN,
Contribution à la connaissance de la topographie archéologique d'*Alburnus Maior* (Roşia Montană) et à l'histoire des techniques d'exploitation romaine en Dacie

page 131 Georges CASTEL et Georges POUIT,
Les exploitations pharaoniques, romaines et arabes de cuivre, fer et or. L'exemple du ouadi Dara (désert oriental d'Egypte)

Ethno-archéologie comparative

page 147 Georg JOBKES,
La production artisanale de l'or au Niger dans son contexte socio-économique

page 163 Barbara ARMBRUSTER,
Production traditionnelle de l'or au Mali

Traitement des minerais, techniques métallurgiques

page 185 Béatrice CAUJET et Francis TOLLON,
Problèmes posés par le traitement des minerais et la récupération de l'or dans les mines gauloises du Limousin

page 199 Jiri WALDHAUSER,
Des objets celtes en or très pur à l'affinage de l'or en Bohême en relation avec la technique minière dite "soft-mining"

page 205 Bernard GRATUZE et Jean-Noël BARRANDON,
Apports des analyses dans l'étude de creusets liés à la métallurgie de l'or : étude d'un creuset et de quatre fragments de creusets provenant du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne)

page 213 Jean-Noël BARRANDON,
Du minerai aux monnaies gauloises en or de l'ouest : purification et altération

page 217 Rupert GEBHARD, Gerhard LEHRBERGER, Giulio MORTEANI, Ch. RAUB,
Ute STEFFGEN, Ute WAGNER,
Production techniques of Celtic Gold Coins in Central Europe

Fabrication et diffusion de la joaillerie

page 237 Barbara ARMBRUSTER,
Techniques d'orfèvrerie préhistorique des tôles d'or en Europe atlantique des origines à l'introduction du fer

page 251 Peter NORTHOVER,
Bronze Age gold in Britain

page 267 Mary CAHILL,
Later Bronze Age Goldwork from Ireland - Form and Function

page 277 Gilbert KAENEL,
L'or à l'Age du Fer sur le Plateau suisse : parure-insigne

page 291 Giovanna BERGONZI et Paola PIANA AGOSTINETTI,
L'or dans la Protohistoire italienne

page 307 Alicia PEREA,
L'archéologie de l'or en Espagne : tendances et perspectives

page 315 Hélène GUIRAUD,
Bijoux d'or de l'époque romaine en France

Or, économie et symbolique dans les sociétés celtiques

page 331 Christian GOUDINEAU,
Les Celtes, les Gaulois et l'or d'après les auteurs anciens

page 337 José GOMEZ DE SOTO,
Habitats et nécropoles des âges des métaux en Centre-Ouest et en Aquitaine : la question de l'or absent

Jean-Michel BEAUSOLEIL,
Mobilier funéraire et identification du pouvoir territorial à l'Age du Fer sur la bordure occidentale du Massif Central

page 357 Serge LEWUILLON,
En attendant la monnaie. Torques d'or en Gaule

Production et circulation des monnayages d'or

page 401 Kamen DIMITROV,
Monnaies et objets d'or sur le territoire d'un Etat en Thrace du Nord-Est pendant la période haute-hellénistique

page 409 Gérard AUBIN,
Le monnayage de l'or en Armorique : territoires, peuples, problèmes d'attribution

page 417 Richard BOUDET, Katherine GRUEL, Vincent GUICHARD, Fernand MALACHER,
L'or monnayé en Gaule à l'Age du Fer. Essai de cartographie quantitative

Or, économie et symbolique dans le monde antique

page 429 Raymond DESCAT,
Approche d'une histoire économique de l'or dans le monde grec aux époques archaïque et classique

page 441 Michel CHRISTOL,
L'or de Rome en Gaule. Réflexions sur les origines du phénomène

page 449 Jean-Marie PAILLER,
De l'or pour le Capitole (Tacite, Histoires, IV, 53-54)

page 457 Claire FEUVRIER-PREVOTAT,
L'or à la fin de la République Romaine. Représentations, valeur symbolique, valeur

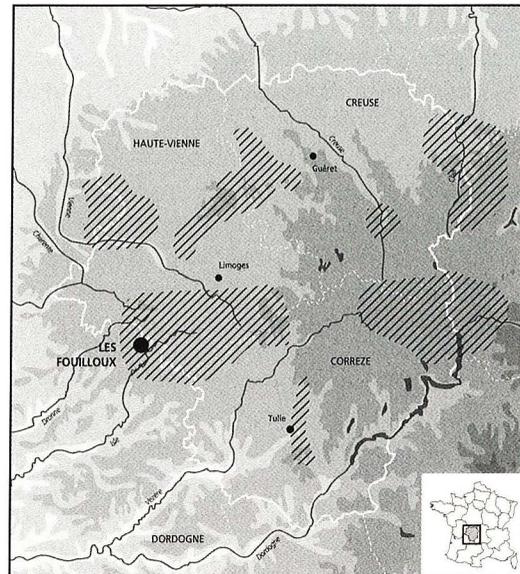
page 470 Claude DOMERGUE,
Conclusion

page 474 Glossaire

page 482 Index



*Traitement des minerais,
techniques
métallurgiques*

Béatrice Cauuet¹ et Francis Tollon²1. UMR 5608-C.N.R.S,
Université le Mirail,
Toulouse2. UMR 5563-C.N.R.S,
Université Paul Sabatier,
Toulouseet UMR 5608-C.N.R.S,
Université le Mirail,
Toulouse, France

Localisation de
la mine d'or des
Fouilloux (Jumilhac,
Dordogne) ;
en hachuré les
districts aurifères.

Problèmes posés par le traitement des minerais et la récupération de l'or dans les mines gauloises du Limousin

Résumé

La découverte de nombreux foyers, disposés en bordure de la mine à ciel ouvert des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne), une mine d'or gauloise du II^e et du I^{er} siècle avant J.-C., située au sud-ouest du Limousin, a révélé l'existence d'aires de grillage du minerai aurifère. L'échantillonnage d'un pilier riche en or (90 g par tonne) dans un chantier antique a montré que l'or était étroitement associé à de la stibine (Sb_2S_3), dans des fissures de mispickel ou de pyrite. Le simple broyage de ce type de minerai ne permet pas la séparation de l'or des sulfures. En revanche le grillage facilite la fragmentation du quartz, oxyde les sulfures par élimination du soufre et de l'arsenic et libère vraisemblablement l'or. Un essai de grillage par du charbon de bois a été réalisé sur plusieurs kilos de ce minerai sulfuré. Les résidus très fragilisés ont été broyés. Le concentré en fond de batée obtenu a bien livré de nombreux grains d'or natif, inférieurs à 200 microns, des octaèdres de sénarmontite (Sb_2O_3), de l'antimoine métal, des résidus de sulfures de fer (FeS) et des oxydes de fer.

Abstract

The discovery of several hearths, set out on the edge of the opencast mine at Fouilloux (Jumilhac, Dordogne), a gold mine from 2nd to 1st c. BC, in south-western Limousin, has revealed the presence of roasting areas for auriferous ore. The sampling of a pillar rich in gold (90 g per ton) in an ancient mining work has shown that gold was closely associated with stibnite (Sb_2S_3), in mispickel or pyrite clefts. The simple crushing of this type of ore cannot separate gold from sulphides. On the other hand, roasting makes quartz fragmentation easier, oxidises sulphides by elimination of sulphur and arsenic and is likely to release the gold. A roasting test with charcoal has been carried out on several kilos of that sulphured ore. The very brittle residue has been pounded. The concentrate obtained from the pan bottom did release grains of gold, inferior to 200 microns, senarmontite octahedrons (Sb_2O_3), antimony metal, residue of iron sulphides (FeS) and iron oxides.

L'étude de la mine d'or protohistorique des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne) a été menée de 1988 à 1994 dans le cadre de fouilles programmées et de fouilles de sauvetage¹. Ces fouilles ont eu lieu à partir de la carrière d'exploitation de la Société des Mines du Bourneix, qui a réexploité ce gisement à l'emplacement même des anciennes aurières. Cette réexploitation a fait progressivement apparaître, puis disparaître les vestiges des exploitations antiques. Ainsi, des ateliers de traitement du minerai aurifère ont été retrouvés, installés près des fosses d'extraction (fig. 1).

Ces ateliers comprenaient des aires de grillage, des aménagements conservés en place dans le sol et des vestiges mobiliers attestant du broyage du quartz aurifère. Ce site a livré aussi des éléments de datation allant du IV^e au III^e siècle avant J.-C. et du II^e au I^{er} siècle avant J.-C. Les vestiges de La Tène finale, période la plus récente de l'exploitation, sont les plus importants et les plus significatifs de techniques minières et minéralurgiques avancées pour l'époque.

