



Une mine d'or protohistorique : Le Puy des Angles aux Angles-sur-Corrèze (Corrèze)

Assumpció Toledo I Mur, Mireille Vacca-Goutoulli, Frédéric Milor

► To cite this version:

Assumpció Toledo I Mur, Mireille Vacca-Goutoulli, Frédéric Milor. Une mine d'or protohistorique : Le Puy des Angles aux Angles-sur-Corrèze (Corrèze). Gallia - Archéologie de la France antique, 2005, 62, pp.171-214. 10.3406/galia.2005.3069 . hal-01873437

HAL Id: hal-01873437

<https://hal.science/hal-01873437>

Submitted on 29 Jan 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

UNE MINE D'OR PROTOHISTORIQUE : LE PUY DES ANGLES AUX ANGLES-SUR-CORRÈZE (CORRÈZE)

Assumpció TOLEDO I MUR*

avec la collaboration de Mireille VACCA-GOUTOULLI** et Frédéric MILOR***

Mots-clés. *Protohistoire, second âge du Fer, Limousin, mine, or, laverie, gravimétrie.*

Résumé. *La fouille menée sur le site minier du Puy des Angles (Corrèze) a mis en évidence un gabarit d'exploitation original, comportant le creusement simultané d'une « mine » et d'une « mine-puits ». Les treize aurières répertoriées, dont la profondeur de certains chantiers souterrains atteint 20 m, témoignent du savoir-faire des mineurs gaulois. En effet, la mise en place du réseau minier souterrain complexe ne pouvait se faire sans la maîtrise des techniques d'exploitation, des contraintes du travail en profondeur et la connaissance des méthodes de l'arpentage. La laverie, formée par un réseau arborescent de canaux et de cuvettes s'étendant sur 2 400 m², montre que la concentration d'or par gravimétrie s'effectuait sur place. Les analyses dendrochronologiques pratiquées sur les bois gorgés d'eau et les datations ¹⁴C sur les échantillons de charbons de bois permettent de dater l'exploitation de cette mine d'or entre la seconde moitié du III^e s. av. J.-C. et la première moitié du II^e s. av. J.-C.*

Key-words. *Protohistory, Late Iron Age, Limousin, mine, gold, washing site, gravimetry.*

Abstract. *The rescue excavation at the mining site of the Puy des Angles (Corrèze) has shown an original system of exploitation including the simultaneous digging of a mine and of a mine shaft. The 13 gold-mining sites being inventoried – the depth of some underground working sites goes down to 20 m – attest the skill of the Gallic miners. The installation of the complex underground mine system could not be undertaken without the mastery of the techniques of exploitation, of the constraints of work in depth and of the knowledge of surveying methods. The washing site composed of a complex system of channels and basins extending on 2 400 m² shows that the gold concentration by gravimetry was carried out on the site. The dendrochronological analyses on waterlogged wood and ¹⁴C datation on charcoal samples allow to date the exploitation of this gold mine between the second half of the 3rd century BC and the first half of the 2nd century BC.*

Translation : Isabelle FAUDET

Schlagwörter. *Jüngere Eisenzeit, vorgeschichtliche Metallzeiten, Limousin, Mine, Gold, Wäscherei, Spezifisches Gewicht.*

Zusammenfassung. *An der Montanfundstelle von Puy des Angles (Corrèze) haben archäologische Präventivgrabungen eine antike Abbaustelle nachgewiesen, die aus einem Stollensystem und simultan dazu angelegten Schächten besteht. Die Ausbeutung der 13 erfaßten Goldadern, bei denen der Abbau teilweise eine Tiefe von 20 m erreichte, zeugt vom Können der keltischen Bergleute. Jedenfalls war die Einrichtung des komplexen Untertagebaus nur möglich, weil man die Abbautechnik beherrschte, mit den Schwierigkeiten umzugehen verstand, die beim Arbeiten in dieser Tiefe auftreten und weil man bestimmte Vermessungsmethoden kannte. Die Wäscherei zum Auswaschen des Berggoldes besteht aus einem komplexen System von Leitungen und Becken, das sich über eine Fläche von 2.400 m² erstreckt. Sie zeigt, daß die Scheidung des Goldes an Ort und Stelle erfolgte, indem man sich sein spezifisches Gewicht zunutze machte. Dendrochronologische Untersuchungen an Naßhölzern und ¹⁴C-Daten aus Holzkohleproben erlauben die Datierung des Bergbaubetriebs in die Zeit von der zweiten Hälfte des dritten bis in die erste Hälfte des zweiten Jahrhunderts v. Chr.*

Übersetzung : Stefan WIRTH

* Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP), base de Limoges, 44 rue Rhin-et-Danube, F-87280 Limoges. Courriel : assumpcio.toledo-i-mur@inrap.fr

** Le Gardi d'Auriol Bassan, F-13390 Auriol. Courriel : mgoutoulli@aol.com

*** Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP), base de Poitiers, espace 10, bât. B, 17 rue Albin-Haller, F-86000 Poitiers. Courriel : frederic.milor@inrap.fr



Fig. 1 – Localisation du site du Puy des Angles, Corrèze (DAO : V. Miaillhe, INRAP).

Le site minier du Puy des Angles a fait l'objet d'une opération d'archéologie préventive, préalablement aux travaux du tracé de la future autoroute A89 Clermont-Ferrand/Bordeaux¹ (fig. 1 et 2).

Connues depuis la fin du XIX^e s., les haldes² ceinturant les aurières avaient été identifiées comme étant des tumulus. Ainsi la bibliographie de l'époque signale la présence de sépultures de l'âge du Fer au Puy des Angles (Coissac, 1913, p. 22, cite Masfrand, 1893). Il faudra attendre une centaine d'années pour que ces vestiges soient reconnus comme étant des exploitations minières anciennes. Entre 1987 et 1993, le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) a réalisé une série de sondages sur le versant occidental du puy, dont le résultat témoignant d'une « distribution des teneurs positives trop erratique et aléatoire » excluait l'exploitation industrielle (BRGM, 1994). Une prospection archéologique, menée sur le Pays de Tulle, visant à établir l'inventaire des mines d'or anciennes, a identifié le Puy des Angles comme étant le centre d'un nouveau district minier (Boussicault, 1998).

L'opération d'archéologie préventive a débuté par une campagne de prospection pédestre permettant de dénombrer

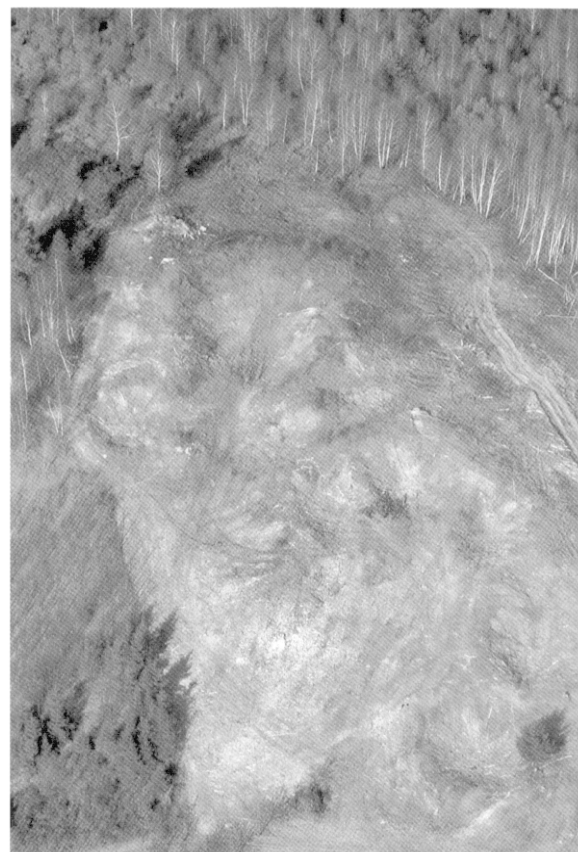


Fig. 2 – Vue aérienne du Puy des Angles, Corrèze (cliché : P. Ernaux, INRAP).

treize cercles de haldes sur le plateau. Pendant cette phase, l'emploi de moyens destructifs et des mesures géophysiques pour vérifier la profondeur des aurières ne fut pas utilisé pour des raisons de sécurité et la possibilité de récolter de fausses informations à cause des ressemblances entre le comblement des aurières et la roche encaissante, ainsi que par l'éventuelle présence de chantiers miniers en filon incliné (Best, 1998a et b ; 2000, p. 55-57).

Ensuite, une phase diagnostique de trois mois, a permis le décapage extensif de 7 500 m², la réalisation de 14 sondages sur la partie orientale du plateau et le dégagement mécanique de la fosse la plus accessible (Toledo, Caumet, 1999). Pendant cette phase, 25 000 m³ de terre ont été déplacés. L'extension du site minier a été reconnue sur 21 000 m² ; deux nouvelles fosses d'exploitation, masquées par les haldes, ont été identifiées et la mine 1000 a été dégagée sur 15 m de profondeur. D'après les structures reconnues, l'hypothèse de l'existence, dans l'emprise autoroutière, d'un habitat associé aux aurières fut abandonnée.

La fouille, d'une durée de quatre mois, fut entreprise immédiatement (fig. 3). Elle a permis d'explorer les 14 mines localisées dans l'emprise autoroutière ; la plupart développaient des chantiers souterrains, reliés en réseaux complexes, et atteignaient, dans certains cas, 20 m de profondeur. Une aire de lavage de minerai s'étendant sur 2 400 m² a également été reconnue et fouillée. Le mobilier céramique exhumé situe

1. L'intervention archéologique a eu lieu du 15 mars au 8 octobre 1999. L'équipe AFAN permanente était formée par A. Toledo i Mur, L. Bernard, P. Coujou, F. Chevreuse, A. Daussy, S. Dalle, L. Destradre, F. Leroi, S. Salvé, D. Seguin, M. Vigneron, F. Milor, W. O'Yl, V. Miaillhe, F. Bernard, R. Brouté. Sont intervenus ponctuellement : M. Boussicault, V. Gagnéville, C. Maniquet, P. Marlière, P. Texier, M. Vacca-Goutoulli et P. Ernaux.

2. Cavaliers et terrils sont synonymes de haldes.

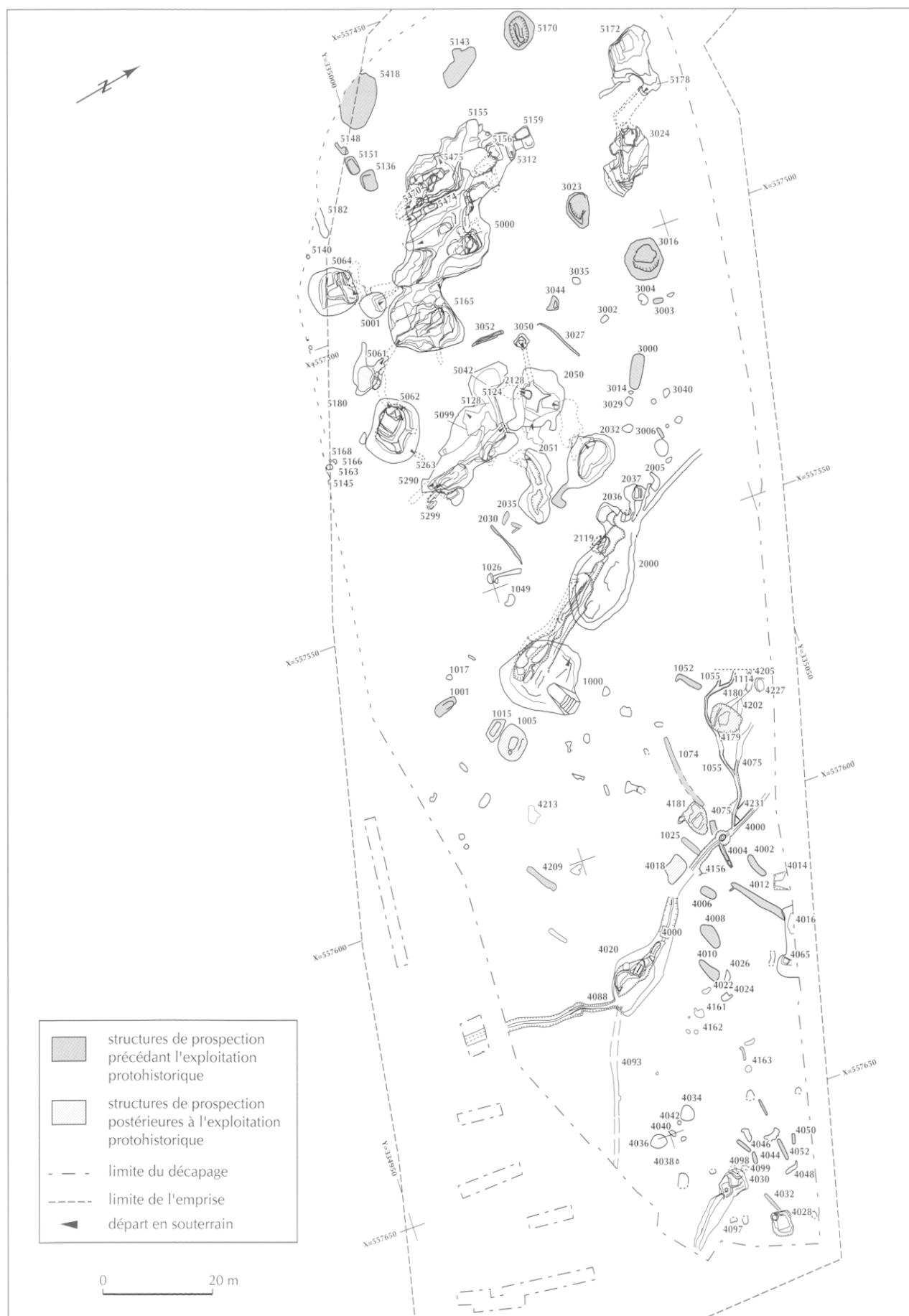


Fig. 3 – Plan général du site (relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaillhe, INRAP).

l'exploitation minière dans une fourchette comprise entre le III^e et le II^e s. av. J.-C. (Toledo *et al.*, 2000).

Postérieurement, les datations dendrochronologiques effectuées sur les bois gorgés d'eau provenant du fond de la mine 1000 ont révélé une chronologie s'étalant de la fin du III^e s. au milieu du II^e s. av. J.-C. (– 210/– 150) (Szeptertyski, 2000). La comparaison entre le résultat des datations ¹⁴C et la fourchette de fabrication d'une forme en céramique luisante permet de placer entre le milieu du III^e s. et le milieu du IV^e s. apr. J.-C. (+ 260/+ 350), une campagne de prospection minière qui n'a pas eu de suite.

En ce qui concerne le déroulement de la fouille, après le décapage extensif, les moyens mécaniques lourds ont continué à être nécessaires pour le terrassement autour des mines, l'enlèvement des surplombs et l'aménagement des rampes, afin de faciliter la circulation et les manœuvres des engins au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux ³. La mise en sécurité de l'équipe archéologique évoluant dans des chantiers profonds fut assurée par les services des mines du Bourneix ⁴, par un suivi hebdomadaire du chantier et la mise en place, dans certains cas, d'un système de boitage.

A. T. i M.

CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Le Puy des Angles est situé à quelques kilomètres au nord de la ville de Tulle, dans la partie centrale du département de la Corrèze. Cette zone est constituée par les derniers contre-forts du Massif central avant le Bassin d'Aquitaine. Il s'agit d'un vaste plateau présentant un pendage régulier vers le sud-ouest. Le réseau hydrographique y est très développé en surface, du fait de la présence d'un substrat imperméable. Ce réseau a modelé un paysage très vallonné, constitué de reliefs peu élevés, aux formes érodées, séparés par de nombreuses petites vallées. Tous les cours d'eaux sont drainés par la vallée de la Corrèze qui entaille profondément le plateau.

Le site minier se trouve sur l'un de ces reliefs culminant à 397 m NGF et surplombant la vallée de la Corrèze.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

On distingue deux grandes unités géologiques :

- à l'ouest, la série granitique du plateau de Millevaches, constituée principalement de granites d'anatexie et de migmatites

3. Ni la nature de la roche encaissante, alternant les zones de roche massive et les zones de roche très altérée, ni la morphologie complexe des exploitations protohistoriques suivant des filons obliques n'ont permis de fouiller les aurières du Puy des Angles selon la technique de la carrière en gradins mise en place sur d'autres chantiers archéologiques miniers tel que Jablines (Seine-et-Marne) ou Les Petites Rouilles à La Bazoge (Sarthe) (Langlois, 1998).

4. Nous remercions J.-Y. Javelaud et R. Courtine des mines du Bourneix pour avoir partagé avec nous leurs connaissances du milieu minier et appliqué leur savoir-faire.

mais contenant également des inclusions de gneiss et de mica-schistes ;

- à l'est, la série métamorphique dite du Bas-Limousin, constituée dans la zone qui nous intéresse de roches ortho-dérivées (leptynites et gneiss plagioclastique).

Le contact entre ces deux unités se fait par l'intermédiaire de la faille d'Argentat, accident structural majeur orienté nord-nord-ouest – sud-sud-est, que l'on peut suivre sur près de 200 km de long. Elle est marquée par une zone broyée (mylonite) d'amplitude variable. Datée de 300 MA, cette faille a joué plusieurs fois au cours de son histoire. Ces différents rejeux ont donné naissance à une zone très bouleversée tectoniquement. On y rencontre de nombreuses fracturations d'orientations et de pendages variables, des lentilles broyées, des blocs basculés ainsi qu'un réseau de microfissures très développé.

L'exploitation minière est située sur cette dernière zone.

GÉOLOGIE GÉNÉRALE DU SITE

Lithologie

Sur l'ensemble de la fouille, la roche encaissante est une leptynite à grains fins se débitant en petits pavés. Les plans de schistosité sont en général bien visibles.

On distingue au sein de cette roche des zones massives et compactes et des zones très altérées. Cette altération se fait par dégradation des feldspaths en argiles blanches apparemment riches en kaolinite. Ce phénomène donne naissance, assez fréquemment, à des faciès pulvérulents. Les argiles migrent parfois et se retrouvent en placage le long des miroirs de faille, voire localement en amas.

Hydrothermalisme

Un hydrothermalisme intense a affecté l'ensemble de la zone. Celui-ci s'est, de toute évidence, produit en plusieurs phases entraînant des remobilisations complexes d'éléments. C'est lui qui est le moteur principal du colmatage des fracturations et des minéralisations.

On distingue nettement différentes natures de filons hydrothermaux :

- des filons de quartz massifs décimétriques. Le plus souvent ces filons sont accompagnés à leurs épontes ⁵ par une imprégnation siliceuse de la roche formant un gradient de teneur en silice dégressif du filon vers l'encaissant ;
- des colmatages de failles complexes sous forme de brèches. On reconnaît dans ces brèches des fragments d'encaissant très altérés et des roches grises à grains fins, pulvérulentes, dérivant probablement de lamprophyres (minette). Ces éléments sont englobés dans un ciment de couleur rouille à noir, très dense, riche en fer et évoquant une goëthite. On observe par place dans ces brèches la présence de quartz sous forme de cailloux de quelques centimètres. Ces quartz, ponctuellement abondants, peuvent être blancs, gris, voire fumés. Des sulfures sont associés à ces formations ;

5. Surface séparant le minéral du stérile. Par extension, terrains stériles au contact du minéral.

- un *stockwerk*⁶ de filonnets de quartz se retrouve sur l'ensemble de l'encaissant attestant une circulation hydrothermale globale intense sur toute la zone. Ce *stockwerk* est très irrégulier : il peut être ponctuellement très dense ou inexistant. Les filonnets, épais de 1 mm à quelques centimètres, se boudinent et se pincent souvent pour disparaître brutalement. Dans cette formation, le quartz est généralement blanc.
- beaucoup plus rarement, nous avons pu observer des zones où la roche a subi une imprégnation siliceuse sur toute sa masse. Le *stockwerk* disparaît alors et la roche devient massive avec la présence de nodules de quartz aux contours flous.

Géologie structurale

Cet ensemble est affecté, d'une part, par un réseau de fracturations (de quelques millimètres à quelques centimètres) donnant à l'ensemble une structure en *stockwerk* et, d'autre part, par deux grandes familles d'accidents structuraux reconnues par M. Boussicault (2000b). On y reconnaît les deux directions principales de la faille d'Argentat (fig. 4).

Ces deux grandes familles de filons ont pour directions respectives : N280E à N300E et N340E à N-S. La première famille, qui est la plus représentée, est constituée de filons de couleur grise (ou verte) liés à une importante concentration en arsénopyrite (ou scorodite). Aux épontes (bords du filon), on note généralement une zone d'altération ferreuse marquée par des couleurs marron et noires. Dans leur ensemble, ces filons ont des largeurs variant entre 40 et 50 cm, et sont très altérés. Leur pendage dominant est de 50°W mais certains présentent une pente inverse de 50°E.

En ce qui concerne la famille N340E/N-S, on trouve des filons présentant l'alternance de filonnets d'arsénopyrite et de silice observée pour l'ensemble du *stockwerk* et des filons de quartz massif. Par rapport aux filons précédents, il faut remarquer que ceux-ci ont une largeur supérieure, généralement comprise entre 1 et 2 m. La masse du filon est de couleur blanche verdâtre à jaune et est souvent bordée par une zone d'oxydation ferreuse. De manière localisée, on peut observer des concentrations en arsénopyrite, ce qui leur donne un aspect proche de celui des filons N280E/N300E. Leur pendage est globalement pseudo-vertical, mais on peut tout de même noter une légère composante ouest. Ces filons sont généralement d'aspect plus massif que la première famille mentionnée.

Dans tous les cas (*stockwerk* et fracturations), le phénomène de boudinage, donnant naissance à des lentilles minéralisées, est fréquent.

MINÉRALISATIONS

De par sa formation, la zone broyée d'Argentat a, de longue date, été reconnue comme une zone à hydrothermalisme intense et donc susceptible de recéler de nombreuses minéralisations exploitables. Cependant, la complexité structurale de cette zone rend les exploitations minérales sinon aléatoires tout

au moins difficiles à planifier. Dans les environs du site, on peut citer les mines de Mérynac-de-Bar (exploitation de barytine de 1948 à 1961), de Chanac-les-Mines (exploitation de stibine, minéral d'antimoine, de 1875 à 1928) et de la gare de Pandrignes (exploitation de stibine en 1925). À Chanac-les-Mines, l'or avait été recherché, mais les teneurs n'ont jamais dépassé 4,5 g/t.