Les ateliers de traitement du minerai étudiés ont été datés de la période allant du II^e au début du I^{er} siècle avant J.-C.² Ils sont un peu antérieurs à la fin de l'activité minière sur ce site qui se situe vers les années 20 avant J.-C. La mine des Fouilloux est ensuite restée à l'abandon jusqu'au début du Haut Moyen Age. Puis, entre le VI^e et le VII^e siècle de notre ère, le site a été réoccupé, sans que cette réoccupation des lieux ait, dans l'état actuel de nos connaissances, une finalité extractive attestée³. Le

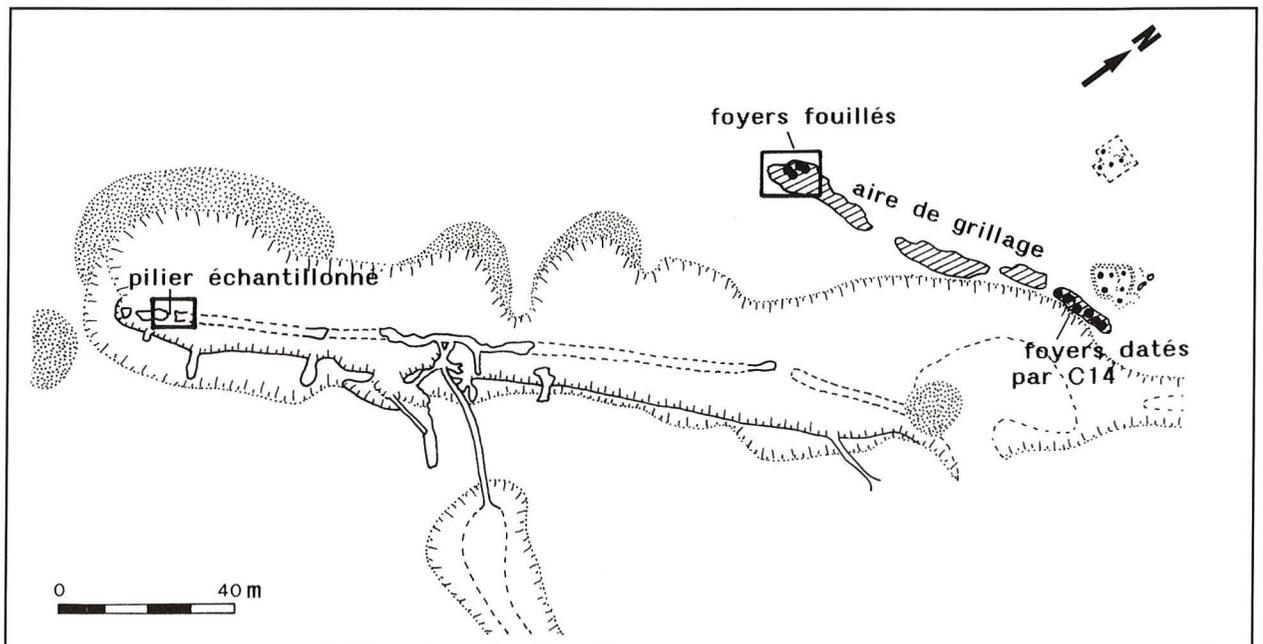
site semble par la suite être retourné à l'oubli jusqu'à sa réexploitation actuelle. Les ateliers étudiés sur cette mine ont été les premiers vestiges découverts en Limousin attestant des techniques de traitement de l'or en roche à l'époque gauloise. Ils sont les jalons indispensables pour reconstituer les procédés de récupération de l'or de cette époque.

Contexte géologique et géologique régional

Le Limousin est formé de terrains paléozoïques à antécambriens fortement métamorphisés et déformés par l'orogénèse hercynienne. Celle-ci a provoqué le chevauchement de plusieurs unités lithologiques et la mise en place de granites. La majorité des quelques "milliers" d'aurières connues⁴ sont situées dans l'unité inférieure des

1. Cauuet, 1988, p.181-190 ; Cauuet, 1989, p.57-59 ; Cauuet, 1991, p.149-181 ; Cauuet, 1992, p.7-22 ; Cauuet, 1994, p.111-123 ; Cauuet, 1995a ; Cauuet, 1995b, p.219-240.
2. Cauuet B., L'exploitation de l'or en Gaule à l'Age du Fer, dans ce volume.
3. En 1994, un sondage ouvert à l'extrémité nord-est de la mine des Fouilloux a révélé un comblement comprenant des souches d'arbres et des rejets de souches entassés au fond de la mine à ciel ouvert gauloise. Le fond de l'aurière, déjà colmaté par des déblais depuis l'arrêt de l'activité à La Tène finale, était saturé d'eau du fait de la proximité de la nappe phréatique. Ce fond gorgé d'eau avait permis la conservation de ces pièces de bois non ouvragées et abattues entre le VI^e et le VII^e siècle de notre ère (datations dendrochronologiques faites par B. Szeperzyski du L.A.E de Bordeaux). L'étude palynologique effectuée par M.F. Diot (C.N.P de Périgueux) sur le remplissage de cette excavation a montré que l'essence de bois dominante, le hêtre, correspondait au reboisement naturel apparu sur cette mine après son abandon à la fin du I^{er} siècle av. J.-C. On a donc là la preuve d'une réoccupation du site au Haut Moyen Age, confirmée encore par la présence dans le remplissage de quelques tessons de céramique attribuables à cette même période.
4. Laporte, 1965, 4, p.133.

Fig. 1
Mine d'or gauloise des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne) ; position des zones étudiées.



gneiss. Cette unité est constituée de micaschistes, de gneiss, d'orthogneiss, de roches basiques et ultrabasiques et de granites à deux micas en lames mis en place pendant l'orogénèse ⁵.

La genèse des concentrations aurifères est contrôlée par le développement et l'évolution de grandes zones de cisaillement ⁶, dans cette unité inférieure des gneiss, au cours de la remontée rapide de la chaîne hercynienne marquant la fin de cette orogénèse. Ces zones de cisaillement (comme celle du Bourneix) évoluent depuis des conditions de déformation ductile à celles de déformation fragile vers 10 à 8 km de profondeur. C'est dans ces conditions de fortes pressions et températures que se déposent le quartz, puis les sulfures (pyrite, arsénopyrite), et l'or ⁷.

La présence locale de stibine dans ces gîtes clôturée la succession des événements hydrothermaux utilisant ces grands drains que sont les zones de cisaillement. Ce minéral se dépose par chute rapide de température dans des conditions de pression hydrostatique faible, c'est-à-dire dans des conditions qui existent dans les derniers mille mètres sous la surface. C'est un marqueur métallogénique du dernier épisode de déformation fragile (fini *uplift*) du cycle géodynamique hercynien ⁸.

La plupart des gisements de quartz aurifères du Limousin appartiennent à ce type dit *shear-zone* aurifère. C'est le cas de la zone de cisaillement du Bourneix connue en surface sur 12 km d'allongement avec de nombreuses aurières ⁹. Le gîte d'or des Fouilloux appartient à cette *shear-zone*. Pour simplifier, les filons de quartz aurifère sont encaissés dans des roches mylonitisées, hydrothermalisées et plus ou moins silicifiées qui sont soit des micaschistes avec des amphibolites et des corps lenticulaires de granite, soit des orthogneiss. L'or est parfois bien visible dans le quartz. Il ne pouvait échapper au regard des mineurs gaulois.

La mine gauloise des Fouilloux et son minerai

La mine et ses techniques d'avancement

La tradition minière gauloise du Limousin, telle que nous avons pu la percevoir dans son déroulement à travers l'Age du Fer, montre que les mineurs ont toujours commencé leurs exploitations par de vastes excavations,

conduites à ciel ouvert, le plus largement et le plus longtemps possible. Dans la mine à ciel ouvert, l'avancement se faisait par tranches descendantes verticales ou décalées, selon le pendage des filons. Il laissait des fronts de taille au profil en gradins ou en talus selon l'inclinaison des panneaux minéralisés et les dimensions des excavations.

Aux Fouilloux, une mine qui correspond à une grande exploitation sur filon incliné (pendage du filon : 36°), la partie exploitée à ciel ouvert a été développée sur 260 m de longueur, 40 m de largeur et 20 m de profondeur. Côté mur du filon, le front de taille a été ouvert en deux larges gradins, tandis que le front de taille opposé, côté toit du filon, a été partiellement taillé en talus, partiellement en petits gradins ¹⁰.

Labattage de la roche se faisait à l'outil de fer, pointerolle et massette ou pic, les traces des coups d'outil étant encore bien visibles sur les parois. Dans les passages en roche dure, telle que les parties massives d'un épais filon de quartz, l'ouverture au feu était pratiquée, comme l'attestent la présence de charbons de bois à la base des fronts de taille et la forme lisse et arrondie des parois.

A partir des gradins laissés par l'exploitation se développaient des petites galeries de recherche transversales, percées en travers-banc qui permettaient d'explorer les épontes au mur du filon. Au-delà d'une vingtaine de mètres de profondeur, l'exploitation a été poursuivie en souterrain sur une dizaine de mètres supplémentaires. Compte tenu de la dureté des roches en profondeur et de la masse grandissante des terrains stériles à abattre et à évacuer pour développer encore la mine à ciel ouvert, les Anciens ont choisi d'approfondir l'exploitation par des ouvrages souterrains.

Aux Fouilloux, comme dans d'autres grandes exploitations de La Tène finale du sud du Limousin (Cros Gallet-sud, Laurières, La Fagassière), le filon a été suivi et exploité en profondeur dans des chantiers étroits et allongés, ouverts en enfilade au fond de la mine à ciel ouvert. Ces chantiers foncés en

5. Floc'h, 1983 ; Floc'h *et al.*, 1984, p.5-10.

6. Bonnemaïson, 1986, p.55-66.

7. Hubert, 1986 ; Calli, 1988 ; Bouchot, 1989 ; Boiron M.C. et Cathelineau M., Les gisements aurifères. Théories anciennes et nouvelles..., dans ce volume.

8. Munoz *et al.*, 1992, p.176.

9. Crouzet *et al.*, 1979, p.11.

10. Dans le contexte de la fouille de sauvetage, cette partie de la mine à ciel ouvert a dû être retaillée par une pelle mécanique, ce qui n'a pas permis de reconnaître complètement le profil des parois.

tranchée dans la masse du filon étaient les prolongements souterrains de l'exploitation, jusqu'à -30 m de profondeur à la mine des Fouilloux. Largues de 1,50 à 2,50 m, ces chantiers ouverts en défilage avaient en moyenne entre 8 à 12 m de longueur, parfois plus, et jusqu'à 35 m de longueur pour l'ensemble le plus long dégagé sur ce site.

Ces défilages ont été creusés en sous-cavement, car l'abattage suivait le pendage du filon. Un boisaige serré avait été mis en place en travers des ouvrages, au fur et à mesure de leur approfondissement, pour tenir les terrains au toit du filon. Si trois défilages distincts semblent avoir été reliés en fin d'exploitation pour former un seul long chantier, ouvert sur près de 35 m de longueur, plus généralement les différents défilages étaient foncés de loin en loin, séparés les uns des autres par un pilier de minerai large de 1,20 à 2 m (fig. 2). Ces piliers transversaux n'ont pas été abattus, sans doute pour diverses raisons, dont la première tenait à leur rôle de soutènement venant renforcer l'étagage, parfois aussi en raison de la présence de minerai pauvre ou de roche stérile au niveau d'un rejet de faille.

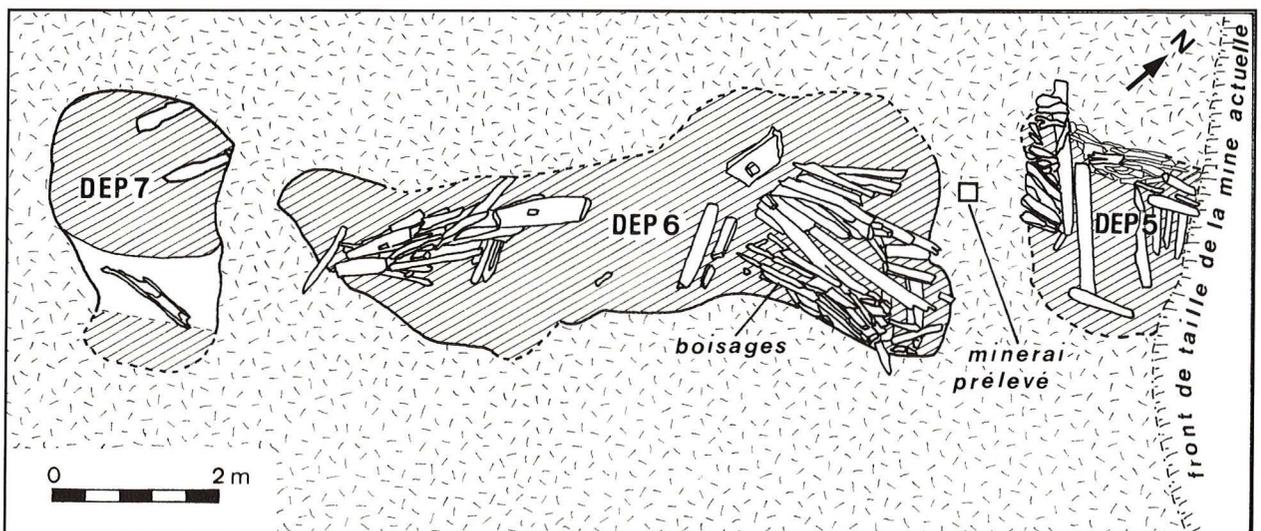
Aux Fouilloux, un de ces piliers laissé entre deux défilages à la profondeur de -20 m, dans une zone riche en sulfures et en or natif, constituait un témoin du type de minerai abattu et recherché par les Anciens. Cette pile de minerai a été laissée en place vraisemblablement comme soutènement pour éviter l'effondrement de la paroi surplombante entre deux trop longs défilages. Compte tenu de la forte teneur en or de ce minerai et de sa position significative dans la mine, les échantillons sélectionnés pour notre étude ont été prélevés dans la masse de ce pilier de soutènement.

Le minerai

La majorité du minerai abattu par les Anciens, dans les filons du district de St Yrieix-la-Perche (sud de la Haute-Vienne), est constituée par du quartz renfermant une faible quantité de sulfures (quelques p. cent). L'or est toujours natif, souvent bien visible dans le quartz à partir de 100 microns de diamètre, plus difficilement reconnaissable au milieu des sulfures (pyrite FeS_2 , arsénopyrite FeAsS). Cela est encore plus ardu quand ce minerai est envahi par de la stibine (Sb_2S_3). C'est le cas d'une grande partie du minerai extrait par les Anciens aux Fouilloux, comme le montre le pilier très riche en sulfures et en or (90 g/t Au, analyse faite par la Soc. des Mines du Bourneix) déjà mentionné. Il constitue donc un excellent minerai malgré sa teneur en sulfures. Ce minerai est essentiellement constitué de quartz et de sulfures qui peuvent représenter plus de 30 % (en volume) des échantillons décimétriques prélevés (fig. 3) ; on y reconnaît à l'œil nu la pyrite, l'arsénopyrite et surtout la stibine.

Au microscope, la pyrite et l'arsénopyrite en grains automorphes à subautomorphes sont associées à du quartz en grands cristaux polygonaux peu déformés. Des grains d'or natif (incluant 10 % Ag) sont localisés dans les fissures de ces minéraux ou à leur contact immédiat (fig. 4 et 5). La stibine envahit et corrode aussi bien le quartz que les sulfures préexistants, formant un lacis de microfilonnets donnant l'impression que le quartz (tout comme la pyrite et l'arsénopyrite) est éclaté (fig. 6), ou encore des zones plus massives (pluricentimétriques) à fragments résiduels de quartz, pyrite ou arsénopyrite. L'or est lui aussi englobé dans cette matrice de stibine (fig. 5). Il n'a pas été décelé d'aurostibite.

Fig. 2
Fouilloux : vue en plan de trois défilages (DEP5, DEP6, DEP7) et position du pilier échantillonné.





Il semble donc, à première vue, difficile de séparer mécaniquement les particules d'or natif des sulfures et plus particulièrement de la stibine et d'obtenir des concentrés riches en or par gravité.

Les ateliers de traitement

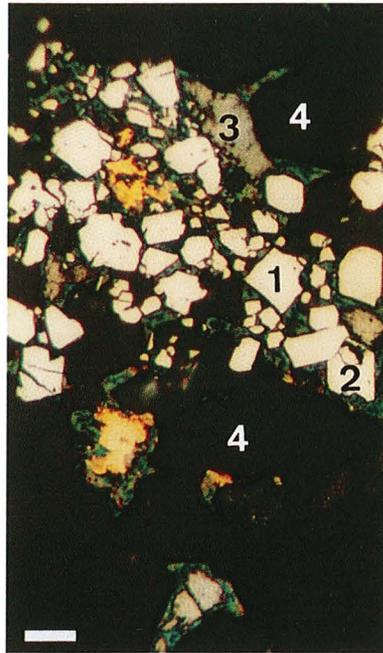
Les fouilles de sauvetage menées sur la mine des Fouilloux ont permis de découvrir, au nord-est du site, des groupes de petits foyers, localisés près des excavations et en périphérie des haldes amassées au bord des fosses (fig. 1). Dans ce secteur, lors des décapages faits par les engins mécaniques, une surface de quelques 1500 m² (15m x 100m) était apparue couverte de petites cellules charbonneuses accolées ou juxtaposées les unes aux autres.

Le contexte de la fouille de sauvetage ne permit de fouiller complètement qu'un espace restreint de 18 m² (3m x 6m), situé à l'ouest de la zone charbonneuse (fig. 1). Sur cet espace, sept foyers (F1, F2, etc.) furent retrouvés. Ils étaient disposés dans de petites fosses, ouvertes les unes sur les autres ou les unes à côté des autres (fig. 7 et 8).

Ces fosses, peu profondes (1m à 2m de largeur, 0,30m de profondeur), étaient creusées dans le substrat gneissique pour les plus anciennes. Puis successivement dans le temps, mais sur le même espace, de nouvelles fosses étaient aménagées. Dans un niveau de sol exhaussé et égalisé par des apports de terres de remblais, une nouvelle surface de travail était préparée pour permettre le creusement des nouvelles fosses abritant d'autres foyers.

Coupe stratigraphique de l'aire de grillage

La coupe stratigraphique dressée sur cet espace fouillé montre bien la succession des structures de foyers (fig. 8), séparées par des couches de remblais, d'où provient l'essentiel des mobiliers céra-



3 | 4

Fig. 3

Echantillon de minéral provenant du pilier laissé entre les dépilages aux Fouilloux ; quartz blanc grisâtre, riche en sulfures (stibine, pyrite, arsénopyrite). Echelle, barre = 1,5 cm

Fig. 4

Pyrite subauto-morphe (Py) et arsénopyrite (Asp) envahies par la stibine (Sb) englobant de l'or natif (en jaune) dans du quartz (Q). Echelle, barre = 150 µ. Section polie en lumière naturelle.

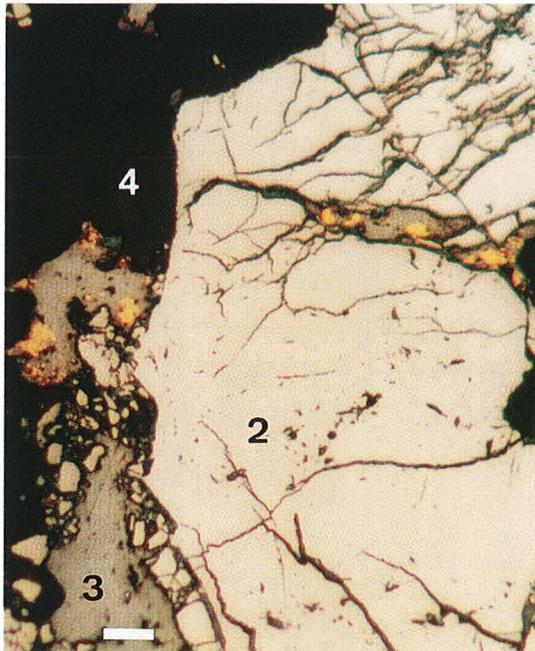


Fig. 5

Arsénopyrite (Asp) microfissurée envahie et corrodée par la stibine (Sb) qui cimente l'or natif (en jaune) dans du quartz (Q). Echelle, barre = 100 µ. Section polie en lumière naturelle.