Des indices de pyrite, divers minerais d'uranium, de galène (Pb, Ag) et de wolfram sont également connus.

Le BRGM a réalisé, de 1987 à 1993, plusieurs campagnes d'études sur différents périmètres, dont la Forêt de Chadon et le Puy des Angles, présentant des anomalies en arsenic. Au cours de ces campagnes, des aurières protohistoriques ont été reconnues (BRGM, 1994).

Une minéralisation en or au sein du *stockwerk* a été mise en évidence, mais les teneurs sont restées modestes (12,9 g/t max.). Il est à noter que des particules d'or ont pu être observées à l'œil nu aussi bien dans les *cullings*⁷ des sondages destructifs que dans les échantillons à teneur supérieure à 1 g/t et broyés à 1 mm.

C'est encore la complexité de la mise en place des minéralisations qui amène le BRGM à conclure : « La distribution des teneurs positives, trop erratique et aléatoire, exclut toute perspective de développement minier au stade actuel de nos connaissances sur ce site. »

F. M.

L'EXPLOITATION MINIÈRE PROTOHISTORIQUE

Le repérage du gisement aurifère du Puy des Angles à l'époque protohistorique est le produit de la recherche menée par des prospecteurs-mineurs spécialisés, connaissant bien les tests d'évaluation d'un gîte⁸. Il s'est produit, très probablement, à partir de batées effectuées dans la Corrèze, ayant fourni des paillettes d'or. À la suite desquelles, les prospecteurs-mineurs sont remontés vers le puy en suivant les filons affleurant sur le versant⁹.

7. Échantillons des roches traversées par des sondages destructifs.

8. Ils se sont, en effet, désintéressés du filon de quartz affleurant en bordure de l'emprise côté nord, qui était traversé par les canaux de lavage. Postérieurement à la phase d'exploitation protohistorique, ce même filon fera l'objet d'un sondage. Les nouveaux prospecteurs descendront dans celui-ci jusqu'à 4 m de profondeur, avant de l'abandonner.

9. À noter la réflexion d'Agricola, *De Re Metallica*, livre II : « Seule l'expérience permet la découverte des gisements cachés. À cet effet, il convient d'examiner attentivement les sources et les torrents. À proximité d'un gisement il sera sans doute possible de trouver dans leur lit des fragments de minerais. S'ils sont arrondis, ces fragments peuvent être assez éloignés du gisement. S'ils sont anguleux, ils en sont nécessairement très proches » (Angel, 1989, p. 10).

6. Minéralisation composée d'un réseau très dense de petits filons.

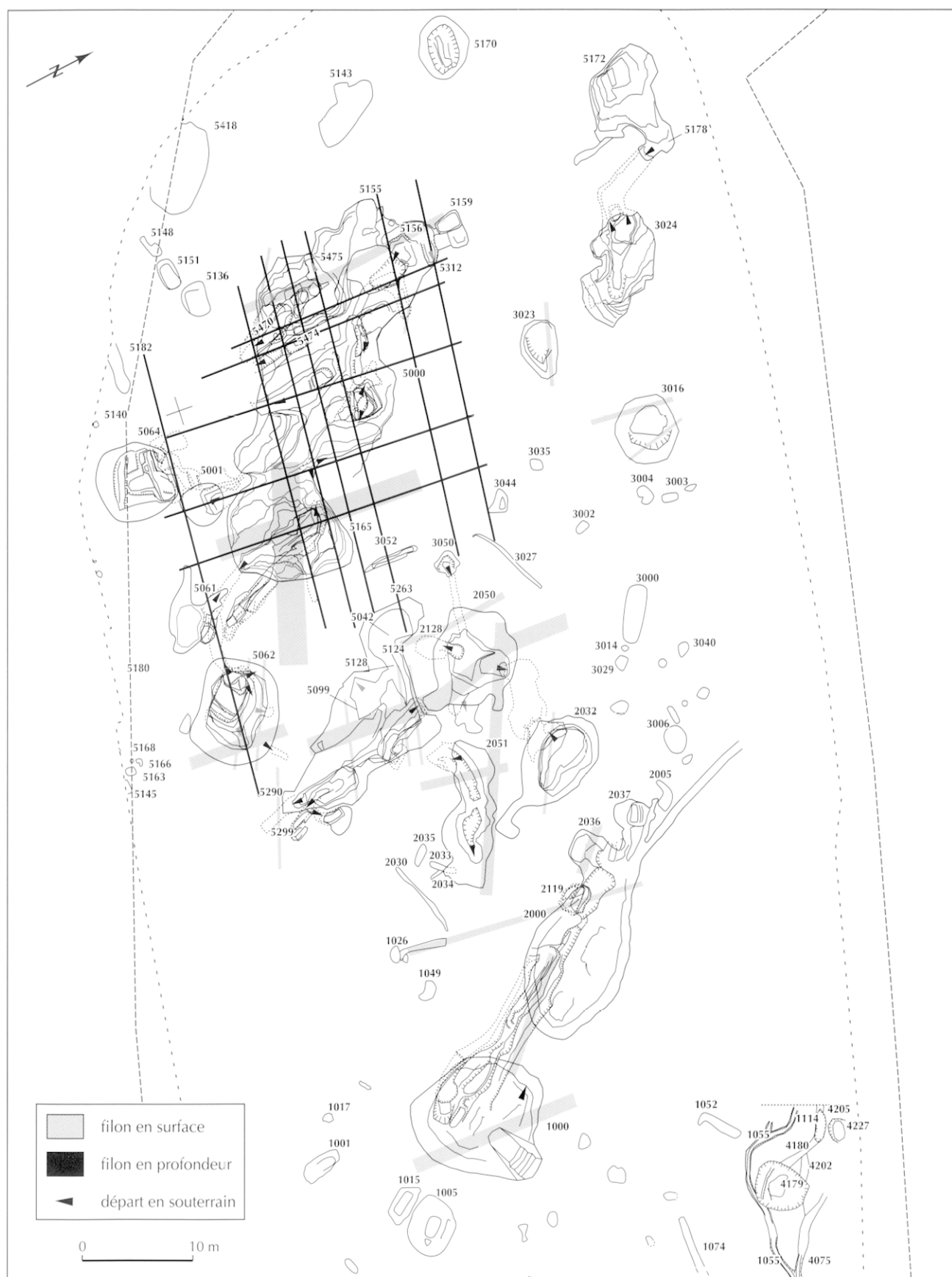


Fig. 4 – Cartographie des principaux filons identifiés sur le Puy des Angles
 (relevé en surface : M. Boussicault ; relevé en profondeur : F. Milor ; DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaillhe, INRAP).

LA COMPRÉHENSION DES CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES DU TERRAIN

LA DÉLIMITATION DE L'AIRE POTENTIELLEMENT PRODUCTIVE

Avant d'entreprendre l'exploitation à grande échelle, les mineurs protohistoriques ont réalisé une série de sondages sur le plateau et les versants du promontoire afin de cerner l'aire riche en quartz aurifère (fig. 3). Celle-ci délimitée, l'espace disponible du plateau fut partagé entre les diverses activités qui découlaient des phases de la chaîne opératoire.

Les 60 structures de prospection décelées possèdent des formes différentes dues à la morphologie et à la puissance des filons.

Sur le plateau et sur la partie orientale du puy, les structures de prospection repérées se subdivisent en 24 tranchées longilignes, 7 fosses ovales et 9 fosses plus ou moins rectangulaires. D'autres auraient disparu suite à la mise en place des exploitations. Elles ont été creusées systématiquement à la perpendiculaire des deux grandes familles de filons reconnues (Boussicault, 2000b). Une partie de celles qui se localisent sur la partie orientale du plateau a été recoupée postérieurement par les canaux creusés pour le traitement du minerai par l'eau. Les dimensions des tranchées longilignes sont très variables. Leur longueur oscille entre 0,80 m et 13,75 m, leur largeur entre 0,40 m et 1,25 m, et leur profondeur entre 0,10 m et 1,10 m. Les dimensions des fosses, ovales et rectangulaires, se situent entre 2 m et 6 m de long et entre 0,75 m et 3 m de large. Leur profondeur ne dépasse pas 2,70 m.

Sur les versants nord et ouest, les sondages sont un peu plus importants. De forme circulaire ou ovale, ils ne dépassent pas 8 m à l'ouverture ni 3 m de profondeur.

LA NATURE GÉOLOGIQUE DU SUBSTRAT ET LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Sur le Puy des Angles, les minéralisations aurifères sont d'origine hydrothermale. Elles sont présentes au sein de différentes formations prises dans un encaissant de leptynites. On distingue des filons de quartz massif, des colmatages de faille complexes sous forme de brèches, un *stockwerk* de filonnets de quartz et, très rarement, une imprégnation siliceuse affectant toute la masse de la roche. Les chantiers miniers ont essentiellement exploité les deux premiers type de formation. Sur la partie du plateau occupée par l'exploitation minière, les filons de quartz massif se localisent sur le côté oriental (zone 1)¹⁰, tandis que les failles colmatées par des brèches contenant du quartz se cantonnent sur la partie occidentale (zone 5) ; la zone centrale étant une zone géologiquement intermédiaire (zone 2) (Milor, 2000).

La distribution des différents accidents structuraux sur le puy a déterminé l'évolution des chantiers miniers et l'avancement des travaux (fig. 4). Ainsi, les chantiers miniers souter-

rains de l'ensemble 1000-2000 suivent les décalages du filon de quartz massif dus à des rejets le long des failles transversales. De plus, l'ensemble minier 5000/5165, exploitant les cailloux de quartz pris dans le colmatage bréchique présente un allongement principal qui ne correspond à aucun des axes des deux grandes familles d'accidents structuraux. Il s'agit d'une excavation en travers-banc. En revanche, les chantiers profonds, en partie souterrains, se développent suivant les brèches (Milor, 2000).

La localisation de certaines mines ou dépilages à l'intersection de failles peut être le résultat de l'exploitation d'éventuelles minéralisations en colonne : la mine-puits 5062, la mine 5165, les dépilages dans l'axe principal de la mine 5000, ou encore la cheminée 2159 qui relie les mines 2050 et 2032 (Milor, 2000).

La complexité structurale géologique du puy n'a pas facilité la tâche des mineurs protohistoriques. Leurs prévisions concernant la puissance et le développement des filons se sont révélées occasionnellement erronées et les structures minières ouvertes inadaptées, parfois trop ambitieuses. Cependant, ils ont montré une grande souplesse en adoptant la stratégie d'extraction à une réalité géologique changeante, leur expérience leur permettant de rattraper l'investissement de travail effectué.

L'EXPLOITATION DE L'OR ET D'AUTRES MINÉRAIS

Une éventuelle exploitation conjointe de l'or et des filons ferreux (mis en évidence dans le substrat) et/ou de l'argent (identifié par les analyses) a été envisagée au cours de l'intervention archéologique. L'hypothèse de l'exploitation des filons ferreux fut rejetée, étant donné qu'aucun des chantiers miniers ne suivait ce type de filons. L'exploitation de l'argent fut écartée après l'observation de plusieurs sections polies par S. Nenert, qui n'a montré aucune trace de galène (sulfure de plomb souvent associé à l'argent), ni d'argent natif (Milor, 2000).

Les analyses en teneur d'or effectuées sur 25 échantillons prélevés dans des filons encore visibles dans les chantiers miniers anciens ont permis de reconnaître le type de formation la plus riche en or. De prime abord, les résultats des analyses ont présenté des teneurs en or très basses (tabl. I). Il faut tenir compte du fait que les échantillons ont été prélevés au fond des chantiers miniers, là où la poursuite de l'exploitation fut abandonnée.

Les résultats des analyses des échantillons provenant du fond du caisson nord 5482 de la mine 5263 pourraient être représentatifs des teneurs recherchées : 31,95 g/t et 32,44 g/t. Il faut également noter les teneurs de 19,76 g/t et de 14,7 g/t révélés par les analyses des filons de quartz exploités dans les mines 2032 et le caisson 2119 dans la mine 2000.

Le résultat des analyses concernant l'ensemble minier 5000-5064/5165-5062 donne des teneurs en or très basses pour le colmatage des brèches. Cependant, on constate une augmentation notable des teneurs mesurées lorsque le quartz y est associé. On peut constater le même phénomène à propos des résultats des analyses des échantillons provenant de la mine 2051 (Milor, 2000).

10. Le premier chiffre nommant les structures minières découle du numéro de zone alloué au moment de la compartimentation théorique pour les besoins de la fouille ; pour la localisation voir la figure 3.

UN MODÈLE D'INTERVENTION ORIGINAL : LES ENSEMBLES FORMÉS PAR UNE MINE ET UNE MINE-PUITS

En ce qui concerne l'ouverture des chantiers miniers, le modèle d'exploitation de base reconnu au Puy des Angles comporte le creusement simultané d'une mine et d'une mine-puits. Séparées en surface par un pont de roche, elles sont reliées, à partir d'une certaine profondeur, par des exploitations communes. Parmi les 13 aurières protohistoriques mises au jour dans l'emprise du tracé autoroutier, cette association de mine et de mine-puits fut répertoriée en cinq occasions. L'indépendance des trois autres aurières résultait de l'arrêt des chantiers en raison de l'épuisement du filon de quartz aurifère (fig. 5).

De forme allongée en surface, les mines se développent dans l'axe du filon de quartz massif ou en travers-banc dans la zone où le quartz apparaissait dans le colmatage bréchique.

Les mines-puits, creusées en prévision de l'évacuation des déblais des exploitations profondes communes à l'ensemble minier, se caractérisent par l'aménagement d'un système de gradins sur une de leurs parois, facilitant l'acheminement des stériles vers la surface. Sur le pourtour interne de la plupart d'entre elles, parfois sur plusieurs niveaux, apparaissent des galeries visant à la recherche et à l'exploitation de filonnets ou colmatages bréchiques secondaires. Il se trouve que la majorité de ces mines-puits ont été ouvertes à l'intersection de deux filons ; elles pourraient donc répondre, également, à l'exploitation d'une colonne minéralisée.

Le terme mine-puits a été adopté car ces ouvrages correspondent à la définition classique du puits¹¹ et afin de souligner le fait que leurs diamètres à l'ouverture dépassent largement les dimensions habituelles.

L'ÉVOLUTION DES CHANTIERS MINIERES

Tous les chantiers miniers ont débuté par des fosses à ciel ouvert, ovales, circulaires ou grossièrement quadrangulaires, dont les embouchures dépassent 9 m de large. Le minerai se présentant en filons inclinés, les travaux présentent rapidement des surplombs, développant des profils en entonnoir à axe incliné. La largeur de chantiers se réduit visiblement au fur et à mesure qu'ils s'approfondissent ; les dépilages profonds ne dépassent pas 2 m de large.

LES TECHNIQUES D'APPROFONDISSEMENT ET DE PROGRESSION LATÉRALE

L'approfondissement des chantiers miniers se fait à partir de la technique du gradin droit, appliqué uniquement du côté mur¹² de la mine. La technique du « gradin droit » est une

méthode descendante permettant d'abattre le minerai à partir des gradins verticaux qui partent de la cheminée d'exploitation (Verraes, 1987, p. 311). Sauf à de rares exceptions, où l'éponte a été retaillée, l'inclinaison naturelle du côté toit¹³ a été respectée.

La progression latérale des chantiers, afin de rejoindre ceux de la mine complémentaire, se fait à partir de foncées. Cette technique implique le creusement d'une galerie que l'on découvrone. La sole de la galerie devient ainsi un gradin, tout en conservant sa largeur originale (Ancel, Fluck, 1988). Elle permet d'avancer latéralement, tout en descendant. Dans des cas exceptionnels, les extrémités des foncées avec leurs fronts de taille, conservées sur une longueur suffisante (1 m-1,50 m), forment des plates-formes de travail, surplombant les dépilages profonds.

LES OUVRAGES SOUTERRAINS

Les galeries

Ouvertes dans la roche encaissante, elles suivent l'axe du filon. Des variantes ont été établies à partir des différences observées concernant leur localisation, leur finalité et leur évolution.

Les galeries de recherche

Excavées dans les parois des mines, elles ont une distribution rayonnante. Leurs dimensions varient, allant du simple grattage aux galeries longues (< 6 m) et hautes (permettant le travail debout du mineur), de facture soignée. Elles suivent et exploitent des filons secondaires.

Les galeries d'exploitation

Elles partent du fond des mines-puits. Leurs dimensions permettent le travail debout des mineurs et le passage d'hommes chargés.

Les foncées

Galeries découvronnées, elles longent les murs des mines et passent en dessous des ponts de roches. Les fronts de taille et les margelles d'avancement permettaient de les reconnaître.

Les travers-bancs

Il s'agit de galeries horizontales, creusées perpendiculairement aux filons. Sorte de couloirs reliant les dépilages, elles s'intègrent dans les circuits de ventilation.

Les dépilages

Ce sont des cavités qui résultent de la phase principale d'exploitation comportant l'abattage et l'enlèvement de la plus grande partie du minerai (Collectif, 1983, p. 21). Parmi les

11. « Voie de pénétration dans le gisement, verticale, partant de la surface, donnant accès à différents étages d'une mine et permettant de les desservir ; un puits assure normalement la totalité ou plusieurs services : extraction, circulation, aérage (entrée ou retour d'air), etc. » (Collectif, 1983, p. 16).

12. Éponte située au-dessus du minerai. Au sens géologique, et dans le cas d'une couche, le mur désigne l'éponte de formation plus ancienne

que le minerai ; le mur géologique coïncide avec le mur du mineur, à moins que des mouvements de terrains n'aient renversé la série stratigraphique.

13. Éponte située au-dessus du minerai. Au sens géologique, le toit désigne l'éponte de formation plus récente que le minerai ; le toit géologique coïncide avec le toit du mineur, sauf renversement stratigraphique.

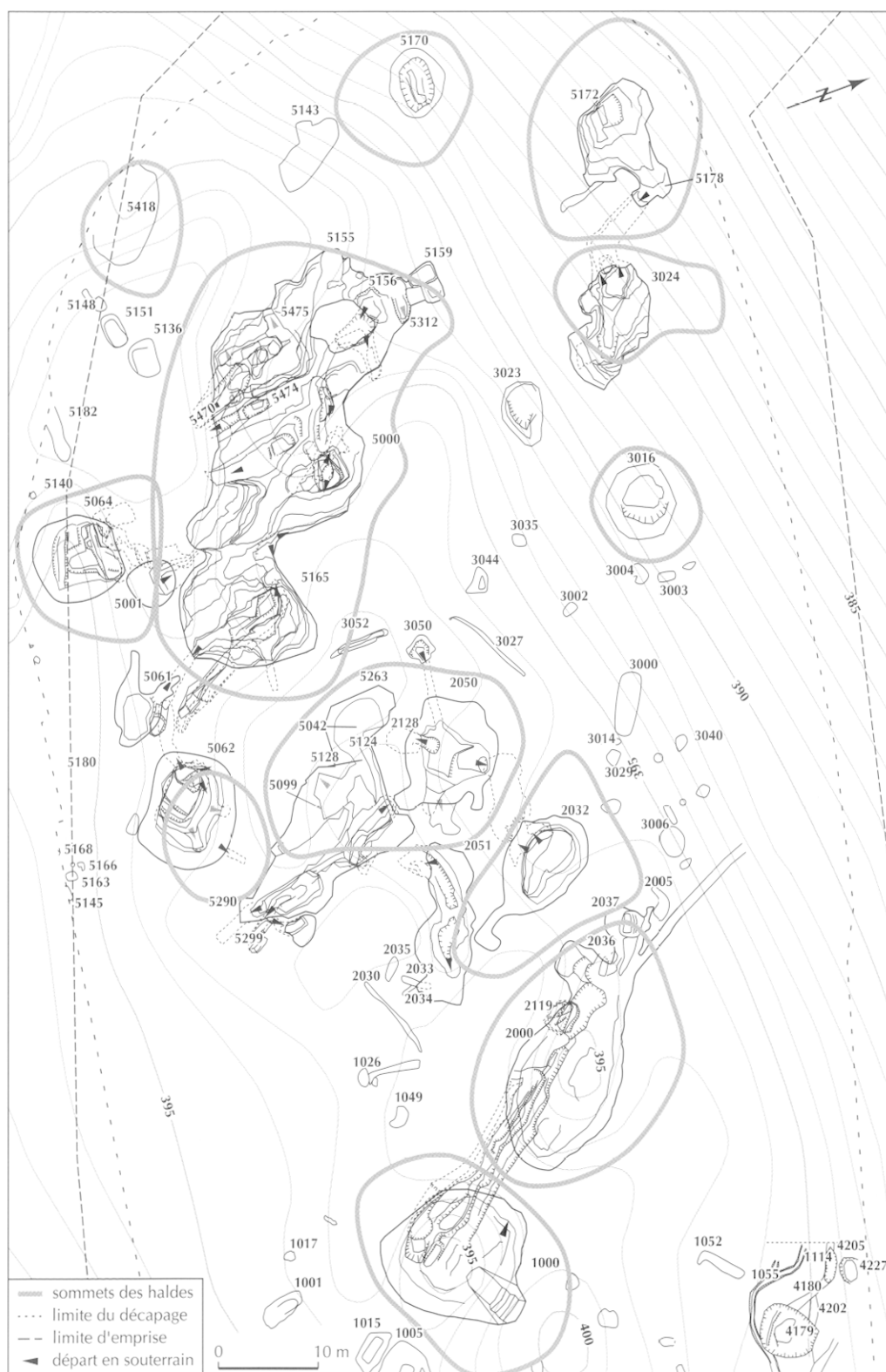


Fig. 5 – Plan de l'aire d'extraction avec la représentation des sommets des haldes ceinturant les mines (relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Mialhe, INRAP).

dépilages profonds du Puy des Angles, nous avons distingué :

- l'exploitation du type à grande chambre et pilier de soutènement. Ce type de chantier démarre avec l'ouverture de deux galeries parallèles qui finissent par se rejoindre latéralement et former une chambre unique (Verraes, 1987, p. 312 ; Bailly-Maitre, 1987, p. 124 et 1992, p. 289). Sur le puy, il existe trois exemples de ce type d'exploitation : les mines 2032, 3024 et 4030. À chaque fois, le pilier se localise légèrement en retrait du seuil qui donne accès à la partie souterraine, séparant les deux entrées des galeries. Les surfaces des deux premières chambres sont respectivement de 20 m² et 10 m². La troisième exploitation s'étant arrêtée brusquement, il ne subsiste que le départ des deux galeries, qui ne sont jamais rejointes ;

- l'exploitation du type à chambres et piliers. L'exploitation du minerai se fait par une alternance de chambres (ou caissons) rectangulaires, creusées en enfilade et séparées par des piliers résiduels (Bailly-Maitre, 1987, p. 124 ; Verraes, 1987, p. 311). Ce type d'exploitation a été reconnu au fond des mines et des ensembles miniers 1000-2000, 2051, 5263 et 5000-5165-5062. Les dimensions des piliers et des caissons ne sont pas constantes ; elles sont en rapport avec l'instabilité du terrain et la puissance du filon. La largeur maximale se situe autour de 2 m.