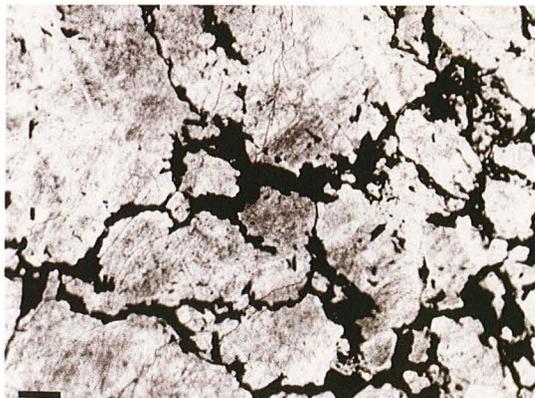
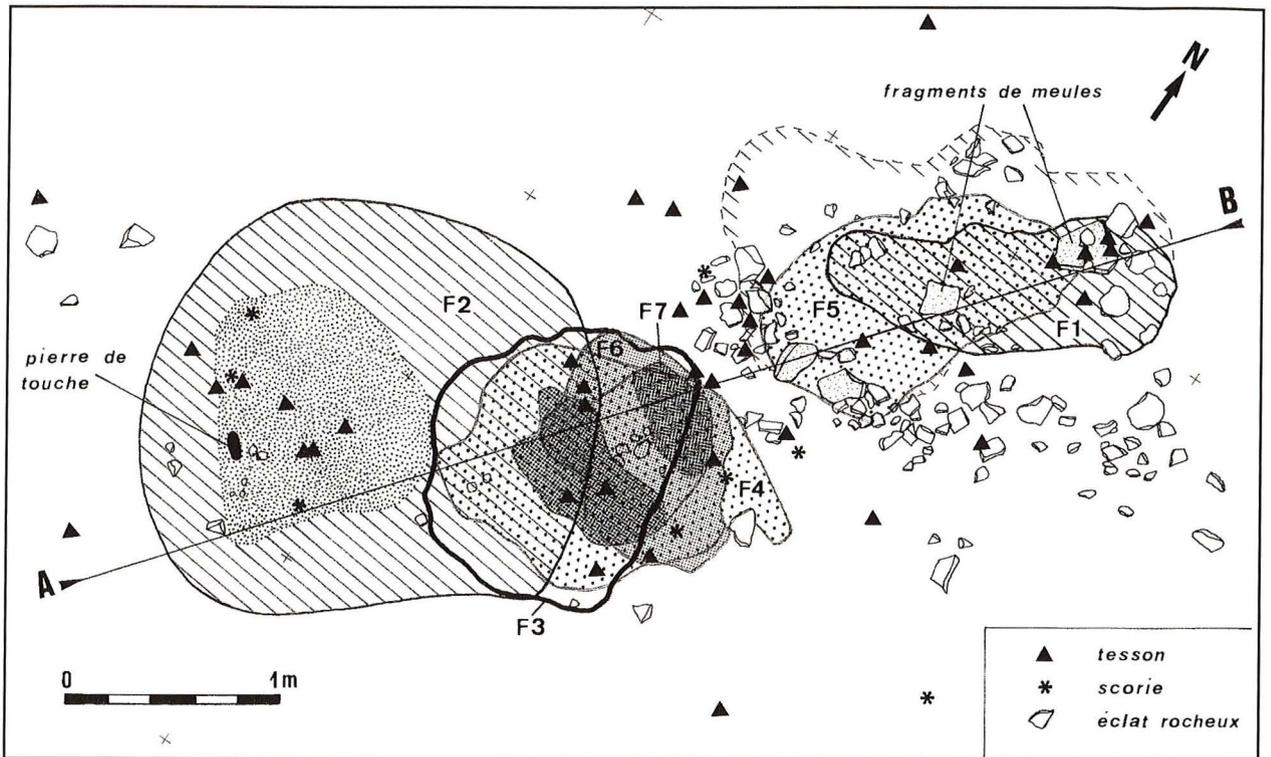


Fig. 6

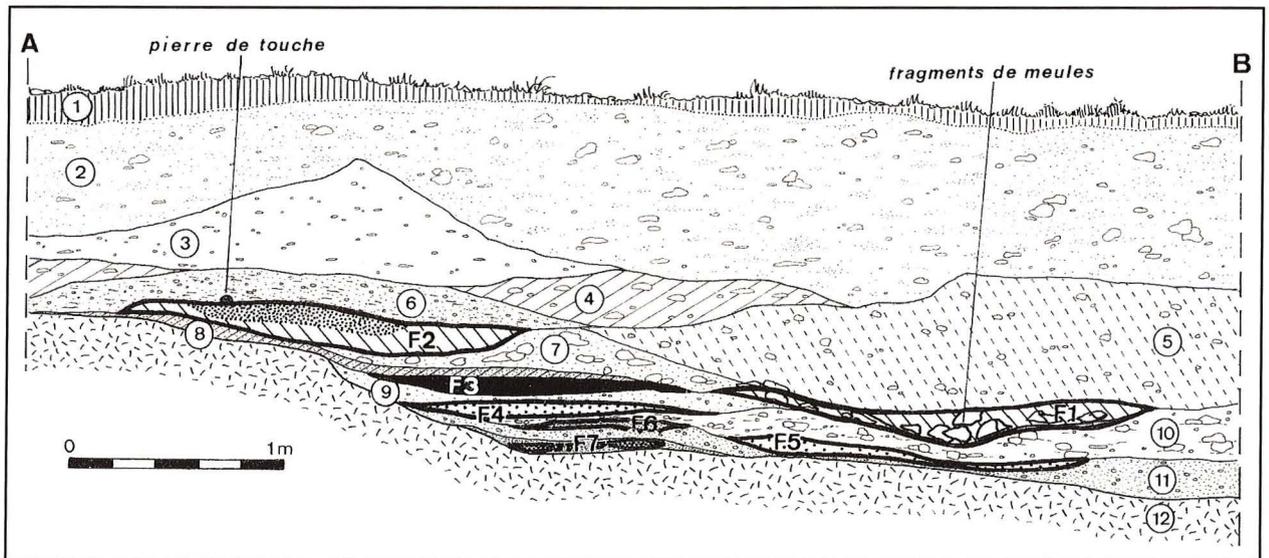
Quartz fracturé (Q) et corrodé par la stibine (en noir). lame mince du minéral du pilier ; microscope par transmission, lumière naturelle. Echelle, barre = 500 µ.

Fig. 7

Fouilloux ; les sept foyers de grillage du minerai vus en plan.

**Fig. 8**

Fouilloux ; coupe stratigraphique AB de l'aire de grillage aux sept foyers.



miques retrouvés (fig. 9). Description de la coupe stratigraphique AB :

US 1 : humus naturel, superficiel, 5 à 15 cm d'épaisseur maximum.

US 2 : terre de couleur ocre-beige, argilo-sableuse, meuble, peu caillouteuse ; contient 20% de petits éclats rocheux (entre 2 à 8 cm de longueur).

US 3 : poche de terre ocre-brune, argileuse, compacte, peu caillouteuse ; contient 15 % de petits

éclats (entre 1 à 4 cm de longueur) et quelques petits charbons de bois.

US 4 : terre de couleur ocre-beige, argilo-sableuse, compacte, présence de quelques éclats rocheux et de quelques tessons de céramique.

US 5 : terre de couleur ocre-beige, sableuse, compacte ; constituée par les minéraux de la partie superficielle du socle altéré et très arénisé, creusée pour l'aménagement des foyers de grillage.

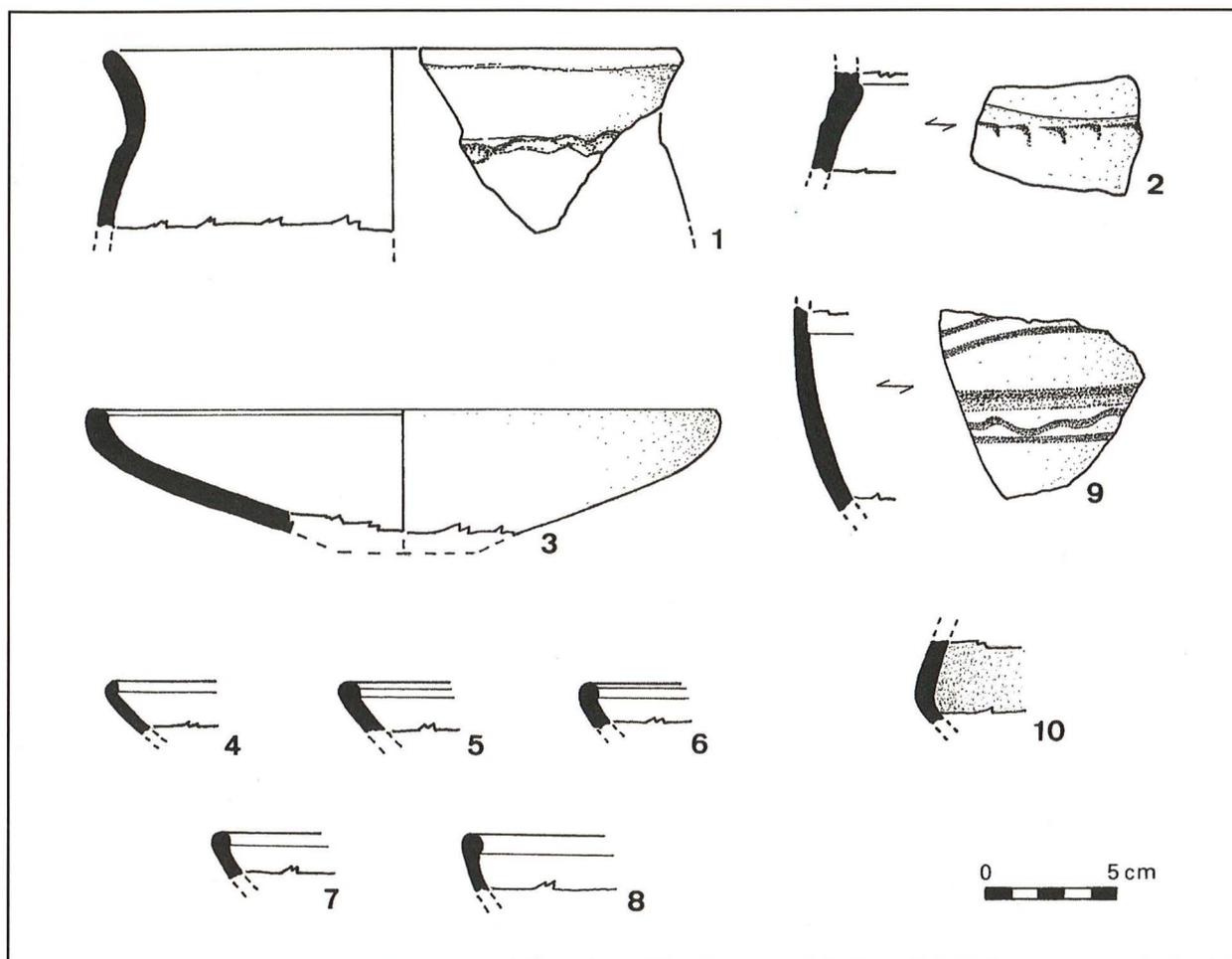


Fig. 9
Fouilloux ;
céramiques
recueillies dans
l'aire de grillage
et datables du
Deuxième Âge
du Fer.

US 6 : poche de terre de couleur brune, argilo-sableuse, meuble, contenant 30 à 40 % d'éléments caillouteux (entre 3 et 8 cm de longueur), dont de nombreux éclats de quartz et de schiste rubéfiés par l'action du feu, et une grande quantité de charbons de bois. A sa base et au contact du foyer F2, se trouvait une pierre de touche ¹¹. Présence de nombreux tessons de céramique.

US 7 : petite poche de terre de couleur brun-foncé, argilo-sableuse, meuble, contenant 30 % de cailloutis et un amas de petits blocs de quartz (10 à 15 cm de longueur) du côté du foyer F1. Cette couche située en bordure du foyer F1 a été entaillée pour installer le foyer F2, elle contenait beaucoup de charbons de bois, de nombreux éclats rocheux rougis au feu et beaucoup de tessons de céramique.

US 8 : mince lentille de terre de couleur ocre-clair, argilo-sableuse, contenant quelques éclats rocheux rubéfiés, des charbons de bois et quelques tessons de céramique. Elle recouvrait le foyer F3.

US 9 : lentille de terre de couleur brun-foncé avec des passées ocre-rouge, argilo-sableuse, contenant une grande proportion de charbons de bois et quelques amas d'éclats rocheux. Présence de quelques tessons et de quelques petites scories ¹² (fig. 7).

US 10 : couche de terre de couleur ocre-beige, très dense et compacte, argilo-sableuse, contenant quelques éclats de quartz et de gneiss, ainsi que quelques charbons de bois ; présence de tessons de céramique.

US 11 : couche de terre de couleur ocre-brun, argilo-sableuse, dense et compacte, peu caillouteuse, riche en arène et petits éclats (1 à 3 cm de longueur) de quartz et de gneiss ; elle contient quelques charbons de bois et quelques tessons de céramique localisés à la base de la couche au contact du socle.

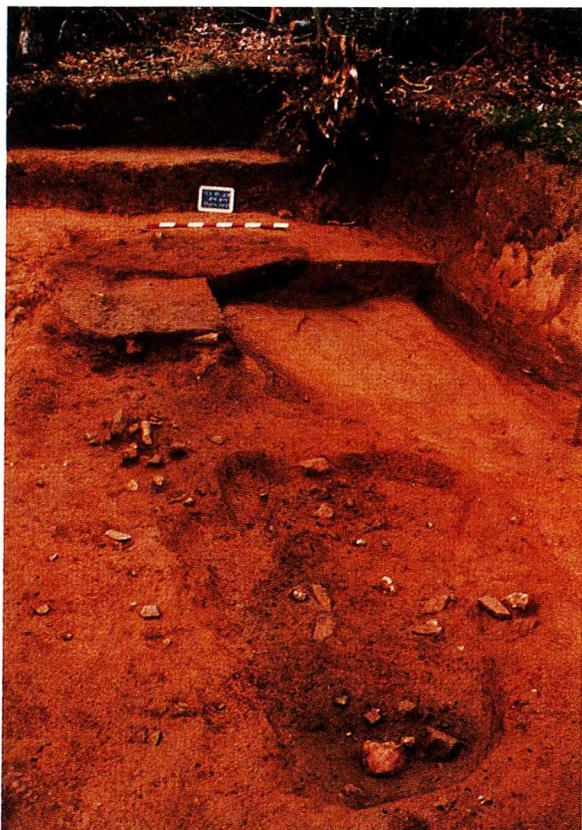
¹¹. Cauuet, 1995a, p.24-25 ; Cauuet, 1995b, p.235.

¹². Ces petites scories, dont l'analyse est en cours, contiennent des fragments de quartz grésés au feu. Elles peuvent avoir été produites par les opérations

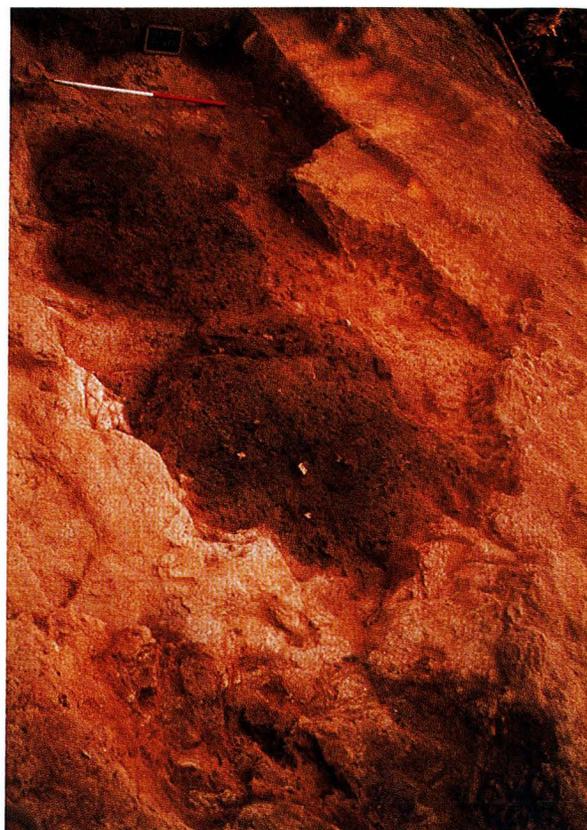
10 | 11

Fig. 10

Fouilloux, aire de grillage ; foyers F1 (au premier plan) et F2 (au second plan) en cours de fouille.

**Fig. 11**

Fouilloux, aire de grillage ; foyers F4 (au centre du cliché) et F5 (au second plan) en cours de fouille, au premier plan la fosse aménagée dans le socle pour le foyer F2.



US 12 : socle naturel constitué par des gneiss très altérés en surface et arénisés.

Mobiliers rencontrés

L'essentiel du mobilier recueilli est constitué par des tessons de céramique très fragmentée et très incomplète. Seules quelques formes ont pu être reconstituées et présentées (fig. 9). Il s'agit d'urnes peignées, modelées et décorées d'un motif ondulé incisé (fig. 9-1, provenant de l'US 6) ou d'un motif en forme de crans impressionnés (fig. 9-2, provenant de l'US 7). Ces pots sont datables du début du Ier siècle avant J.-C.

Les écuellés à bord rentrant sont bien représentés, elles sont modelées et non décorées avec différents types de profils. Les formes les plus anciennes, datables des IIIe-IIe siècles avant J.-C., présentent soit une lèvre à bord droit et aminci (fig. 9-4, provenant de l'US 7), soit une lèvre arrondie, épaissie intérieurement par un profil interne très aigu (fig. 9-3, provenant de l'US 6), soit encore une lèvre épaissie à l'intérieur et facetée (fig. 9-5, provenant de l'US 6 et fig. 9-6, provenant du foyer F1). Les formes les plus récentes sont datables du début du Ier siècle avant J.-C. et présentent un bord rentrant arrondi (fig. 9-7 et fig. 9-8, provenant de l'US 7).

Cet atelier de grillage a également livré un fragment de panse de jatte carénée, modelée (fig. 9-10, trouvé hors contexte stratigraphique¹³), une forme qui se rencontre au IIIe siècle mais également au Ier siècle avant J.-C. Enfin, un fragment de panse décorée au lissoir a été retrouvé (fig. 9-9, provenant de l'US 7). Le décor composé de filets parallèles encadrant une onde et la technique d'exécution sont caractéristiques du Ier siècle avant J.-C.¹⁴

Les foyers

Les foyers F1 et F2 situés au sommet de la stratigraphie sont évidemment les plus volumineux et les mieux conservés (fig. 7 et 8). Le foyer F1 comprend principalement des charbons de bois emballés dans une argile fine (fig. 10). De nombreux éclats de quartz, dont certains rubéfiés, ont été retrouvés dans ce foyer et entre les foyers F1 et F2, formant une longue traînée (fig. 7). Ce foyer conte-

métallurgiques effectuées pour la réalisation d'un petit lingot d'or à partir du minerai grillé. Leur petit nombre et l'absence de fragments de creuset dans l'espace fouillé paraissent indiquer que les opérations d'affinage et de lingotage devaient se faire hors de l'emprise de l'atelier minéralurgique présenté ici.