Seuls les caissons, peu nombreux, ouverts à l'aplomb de l'embouchure des mines donnent directement au jour. Les caissons souterrains comme ceux à ciel ouvert présentent des gradins excavés du côté mur, ce qui permet au mineur de travailler face aux épontes du filon. La présence de ces gradins permet de distinguer un dépilage d'une galerie. Dans celles-ci, l'abattage du filon se fait suivant son axe longitudinal.

La circulation entre les différents caissons peut se faire à travers des gradins aménagés dans les piliers, par des travers-bancs les reliant, par des galeries les contournant et par des perforations pratiquées à travers les piliers.

Un seul exemple de caisson indépendant, le caisson 2119, fut localisé sur la partie ouest de la mine 2000. Creusé sur le même axe que l'exploitation commune aux mines 1000 et 2000, il n'est pas relié aux autres dépilages.

LES VESTIGES

Parmi les treize aurières mises au jour dans l'emprise du tracé autoroutier, dix se concentrent sur une aire de 5 000 m² sur le promontoire, deux autres se localisent en contrebas du versant nord et la dernière à 80 m à l'est du premier groupe (fig. 3 et 5).

LES MINES INDÉPENDANTES

Elles sont constituées de chantiers interrompus en raison de l'épuisement du filon et atteignent des profondeurs modestes, ne dépassant pas 8 m.

La mine 2051

Localisée au milieu du promontoire, elle est complètement masquée par des haldes (fig. 5). Il s'agit d'une fosse à ciel ouvert développant en profondeur une exploitation du type à chambres et à piliers. À l'ouverture, elle mesure 16 m de long

Tabl. I – Récapitulatif des échantillons analysés : * cet échantillon a été prélevé dans le filon de quartz suivi par le sondage d'époque gallo-romaine (US 4179) recoupant une partie des canaux de lavage protohistoriques. Ce filon avait été négligé par les mineurs gaulois.

Mine (dépilage, galerie)	Échantillon	Nature de l'échantillon	Au g/T	Ag g/T
1000	B	quartz	0,19	0,8
1000	C	quartz provenant des déblais	0,17	0,7
1000	P	quartz dans pont de roche	0,5	0,18
1000	C1	miroir de faille	1,29	0,9
1000	D1	filonnet de quartz	0,31	0,2
1000	E1	filonnet de quartz	0,05	0
1000	F1	quartz	0,1	1,4
1000	G1	quartz dans pont de roche	0,42	0,9
2000 (2119)	N	quartz	14,7	13,6
2000 (2119)	N bis	quartz	0,96	4,3
5062 (5477)	A	brèche	0,14	0,8
5062 (5424)	I	brèche	0,3	–
5062 (5424)	J	brèche + quartz rare	0,73	4
5000 (5468)	K	brèche	0,1	3,3
5000 (5445)	L	filonnet de quartz (Stockwerk)	0,13	0,9
5165 (5351)	M	brèche	0,43	2,6
2051	G	brèche + quartz	1,53	2,9
2051	B 1	quartz provenant de la brèche	2,36	1,9
5263 (5482)	H	filonnet de quartz en fond de dépilage	31,95	–
5263 (5482)	A 1	filonnet de quartz en fond de dépilage	32,44	11,2
2032	D	brèche + quartz rare	0,53	2
2032	E	filonnet de quartz en fond de dépilage	19,76	4,8
2032	F	quartz (miroir de faille)	0,9	–
4030	O	filonnet de quartz	0,2	–
4179 *	H 1	filon de quartz	0,22	0,4

sur 4 m de large, pour une profondeur maximale de 4 m. Divisée en deux caissons de 7 et 6 m, celui du côté ouest partait en souterrain sur 3 m. Le caisson oriental était à son tour subdivisé en deux petits caissons.

La mine 5263

Située, également, dans la partie centrale du promontoire, elle est partiellement masquée. Un seul cercle de haldes entoure sa moitié nord et la mine 2050 (fig. 5).

L'accès à l'exploitation profonde, du type à chambres et piliers, se fait à partir d'un puits peu profond (5042), suivi d'une descenderie (5128). L'exploitation se développe sur une longueur de 20 m, dont seulement 4 m en souterrain. La profondeur maximale atteinte est de 8 m (fig. 6).

Dans le caisson nord, long de 7 m, les restes du filonnet de quartz exploité étaient encore visibles au fond du dépilage. Il faut noter que les résultats des analyses en teneur en or sur les prélèvements effectués à cet endroit sont respectivement de 31,95 et 32,44 g/t (tabl. I).

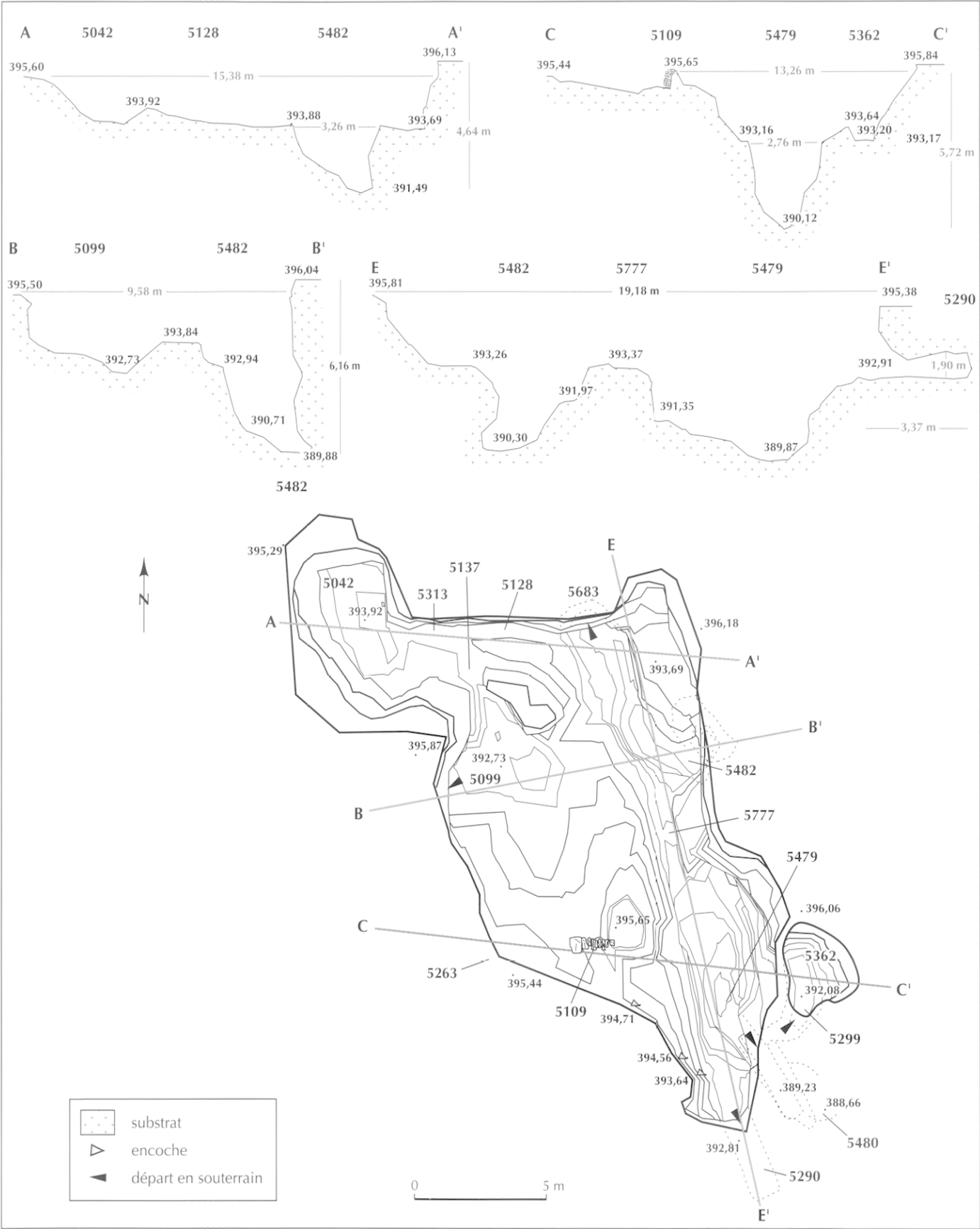


Fig. 6 – Plan et profils de la mine 5263 (relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaillhe, INRAP).



Fig. 7 – Exemple de chantier à grande chambre et pilier central : mine 4030 (cliché : W. O'Yl, INRAP).

Le caisson sud est long de 10 m, dont 7 m à ciel ouvert (5479) et le reste en souterrain (5480). L'entrée du souterrain, haute de 2 m et large de 0,80 m, présente un profil à plafond arrondi. Deux gradins longent le mur de la partie souterraine.

Une des trois galeries de recherche reconnues a été creusée dans la paroi ouest (5099). Les deux autres s'ouvrent dans l'axe du filon exploité en profondeur, l'une à son extrémité nord (5683) et l'autre du côté sud (5290). Les deux premières sont de simples niches ; en revanche, la troisième est une galerie longue de 4,10 m.

Un puits de 3 m de diamètre (5362) a été creusé sur le flanc oriental de la mine 5263, dans laquelle il débouche à une profondeur de 2,60 m. La galerie 5299 relie le puits au caisson sud. Elle est longue de 3,20 m, large de 1,28 m et haute d'environ 1,50 m. Le puits et la galerie ont servi d'accès dans un premier temps ; plus tard ils ont constitué un circuit de ventilation.

En surface, un mur de contension en pierre sèche (5109), orienté est-ouest, a empêché les stériles de la mine-puits 5062 de tomber dans la partie nord de la mine 5263 qui a continué à être exploitée, tandis que la partie sud avait déjà été remblayée.

La mine 4030

Cette exploitation non aboutie, localisée à la limite orientale du chantier, est un exemple classique du démarrage d'une exploitation du type à grande chambre et pilier (fig. 7).

Creusée à l'extrémité d'une tranchée de prospection, d'au moins de 12 m de long, elle a une forme grossièrement quadrangulaire de 4 m de côté. Deux paliers et un gradin permettent d'accéder au double départ en souterrain. Un pilier de soutènement, large de 0,75 m, sépare les deux entrées. Le creusement de la galerie à gauche du pilier a été arrêté à 1 m et à 2,25 m pour celle de droite.

LES ENSEMBLES MINIER

Les dix aurières situées sur le plateau correspondent au gabarit d'ensemble minier décrit *supra* (p. 178). En revanche,

l'ensemble 5172-3024, situé en contrebas du versant nord, diffère de ce modèle puisqu'il est formé de deux fosses et aucune d'elles ne présente les caractéristiques d'une mine-puits (fig. 5).

Quelques variations sont à noter parmi le premier groupe : l'absence de galeries de recherche dans la mine-puits 5064 ; son système de gradins singulier, organisés latéralement ; l'absence de gradins aménagés dans les parois de la mine-puits 2050.

Le cas de la mine-puits 2050, reliée effectivement à la mine 2032, est un bon exemple de changement de stratégie devant l'épuisement imprévu d'un filon. Le fait d'avoir été creusée sur l'axe du même filon porte à croire qu'elle devait desservir à l'origine la mine 5263. Cette exploitation n'atteignant pas les profondeurs prévues au départ, le raccord entre les deux ne s'est pas effectué.

L'ensemble minier 5172-3024

Il comporte deux fosses à ciel ouvert de proportions modestes reliées par une galerie (fig. 5). Son développement souterrain est du type grande chambre avec pilier de soutènement (Coujou, 2000).

Les deux fosses mesurent 12 m sur 6 m et 7 m sur 8 m ; leur profondeur atteint respectivement 4,40 m et 7 m. Après un tracé rectiligne long de 7 m, la galerie les reliant s'agrandit, devenant une chambre de 10,50 m². Deux petits foyers, aménagés directement sur la roche, se situent sous la voûte attenante au pilier.

L'ensemble minier 2050-2032

Cet ensemble minier est formé par une mine-puits (2050) et une mine (2032) (fig. 8). Cette dernière développe une exploitation souterraine du type à grande chambre avec pilier vertical de soutènement. La cheminée 2159, les reliant, est le résultat de l'exploitation d'une minéralisation en colonne, haute de 2,35 m (fig. 4).

La mine-puits 2050

De forme grossièrement quadrangulaire à l'ouverture, elle mesure environ 9 m de côté. Sur son axe central, la profondeur atteinte est de 4 m. Cependant, les départs des chantiers souterrains, localisés latéralement, se situent à 7 et 9 m de profondeur. L'accès se fait du côté nord-est, comme en témoignent deux encoches-marches triangulaires. En revanche, sur les trois autres côtés, se développent des recherches peu poussées.

La galerie 2128 s'ouvre dans la paroi sud-ouest à 7,67 m de profondeur. Rectiligne, elle mesure 5,50 m de long, sa largeur oscille entre 1 m et 2,40 m, sa hauteur maximale étant de 3,60 m.

Un puits (3050) de 2,30 m de côté, creusé à proximité du bord nord-ouest de la mine, suivi d'un boyau, amène l'air au fond de cette mine.

La mine 2032

L'ouverture de la mine 2032 mesure 11 m sur 7,50 m. À profil en entonnoir, elle développe, à partir de 5 m de profondeur, une exploitation souterraine du type grande chambre avec un pilier central de soutènement (fig. 8).

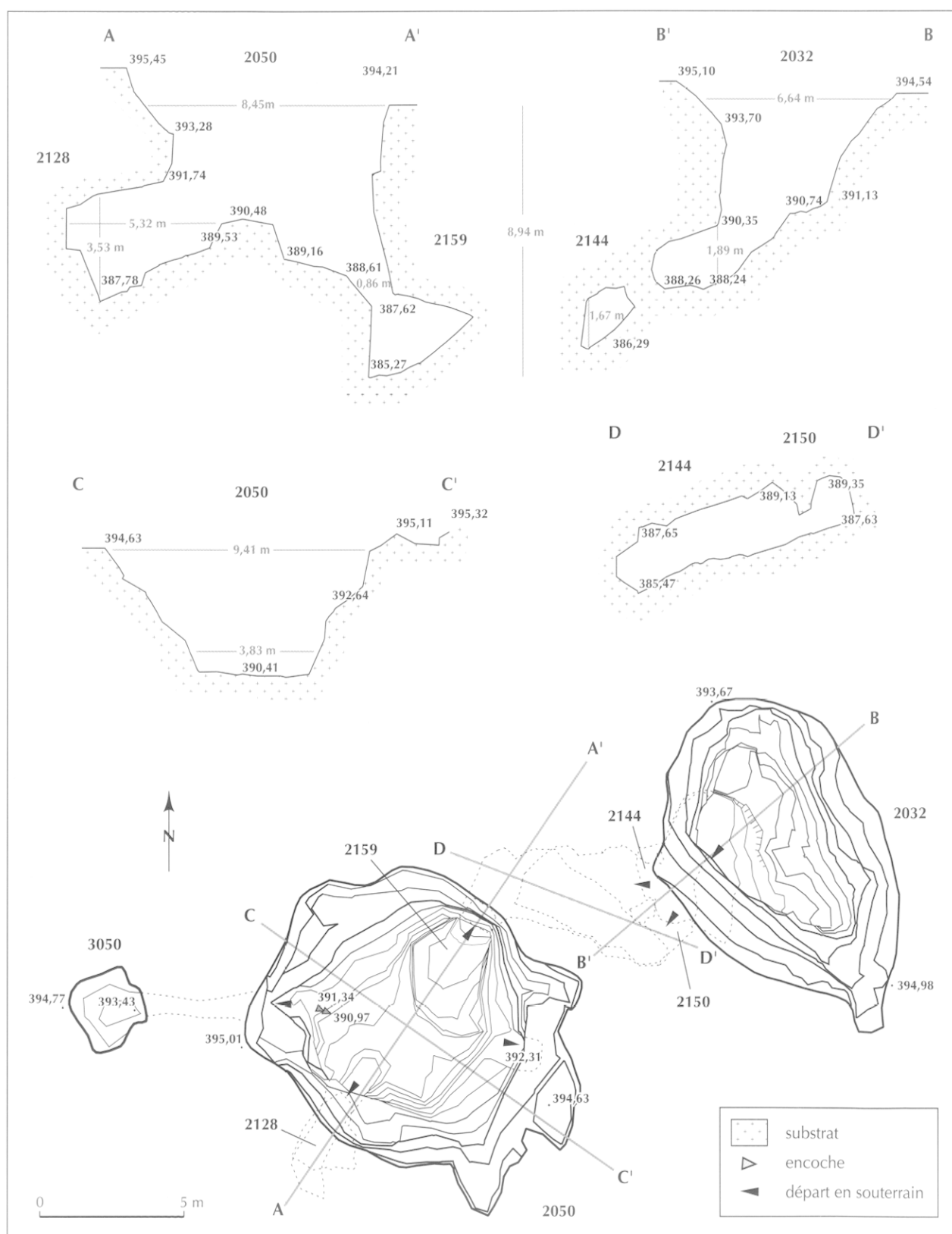


Fig. 8 – Plan et profils de l'ensemble minier 2050-2032
(relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaillhe, INRAP).



Fig. 9 – La mine-puits 1000 avant la fouille
(cliché : W. O'Yl, INRAP).

À 9 m de profondeur, la surface de la chambre est d'environ 20 m², présentant un fort pendage vers l'est. Le pilier vertical de soutènement se localise 3 m en retrait par rapport à l'entrée du souterrain. La cheminée la reliant avec la mine-puits 2050 s'ouvre à l'angle sud-ouest de la chambre.

Un étiayage en bois a renforcé la voûte et l'élargissement correspondant à l'ouverture de la cheminée. En effet, un alignement de quatre encoches formant un angle droit avec une cinquième se localise à la limite entre la bordure nord du fond de la chambre et la rupture de pente du deuxième plan incliné. Le moulage du négatif de l'étau s'appuyant sur une des encoches a révélé la forme d'un rondin d'un diamètre de 0,14 m sur une longueur de 0,86 m.

L'ensemble minier 1000-2000

Formé par une mine-puits (1000) et une mine (2000), leurs chantiers communs, du type à chambres et piliers, s'étendent sur une longueur de 22 m (Bernard, 2000). Creusées en enfilades, elles ont exploité un filon de quartz massif, dont les décrochements successifs vers le sud-ouest, ont déterminé l'évolution des chantiers miniers dans cette direction. Le miroir de faille, limitant le filon à son toit, aussi bien que l'imprégnation siliceuse de la roche encaissante, formant son plancher, ont été attaqués par les mineurs, très probablement parce qu'elles étaient riches en or. En revanche, les filonnets de quartz au sein du *stockwerk* dans les parois de la mine, à faible teneur en or, n'ont pas été exploités (Milor, 2000, p. 15).

La mine-puits 1000

De forme circulaire à l'ouverture, elle a un diamètre de 15,60 m et développe un profil en entonnoir à axe incliné (fig. 9 à 14).

Le système de déplacement vertical propre à la mine-puits 1000

Le système de déplacement vertical descend jusqu'à une profondeur de 13 m, seuil qui sépare la partie à ciel ouvert de la partie souterraine. Il a été aménagé sur la paroi nord-est de la mine (fig. 11 et 12).

Il comporte six gradins et deux paliers. La première volée est formée par deux gradins de 0,50 m de large, séparés par une contremarche haute de 1,70 m. Suit un palier de 8 m², où était très probablement installé un appareil de levage (treuil), facilitant le remontage des produits miniers. La deuxième volée se compose de quatre gradins, d'une largeur comprise entre 0,20 m et 0,75 m. La hauteur des contremarches les séparant varie entre 1,20 m et 2 m.

Au-dessous, un palier d'une surface de 1,20 m sur 1,30 m constitue la dernière marche éclairée directement par le jour.

Les systèmes de déplacements verticaux et horizontaux dans les chantiers profonds de l'ensemble minier

L'accès aux caissons souterrains se fait par des gradins excavés du côté mur. Les gradins du caisson au fond de la mine-puits 1000, creusés sur le même axe que le système de déplacement vertical principal, sont accessibles directement à partir de celui-ci.

En revanche, les gradins des caissons 1090 (sous le pont de roche séparant les deux mines) et 2122 (dans la partie souterraine de la moitié sud de la mine 2000) débouchent sur deux gradins horizontaux, longs d'une vingtaine de mètres, séparés par une contremarche haute de 2 m, et relient les deux mines en passant sous le pont de roche. En fait, ces gradins sont les vestiges d'anciennes foncées.

La plupart des contremarches des gradins dépassent 1,70 m de hauteur. Ne pouvant pas être enjambés, le déplacement des hommes et du matériel a dû se faire au moyen d'échelles en bois.

La progression latérale et l'approfondissement des chantiers

La galerie de recherche. Le suivi vers le nord-ouest du filon de quartz massif, à partir de la mine-puits 1000 a entraîné le percement de la galerie (1059) sous le pont de roche la séparant de la mine 2000.

Situé à 8 m de profondeur, le creusement de cette galerie a été abandonné au bout de 4,42 m. Près de l'entrée, un foyer a été installé à l'intérieur d'une encoche située dans la paroi nord.