13. Cet atelier de grillage a été découvert lors d'une fouille de sauvetage et les premiers niveaux archéologiques de cet espace de fouille avaient été remués par des engins mécaniques.

14. Pour l'ensemble de ces datations se reporter à Cauuet, 1991, p.164 et 174.

nait également des tessons et quelques fragments de meules rotatives en granite brisées et hors d'usage, certaines pièces ayant été manifestement brûlées (fig. 10).

Le foyer F2 a la particularité d'être partiellement recouvert par une lentille de terre argileuse rubéfiée (fig. 10), contenant quelques charbons de bois et quelques fragments de gneiss rougis ; sur cette lentille était posée la pierre de touche¹⁵ (fig. 7 et 8). Le foyer lui-même est constitué par une couche de charbons de bois mêlés à très peu de terre.

Le foyer F3 était également formé par une poche de charbons de bois, auxquels étaient associés quelques tessons. Le foyer F4 contenait une terre charbonneuse avec une concentration de charbons de bois au centre (fig. 11). Il contenait également de nombreux fragments de quartz, certains rougis par le feu, quelques éclats de granite et de gneiss chauffés, une petite scorie et quelques tessons.

Le foyer F5 comprenait une terre charbonneuse mêlée à des fragments de quartz rubéfiés (1 à 5 cm de longueur), de schiste, et à quelques tessons (fig. 11). Le foyer F6 apparaissait comme une fine couche de charbons de bois associée à quelques petits éclats de quartz, de gneiss et de schiste, ainsi qu'à une scorie et à de rares tessons. Enfin, le foyer F7 n'apparaissait plus que sous la forme d'une lentille charbonneuse résiduelle, posée sur le socle, et à laquelle se mêlaient des petits fragments de quartz rougis et des nodules argileux rubéfiés.

Interprétation et datation des structures

L'organisation des couches et des structures permet d'établir une chronologie relative dans l'aménagement des différents foyers. Dans cette aire de travail, les mineurs ont commencé par dégager les terres meubles qui recouvraient le socle, afin de disposer sur cette surface les différents foyers dans lesquels le quartz aurifère, préalablement concassé, était grillé. Le foyer F7 posé directement sur le socle gneissique a donc été la première structure mise en place. Les foyers F6 et F5 ont été ensuite disposés, alors que F7 était abandonné et recouvert par une pellicule de terre de remblai (US 11), vraisemblablement prise dans les terres superficielles préalablement repoussées.

Puis, une deuxième couche de remblai (US 10) a été épandue sur F5 et F6 pour permettre l'aména-

gement du foyer F4. Ensuite, après avoir recouvert F4 d'une nouvelle couche de remblai (US 9), deux petites fosses ont été creusées dans la nouvelle surface créée (US 9 et 10) pour recevoir les foyers F3 et F1. A l'abandon du foyer F3, recouvert d'une fine pellicule de terre (US 8), le foyer F1 a pu continuer à fonctionner, alors que des terres de remblai étaient rapportées (US 7) au-dessus de F3 pour l'aménagement de la fosse qui allait accueillir le dernier foyer F2. La lentille d'argile rubéfiée qui recouvrait partiellement F2 correspond peut-être à une terre de remblai jetée sur le foyer F2 encore brûlant pour étouffer le feu.

Du point de vue chronologique, les différentes formes céramiques retrouvées semblent provenir principalement d'une zone de terres de remblai, où ces poteries cassées avaient dû s'entasser. Cette zone devait être visitée depuis une phase ancienne, car on retrouve mêlées, à différents niveaux de la stratigraphie, des céramiques des IIIe-IIe siècles et d'autres du Ier siècle avant J.-C., alors que la similitude et la concentration des structures sur un même espace ne permettent pas de penser que cette aire de grillage ait pu fonctionner pendant une si longue période. Il semble plutôt que cette aire de grillage et les sept foyers qu'elle comprend étaient seulement en activité au cours du Ier siècle avant J.-C., à la période de La Tène finale.

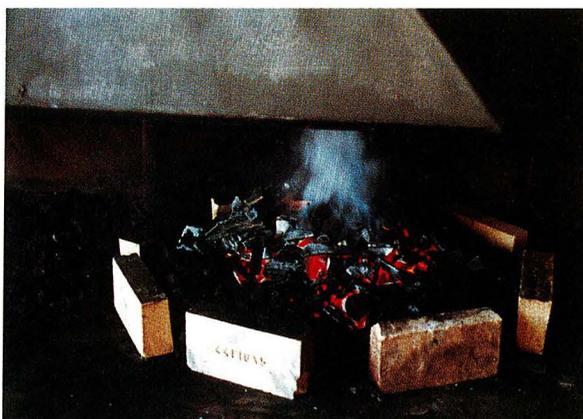
Cependant, en d'autres points de la mine des Fouilloux, des structures minières ou appartenant à des foyers ont été datées des IIIe-IIe siècles avant J.-C., ce qui apporte la preuve que ce site était déjà en activité à cette phase ancienne de La Tène moyenne. Ainsi, une deuxième aire de grillage, située plus à l'est et à proximité du fond de cabane dégagé (fig. 1), comprenait un grand nombre de petits foyers similaires à ceux qui viennent d'être présentés. Mais ils n'ont pu être relevés et étudiés en détail, compte tenu des impératifs de la fouille de sauvetage. Seul un prélèvement de charbons de bois a pu être effectué pour obtenir une datation radiocarbone. Cette datation C¹⁴ a donné comme mesure de l'âge la période chronologique comprise entre -390 et -193¹⁶. Il s'agit donc d'un foyer de

15. Petit galet plat, de couleur noire, à la surface lisse, dure et abrasive. L'étude de la surface de cette roche, une lydienne, a révélé au microscope la présence de fines particules d'or, incrustées dans des micro fissures. La présence de cet or impossible sur ce type de roche à l'état naturel permettait d'attester de son usage comme pierre de touche par les Anciens.

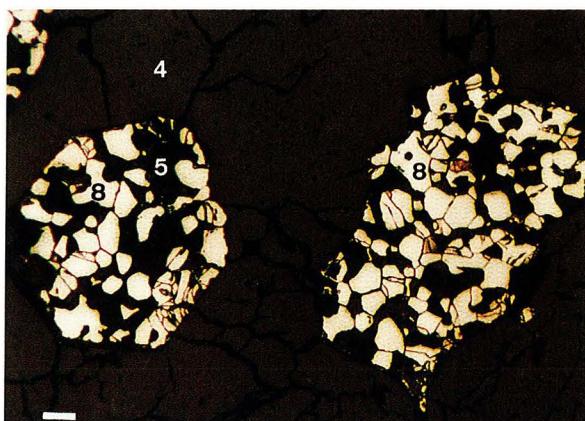
16. Datation effectuée par le laboratoire du Radiocarbone de Villeurbanne : réf. de l'échantillon Ly-6705, mesure de l'âge 2245 +/- 50 BP, avec comme maximum de probabilité les dates suivantes, -371, -269 et -209.

Fig. 12

Meule de grillage entourée de briques réfractaires et posée sur une plaque de fer; la fumée blanche passe dans la hotte de la forge de la S.E.P.S. (Aude).

**Fig. 13**

Pyrite subautomorphe dans la gangue de quartz (Q) incomplètement "grillée" : le minéral restant (en blanc) est un sulfure de fer, de type pyrrhotite (8), entouré de vide et d'oxydes de fer (5) (hématite, magnétite) en noir. Le quartz (4) a nettement éclaté tout autour. Echelle, barre = 250 μ . Section polie en lumière naturelle.



grillage du minerai en activité entre les IV^e et II^e siècles avant J.-C., vraisemblablement au cours du III^e siècle avant J.-C.¹⁷. A cette époque ancienne, on constate donc que les mineurs effectuaient déjà des opérations de grillage du minerai aurifère.

Les problèmes posés par ces ateliers

La présence de minerais grillés sur des aires de foyers, associés à des fragments de meules, conduit à interpréter ces zones d'activité comme des aires de grillage et de broyage du minerai.

Pourquoi grillaient-ils ce type de minerai aurifère, quartzueux et sulfo-arsénié ?

Il est évident qu'ils ont cherché à fragiliser la gangue quartzueuse par le feu pour en faciliter le concassage, puis le broyage à l'aide de meules en granite, roche constituée de cristaux de quartz, mais aussi de feldspath et de mica, donc beaucoup moins dure a priori que le quartz du minerai. En revanche, après l'action d'un feu, le minerai devait être bien plus friable qu'un quartz non traité et de ce fait moins résistant à la surface abrasive d'une meule en granite.

Un autre apport très important du grillage est de détruire la structure des sulfures par oxydation ; ainsi les particules d'or contenues dans ces sulfures peuvent être libérées lors du broyage réalisé après l'opération de grillage.

L'expérimentation

Il a donc été décidé de réaliser une opération de grillage dans des conditions aussi proches que possible des conditions antiques, mais aussi dans les meilleures conditions de sécurité, étant donné le rejet dans l'atmosphère de gaz nocifs. La S.E.P.S.¹⁸ a permis d'effectuer cette opération sous la hotte d'une forge dans son usine pyrométallurgique de Lastours (Aude).

Grillage du minerai

Sur la sole de la forge, une grande plaque de fer a facilité l'installation de l'aire de grillage (50 x 60 cm), simplement délimitée par des briques réfractaires non jointives (fig. 12) ; à l'intérieur, ont été disposés, en couches successives, du charbon de bois et des fragments de minerais de dimensions inférieures à 3 ou 4 cm. Pour les obtenir, les échantillons de minerais décimétriques à pluridécimétriques ont été très difficilement concassés à la masse environ 5 kg ont ainsi été préparés et disposés en totalité (même les particules fines) dans la meule de charbon de bois.

Très vite après l'allumage, les fumées sont devenues jaunâtres à nettement blanchâtres (fig. 12). La meule s'est consumée avec un tirage naturel, sans vent, pendant 8 heures. A la fin de l'opération, il ne restait plus que les morceaux de minerais grillés, quelques petits charbons de bois imbrûlés et des cendres.

Les fragments de minerai grillé étaient noirâtres à rougeâtres avec de très nombreuses fissures ou craquelures. Un simple petit coup de massette les mettait en miettes, contrairement au minerai de même calibre non grillé. Le premier but était atteint, à savoir rendre très friable ce minerai quartzueux riche en sulfures et naturellement très dur.

Dans les plus gros morceaux (3 x 5 cm), il restait parfois des sulfures incomplètement grillés ; c'était

17. Compte tenu des pics de probabilités fournis par le traitement statistique de la mesure de l'âge ; cf. note 16.

18. S.E.P.S. : Société d'exploitation pyrométallurgique de Salsigne (en 1992).

essentiellement le cas de la pyrite. Dans le volume d'un cristal de pyrite subsistait un sulfure de fer, de couleur rosâtre, très anisotrope au microscope métallographique, occupant 30 à 50 % du volume initial. Sa composition chimique obtenue par analyse à la microsonde électronique a permis de dire que ce minéral appartient au groupe de la pyrrhotite (FeS) (fig. 13) ; souvent en association, on trouve un sulfure d'antimoine dont l'analyse montre qu'il est proche de la formule (Sb S).

Broyage des résidus de grillage

Par commodité, tout l'ensemble des résidus du grillage (minerai, charbon de bois et cendre) a été réduit à une maille inférieure à 2 mm dans un broyeur à disques dont le fonctionnement peut être considéré comme assez semblable à celui des broyeurs antiques à meules circulaires.

Recherche et concentration de l'or par gravité

Ensuite, par batée, donc par gravité, les cendres, les fragments de charbons de bois et la gangue quartzuse ont été éliminés. Des minéraux lourds et des grains d'or visible à l'œil nu constituaient le fond de batée ou concentré. Un deuxième but était atteint : l'or natif était désormais libre, indépendant de la gangue de quartz et des sulfures qui l'emprisonnaient.

Etude minéralogique du concentré

A l'œil nu ou à la loupe binoculaire, on observe dans le concentré de batée trois types de grains :

- 1 - gris à éclat métallique, bronze à noirâtre ;
- 2 - blanchâtres à adamantins ;
- 3 - jaune d'or.

L'étude au microscope métallographique, puis par microsonde électronique et diffraction X, permet de bien caractériser tous ces minéraux à l'état de grains inférieurs à 1 mm.

Les minéraux du premier type sont les plus abondants. On y trouve des oxydes de fer (magnétite, hématite) sans formes propres, des grains de sulfures de fer (type pyrrhotite) de couleur bronze à rosé, parfois associés à des grains grisâtres composés de soufre et d'antimoine (Sb S) pouvant avoir une formule proche de Sb_2S_3 (ces derniers ne sont en aucun cas de la stibine non grillée), et des grains en plaquettes, gris métallique, qui sont de l'antimoine métal parfois accolé à un fragment de charbon de bois (fig. 14).

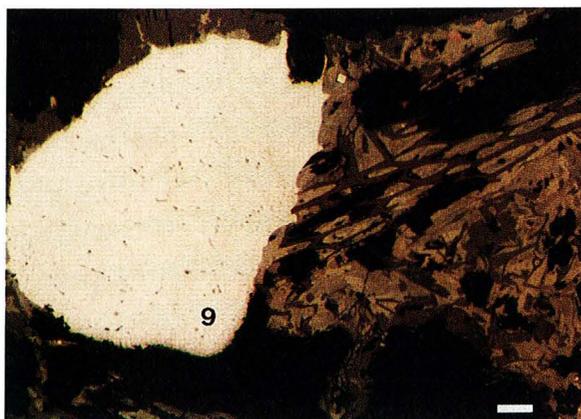


Fig. 14
Antimoine métal (9), renfermant encore en micro-inclusion un sulfure d'antimoine, au contact d'un charbon de bois dont on reconnaît les cellules. Echelle, barre = 40 µ.

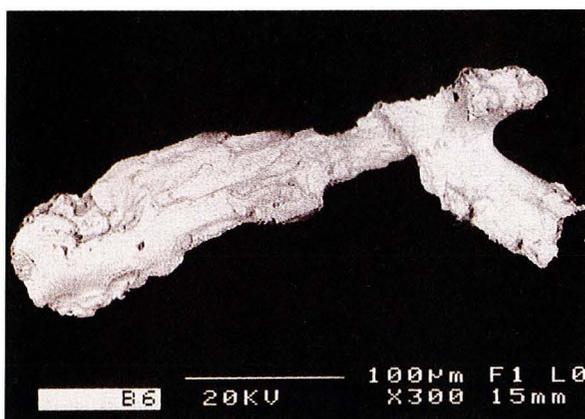


Fig. 15
Particule d'or natif avec empreintes de cristaux de pyrite et d'arsénopyrite. Microscope électronique à balayage. Echelle, barre = 100 µ.

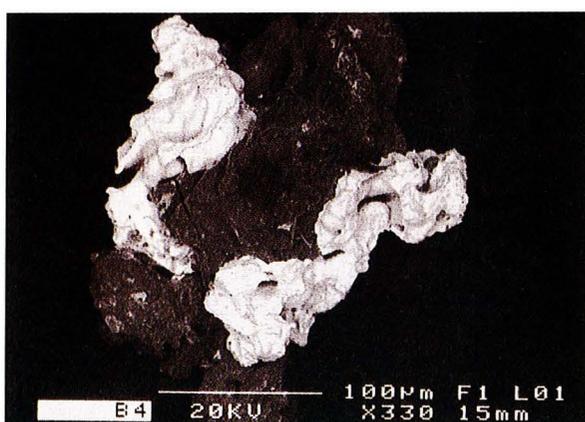


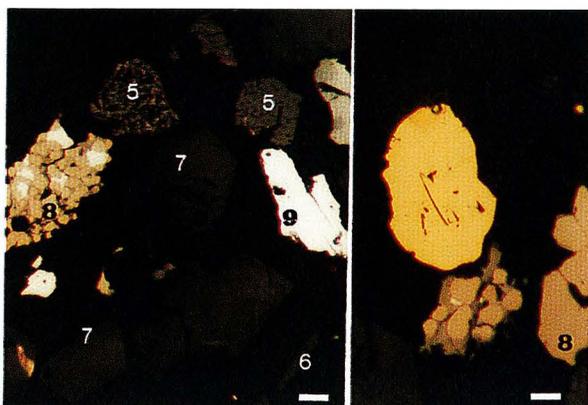
Fig. 16
Particules d'or encore accrochées à un grain de quartz. Microscope électronique à balayage. Echelle, barre = 100 µ.

Le deuxième type est représenté par des minéraux en petits cristaux octaédriques, souvent transparents (Sb_2O_3 , sénarmontite) ou en baguettes blanchâtres (Sb_2O_3 , valentinite) résultant de l'oxydation de la stibine.

Quant aux grains jaune d'or, ce sont bien des particules d'or contenant 9 à 10 % d'argent, comme celles du minerai non grillé, sans trace d'antimoine décelable par analyse à la microsonde électronique. Une étude au microscope électronique à balayage (M.E.B) montre des périmorphoses ou empreintes de grain de pyrite ou d'arsénopyrite sur la surface

Fig. 17

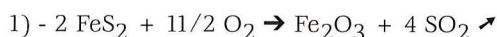
Minéraux lourds du concentré de batée : oxydes de fer (5), cristaux de valentinite et de sénarmontite (6 et 7), sulfure de fer (8), antimoine métal (9) et or natif (en jaune). Echelle, barre = 150 μ . Section polie en lumière naturelle.



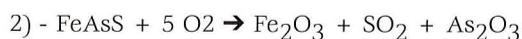
des particules d'or (fig. 15). Elles peuvent aussi être encore accrochées à un petit grain de quartz (fig. 16). L'or est donc bien libéré de tous les sulfures.

Etude physico-chimique du concentré

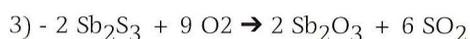
On peut maintenant aborder les processus physico-chimiques qui se sont développés au cours de l'opération de grillage puisque l'on connaît le matériau de départ (quartz, stibine, pyrite, arsénopyrite, or natif) et les produits minéraux obtenus après grillage. La combustion du charbon de bois permet d'élever la température et d'oxyder les sulfures en éliminant le soufre et l'arsenic suivant les réactions ci-après :



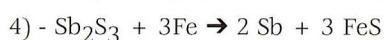
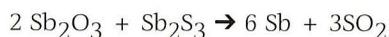
En fait, on passe par un stade intermédiaire avec transformation de la pyrite FeS_2 en FeS (pyrrhotite) avec dégagement de SO_2 . Il est possible d'avoir de la magnétite accompagnant l'hématite (Fe_2O_3).