Les foncées. Le décrochement du filon comporte le percement de la galerie 1072, juste 1,20 m au-dessous de la précédente (1059).

À son ouverture, elle mesure 1,20 m de haut, 1,10 m de large et est longue de 18,40 m. D'après les fronts de taille identifiés, son percement a comporté trois phases d'avancement, de longueurs différentes, dont l'une d'entre elles correspond à une correction du traçage. La dernière phase d'avancement se poursuit jusqu'à rencontrer la galerie 2121, dont le tracé suit le filon depuis la mine 2000, à la même profondeur, mais dans le sens inverse. Elle comporte également divers fronts de taille correspondant à différentes phases d'avancement.

Une partie de la paroi côté mur, et peut-être également une partie de la sole des galeries 1072 et 2121 ont été abattues, les transformant en une seule foncée. L'approfondissement du chantier a été poursuivi par le creusement d'une autre foncée, sous-jacente à la précédente. Le résultat fut deux gradins, larges de 1 m et séparés par une contremarche de 2 m, permettant d'accéder aux trois caissons de l'exploitation commune aux mines 1000 et 2000.

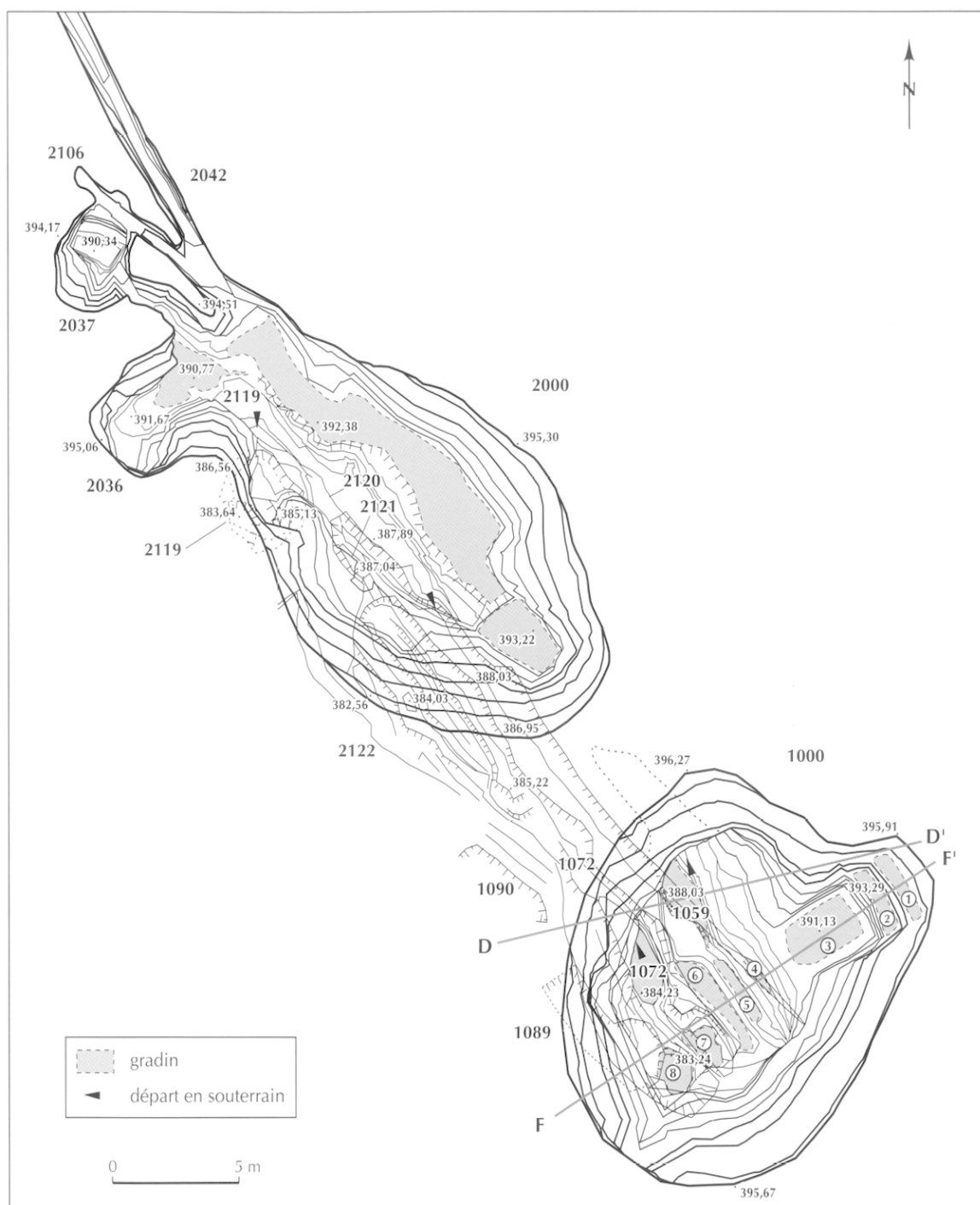


Fig. 10 – Plan de l'ensemble minier 1000-2000 : 1-8, gradins et paliers de la descenderie
(relevé : F. Bernard, A. Daussy, V. Miaïlhe et W. O'Yl ; DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaïlhe, INRAP).

La mine 2000

Après décapage, la mine 2000 apparaît comme une fosse ovale, mesurant 20 m de long sur 10,75 m de large. Des structures annexes, telles qu'une galerie de recherche (2036), une citerne (2037), une tranchée de canalisation (2106) et un canal d'exhaure (2112) se localisent à son extrémité nord (fig. 10).

Les parois de la mine se resserrent doucement jusqu'à une profondeur de 2,60 m, niveau où ont été aménagés deux replats, longeant le toit et le mur de la mine, ainsi qu'une plateforme, localisée à l'extrémité sud.

Le replat du côté mur s'étend sur la longueur totale du chantier : 14,30 m, donnant accès à tous les chantiers profonds. Le replat, du côté du toit, se localise au sud du caisson 2119 et est long de 5,10 m.

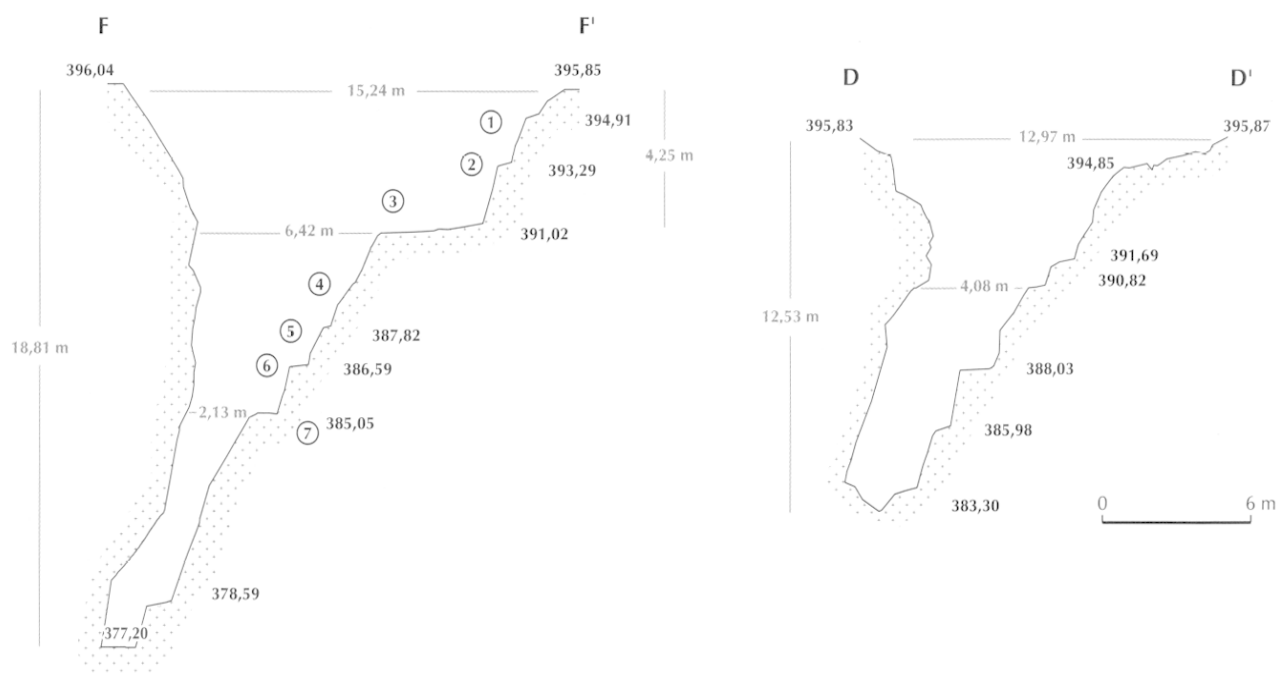


Fig. 11 – Profils de la mine-puits 1000 : 1-7, gradins et paliers de la descenderie (relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaillhe, INRAP).



Fig. 12 – Galeries et gradins permettant la circulation et l'avancement des chantiers miniers dans la mine-puits 1000 (cliché : W. O'YL, INRAP).

Côté sud, 1 m plus bas, une plate-forme d'environ 5 m², surplombant l'accès aux chantiers souterrains, suggère la présence d'un poste de travail fixe, probablement lié à l'évacuation

Au fur et à mesure de l'approfondissement des travaux, les moitiés nord et sud de cette mine ont évolué différemment. La moitié sud est devenue une exploitation du type à chambres et pilier, conjointe avec les chantiers profonds de la mine 1000, tandis qu'au nord, l'avancement de l'exploitation s'est concrétisé par le caisson 2119, indépendant du reste.

Le caisson 2119. De forme rectangulaire, il mesure 2,75 m sur 5,10 m et est profond de 10,29 m. Sur son bord nord-ouest a été aménagé un poste de travail, formé par deux emmarchements horizontaux, dont l'inférieur, flanqué de deux paires d'encoches rectangulaires, a dû comporter un dispositif de barrière en bois.

Un surcreusement sur filon (2120) se situe sur le bord de l'angle sud-est de ce caisson. Il permettait d'accéder aux chantiers souterrains sous-jacents (2121-2122), depuis le bord de la mine 2000.

Par rapport au pendage du filon de quartz, la partie haute de la paroi ouest du caisson porte des traces d'outils montrant que les mineurs ont effectué un redressement de la paroi après enlèvement du minerai. C'est un des rares cas où l'inclinaison naturelle du toit n'a pas été respectée (Vacca-Goutoulli, 2000b, p. 3).

Les chantiers profonds communs aux mines 1000 et 2000

Cette exploitation commune comporte trois caissons (1089, 1090 et 2122), séparés par deux piliers, s'étendant sur 22 m de long. Elle se développe à partir d'une profondeur d'environ 13 m et atteint 20 m au point le plus profond reconnu (fig. 13). Pour des raisons de sécurité pendant le chantier archéologique,



Fig. 13 – Fond de la mine-puits 1000 à 19 m de profondeur (cliché : W. O'Yl, INRAP).

seul le caisson 1089 fut complètement exploré (fig. 10 et fig. 11 FF').

Le caisson 1089. À l'ouverture, ce caisson est long de 5,30 m et large d'environ 1,20 m (fig. 14). Les travaux d'approfondissement du défilage ont été poursuivis sur plus de 6 m, laissant un pilier de roche du côté nord-ouest, qui le sépare du caisson 1090. À son extrémité sud, ce caisson présente une amorce de galerie (1091) longue de 1,80 m, aboutissant à un front de taille globulaire. Au fond, la longueur de ce défilage et de ses extensions est d'environ 13 m.

Une deuxième galerie (1123) part de son extrémité nord. À l'entrée, ses dimensions sont de 1,75 m de haut et 1,20 m de large. Explorée sur une longueur de 2,30 m, elle semble contourner le pilier de soutènement et relier ce caisson avec celui situé plus au nord (1090). Le pendage de son plancher vers le puisard 1103 a dû faciliter le drainage des autres caissons. Ce puisard prend la forme d'une tranchée longue de 3,75 m, large de 1,50 m et profonde de 1,20 m, surcreusée dans le fond du caisson 1089.

L'accès au fond du caisson se fait à partir des quatre gradins creusés du côté mur. La forme et les dimensions des gradins varient.

Un alignement de quatre encoches, situées à la hauteur du deuxième gradin, semble correspondre à l'installation d'un



Fig. 14 – Défilage 1089 au fond de la mine-puits 1000. L'étagage mis en place pour le chantier archéologique reprend les empreintes des potelles protohistoriques (cliché : W. O'Yl, INRAP).

plancher. Ce plancher a permis sans doute de stocker les produits extraits de l'approfondissement de ce caisson avant de les remonter au jour.

L'ensemble minier 5000-5064/5165-5062

Il faut noter qu'avant l'intervention archéologique, les mines 5000 et 5165 étaient entourées d'un seul cercle de haldes (fig. 5). Le décapage a révélé deux mines séparées par un pont de roche de 3 m de large.

Il n'est pas tout à fait certain que, dès le départ, le plan d'intervention sur cette partie du plateau ait impliqué le creusement simultané de deux mines (5000 et 5165) et de deux mines-puits (5064 et 5062) (fig. 15 et 16).

En fait, il semblerait que cet ensemble minier, assez complexe, soit le résultat d'une stratégie extractive souple s'adaptant, au fur et à mesure, à une réalité géologique changeante (Toledo i Mur, Coujou, 2000).

Une phase de sondages a dû précéder l'ouverture des mines. En témoignent les sondages autour de l'ensemble et les recherches localisées sur le côté nord de la mine 5000 (fig. 3).

Le creusement de la mine 5165 semble consécutif à l'épuisement des filons exploités par les défilages dans la mine 5000. La puissance (et la richesse ?) des filons étant plus importante



© CNRS ÉDITIONS, Paris, 2005



Fig. 17 – Vue des dépilages dans la mine 5000
(cliché : W. O'YI, INRAP).

vers la partie orientale, la profondeur des dépilages augmente au fur et à mesure qu'on avance dans cette direction.

En effet, la profondeur atteinte par les dépilages ouverts sur la moitié ouest de la mine 5000 est relativement modeste et se situe aux environs de 10 m. En revanche, les caissons 5732 et 5734 (dans la mine 5165) et le dépilage 5691 (au fond de la mine-puits 5062) dépassent 14 m de profondeur, niveau atteint par la fouille.

Le creusement de la mine-puits 5064 est contemporain des travaux dans la mine 5000. La première, avec son système de paliers et gradins, a dû être planifiée afin d'évacuer les déblais des dépilages profonds de la mine 5000. En effet, les axes des galeries 5751 et 5747/5756 (dans 5064) coïncident avec ceux des dépilages 5446/5474 et 5468 (dans 5000). Ces travaux ont été conçus pour se rejoindre. Cependant, les caractéristiques géologiques du terrain ne correspondant pas aux critères de rentabilité (épuisement du filon, appauvrissement...), les travaux se sont arrêtés.

Postérieurement, la galerie 5747/5756 sera concernée par une reprise des travaux. Elle est prolongée par l'ouverture du boyau 5512, afin d'amener l'air dans la partie souterraine du dépilage 5445/5468, dans la mine 5000.

Le creusement de la mine-puits 5062 doit être contemporain du creusement de la mine 5165. Le système de gradins et paliers dans la mine-puits 5062 sert à l'évacuation des déblais des dépilages profonds 5732 et 5734 (dans 5165) et du dépilage 5691 (lui-même au fond de 5062). Les traces d'outils relevées à l'intérieur de la galerie d'exploitation 5597/5688 (= 5733), reliant les deux mines, indiquent qu'elle a été creusée depuis 5165 en allant vers 5062.

Les puits 5001 et 5061 sont des ouvertures impliquées dans les circuits d'aérage des parties souterraines des dépilages profonds des mines 5000 et 5165. Ils ont été creusés dès le début de l'exploitation des niveaux profonds situés du côté oriental de l'ensemble minier.

Les chantiers miniers peu profonds et profonds de la mine 5000 et les chantiers communs aux mines 5165 et 5062 sont tous des exploitations du type à chambre (caissons) et piliers.

Les exploitations partant du fond de la mine-puits 5064 constituent des galeries indépendantes.

La mine 5000

De forme grossièrement rectangulaire, elle mesure 28 m sur 14 m.

L'exploitation de cette mine a démarré avec une série de recherches peu poussées, la plupart à ciel ouvert, localisées dans son extrémité nord (5155, 5159 et 5312) et sur une partie de la paroi ouest (5472, 5473). De formes diverses, elles ne dépassent pas 4 m de long ni 3 m de profondeur. Il faut remarquer la galerie souterraine 5156, creusée sous un massif rocheux, dont le parcours en L est long de 8 m (fig. 15).

Elle se poursuit, toujours vers l'est, avec le creusement d'une série de quatre dépilages longilignes et parallèles, orientés nord-ouest – sud-est. Ces dépilages comportent une partie souterraine et une partie à ciel ouvert, compartimentées par des piliers résiduels. Au fur et à mesure que leur localisation se décalait vers l'est, leur profondeur devenait plus importante. Mis à part le dépilage 5445, les parties souterraines de ces dépilages n'ont pas été explorées pour des raisons de sécurité.

L'accès

L'accès et l'évacuation des déblais provenant des dépilages relativement peu profonds de la moitié ouest de la mine 5000 ont pu se faire de plain-pied du côté nord en contournant les massifs rocheux. L'accès et l'évacuation du minerai des caissons profonds 5445/5468 ont pu se faire soit à partir des gradins excavés sur son flanc sud (côté mur), soit en empruntant la partie à ciel ouvert de ce dernier. Un éventuel accès pour les mineurs a pu s'effectuer par le puits 5001, à l'aide d'une échelle.

Les dépilages

Les dépilages peu profonds (5475/5470 ; 5469/5474 ; 5446/5476) (fig. 15 et 17). La profondeur des parties à ciel ouvert de ces dépilages ne dépasse pas 10 m. D'une largeur moyenne d'un peu plus de 1 m, les longueurs des caissons varient entre 9 et 6 m.

Le dépilage profond (5468/5445). Le dépilage 5468/5445 comporte une partie à ciel ouvert longue de 11 m, et une partie souterraine de 17 m. À une profondeur d'environ 8 m, le caisson à ciel ouvert évolue en une cavité longue de 4 m, percée sous le pont de roche. Un pilier de la même longueur la sépare du caisson 5445.

L'accès à la partie souterraine de 5468 se fait par l'intermédiaire de trois gradins creusés sur le flanc sud (fig. 18 EE').

Le caisson souterrain 5445 atteint une profondeur de 11 m (fig. 18 AA' et BB'). Il a été ouvert à partir du caisson 5468. Les deux gradins longeant le caisson côté mur témoignent de l'emploi de la technique dite du gradin droit.

Le travers-banc 5669

Le travers-banc 5669 présente un profil en plafond arrondi, des parois convexes et un plancher plat (fig. 18 FF'). Il est long de 12 m, large de 1,50 m et haut de 1,50 m. Il permet la circulation entre le puits 5471 (dans 5000) et les caissons 5468 (dans 5000) et 5734 (dans 5165).

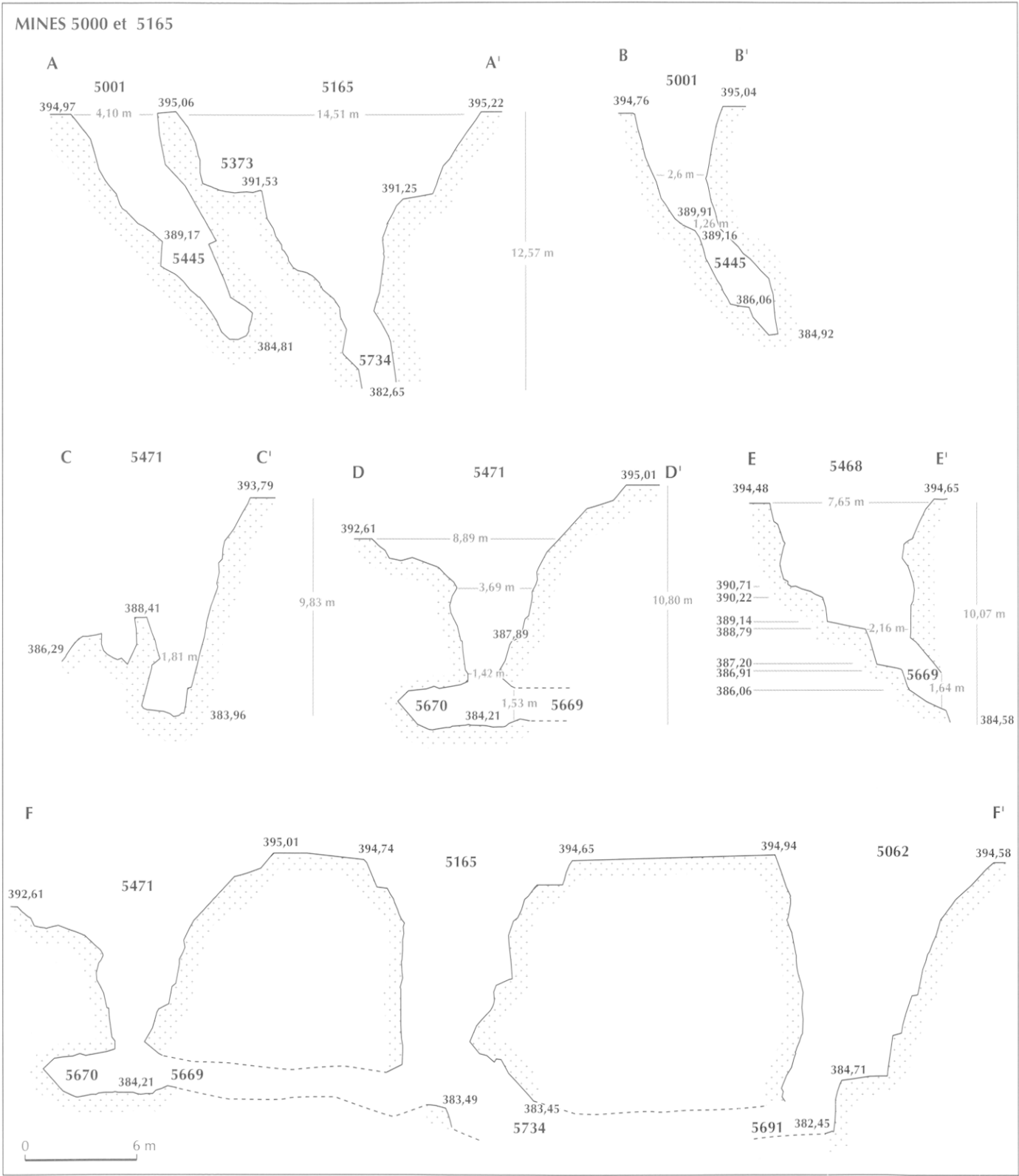


Fig. 18 – Profils de l'ensemble minier 5000-5064/5165-5062
(relevé et DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miailhe, INRAP).

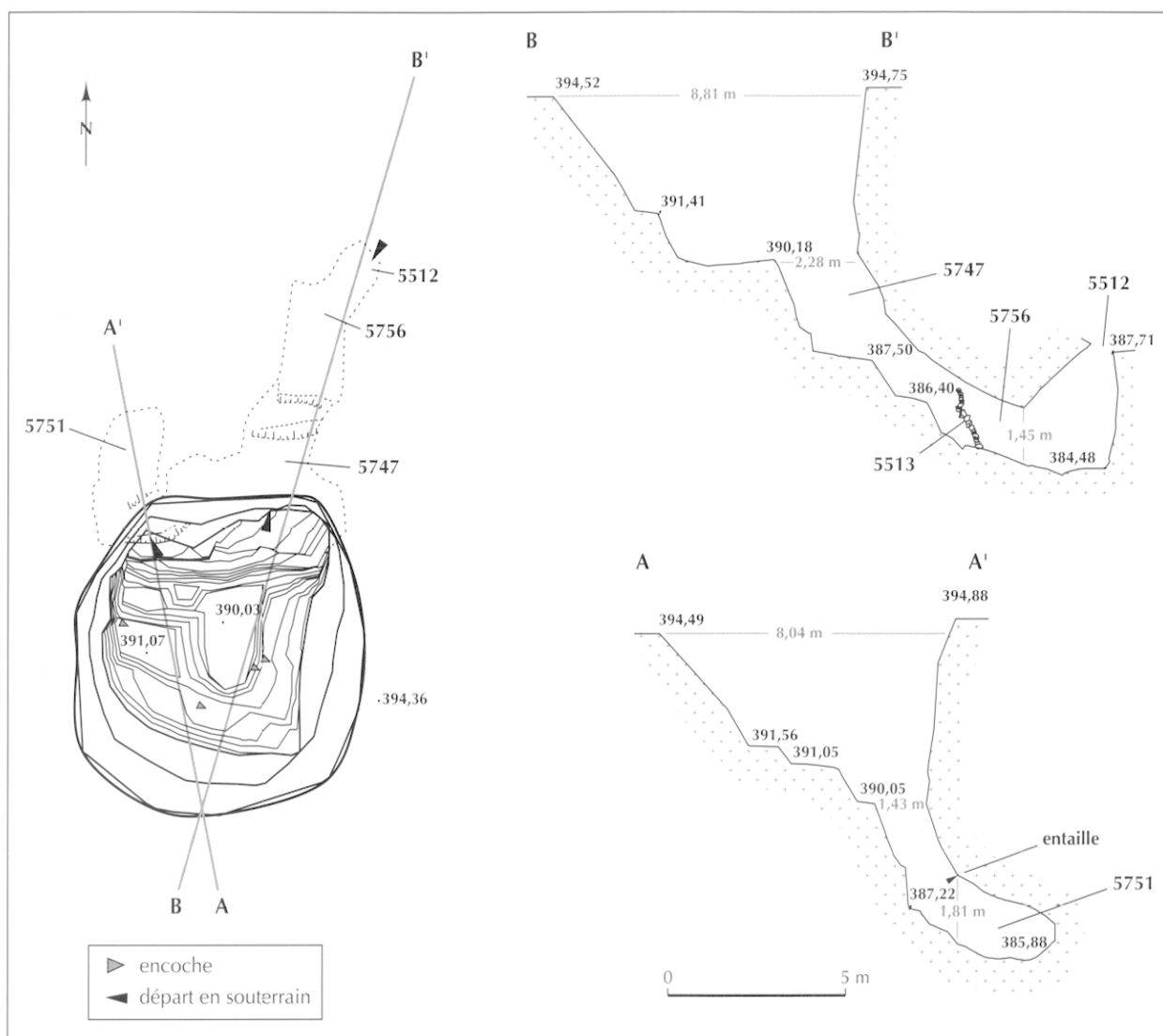


Fig. 19 – Plan de la mine-puits 5064 et profils des galeries 5751 et 5747/5756/5512
(relevé : F. Bernard, S. Dalle et V. Miaïlhe ; DAO : F. Bernard ; mise au net : V. Miaïlhe, INRAP).

Les circuits d'aération

Le puits 5001 se situe à l'extrémité sud du pont de roche séparant les mines 5165 et 5000. Ovale, d'un diamètre d'environ 4 m, il relie au jour le caisson 5445, profond de 11 m, et lui fournit air et lumière. Le circuit de ventilation est formé par le puits 5001, pour l'entrée-sortie de l'air qui, circulant à travers le boyau 5512, est canalisée par la galerie 5756, partiellement comblée, vers l'autre entrée-sortie représentée par la mine-puits 5064. Un petit foyer (5502), installé à environ 8 m de profondeur sur un replat du mur du défilage 5468, s'intègre dans ce circuit de ventilation en produisant de l'air chaud.

Le puits 5471 s'ouvre à l'intérieur de l'angle nord-est de la mine 5000. De forme quadrangulaire, il mesure environ 3,50 m de côté, atteignant une profondeur de 11 m. Une galerie de recherche (5670), longue de 3 m, a été percée à l'angle nord-ouest de ce puits. De son angle sud-est part le travers-banc 5699, le reliant aux caissons 5468 (dans 5000) et 5734 (dans 5165). Le

puits devient une cheminée d'entrée-sortie d'air et le travers-banc un tuyau canalisant l'air jusqu'au caisson 5734, ouvert à l'aplomb de l'embouchure de la mine 5165, donc à ciel ouvert (fig. 18 FF').

Les mesures de sécurité

Un mur de contention. L'instabilité de la paroi ouest de la mine 5000, là où les recherches n'ont pas été fructueuses, a motivé le remblayage d'une bande d'environ 4 m de large sur le pourtour interne de l'extrême sud-ouest.

Un mur en pierre sèche, dressé à l'extrême nord du défilage 5475, immobilise les couches de remblai volontairement déposées. Conservé sur une hauteur d'environ 0,60 m, il est large de 0,60 m. Cet aménagement permet de continuer à circuler en sécurité sur la moitié nord-ouest. Le rétrécissement de la zone de circulation de travail s'est avéré utile puisque le profil de la paroi s'est effectivement effondré.



Fig. 20 – Gradins et accès aux chantiers souterrains de la mine 5064 (cliché : W. O'Yl, INRAP).

La mine-puits 5064. Le plan quadrangulaire de cette mine-puits mesure 8,50 m de côté. Son profil présente des parois évasées sauf la paroi nord qui, elle, descend à la verticale (fig. 16 et 19).

Entre 3 et 5 m de profondeur, un système de gradins et paliers permet d'y accéder et d'évacuer les produits de deux galeries d'exploitation creusées au fond de la mine-puits en direction nord. L'ensemble des gradins et paliers occupe une grande partie de la surface utile (5 m² sur 6 m²). Le creusement des galeries 5751 et 5747 a été prévu pour les relier aux dépilages 5446 et 5445/5468 (dans 5000). L'épuisement des filons a provoqué l'arrêt de ces deux exploitations.

Postérieurement, la galerie 5747/5756 fut prolongée par l'ouverture d'un boyau (5512) la reliant avec le dépilage profond 5445/5468 (dans 5000). L'investissement de travail effectué en 5064, annulé par l'épuisement du minerai aurifère, fut en partie récupéré, moyennant la reconversion de la galerie d'exploitation 5747/5756 dans le circuit d'aération.

Le système de déplacement vertical (fig. 19 et 20). La distribution des gradins et paliers est particulière : elle ne s'effectue pas sur un seul axe mais sur deux.

Le gradin supérieur, longeant la paroi sud sur 5,80 m, donne accès, dès sa moitié ouest, à deux gradins longs de 1,80 m. Ceux-ci peuvent être enjambés directement, puisque les contremarches qui les séparent ne sont hautes que de 0,50 m.



Fig. 21 – Galerie 5512 à l'intérieur de la mine 5064, ses dimensions permettaient le travail debout (cliché : W. O'Yl, INRAP).

Sa moitié orientale s'ouvre, après une contremarche haute de 1,50 m, sur une plate-forme de 3,30 m², où la disposition des encoches et les traces d'outils indiquent l'existence d'un dispositif en bois. Il comportait des poteaux verticaux ainsi que des planches horizontales, la présence de ces dernières étant attestée par l'existence de zones avec un frottement considérable, d'autres zones ayant été complètement préservées (Vacca-Goutoulli, 2000b, p. 15).

En dessous, à une profondeur d'environ 5 m, un nouveau gradin s'étend sur toute la largeur du puits, suivi par deux autres gradins. Ensemble, ils donnent accès aux deux galeries souterraines. Larges d'environ 0,40 m, ils sont séparés par des contremarches de 0,48 m et 0,25 m.

Les galeries d'exploitation

Deux galeries d'exploitation ont été creusées en direction du nord au départ de la mine-puits 5064, respectivement à une profondeur de 6,40 m et 7 m.

La galerie 5751, de plan trapézoïdal, s'ouvre côté ouest. Elle mesure 3,20 m de long, 2,10 m de largeur maximale et 0,70 m de largeur minimale. La hauteur moyenne de la galerie est de 1,60 m (fig. 19 AA').

À 6,80 m de profondeur, sur l'arête du surplomb, à l'entrée de cette galerie se trouve un groupe de marques pouvant être interprétées comme une sorte de code (comptage ?). Il est



Fig. 22 – Mur de contention retenant les déblais qui remplissaient partiellement la galerie 5512 devenue obsolète (cliché : W. O'YL, INRAP).

formé par trois lignes verticales, tracées à l'outil fin, parallèles, longues de 8 cm de long avec une quatrième ligne localisée au-dessus¹⁴.

La galerie 5747/5756/5512 mesure 8 m de long et 1,75 m de largeur moyenne ; sa hauteur oscillant entre 1,50 m et 1,80 m (fig. 19 BB', 21 et 26). Le profil montre un plafond arrondi, des parois droites et un plancher plat. À l'intérieur de la galerie, la descente ne se fait pas en plan incliné mais par la combinaison d'un palier et de deux marches, hautes d'environ 0,30 m. Le front de taille du fond de la galerie est régulier et présente le même profil que celui de la galerie elle-même.

Le circuit d'aération. Dans un deuxième temps, la galerie 5747 a été prolongée de 1,50 m dans le sens de la longueur, en se décalant vers l'est, et de 3,20 m à la verticale. Ces nouveaux travaux ont permis d'ouvrir le boyau de communication (5512) avec le défilage 5545/5468 dans la mine 5000 pour amener l'air à plus de 7 m de profondeur (voir le circuit d'aération de la mine 5000).

Les déblais provenant du creusement du boyau ont servi à combler partiellement cette galerie. Un mur en pierre sèche (5513), à parement unique et haut de 1,55 m, stabilise les couches de stériles (fig. 19 BB' et 22). Il comporte une quinzaine d'assises irrégulières, les pierres ayant été disposées de façon calibrée : celles de taille moyenne en bas du mur, et celles de petite taille en haut. L'espace vide entre le sommet du mur et le plafond de la galerie forme un conduit large de 0,50 m.

14. À la mine antique de Pioch-Farrus à Cabrières (Hérault), datée du I^{er} s. av. J.-C. au I^{er} s. apr. J.-C., quatre traits verticaux accompagnés des inscriptions AVR(ELIANVS) et GAIVS, localisés dans des galeries profondes, ont été interprétés comme des décomptes en rapport avec des régisseurs de la mine (Bailly-Maitre *et al.*, 1984). Agricola rapporte à ce propos que des entailles, correspondant à des limites de partition en surface, étaient gravées dans les galeries ou les parties souterraines par un géomètre en présence de deux hommes de loi assermentés (Agricola, 1556, livre V, p. 111).



Fig. 23 – Vue générale des divers chantiers faisant partie de l'ensemble des mines 5000-5062 (cliché : W. O'YL, INRAP).

La mine 5165

De plan ovale, elle mesure 13 m sur 10 m. À une profondeur de 3,50 m, deux replats longent les parois nord et sud. L'un des deux est en fait un défilage (5373). À partir de cette profondeur, son profil prend la forme d'un entonnoir pour devenir, à partir de 9 m, un caisson à parois verticales large de moins de 2 m (fig. 15, 16 et 18).

L'accès

L'accès à la moitié ouest de la mine devait se faire côté nord, à partir d'une série de replats dont le premier se situe entre deux plots rocheux et les trois autres longent le pont de roche. Il pouvait également se faire par le puits 5061, relié à cette mine par une descenderie (5351). L'accès à la moitié orientale était possible par des replats situés dans la paroi de la mine, au sud de la galerie 5258.

À une profondeur de 6 m, un passage sous le pont de roche (5780) permet la communication entre la mine 5165 et la mine 5000.

La galerie de recherche 5258

À une profondeur de 4,27 m, une galerie de recherche longue de 3,80 m, a été creusée sur faille dans la paroi orientale de cette mine. Elle présente un profil à plafond arrondi, des parois convexes et un plancher plat. Elle est large de 0,70 m et haute de 1,80 m.

Les travaux d'approfondissement

Le puits 5061 relie au jour les chantiers de la mine 5165 qui se trouvent à une profondeur de plus de 6 m à partir de la galerie 5351. Celle-ci débouche sur le replat à partir duquel a été poursuivi l'approfondissement de cette mine à partir de fondées latérales.

L'extrémité d'une de ces tranches d'abattage a été conservée sur 2 m de long. Sa largeur dépasse de peu 1 m et sa hauteur permettait le travail d'un mineur debout. De par sa position, surplombant le caisson 5732, elle a très probablement



Fig. 24 – Décapage de la mine 5062
(cliché : W. O'YL, INRAP).



Fig. 25 – Vue de la galerie 5477 dans la mine 5062
(cliché : W. O'YL, INRAP).

servi de plate-forme de travail. La présence d'une encoche en forme de L inversé située au mur, en limite du bord du plancher, peut correspondre à un dispositif de levage ou de barrière.

À une profondeur d'environ 11 m, le défilage se divise en deux caissons, un souterrain au sud (5732) et un autre à ciel ouvert (5734) au nord, séparés par un pilier d'environ 1 m (perforé). Rappelons que le premier est relié au défilage 5468 et au puits 5471, et les deux à la mine 5000, par un travers-banc (5699). Le deuxième est relié à la mine-puits 5062 par une galerie d'exploitation (5597).

Les exploitations communes aux mines 5165 et 5062

À une profondeur d'environ 15 m, les deux caissons du fond de la mine 5165 (5734 et 5732), le caisson 5776 (creusé dans la sole de la galerie 5597) et le défilage 5691 (au fond de la mine-puits 5062) forment une même exploitation du type à chambres (caissons) et piliers s'étendant sur une longueur de 20 m (fig. 16, 18 et 23). La longueur des caissons varie entre 5 m et 6 m et leur largeur ne dépasse pas 1,50 m.

La galerie d'exploitation 5597

Percée à partir du caisson 5732 (dans la mine 5165), son plan forme un coude. Elle mesure 6 m de long, 2 m de large et 1,50 m de haut. Cette galerie a permis l'évacuation vers la surface des déblais provenant des caissons 5732 et 5734, à travers la mine-puits 5062. Le plancher de cette galerie est percé par le creusement du caisson 5776.

Les circuits d'aération

L'exploitation commune de cet ensemble, dépassant 15 m de profondeur, s'étend sur une longueur de 26 m. Il a nécessité la mise en place de deux circuits de ventilation, fonctionnant simultanément, avec plusieurs ouvertures et conduits. L'aérage spontané n'étant pas suffisant, plusieurs foyers ont été aménagés, à 8 m, 10 m et 12 m de profondeur, afin de faciliter la circulation de l'air.

La mine-puits 5062, la mine 5165 et le puits 5471, ainsi que le caisson 5468 (dans 5000) ont servi d'entrée-sortie d'air (fig. 18 FF'). La galerie-exploitation 5776 et le travers-banc 5669 formaient un conduit d'aération, amenant l'air aux caissons 5691 (perforant la galerie 5776), 5732 et 5734. Les feux qui aidaient la circulation étaient allumés à l'entrée de la galerie 5597, sur le pilier séparant les caissons 5734 et 5732, et deux autres feux étaient installés sur les gradins de 5468.

La mine-puits 5062

De plan rectangulaire, elle mesure 11 m sur 9,20 m, prenant un profil en entonnoir lors de son approfondissement. Quatre galeries de recherche rayonnantes se distribuent sur trois niveaux (fig. 16 et 24).

Un système de déplacement vertical a été aménagé sur la paroi orientale, comportant trois gradins et deux paliers. Le premier des trois gradins se localise à 4,50 m de profondeur. D'autres, dont un sous-jacent à celui-ci, ont disparu.

Des problèmes de sécurité, liés aux intempéries des deux dernières semaines de chantier, ont empêché la continuation de la fouille et les relevés topographiques et photographiques des défilages partant du fond de la mine-puits 5062.

Le système de déplacement vertical

Trois gradins et un palier permettaient de descendre à 12,50 m de profondeur, où un deuxième palier servait de distributeur. D'une largeur entre 0,30 m et 0,80 m, ils sont séparés par des contremarches hautes de 1,80 m et 2 m (fig. 18 FF').

Le premier palier, de 2 m sur 2,50 m, est localisé à 9,80 m de profondeur. Il est séparé du deuxième palier par une contremarche haute de 2 m. Ce deuxième palier est une sorte de distributeur à partir duquel on peut accéder à la galerie 5597 et au défilage 5691. Il faut noter que l'orientation du dernier palier (nord-sud) change par rapport à l'ensemble des gradins et des paliers (nord-est – sud-ouest).

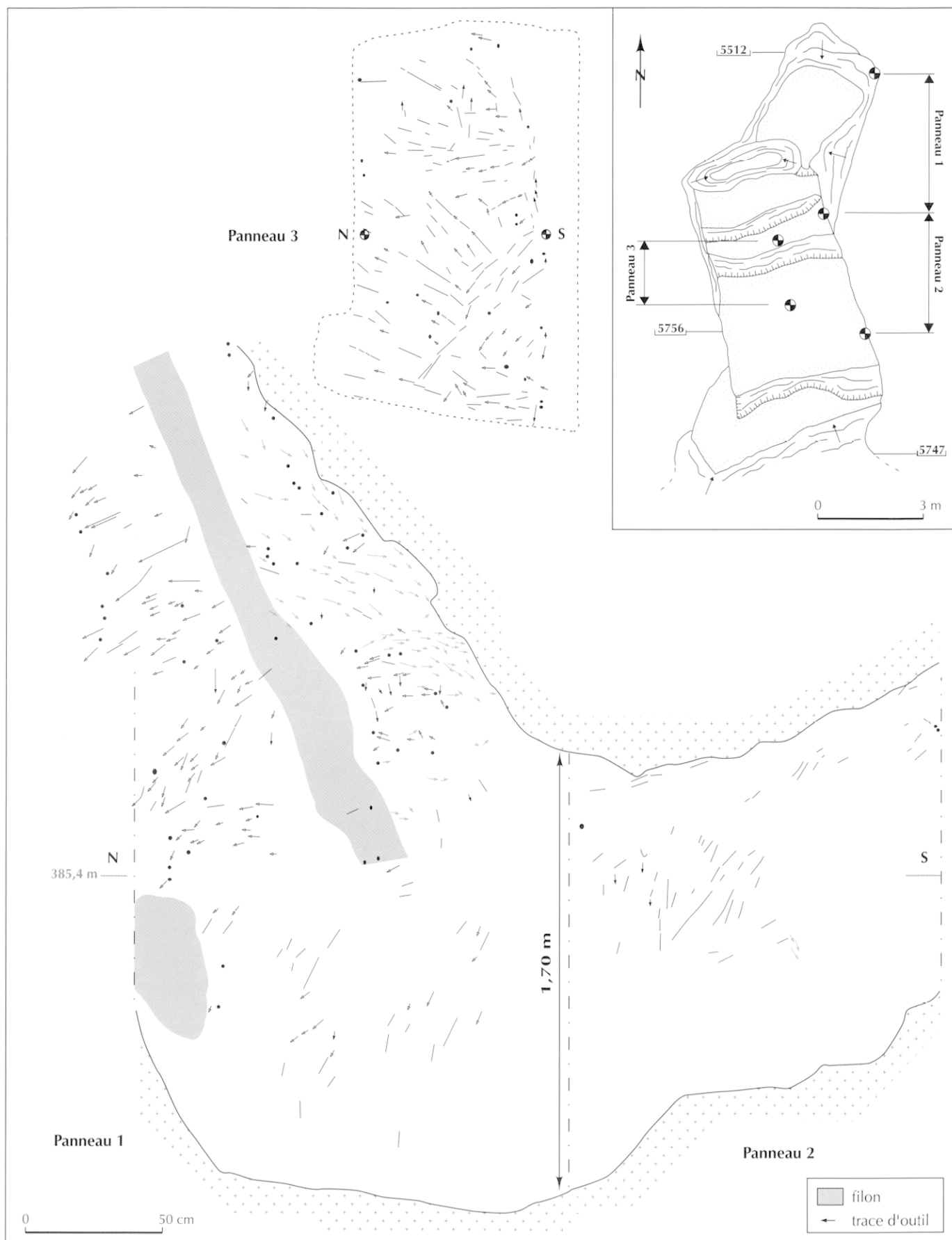


Fig. 26 – Relevé des traces d'outils dans la galerie 5747/5756 et le boyau vertical 5512
(relevé : A. Daussy et L. Destrade ; DAO : V. Miaulhe, INRAP).