L'arsénopyrite (FeAsS) s'oxyde en produisant de l' As_2O_3 qui est volatile au dessus de 350°C . En dessous de cette température, cet oxyde d'arsenic se dépose en petits cristaux blancs, comme cela est visible au début de l'opération de grillage sur les charbons de bois extérieurs à la meule. Ces cristaux ont totalement disparu à la fin de l'opération, aucun oxyde d'arsenic n'a été retrouvé.



La stibine (Sb_2S_3) est aussi facilement oxydée en donnant des cristaux de Sb_2O_3 , sénarmontite (cristaux cubiques) ou de valentinite (cristaux orthorhombiques) qui peuvent réagir avec la stibine pour donner de l'antimoine métal et du SO_2 .



La stibine peut donner par réduction avec le fer de l'antimoine métal. On a retrouvé effectivement un sulfure de fer (FeS) associé à de l'antimoine métal (fig. 17). La majeure partie de ce dernier a été obtenu au contact de la plaque de fer supportant la meule de grillage, le sulfure de fer constituant un liseré entre la plaque de fer et l'antimoine métal. Le charbon de bois lui-même favorise la réduction du sulfure d'antimoine en antimoine métallique (fig. 14).

Quelles sont les températures atteintes dans la meule de grillage au cours de l'opération ?

On sait par absence de cristaux d' As_2O_3 que l'on a dépassé 350°C très rapidement. La présence de gouttes d'antimoine métal atteste que la température a dépassé localement le point de fusion de ce métal : 630°C . La stibine fond à 550°C et se dissocie à 600°C .

Il est aussi probable que très localement, au centre de la meule, la température soit montée au-dessus de $1\ 000^\circ\text{C}$, car certaines particules d'or ont montré au microscope électronique à balayage des marques de fusion : l'or fond à $1\ 064^\circ\text{C}$. Une bonne opération de grillage se conduit autour de 500°C à 600°C , température qui n'a été dépassée dans cette opération que très ponctuellement.

Discussion et conclusion

Tous les produits non volatiles obtenus lors du grillage se retrouvent dans le concentré de batée, car leurs densités sont fortes :

- sénarmontite, valentinite, $d = 5,8$ à 6
- antimoine, $d = 6,7$
- sulfure de fer, hématite, magnétite, $d > 5$
- or, $d = 19,1$

Il est raisonnable de penser que les produits qui ont été obtenus au cours de cet essai de grillage l'ont aussi été dans l'Antiquité. On peut alors penser au problème de l'antimoine métal dans ces concentrés.

Comment les Gaulois procédaient-ils pour récupérer l'or en éliminant ce métal ?

La différence de températures de fusion entre l'antimoine et l'or est très forte (630° à 1064°C) et c'est cette propriété qui a pu être utilisée par les métallurgistes dans l'Antiquité pour raffiner l'or, c'est-à-dire purifier l'or de sa teneur en argent. Par fusions successives, on isole un culot d'or de plus

en plus pur en fond de creuset. La méthode est décrite par Théophile, Agricola, Hellot, Gobet et Davies ¹⁹.

Aux Fouilloux, les mineurs-métallurgistes gaulois n'avaient pas besoin d'ajouter de l'antimoine, car il était déjà contenu dans le concentré obtenu par gravité, après grillage et broyage. On peut toutefois se demander s'ils connaissaient les propriétés respectives de l'or et de l'antimoine et s'ils les avaient appliquées par le biais de cette technique d'affinage connue par ailleurs des auteurs grecs anciens, puis décrite au Moyen Age et à l'époque moderne.

La découverte d'aires de grillage aux abords de l'exploitation des Fouilloux, en activité au Deuxième Age du Fer, démontre que les Gaulois savaient traiter un minerai d'or plus ou moins riche en sulfures. La présence d'une pierre de touche trouvée dans cet atelier semble indiquer également que les Anciens cherchaient à contrôler la qualité du métal produit. Ces découvertes sont importantes ; car on pouvait penser que les aurières correspondaient à l'exploitation de zones où l'altération supergène avait oxydé naturellement tous les sulfures, n'impliquant qu'un simple broyage et une séparation par gravité pour en extraire l'or.

La présence dans les travaux souterrains de piliers riches en sulfures et en or confirme l'exploitation de minerais sulfurés. Il fallait alors griller les sulfures pour libérer l'or qui leur était associé. Cela semble aller de soi : les sulfures sont détruits, le quartz est remarquablement fragilisé ; il est alors facile de broyer le tout pour libérer, puis concentrer les particules d'or par gravité en utilisant un courant d'eau.

La présence de stibine posait le problème de son devenir dans l'opération de grillage. Sa réduction en Sb métal qui se concentrait avec l'or par gravité compte tenu de leurs fortes densités, n'est pas une gêne si l'on émet l'hypothèse que la présence résiduelle de ce métal dans le concentré, du fait de la forte teneur en stibine du minerai traité au départ, peut être utile à un procédé d'affinage intervenant en fin d'opération. Ce procédé était par ailleurs connu dans l'Antiquité, comme nous l'avons vu plus haut, notamment dans les mines d'or d'Egypte. Les métallurgistes Lémovices l'ont-ils utilisé sciemment ? Pourquoi pas puisque cette région renferme des petits gisements de stibine qui pouvaient donner le supplément nécessaire d'antimoine. Car la

stibine est plutôt rare, pour ne pas dire exceptionnelle, dans les filons de quartz aurifère du Limousin.

19. Théophile, livre III, 69 ; Agricola, 1556, p.365-366 et p.370-371 ; Hellot, 1764, p.389-397 ; Gobet, 1779, p.851-853 ; Davies, 1935, p.51.

Bibliographie

- Agricola, 1556 : Agricola, *De Re Metallica*, 1556, livre X ; traduction de France-Lanord A., Thionville, 1987.
- Bonnemaison, 1986 : Bonnemaison M., Les filons de quartz aurifère : un cas particulier de *shear-zone* aurifère, *Chronique de la Recherche Minière*, 482, 1986, p.55-66.
- Bouchot, 1989 : Bouchot V., *Contexte géologique et structural des minéralisations aurifères du district de St Yrieix (Limousin, Massif Central français)*, Doc. B.R.G.M. éd., 189, Orléans, 1989.
- Calli, 1988 : Calli M., *La mine d'or de Cros Gallet-Le Bourneix (Limousin, France). Géologie, structure, minéralogie et géochimie des concentrations aurifères à As, Pb (Ag, Sb, Cu)*, Thèse, Université de Toulouse, 1988.
- Cauuet, 1988 : Cauuet B., La mine antique des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne): les premiers résultats de la fouille, *Aquitania*, 6, 1988, p.181-190.
- Cauuet, 1989 : Cauuet B., Les Fouilloux, les "aurières" du Limousin, *Le Courrier du C.N.R.S.*, 73, 1989, p.57-59.
- Cauuet, 1991 : Cauuet B., L'exploitation de l'or en Limousin, des Gaulois aux Gallo-Romains, *Annales du Midi*, 103, n°194, 1991, p.149-181.
- Cauuet, 1992 : Cauuet B., Aurières en Limousin, *Travaux d'Archéologie Limousine*, 12, 1992, p.7-22.
- Cauuet, 1994 : Cauuet B., Nouvelles découvertes sur les aurières de la haute vallée de l'Isle (Dordogne/Haute-Vienne), *Aquitania*, 12, 1994, p.111-123.
- Cauuet, 1995a : Cauuet B., *Les mines d'or gauloises du Limousin*, Association Culture et Patrimoine en Limousin éd., Limoges, 1995, 36 p. (2e édition).
- Cauuet, 1995b : Cauuet B., Celtic gold mines in west central Gaul, dans Morteani G. et Northover J.P. éd. *Prehistoric Gold in Europe*, NATO ASI Series, Series E : Applied Sciences, 280, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-Londres, 1995, p.219-240.
- Crouzet et al., 1979 : Crouzet J., Recoing M., Tollon F., Les gisements aurifères du Massif Central français, *Chronique de la Recherche Minière*, 452, p.5-38.
- Davies, 1935 : Davies O., *Roman mines in Europe*, Oxford, 1935.
- Floc'h, 1983 : Floc'h J.P., *La série métamorphique du Limousin central : une traverse de la branche ligérienne de l'orogénèse varisque de l'Aquitaine à la zone broyée d'Argentat (Massif Central français)*, Thèse, Université de Limoges, 1983, 2 vol.
- Floc'h et al., 1984 : Floc'h J.P., Santallier D., Henry B., La série limousine : réflexion axée sur une synthèse géologique régionale et son utilisation pour la prospection de l'or, *Chronique de la Recherche Minière*, 474, 1984, p.5-10.
- Gobet, 1779 : Gobet M., *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*, Paris, 1779, Seconde Partie.
- Hellot, 1764 : Hellot M., *De la fonte, des mines, des fonderies...*, Paris, 1764, Tome Premier.
- Hubert, 1986 : Hubert P., *Textures et inclusions fluides des quartz aurifères. Application au gîte de Cros Gallet (Haute-Vienne, France) et aux prospections de Sanoukou (district de Kenieba, Mali)*, Thèse, Université d'Orléans, 1986.
- Laporte, 1965 : Laporte A., L'archéologie et l'histoire au service de la recherche minière. Un exemple d'application : les gisements aurifères du Limousin et de la Marche, *Bulletin du B.R.G.M.*, 1965, 1, p.45-78 ; 2, p.23-111 ; 3, p.45-162 ; 4, p.69-149.
- Munoz et al., 1992 : Munoz M., Courjault-Radé P., Tollon F., The massive stibnite veins of the french Paleozoic basement : a metallogenic marker of Late Variscan brittle extension, *Terra Nova*, 4, 1992, p.171-177.