Les galeries de recherche 5390, 5423, 5424 et 5477

Creusées sur un filon, à des profondeurs diverses, elles sont orientées selon les principaux accidents structuraux de cette zone du plateau (fig. 4). Leur facture régulière, à plafonds arrondis et planchers plats, montre le soin apporté à leur ouverture (fig. 25). De longueurs différentes, elles sont larges d'environ 1 m et leur hauteur varie entre 1 m et 1,80 m.

Les foyers

Le foyer 5690, au fond de la mine-puits, faisait partie du circuit d'aération de l'exploitation commune aux mines 5165 et 5062. Il comporte une couche charbonneuse avec des cailloutis brûlés, mesurant 0,50 m sur 0,25 m, et épaisse de 0,02 m. Accolée à la contremarche du deuxième palier, celle-ci présente des signes de rubéfaction. Cette installation a été aménagée après comblement du défilage 5691, devenu obsolète.

Le foyer 5772, également lié à la ventilation des chantiers miniers profonds, se compose d'une couche charbonneuse de 0,01 m d'épaisseur et de 0,30 m de diamètre. Il a été installé directement sur un replat à 1 m de l'entrée, côté gauche, de la galerie 5597.

ESSAI DE PHASAGE DES TRAVAUX MINIER

La réflexion sur la distribution des aurières sur l'aire d'exploitation à grande échelle et la disposition des haldes les ceinturant permet un essai du phasage des travaux.

Tout porte à croire que l'exploitation du Puy des Angles s'est déroulée sur une période « courte » durant laquelle on travaillait simultanément dans plusieurs ensembles miniers.

L'ensemble minier 5172-3024 qu'on peut classer comme des sondages poussés, ainsi que les sondages localisés sur le même versant, correspondent à la phase de délimitation de l'aire productive. Ils ont pu précéder les aurières situées sur le promontoire.

L'exploitation de l'ensemble 5000-5064/5165-5062 a progressé d'ouest en est, suivant l'augmentation de la puissance des structures contenant du quartz aurifère dans cette direction.

Une partie des chantiers localisés au centre du plateau ont été abandonnés assez rapidement. Le caisson sud de la mine 5263 et la mine 2051 étaient complètement masqués par les haldes, aucune trace d'eux n'étant visible en surface. Le caisson nord de la mine 5263 et les mines 2050 et 2032 continuèrent à être exploités, en même temps que l'ensemble minier 5165-5062. En effet, la simultanéité de l'exploitation du caisson nord de la mine 5263 et de la mine 2050, témoigne du fait qu'un seul cercle de haldes entoure les deux chantiers. Il faut noter que la mine 2050 faisait partie prenante de l'ensemble minier 2050-2032.

En ce qui concerne la simultanéité du groupe précédent avec les travaux profonds dans l'ensemble 5165-5062, elle est envisageable à partir de la construction d'un mur sur la partie sud de la mine 5263. Celui-ci a pu être dressé afin de prévenir un éventuel éboulement des stériles remontés à travers la mine-puits 5062, dans le caisson nord de la mine 5263, où on continuait à travailler.

Les cercles des haldes entourant l'ensemble minier 1000-2000 et la mine 2032 se côtoient sans se chevaucher.

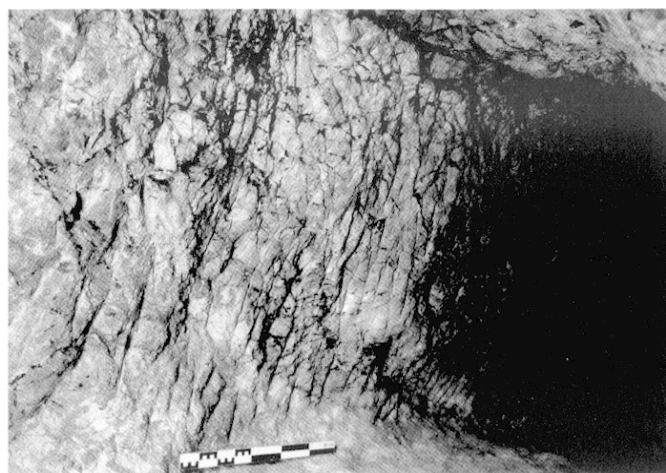


Fig. 27 – Traces d'outils dans la galerie 5477 reliant les mines 5062 et 5000 (cliché : W. O'YI, INRAP).

L'hypothèse de la simultanéité entre ces chantiers ne peut donc être exclue.

A. T. i M.

LES TECHNIQUES D'EXPLOITATION DU MINERAI

La densité des traces d'outils sur les parois des différentes structures minières au Puy des Angles a permis de mettre en évidence la technique d'abattage sans recours au feu, sur un matériau que l'on dit alors « récalcitrant ». Ces traces donnent des précisions sur les outils utilisés, leur nature, leur forme, mais aussi sur les intentions des mineurs, leurs stratégies d'exploitation et leurs savoirs. Cette étude a utilisé un enregistrement minutieux de ces traces dans les ensembles les plus significatifs des sols et des parois de la mine ¹⁵, sous forme de fiches mentionnant également la nature de la roche. Dans certains secteurs, ces fiches ont été couplées avec des relevés graphiques exhaustifs des traces (fig. 26 et 27) et par quelques moulages. Les résultats obtenus portent sur la caractérisation des outils, leur choix, les postes de travail et les contraintes physiques, et donnent des indications sur les savoirs théoriques.

LA CARACTÉRISATION TECHNIQUE DES MATÉRIAUX : MINERAI ET ROCHE ENCAISSANTE

La caractérisation des matériaux représente le lien entre la géologie et le travail de l'homme. La dureté de la roche, les fissures, les fractures déterminent le choix de l'outil suivant le comportement du matériau sous son action (tabl. II). Les manuels de technique minière soulignent l'importance de l'évaluation de la dureté ¹⁶ des roches avant toute chose, de

15. Cet enregistrement, réalisé à l'initiative de A. Daussy et P. Coujou, prend en compte les différentes méthodes d'observation directe, les données chiffrées et les données descriptives. Des moulages de certaines empreintes les plus significatives viennent compléter ces observations.

16. L'indice de taille est pris sur une échelle qui va de 1 à 14. Cette mesure quantifie la dureté de la roche et sa capacité à la taille avec un

Tabl. II – Évaluation des caractéristiques techniques de la roche.

Minerai doux ou tendre	Le quartz ou minerai dur	La roche encaissante (orthogneiss)
indice de taille ou de dureté : 2 à 3	indice de taille ou de dureté : 10 à 12	densité moyenne : 2 100 à 2 600 kg/m ³
doux à tendre	–	Pierre demi-ferme
–	–	dureté/indice de taille : 4

manière à adapter le mode d'abattage à la nature du terrain (Teissier, 1945). Cette dureté était seulement appréciée, alors que de nos jours, elle peut être mesurée avec précision¹⁷. Une analyse de ce type appliquée à la recherche archéologique minière mettrait en évidence l'incidence de ce critère pour chaque méthode d'exploitation¹⁸.

Dans la mine du Puy des Angles, la formation géologique exploitée présente différentes natures de filons auxquels on accordera, suivant leurs caractéristiques, les termes de minerai doux et tendre ou minerai dur (représenté par le quartz). Le minerai tendre est caractérisé par la facilité de son exploitation en cailloux hétérométriques de petite taille, alors que pour le minerai dur, sa structure cristalline justifie une exploitation par fissuration en blocs tri- ou tétra-décimétriques. La roche encaissante apparaît comme non homogène et extrêmement fissurée. Elle se débite en petits pavés présentant des plans de schistosité bien visibles séparant des parties où la pierre peut être qualifiée de tendre et d'autres où elle se révèle être demi-ferme.

LES OUTILS

L'étude des traces¹⁹ utilise la classification des outils à partir du geste (fig. 26). Les choix des mineurs se font suivant la fonction de l'outil, la réponse du matériau et le résultat recherché. La catégorie d'outil d'extraction exclusivement représentée est la classe des outils à percussion lancée, à laquelle appartiennent les différentes formes de pics. Leurs principes d'utilisation, édictés par les manuels du XIX^e ou du XX^e s., sont respectés ici. Les pics à pointes effilées et acérées sont utilisés dans les formations tendres, et les pics à pointes plus lourdes et plus massives sont réservés à l'exploitation des formations plus dures et plus abrasives.

D'une manière générale, le pic est constitué par un fer de section carrée ou rectangulaire de 25 à 30 cm de long, terminé par une pointe d'autant plus longue que la roche est plus

outil métallique. Une autre façon de définir cette dureté sont les termes : douce, tendre, ferme, dure et froide. Cette gradation comporte des nuances : demi-ferme et demi-dure. Une correspondance existe entre ces deux échelles de mesure de la réponse du matériau sous l'action de l'outil, et l'on emploie indifféremment l'une ou l'autre.

17. Dans le cadre de cette étude, seule une estimation a été possible en utilisant les méthodes provenant de la taille de la pierre.

18. Un appareil très simple existe, le duroscope. Il se compose d'un marteau-pendule et d'un index mesurant le rebondissement de ce marteau sur la roche, celui-ci étant plus ou moins important suivant la dureté de la roche, ou plus exactement suivant son élasticité.

19. La netteté et la précision des traces impliquent la présence d'une forge qui n'a cependant pas été retrouvée dans l'emprise de la fouille.

tendre. Une pointe aiguë est pénétrante mais s'émousse vite en terrain dur. Aussi, le pic doit être d'autant plus lourd et massif que la roche est plus dure²⁰. Le manche, de section ovale, est choisi dans un bois à la fois résistant et élastique, du frêne le plus souvent. Avec le pic, le mineur ne frappe pas violemment en pleine roche, il cherche à détacher le minerai en morceaux de bonne grosseur, de granulométrie régulière.

Caractérisées par un tracé curviligne, les traces montrent une succession rythmique des coups. Parfois très courtes, les traces n'excèdent jamais 20 cm de longueur d'un seul jet. Les différences d'apparence des traces dépendent du matériau traité et de la forme du fer.

Les pics à une seule pointe de moins de 1 kg

Cette forme est remarquée dans l'exploitation du minerai tendre où les traces montrent l'utilisation d'un outil à pointe très effilée, parfaitement affûtée, très maniable y compris dans certaines positions contraignantes des mineurs, où l'outil à une seule pointe est parfaitement adapté. Certaines traces relevées dans la galerie 5512, tangentielles au toit, confirment cette hypothèse. La diversité des directions des coups portés au toit de cette galerie témoigne du choix d'une forme d'outil évitant au maximum la fatigue musculaire de l'avant-bras. L'outil à percussion lancée utilisé ici possède un manche court, un fer à une pointe, très fin, affûté, et long de 20 à 25 cm. Il pèserait environ 500 g.

On trouve également cette forme dans l'exploitation de filons fins de quartz se faisant en légers dépilages à l'aide d'outils à percussion lancée à pointe fine et bien affûtée. Les positions adoptées par les mineurs sont malcommodes et les outils sont légers, avec des manches et des fers courts.

Les pics à fer long à double pointe

Les traces de creusement de havages (mine-puits 5064) montrent un outil moins bien affûté que dans les exemples d'exploitation de filons fins. La section arrondie de la pointe atteint 1 cm, montrant une certaine lourdeur du fer et une grande efficacité. Les coups sont portés comme dans le cas de l'exploitation de la pierre de taille par un ouvrier debout frappant le sol entre ses pieds ou avec une jambe en hauteur. Le manche atteint une longueur de 60 cm à 80 cm. L'outil est bien équilibré et possède un fer à double pointe d'une trentaine de centimètres et d'environ 2 kg.

Les pics à fer court à double pointe

Un pic à double pointe, à fer et manche courts, assez léger, bien affûté, est mis en évidence dans la galerie 5477. L'outil à percussion lancée possède un fer court, effilé, bien équilibré, à double pointe. Les traces des coups portés près du toit de la galerie indiquent de multiples changements de position.

Les pics à fer lourd et massif

L'observation du filon massif de quartz n'indique pas de fragilisation de la roche avant son extraction. Il faut remarquer

20. Dans le cas du quartz, il faut différencier deux cas : le quartz fragilisé par une attaque au feu, et le quartz « récalcitrant », non fragilisé, comme c'est le cas ici.

qu'à aucun moment on n'a pu mettre en évidence un abattage au feu sur ce site minier. Le mode de rupture de la roche montre qu'un pic lourd et large a servi à ébranler la masse rocheuse et à provoquer des cassures par des impacts espacés régulièrement et suivant les faces de cristallisation. On a employé un pic à tête lourde et massive, à pointe large.

Les outils à percussion posée avec percuteur

La présence d'outils à percussion posée avec percuteur, dont la plus représentative dans ce contexte minier serait la pointerolle, n'a pas été démontrée au Puy des Angles de manière significative. Quelques traces ponctuelles montrent cependant que cet outillage était présent. D'un poids faible et nécessitant un débattement pour le percuteur, cet outil est employé dans le cas d'une roche dure fragilisée au feu.

Les outils à percussion posée sans percuteur

Quant aux outils à percussion posée sans percuteur, l'emploi d'un outil de ce type, à une pointe semble-t-il, est observé dans la mine du Puy des Angles dans la production de traces sans doute en relation, non plus avec l'exploitation du minerai, mais plutôt avec un comptage dont la fonction n'a pu être définie.

Les outils de nettoyage

Un autre grand principe que l'on reconnaît ici réside dans la netteté des traces sur les parois de la mine et les sols, rendue possible par un ramassage systématique des déchets d'encaissant ou des cailloux de minerai. Cette phase du travail de la mine est aussi un volet important abordé par les cours de formation des mineurs à l'époque moderne et contemporaine qui montrent des outils de type curette.

LES POSTES DE TRAVAIL

Dans le cas d'un filon de faible épaisseur exploité en défilage, les mineurs dégagent d'abord un espace leur permettant de se placer face à la masse à extraire. On remarque que, quelle que soit la méthode utilisée ou quel que soit le matériau, c'est cette position qui est adoptée. Il est possible que cette façon de procéder permette de maîtriser la dimension des cailloux détachés en rapport avec la maille de libération du métal exploité. Cet espace est donc obligatoirement creusé dans la roche encaissante. Certaines fosses de recherches, vite abandonnées, montrent d'ailleurs les différents postes de travail, successifs ou simultanés, débutant chaque lieu d'extraction.

Le défilage d'un filon de quartz ou d'un filon de roche altérée commence par le dégagement de la veine à exploiter, l'extraction se faisant au toit. Les mineurs creusent un espace les mettant en sécurité et éliminent au maximum les dangers en taillant la roche encaissante de manière la plus « lisse » possible et en formant des gradins permettant les opérations techniques d'extraction, ramassage et évacuation du minerai à traiter.

Dans l'exploitation du minerai en galerie, son ouverture semble obéir à la même méthode que pour un défilage. Les traces portées par la roche encaissante sur un des murs et au toit de la galerie 5477 montrent un havage vertical et horizontal

haut. Dans cette mine, le sol usé par le passage des ouvriers et par l'évacuation des déchets ne permet pas de faire des observations sur les impacts à son niveau.

Les exemples les plus caractéristiques d'observation des postes de travail en galerie sont les galeries 5512 et 5477. L'ouverture de ces espaces de travail est marquée par le havage²¹ dont la paroi de roche encaissante porte la trace. À l'opposé, le mur du filon est caractérisé par une attaque frontale où les coups sont de faible amplitude²². Ce qui est recherché ici, c'est le foisonnement de la roche en cailloux dont la manipulation est facilitée et qui prépare le traitement du minerai. La galerie 5512, ouverte dans un filon de forte puissance, est creusée entièrement dans la masse de minerai (F°C) et sa section est régulière. L'avancement du travail est soumis à l'extraction du filon et se fait de face. Les changements de direction des mineurs soulignent les changements de direction du minerai le plus riche. Les murs latéraux de la galerie sont pratiquement toujours parallèles entre eux. Le fond aveugle de la galerie est perpendiculaire aux murs latéraux, même s'il présente un fruit prononcé. Le toit en arc surbaissé est parfaitement égalisé.

On a noté dans cette structure que la largeur de la mine donnait la possibilité d'un travail en équipe de deux mineurs. L'analyse des traces d'outils portées au toit démontre l'existence de deux postes de travail en avancée décalée permettant une exploitation simultanée. En revanche, la présence d'un seul manœuvre est possible et suffisante pour servir deux mineurs.

L'ouverture de la galerie 5477 suit un filon de puissance moyenne traversant la section de la galerie en diagonale, et on le retrouve sur la paroi opposée. L'originalité de cette galerie tient au fait qu'il existe un balancement entre les deux parois prenant tour à tour l'une et l'autre fonction de mur du filon. Les traces d'outils montrent que ce changement de fonction se fait sans heurt et sans difficulté de la part du ou des mineurs.

CONCLUSION

L'étude des traces d'outils observées dans la mine protohistorique du Puy des Angles et appliquée à l'histoire de la technique d'extraction minière est un essai. On a montré l'intérêt de procéder à des relevés précis et à des enregistrements interprétatifs des traces d'outils en relation avec l'étude. Les traces portées correspondent à la fin de l'exploitation quasi exhaustive des filons aurifères et à l'abandon de la mine. L'observation de ces vestiges techniques laissés par les outils utilisés dans la mine bénéficie de l'excellente conservation permise par le minerai tendre et par la roche encaissante.

La recherche archéologique dans les mines métallifères présente une bibliographie abondante spécifique qui relate les découvertes dans ce domaine et reprend en partie des textes

21. Le havage sépare la masse à extraire du massif rocheux et sert à piloter l'extraction d'une veine.

22. Dans le travail de la pierre en carrière, la roche extraite doit l'être en blocs normalisés, parallélépipédiques, parfois de grande dimension. Aussi, l'outil et le geste sont-ils adaptés à cette recherche, préservant la plus grande masse de roche.

antiques ou médiévaux, renforcée par la bibliographie technique contemporaine. Certains auteurs comme Strabon ou Jules César donnent des renseignements parfois peu explicites du point de vue de la pratique (Laporte, 1966, p. 16-18). La bibliographie technique contemporaine utilise surtout les manuels d'exploitation des mines du XIX^e s. et de la première moitié du XX^e s. ainsi que les annales des mines.

Aujourd'hui, les publications de sites miniers antiques ont mis en évidence l'utilisation de méthodes d'exploitation du minerai au feu. La découverte d'une massette dans une mine antique semble indiquer que l'outillage à percussion posée est utilisé à l'exclusion de tout autre. Or, l'utilisation d'une massette dans une structure de travail comme la mine peut être multiple. D'autre part, la mise au jour dans une mine médiévale d'un fer de pic à tête carrée, dont le métal de la tête est fortement repoussé, semble indiquer que nous sommes en présence d'une pointerolle, sans précision de poids ni de dimensions.

L'étude des outils et des méthodes d'extraction du minerai est documentée par différents supports iconographiques, vitraux et céramiques, montrant des gestes d'exploitation du minerai que l'on ne peut considérer sans les replacer dans une stratégie d'extraction raisonnant à la fois sur l'outil et le matériau. La contrainte du cadre dans lequel s'inscrit la scène, et le graphisme du geste, privilégient sans doute le rendu plastique pour le rendre nettement lisible par le spectateur, par rapport à la réalité de la technique.

La mine d'or protohistorique du Puy des Angles apparaît ainsi comme un chantier original, où les traces d'outils montrent une maîtrise de la technique d'abattage d'un minerai « récalcitrant », à l'aide de pics dont les formes sont déjà abouties et parfaitement adaptées à la fonction et au matériau.

Cependant, les renseignements apportés par ces vestiges aussi ténus soient-ils ne se limitent pas à ce domaine. La fabrication et la réparation des outils, la formation des mineurs, la division du travail sont également des thèmes que l'on peut développer à partir de l'observation des traces. Dans ce cadre historique et technique, on a pu mettre en évidence des stratégies d'exploitation minière pérennes et démontrer la différenciation des outils avec des fonctions spécifiques liées au matériau. Tout cela, ajouté aux notions de postes et de division du travail, à la régularité de l'avancement de l'extraction du minerai, à l'aisance de l'adaptation des mineurs au terrain, infèrent l'existence d'un corps de métier possédant ses règles et son apprentissage.

M. V.-G.

L'ACCÈS ET LA CIRCULATION DANS LES MINES, ET LA GESTION DES DÉBLAIS

LE SYSTÈME DE GRADINS ET PALIERS POUR LE DÉPLACEMENT VERTICAL, ET LA CIRCULATION HORIZONTALE

La plupart des mines étaient accessibles par des marches ou des replats hauts de moins de 1 m, pouvant être enjambés directement, aménagés avec plus ou moins de soin dans la paroi. Parfois, ils résultaient du délitage naturel de la roche (côté

oriental de 5000 et de 5165, 2032, 4030, 5172). Dans d'autres cas, l'accès aux mines peut se faire de plain-pied par des couloirs (côté ouest de 5000) ou par des descendries – en plan incliné – précédés d'un puits d'accès peu profond (5263).

Les puits 5001 et 5061 rattachés aux mines 5000 et 5165, d'un diamètre de 4 et 5 m, étaient des accès possibles. Le puits 5165 s'avérait être plus pratique puisqu'il débouchait sur une descenderie. En revanche, l'éventuel passage à travers le puits 5001 nécessitait le recours à une échelle en bois.

Le système de gradins et paliers caractérisant les mines-puits permettait l'accès des mineurs aux chantiers profonds et facilitait l'évacuation des déblais vers la surface (fig. 11).

Les systèmes de circulation verticale des mines-puits 1000, 5062 et 5064 présentent tous des différences en ce qui concerne le nombre, la distribution et la combinaison des éléments. Leurs ressemblances concernent la profondeur des gradins (entre 0,40 m et 0,80 m) et la hauteur des contremarches (entre 1,70 m et 2 m). Il faut noter, également, que le premier gradin des systèmes de circulation verticale des mines-puits 1000 et 5064 se localise à une profondeur d'environ 4,20 m. On peut se demander si elle ne correspond pas à la hauteur d'un dispositif de levage.

La hauteur des contremarches des gradins et des paliers ne permet pas de les enjamber directement. La circulation verticale devait se faire à l'aide d'échelles s'appuyant sur chacun des gradins. On sait que l'inclinaison préférable des échelles pour la translation journalière des mineurs dans un puits de mine est de 70° (Dorion, 1893, p. 301-302). Or, les angles formés par le giron des gradins et des contremarches les séparant du système de déplacement vertical de la mine-puits 1000 se situent autour de 60°.

Les surfaces des paliers varient entre 8 m² pour la mine-puits 1000, 3,30 m² pour la mine-puits 5064 et 5 m² pour la mine-puits 5062. Seul le deuxième a livré les traces d'un aménagement de planches et de poteaux en bois. Cependant les informations ne sont pas suffisantes pour bâtir une hypothèse sur un dispositif concret. L'emplacement d'appareils de levage sur ces paliers ne paraît pas invraisemblable. En tout cas, ces paliers étaient de zones de stockage ponctuel, et peut-être de repos.

L'accès à l'intérieur de la mine-puits 2050 se faisait par des encoches-marches excavées dans sa paroi ouest. Les deux encoches-marches repérées sont de forme triangulaire et s'organisent selon un axe vertical, éloignées entre elles d'environ 0,40 m. Elles se situent respectivement à une profondeur de 3,29 m et de 3,66 m. Elles devaient faire partie d'un ensemble d'encoches-marches, dont la plupart ont disparu, permettant de descendre jusqu'à 4 m de profondeur, jusqu'au palier central de 8 m².

La circulation horizontale entre les différents caissons profonds d'un ensemble minier se fait de diverses façons. Deux gradins, séparés par une contremarche haute de 2 m, longent les caissons de l'exploitation commune des mines 1000 et 2000 et donnent accès aux gradins excavés dans le mur des caissons. Ces derniers sont séparés par des contremarches dont la hauteur varie entre 0,40 m et 0,80 m.

La hauteur du travers-banc reliant les exploitations communes des mines 5165 et 5000, permet seulement le

passage accroupi. En revanche, on peut circuler debout dans les galeries de la mine-puits 5064, ou légèrement penché dans la galerie reliant le fond de la mine-puits 5062 et la mine 5165.

LA GESTION DES DÉBLAIS

Les déblais résultant du creusement des mines représentent un volume important²³. Les stériles étaient déposés à l'extérieur de la mine, disposés autour de celle-ci, pour former des haldes. Il faut noter que l'érosion des haldes a rebouché totalement des mines atteignant 20 m de profondeur. Malgré l'érosion, avant l'intervention archéologique, les mines étaient ceinturées par des terrils d'une hauteur oscillant entre 3 m et 5 m.

Une partie des stériles provenant des chantiers profonds ne devait pas atteindre la surface. Un premier tri était effectué dans les chantiers profonds et le rebut utilisé pour remblayer les exploitations obsolètes. En témoignent les couches de concassage remblayant les dépilages profonds, ou le comblement complet de la mine 2051. Cette pratique, toujours d'actualité, découle de la volonté de réaliser une économie d'efforts et sert également à éviter l'écroulement des voûtes.

L'acheminement des déblais vers la surface devait se faire à dos d'homme, grâce à des couffins ou des sacs de peau, par les gradins qui longent les dépilages ou bien par les galeries ou les travers-bancs. La première étape du transport finissait sur les paliers. De là, les déblais étaient remontés à la surface au moyen de dispositifs de levage ou bien, toujours à dos d'homme, par un système d'échelles appuyées sur les gradins.

La gestion des déblais ne s'arrêtait pas avec leur dépôt autour des mines. Ils étaient surveillés et, en cas de danger d'éboulement, des murs de contention étaient érigés pour les stabiliser. Ce fut le cas du muret construit dans les limites de la mine 5263. Il empêchait les déblais entreposés du côté nord de 5062 de rouler vers la partie de la mine 5263, toujours en exploitation. Deux autres murs de ce type sont connus sur le site : l'un à l'intérieur de la galerie 5756/5747 et l'autre à l'intérieur de la mine 5000, côté nord.

LA PROBLÉMATIQUE DU TRAVAIL EN PROFONDEUR ET LES SOLUTIONS

L'AÉRAGE

Les principes de l'aérage

« Aussi les mineurs ne supportent pas d'y travailler longtemps, même si l'or ou l'argent abonde dans la mine, et s'ils persistent ils ne peuvent pas respirer librement et ont des maux de tête. »
(Agricola, *De Re Metallica*, livre V, p. 85).

Les circuits de ventilation mis en place dans les mines du Puy des Angles révèlent une bonne connaissance des principes

qui régissent l'aérage spontané, ainsi que les techniques à employer quand celui-ci est insuffisant. Recensés, en partie, dans *De Re Metallica* (Agricola, 1556) et dans les manuels des mineurs du XIX^e s. et du début du XX^e s. (Combes, 1839 ; Dorion, 1893 ; Chalon, 1909), ils faisaient déjà partie du savoir-faire des mineurs protohistoriques.

Les principes de l'aérage se fondent sur les constats suivants :

- dans un climat tempéré, l'aérage naturel est toujours meilleur l'hiver que l'été ;
- en hiver, l'air des mines est plus chaud que l'air extérieur ; ainsi l'air frais et dense entre par l'orifice le plus bas, l'air chaud et léger sort par l'orifice le plus élevé ;
- en été, si la température extérieure se rapproche de celle de la mine, les courants d'air se ralentissent, pouvant devenir nuls. Si la température augmente encore, l'air de la mine sera plus froid et plus dense. Il y aura un renversement de courant : l'air extérieur entrera par l'orifice le plus élevé et l'air qui a circulé dans les travaux sortira par l'orifice situé le plus bas ;
- pour activer la circulation due aux différences naturelles de température de la roche et de l'air atmosphérique, il suffit d'augmenter la différence de niveau entre les orifices d'entrée et de sortie de l'air ;
- la multiplication des ouvertures facilite l'aérage spontané ;
- la variation de température que l'air subit dans le parcours des galeries souterraines est la cause déterminante de la circulation qui s'y établit naturellement. Pour l'activer, il suffit d'augmenter par un moyen artificiel cette variation de température. Un moyen facile et économique d'élever la température d'un courant d'air consiste à faire passer sur un foyer de combustion une portion de l'air qui se mêle au courant général. Pour que le foyer d'aérage ait toute l'efficacité possible, il doit être établi au bas du puits, par lequel sort l'air de la mine, après avoir parcouru les galeries souterraines.

Les circuits de ventilation

Au départ, le gabarit d'ensemble minier, formé par une mine et une mine-puits reliées par des travaux souterrains, comporte en lui-même le principe basique de l'aérage. En effet, les deux mines, fonctionnant comme des cheminées, permettent l'entrée et la sortie de l'air, ventilant les chantiers communs, profonds et souterrains.

Ce circuit de ventilation basé sur un nombre minimum d'éléments a suffi à aérer les chantiers profonds de l'ensemble minier 1000-2000, atteignant 20 m de profondeur. À partir de l'altitude d'ouverture au jour des chantiers souterrains, il semble qu'on ait appliqué ici le principe d'un orifice plus élevé que l'autre (sole de la foncée 2122 dans 2000 : 387,89 m ; plateforme inférieure du système de déplacement vertical de la mine 1000 : 383,24 m).

L'ensemble 2032-2050 comporte un circuit de ventilation avec une entrée-sortie d'air complémentaire. Un puits quadrangulaire, de 3 m de côté, creusé à environ 3 m du bord de cette dernière, amène l'air à 4 m de profondeur à travers un conduit incliné.

La complexité des chantiers miniers profonds de l'ensemble 5000/5064-5165/5062 a nécessité la mise en place de plusieurs circuits de ventilation (voir leur description détaillée *supra*,

23. Le creusement de la mine-puits 5062 équivalait à un volume de 278 m³ à lui seul.

p. 192, 194, 195 et 197). L'aérage spontané n'étant pas suffisant il a fallu multiplier les entrées-sorties d'air par l'ouverture de puits complémentaires et augmenter le nombre de conduits intégrant des travaux miniers obsolètes en creusant des boyaux et en incluant d'autres ouvrages ayant à l'origine une utilité différente. Un de ces circuits a nécessité l'aménagement de petits foyers pour faciliter la circulation de l'air.

Du fait qu'une partie des circuits d'aération de ce dernier ensemble minier fonctionnaient avec ou sans l'aménagement de foyers, nous pouvons déduire que son exploitation n'était pas saisonnière mais s'étendait sur toute l'année.

L'ÉTAYAGE

La tenue des dépilages profonds, pour la plupart à profil oblique, était assurée par l'emploi, souvent simultané, de deux types d'étayage : les étais en roche et le boisage.

Les étais en roche

Les piliers résiduels en roche sont verticaux et d'une épaisseur constante (autour de 1,20 m) dans les exploitations d'un type de grande chambre à pilier de soutènement (mines 4030, 2032 et 3024).

Les épaisseurs des piliers horizontaux séparant les caissons des exploitations du type chambres et piliers varient selon la tenue mécanique de la zone. Ainsi le fond de la mine 2051 est divisé en deux caissons de 7 m et 6 m, séparés par un pilier de 0,80 m, le dernier caisson étant divisé à son tour en deux petits caissons séparés par un pilier de 0,60 m. Le fond de la mine 5263 est divisé en deux caissons de 7 m et 10 m séparés par un pilier de 3 m. Seuls 3,50 m sur les 22 m d'exploitation commune de l'ensemble 1000-2000 sont à ciel ouvert. Elle est compartimentée en trois caissons longs respectivement de 5,30 m, 3 m et 12 m. Les piliers les séparant mesurent 4,90 m et 3,50 m. En ce qui concerne la mine 5000, dans le dépilage 5469/5474, la longueur du caisson à ciel ouvert est de 6 m et celle de la partie souterraine de 3 m minimum. Un pilier de 0,80 m de long les sépare. Toujours dans la même mine, les deux caissons souterrains du dépilage 5445/5468, longs de 9 et 4 m, sont séparés par un pilier de 4 m. La largeur assez importante du pilier se justifie dans la mesure où il supporte également le pont de roche séparant les mines 5000 et 5165. Les 20 m d'exploitation commune de l'ensemble minier 5165-5062 sont divisés en quatre caissons de 7 m, 6,50 m, 6 m et 5 m, séparés par des piliers de 1 m-1,20 m.

Le boisage

Un total de 153 encoches a été relevé dans les exploitations minières du Puy des Angles, dont 135 dans l'ensemble minier 5000/5064-5165/5062. La grande majorité de ces encoches correspond à l'emplacement des étais (potelles).

Un total de 52 encoches a été relevé à l'intérieur de la mine 5000. En moyenne, elles mesurent 20 cm sur 15 cm et sont profondes de 15 cm. La plupart des encoches observées se localisent sur le mur du dépilage, mais il y en a également sur le toit. La projection des encoches relevées dans le caisson US 5445 montre que des bandes d'étais, distribuées sur une hauteur d'environ 1,70 m, alternaient avec des bandes

réservées d'une hauteur semblable. La même distribution a également été vérifiée dans le caisson. 5734 (au fond de la mine 5165), contigu à la galerie 5445. D'après la localisation des encoches, l'étayage était disposé pour coïncider avec le début du surplomb, dans ce cas à partir d'une profondeur de 4 m.

En ce qui concerne les bois d'étayage, seuls 8 bois et un lot de 88 copeaux de chêne ont été conservés dans les argiles grises du fond du caisson 1089, dans la mine-puits 1000. Ils ont fait l'objet d'une étude xylogologique (Mille, 2000) et d'analyses dendrochronologiques (Szepertyski, 2000).

Les pièces en bois présentent une dégradation tellement avancée que leurs dimensions et leurs formes originelles sont difficiles à imaginer. Cependant, un fragment de planche et deux fragments de deux demi-rondins ont été identifiés. La plupart des copeaux sont bien conservés. En position primaire, ils proviennent des pièces de bois mises en place dans le dépilage US 1089. Aucun élément de bois n'ayant livré de traces de mortaise, et les copeaux n'étant pas ceux d'une taille de mortaises, il faut imaginer qu'ils faisaient partie d'un étayage par simple calage de pièces (Mille, 2000).

L'étayage mis en place par les services de la mine du Bourneix, assurant la sécurité du chantier archéologique, était du type refendu avec deux traverses. Il reprenait, souvent, les encoches anciennes. De l'avis de ces professionnels, l'étayage assurant les chantiers profonds protohistoriques devait être du même type (Bernard, 2000).

L'EXHAURE

Aucun élément concernant l'épuisement des eaux d'infiltration n'a été rattaché aux chantiers miniers de moins de 15 m de profondeur, niveau supérieur de la couche de battement actuel de la nappe phréatique. Parmi ceux qui la dépassent, (ensembles 5165-5062 et 1000-2000), seul l'ensemble fournit des structures en rapport avec l'exhaure. Celles-ci sont : un canal (2042), reconnu sur une longueur de 14 m et se déversant sur le versant nord du puy, et un puisard (1103) excavé dans le plancher du dépilage 1089. Le canal, profond de 1,70 m, ne pouvait drainer que les travaux préliminaires de la mine 2000. Le puisard, creusé à une profondeur d'environ 20 m, représente le point le plus bas atteint par les chantiers miniers communs de l'ensemble 1000-2000. Il récupérait l'eau des autres dépilages à travers la galerie 1123.

Il faut noter que, pour des questions de sécurité, la campagne de fouilles archéologiques s'est arrêtée à une profondeur d'environ 15 m, sans atteindre le fond de l'ensemble minier 5165-5062. Aucune trace de structures concernant l'exhaure n'apparaissait ni autour des mines, en surface, ni dans les parois sur la profondeur reconnue. Il est possible qu'un système simple de captage des eaux, tel que le puisard décrit *supra*, ait pu exister au fond de cet ensemble.

Compte tenu du peu d'éléments recensés concernant l'exhaure, l'infiltration d'eau ne devait pas représenter un problème majeur. Le nombre restreint d'éléments en bois récupérés abonde dans ce sens : si l'eau s'était accumulée dans les travaux profonds, les bois conservés seraient beaucoup plus importants.

L'ÉCLAIRAGE

Seuls les petits foyers installés dans des encoches, dont l'une se situe non loin de l'entrée de la galerie 1059 (dans la mine-puits 1000) et deux autres près du passage 5780 (reliant les mines 5000/5165), sont éventuellement à rattacher à l'éclairage.

La lumière diffusée par l'ouverture des aurières et les foyers liés aux circuits de ventilation n'étant pas suffisante, des torches ou des lampes devaient être placées de façon à éclairer les zones à abattre.

LE TRAITEMENT DU MINÉRAI

L'obtention de l'or contenu dans le quartz aurifère implique un long traitement comprenant plusieurs phases, dont le concassage, le grillage, le broyage et le lavage avant la fusion et l'affinage (Cauuet, 1999a, p. 56-57 ; Cauuet, Tollon, 1999).

La mise au jour d'un réseau de canaux et de cuvettes pour le lavage du minerai signifie que les étapes préalables s'effectuaient à proximité de l'aire d'exploitation. Or, elles n'ont pas laissé de traces sur la partie fouillée. La zone centrale du plateau étant occupée par les mines et le réseau de canaux, ces tâches avaient probablement lieu en bordure du promontoire.

Un réseau de canaux relié à un bassin et à des cuvettes occupe 2 400 m² sur la partie orientale du plateau, à une certaine distance des mines. Ce réseau a été implanté dans une zone réputée non productive par les prospections préalables à la mise en exploitation (fig. 3 et 28). Il dépasse en dimensions et en complexité les aires de lavage associées aux aurières limousines connues à ce jour, qui comporte des petites tranchées en plan incliné rattachées à un bassin et des citernes de dimensions réduites pour stocker l'eau (Cauuet, 1999a, p. 57).

Indépendant du réseau de lavage, un bassin quadrangulaire (4028) est apparu dans la partie orientale du chantier (fig. 28, coupe I).

LE RÉSEAU DE CANAUX ET DE CUVETTES

Il comporte un canal d'alimentation d'eau (4093), un bassin (4020), un canal déversant vers le sud (4088) et un ensemble de canaux à développement arborescent, reliés à des cuvettes déversant côté nord (4000, 4171, 4205, etc.). Un total de 150 m linéaires de canaux a été reconnu (fig. 28).

Le creusement de ces canaux traverse des sondages appartenant à la phase de reconnaissance protohistorique du gisement aurifère. D'autre part, des recherches postérieures à la phase protohistorique d'exploitation recoupent une partie des canaux. L'ensemble, localisé sur une zone ayant subi une forte érosion, ne fut que partiellement fouillé.

Le réseau de canaux et de cuvettes du Puy des Angles présente de fortes ressemblances avec la description de la trousse effectuée par C. L. Sagui au Chalard à Saint-Yrieix-la-Perche (Haute-Vienne) (Sagui, 1939, p. 267, n. 35 ; Laporte, 1966, p. 323 ; Cauuet, 1987, p. 58).

L'approvisionnement en eau

L'alimentation en eau du système de traitement du minerai se faisait par le canal 4093, qui acheminait l'eau, en suivant les courbes de niveau depuis la source du Massoulier située à 1 250 m à l'est du puy.

Le bassin 4020

L'eau nécessaire au fonctionnement du système de lavage était stockée dans un bassin relié à trois canaux. Le fond du bassin a une forme onduleuse, longue de 7 m et dont la largeur et la profondeur connues se situent autour de 2 m. Le pourtour de la moitié nord du bassin est défigurée par une fosse d'exploitation postérieure à la période protohistorique (4232).

La jonction entre le bassin et le canal se déversant vers le nord se fait au moyen de trois gradins séparés par des contremarches de hauteurs variables (entre 0,92 m et 1,47 m). Le décalage entre le fond du bassin et le fond des canaux est d'environ 4 m. Aucune trace ni autour ni à l'intérieur du bassin ne renseigne sur la façon dont l'eau passait du bassin aux canaux.

Le canal déversant côté sud

Le canal 4088, de parcours sinueux, a un profil très variable. Il se raccorde directement au bassin et présente un très fort pendage vers le sud, le décalage étant de 3,07 m sur 21 m linéaires reconnus. Le pendage n'est pas régulier, présentant une pente douce sur les premiers 11 m, suivi d'un replat de 2,50 m et ensuite 6 m de pente raide. Du profil en auge peu profond à son amorce au bassin, il évolue vers un profil en V, profond de 2 m, surcreusé d'une rigole, sur le tronçon en pente raide.

L'ensemble arborescent de canaux et de cuvettes

Un minimum de 95 m linéaires de canal, déversant dans le versant nord du puy, développent un plan arborescent et sont reliés à trois cuvettes de morphologies diverses (4171, 4231, 4205). Le plan s'organise à partir d'un canal « principal » (4000) lié directement au bassin, à partir duquel bifurquent les canaux « secondaires » (4075, 1055, 1114, 4180, 4202, 4230).

Le plan des canaux « secondaires » se ramifie à partir du canal 4075, sorti d'une première bifurcation du canal 4000. Il comporte six tronçons de canaux différents, d'une longueur d'environ 6 m, de parcours sinueux, connectés à partir de trois autres bifurcations. La largeur des canaux constituant l'ensemble est en moyenne de 0,60 m, la profondeur conservée varie entre 1 m et 0,20 m. Leur profil est en auge ou bien à parois verticales.

Les cuvettes en rapport avec les canaux

Une cuvette circulaire (4171) de 3 m de diamètre et une autre ovale (4205), longue de 3,30 m, sont traversées par des canaux « secondaires ». À profil en V pour la première et en U pour la seconde, leur profondeur est respectivement de 2 m et de 0,42 m.

La cuvette rectangulaire (4231), traversée par les canaux 4075 et 4000, montre un fond plat avec un léger pendage vers le nord. Il faut remarquer qu'il n'existe pas de limite de ce côté. Des rigoles définissent une surface rectangulaire dans l'angle

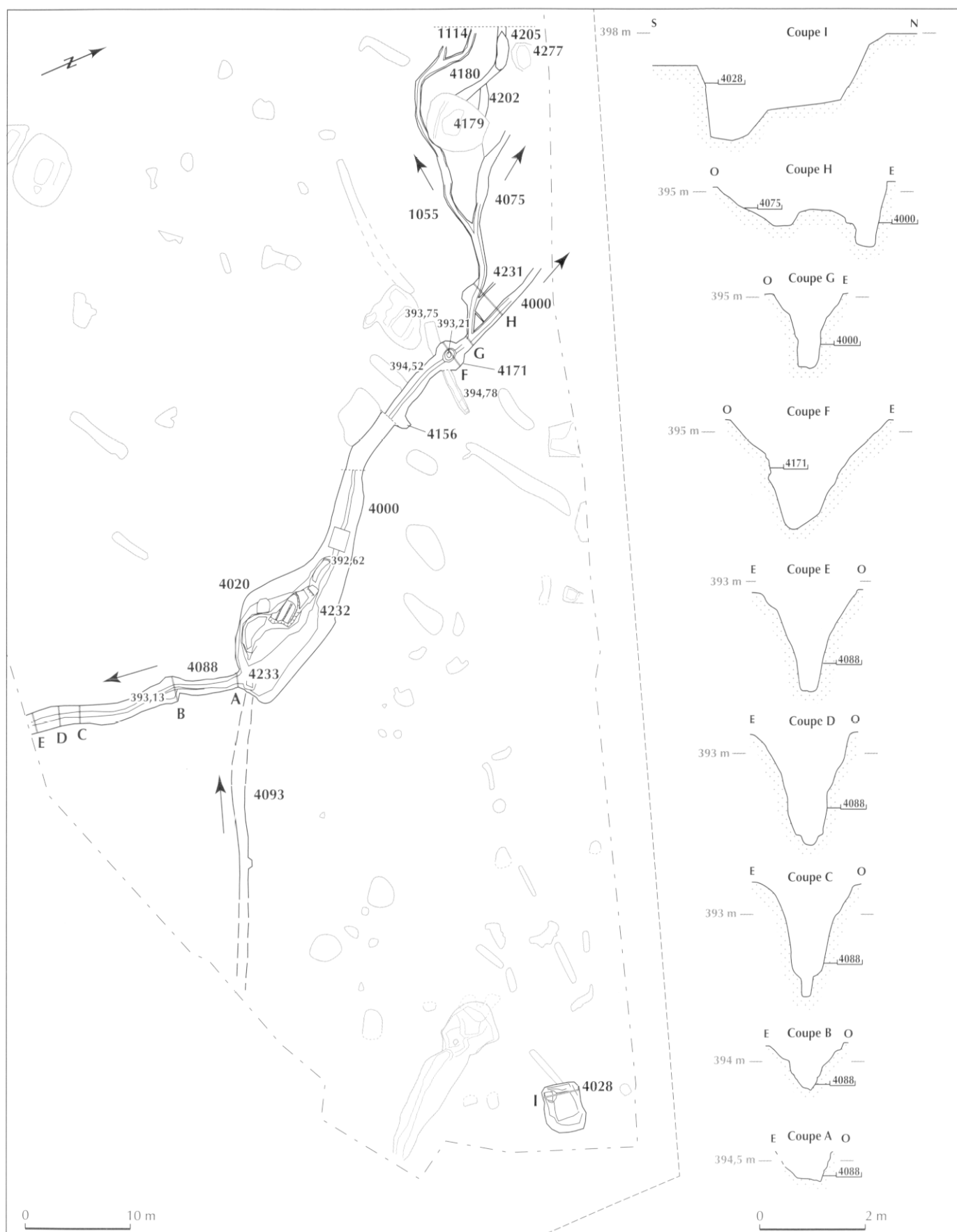


Fig. 28 – Plan du réseau du système de traitement de minerai par l'eau et profils des structures qui le forment (relevé et DAO : F. Bernard, S. Dalle et V. Miaillhe, INRAP).

formé par les deux canaux. Elles pourraient correspondre à l'insertion de planches en bois pour la compartimentation de cet espace. Ce qui apparente cette cuvette à une sorte de collecteur-distributeur.

Une cuvette ovale (4277), mesurant 2,60 m sur 1,74 m et profonde de 2,62 m, se trouve sur l'éventuel prolongement du parcours du canal 4075.

LE FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU DE CANAUX ET CUVETTES : LA CONCENTRATION PAR GRAVIMÉTRIE

Le réseau de canaux et cuvettes du Puy des Angles a dû servir à obtenir du concentré d'or par gravimétrie. Ce procédé, basé sur la différence de densité entre les grains métallifères et les grains non métallifères dans un minerai, a été employé, au moins dès le V^e s. av. J.-C. dans les mines d'argent de *Laurium* (Attique, Grèce). L'expérimentation sur le traitement du minerai par l'eau, réalisée sur ce site, a permis d'appréhender la façon d'obtenir le concentré (Ardaillon, 1897, p. 59-74 ; Conophagos, 1989, p. 98-99).

La technique employée consiste à rajouter le quartz aurifère broyé à un courant d'eau circulant dans une surface inclinée, et à piéger dans des obstacles artificiels les particules d'or plus lourdes que les particules non-aurifères. Le minerai de grosse granulométrie était traité dans des *sluices*, canaux présentant une surface longue et étroite, garnis d'obstacles et nécessitant un courant d'eau assez puissant. Le minerai finement broyé était traité dans des « tables dormantes » présentant une surface large et courte. L'alimentation en eau de ces tables se faisait sous forme de couche continue, de petite épaisseur. Le concentré était recueilli sur la table.

Nous ne connaissons pas avec exactitude les détails de fonctionnement du réseau de canaux et cuvettes du Puy des Angles. Malgré le fait que la bibliographie sur les méthodes de lavage soit abondante, notamment ce qui concerne les sources anciennes, nos interprétations tiennent compte des trouvailles et de l'expérimentation effectuées sur le site de *Laurium* dont les résultats nous semblent plus adaptés à l'exemple du Puy des Angles (Agricola, 1556, livre VIII, p. 239-287 ; Ramin, 1977, p. 106-115 ; Domergue dir., 1989, p. 85 ; Sanchez-Palencia, 1989, p. 40-43 et 52).

Parmi les structures du réseau de lavage du Puy des Angles, nous retrouvons les canaux qui peuvent être apparentés à des *sluices*, notamment le canal 4088 présentant un fort pendage et muni d'une rigole, surcreusant le fond, qui fait un piège idéal pour les particules lourdes en or. Le reste des canaux, organisés en plan arborescent, présente un pendage peu accentué. Ils peuvent être considérés comme des éléments de lavage intermédiaires entre les *sluices* et les « tables dormantes », par où circulerait un courant d'eau pas trop rapide.

Les cuvettes coniques et ovales ont pu fonctionner comme des pièges, ou bien comme des cavités où effectuer des batées de contrôle, ou encore comme bassins pour stocker l'eau nécessaire pour continuer le lavage dans les canaux arborescents. La cuvette rectangulaire au fond en pente douce, traversée par deux canaux et munie de rigoles, s'apparente bien à la description d'une table dormante.

L'intérêt du plan arborescent des canaux était peut-être de multiplier les postes de travail de la phase lavage.

Pour l'obtention du concentré d'or, le quartz aurifère finement broyé a dû subir des lavages à répétition. D'abord dans le canal à fort pendage, ensuite dans le réseau arborescent.

Depuis les sources classiques, la plupart des auteurs sont d'accord pour dire que l'obtention de concentré de minerai nécessitait plusieurs lavages, utilisant des récipients et des courants d'eau de débits différents. La batée semble incontournable en fin de processus.

LES ÉLÉMENTS DE DATATION

LE MOBILIER ARCHÉOLOGIQUE

L'étude de l'ensemble céramique protohistorique, formé par 271 fragments, permet d'individualiser 34 vases et de rattacher l'ensemble à une fourchette chronologique du III^e-II^e s. av. J.-C. Parmi les 34 vases individualisés, seuls 25 sont assez complets pour pouvoir en décrire le profil (fig. 29). L'ensemble des céramiques protohistoriques présente un éventail de formes restreint. Les vases en céramique grossière sont largement majoritaires et le vase fermé à profil globulaire est la forme la plus courante, suivie du vase ouvert à profil tronconique et bord rentrant. Les vases identifiés sur le site, avec des traits plus ou moins marqués, se retrouvent couramment, faisant partie des ensembles du second âge du Fer régional.

Les deux vases en céramiques fines (fig. 29, formes 3 et 4), susceptibles d'évoquer des relations « interrégionales » bien datées, se sont relevés être des formes assez originales. La première apporte quelques précisions de par sa forte ressemblance avec les urnes biconiques produites par l'officine de potiers de Lacoste (à Moullets-et-Villemartin en Gironde), datées de La Tène III (350 av. J.-C./270-250 av. J.-C.) (Sireix, 1990, p. 56 et fig. 35 p. 83). Par ailleurs, des céramiques tournées fines, décorées avec des baguettes, apparaissent parmi l'ensemble de la grotte des Perrats, à Agris (Charente), daté de La Tène moyenne (250-240 av. J.-C./160-140 av. J.-C.) (Gomez de Soto, 1996, p. 94-99 et fig. 58).

LES TRAVAUX DENDROCHRONOLOGIQUES

Les travaux dendrochronologiques effectués sur sept bois de chêne gorgés d'eau provenant du caisson 1089 au fond de la mine-puits 1000 donnent une fourchette chronologique s'étalant de la fin du III^e s. au milieu du II^e s. av. J.-C. (Szepertyski, 2000).

LES ANALYSES ¹⁴C

• Échantillon ²⁴ prélevé dans l'US 2139, couche charbonneuse dans le remplissage du défilage 2122 dans la mine 2000 :

24. Les échantillons prélevés faisaient l'objet d'une analyse ¹⁴C standard, sauf l'échantillon provenant de la couche US 2139 dont le poids étant inférieur au minimum requis (1 g) a bénéficié, également, d'une analyse type « Extended Counting » (Beta Analytic Inc., *Report of Radiocarbon Dating Analyses*).

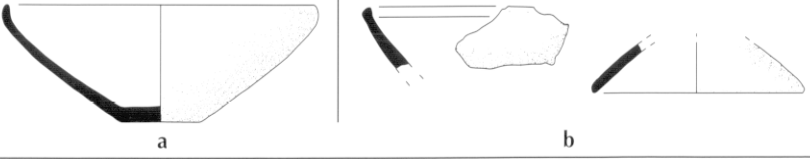
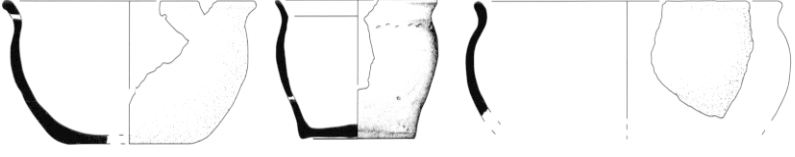
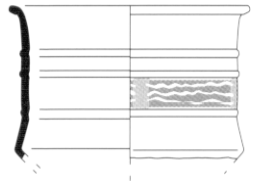
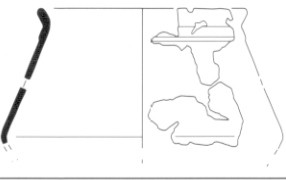
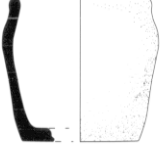
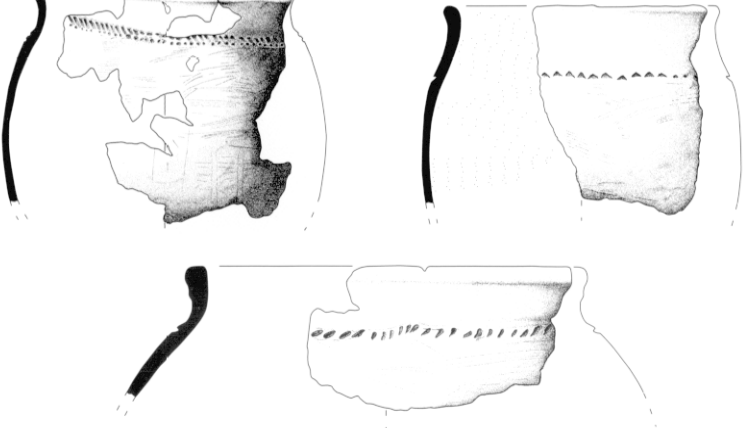
VASES OUVERTS	Forme 1  a b	CÉRAMIQUE GROSSIÈRE lisses a - 2 NMI $\varnothing$ 38,8 et 25,3 b - 2 NMI $\varnothing$ ind. et 16 cm (16%)
	Forme 2 	CÉRAMIQUE GROSSIÈRE décorés ou lisses 3 NMI $\varnothing$ 13 et 24,5 cm (12%)
	Forme 3 	CÉRAMIQUE FINE 1 NMI $\varnothing$ 18 cm (4%)
VASES FERMÉS	Forme 4 	CÉRAMIQUE FINE 1 NMI $\varnothing$ 16,17 cm
	Forme 5 	CÉRAMIQUE GROSSIÈRE 1 NMI $\varnothing$ 10,6 cm
	Forme 6 	CÉRAMIQUE GROSSIÈRE 1 NMI $\varnothing$ 11 cm
	Forme 7 	CÉRAMIQUE GROSSIÈRE décorés ou lisses 14 NMI $\varnothing$ 13,2 à 32 cm (56%) 0 10 cm

Fig. 29 – Formes céramiques protohistoriques (dessins et DAO : V. Mialhe, INRAP).

(Beta-139040) cal. BC 770-360 = cal. BP 2720-2310 ; cal. BC 280-240 = cal. BP 2230-2190.

- Échantillon prélevé dans l'US 5414, foyer dans la galerie 5178 de l'ensemble minier 5172-3024 : (Beta-139041) cal. BC 400-40 = cal. BP 2350-1990.

- Échantillon prélevé dans l'US 5653, foyer aménagé sur le pilier séparant les caissons 5732 et 5734 : (Beta-139042) cal. BC 395-5 = cal. BP 2345-1955.

COMMENTAIRES SUR LES DATATIONS

Les résultats obtenus sur les échantillons prélevés dans les foyers 5414 et 5653 donnent une fourchette large, mais pas aberrante, dans laquelle on peut placer la datation relative indiquée par l'ensemble céramique (seconde moitié du III^e s. av. J.-C. à seconde moitié du II^e s. av. J.-C. = - 250/- 150), ainsi que la fourchette chronologique donnée par l'analyse dendrochronologique (entre la fin du III^e s. av. J.-C. et la seconde moitié du II^e s. av. J.-C.).

Le résultat de l'analyse type « Extended Counting » (= cal. BC 280-240) effectuée sur le prélèvement de la couche charbonneuse 2139²⁵ donne une datation serrée, vieillissant d'une cinquantaine d'années le début de l'exploitation d'après la fourchette indiquée par la dendrochronologie.

L'ENVIRONNEMENT TECHNIQUE DES MINEURS DU PUY DES ANGLES

Le bagage technique des mineurs du Puy des Angles comportait toutes les connaissances minières développées jusqu'alors en ce qui concerne la tenue mécanique des ouvrages souterrains profonds. Certainement au courant des innovations ayant eu lieu sur d'autres zones minières, ils étaient riches de leur propre expérience, acquise et perfectionnée pendant trois siècles.

LES PROGRÈS DE LA TRADITION MINIÈRE EUROPÉENNE

La tradition minière européenne démarre au Paléolithique supérieur avec des chantiers comportant des puits peu profonds et des galeries courtes. Une grande partie des travaux miniers de cette période a été détruite par les exploitations postérieures.

Les mines néolithiques du V^e et IV^e millénaires développent les exploitations du type à chambres et piliers et du type à grandes chambres vides à piliers verticaux. Pendant cette période, les chantiers souterrains atteignent des profondeurs de 15 m. Souvent, les chantiers miniers s'organisent en réseaux complexes de puits et de galeries. On observe les premiers exemples de gestion des stériles comme les petits murets aménagés à l'intérieur des galeries. L'utilisation du feu pour faciliter l'abattage du minerai apparaît à la fin du Néolithique.

Pendant l'âge du Bronze, la maîtrise des innovations techniques mises au point pendant les périodes précédentes

permettra de développer des chantiers miniers plus profonds, plus vastes et plus complexes, parfois sur plusieurs niveaux superposés.

Il faudra attendre l'âge du Fer pour que l'on entreprenne l'abattage de minerai se présentant en filons inclinés. C'est à cette période que l'on met au point les techniques du type « gradin renversé » et « gradin droit » pour l'approfondissement des chantiers miniers. Les lavoirs complexes pour la concentration du minerai par gravimétrie se développent également à cette période (Blanco-Freijeiro, Rothenberg, 1981, p. 173 ; Bouloumié, 1989 ; Camporeale, 1989 ; Weisberger, 1989).

Entre 800 et 300 av. J.-C., les mineurs de Hallstatt (Autriche) suivent la couche de sel gemme tout en percant des tunnels longs de 50-70 m et inclinés à 45°. La technique employée pour l'exploitation est celle du gradin renversé (Barth, 1991 ; Moosleitner, 1991 ; Ott *et al.*, 2004).

Au V^e s. av. J.-C., au cours de la phase d'essor des mines de plomb argentifère de *Laurium* (Attique, Grèce), l'exploitation comporte un système de galeries et des puits reliés par des travers-bancs. Les filons, inclinés, rendus accessibles par la technique du gradin droit, nécessitent un étayage en roche et un boisage. Un total de 2 000 puits a été recensé ainsi que 140 km de galeries. Les puits, rectangulaires ou carrés, profonds d'environ 50 m, ne dépassent pas 2 m de côté. Foncés avec un grand soin, ils présentent une série de tronçons de 8 à 10 m de hauteur, séparés par une amorce de plate-forme (Ardaillon, 1897 ; Ramin, 1977, p. 45-66 ; Conophagos, 1989 ; Shepperd, 1993, p. 13-14).

LES DONNÉES DE L'ARCHÉOLOGIE MINIÈRE RÉGIONALE

Les recherches menées depuis 1987 par B. Cauuet sur les mines d'or en Limousin et en Dordogne ont permis de rattacher ces anciens travaux miniers à une fourchette chronologique comprise entre le V^e s. et le IV^e s. av. J.-C. jusqu'à la moitié du I^{er} s. av. J.-C. (Cauuet *dir.*, 1999, p. 37-40).

Parmi les 250 mines recensées, les aurières ayant fait l'objet d'une intervention archéologique – Cros Gallet au Chalard, Laurières à Saint-Yrieix-la-Perche et La Fagassière à Château-Chervix, en Haute-Vienne ; Les Fouilloux à Jumilhac-le-Grand en Dordogne – montrent une évolution allant de la fosse simple de dimensions modestes et peu profondes de La Tène ancienne et moyenne aux vastes exploitations de La Tène finale. Les techniques d'approfondissement de chantiers miniers observées impliquaient le creusement de tranches descendantes décalées et l'emploi de la technique mixte d'abattage au feu et à l'outil. Des galeries d'exhaure servaient à l'évacuation de la nappe phréatique gênant le travail dans les chantiers profonds. Des outils et des aménagements pour les différentes phases de la chaîne opératoire du traitement de minerai ont été exhumés (Cauuet, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993, 1994a, b et c, 1997a, 1999a et b, 2001 ; Cauuet, Didierjean, 1992 ; Cauuet, Tollon, 1999).

Des systèmes de boisage complexe, comportant des étais assemblés par de tenons et des mortaises, ont été mis en place dans des exploitations à filon incliné aux Fouilloux, La Fagassière, Cros Gallet-sud (Cauuet, 2000).

25. Provenant du remplissage du dépilage 2122 dans la mine 2000.

Les aurières de la fin du second âge du Fer, connues jusqu'au présent, sont des exploitations à ciel ouvert prolongées par des chantiers souterrains (Cauuet, 1999a, p. 45). Ceux-ci prennent la forme de dépilages étayés, longs d'environ 8 m, séparés par des piliers résiduels (Cauuet, 1999a, p. 47). Parfois, comme dans le cas du Fouilloux, l'exploitation se prolonge sur 280 m de long et atteint 20 m de profondeur. D'autres dépassent de loin cette profondeur (Cauuet, 1994c, p. 17).

*
* *

LES APPORTS DE LA CAMPAGNE D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE AU PUY DES ANGLES

La fouille ayant eu lieu sur un site minier ancien non perturbé par des exploitations modernes, la fouille extensive pratiquée, impliquant un décapage de 21 000 m², a permis de reconnaître un modèle d'intervention original formé par des structures minières inconnues jusqu'à présent sur les mines protohistoriques du Limousin.

Ce modèle comportant le creusement simultané d'une mine et d'une mine-puits introduit le concept innovateur de « puits de mine » en tant que voie de pénétration verticale assurant l'extraction, la circulation du personnel, l'aérage, etc. Caractérisées par l'aménagement d'un système de gradins et de paliers sur une des parois, les dimensions inhabituelles de ces mines-puits en font des ouvrages exceptionnels issus d'une conception réfléchie, techniquement parfaite. En effet, ayant très probablement servi, à l'exploitation d'une minéralisation en colonne, les mines-puits permettaient d'approfondir les chantiers miniers et d'avancer latéralement jusqu'à relier les travaux miniers foncés depuis la mine complémentaire. Les travaux communs aux deux mines formant l'ensemble minier se développent à partir d'une profondeur de plus de 13 m. Une bonne connaissance des méthodes de l'arpentage était donc nécessaire pour l'amorçage correct des chantiers souterrains destinés à se rencontrer.

Ces ensembles miniers s'articulaient sur l'axe d'une des deux grandes familles de filons recensés. Une de deux fosses, le plus souvent la mine-puits, se positionnait elle-même au croisement de deux filons. Ce gabarit d'exploitation, utilisé fréquemment sur le site, s'adapte parfaitement à la distribution quadrillée des filons et des structures géologiques.

Pour la plupart, les chantiers souterrains du puy prennent la forme d'exploitation du type à chambres et piliers bien connue dans les aurières limousines. Cependant, en trois occasions, les chantiers souterrains sont du type à grande chambre avec pilier de soutènement. Ce type d'exploitation n'avait pas été observé auparavant.

D'autres informations recensées à travers la fouille du puy concernent les circuits d'aérage, plus ou moins élaborés selon la profondeur et la complexité des chantiers souterrains à ventiler. Aux circuits de ventilation simple, formés par deux orifices d'entrée et sortie d'air, représentés par la mine et la mine-puits, s'ajoutent des ouvertures supplémentaires, des ouvrages obsolètes ou ayant à l'origine une autre fonction et

provoquent la mise en place de certains aménagements ponctuels, tels que foyers ou murets.

L'existence de circuits de ventilation fonctionnant par aérage spontané et d'autres, nécessitant l'allumage de petits foyers pour créer des courants d'air chaud favorisant la circulation de l'air, témoigne de ce que l'exploitation des aurières du puy se déroulait sur toute l'année. En hiver, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur des mines secondait l'aérage naturel. Pendant l'été, l'aérage, ralenti en raison du rapprochement des températures de l'intérieur et l'extérieur des mines, nécessitait la création de courants d'air chaud.

Il faut noter que le bon drainage du substrat permettait de poursuivre le travail pendant les périodes d'intempérie avec un minimum d'aménagements pour l'exhaure.

Les informations concernant la gestion des déblais avec la construction de murets de contention aussi bien à l'intérieur des mines qu'à l'extérieur constituent également une nouveauté.

Le réseau de canaux et cuvettes pour l'obtention du concentré d'or par gravimétrie est également inédit. Ce réseau prévoyait des cavités adaptées à chaque étape du lavage et au débit nécessaire pour le bon déroulement de l'opération. Son étendue et l'aménagement de divers postes de travail (autour des différentes cuvettes) étaient pensés pour le traitement d'une quantité importante de minerai.

L'étude effectuée sur les traces d'outils montre que l'ouverture des chantiers miniers et l'abattage du minerai se faisaient exclusivement à l'outil, sans fragilisation préalable. La technique utilisée était la percussion lancée, le choix de l'outil se faisant selon le matériau à traiter.

L'absence d'habitat sur le promontoire a été vérifiée par des campagnes de fouille et des sondages mécaniques, cette dernière ayant été effectuée sur une longueur de 1,5 km, de l'emprise autoroutière jusqu'à l'est de l'exploitation minière (Best, 2000). L'éloignement de l'habitat est confirmé par l'absence d'indices polliniques d'anthropisation dans les prélèvements effectués dans la couche d'argile du fond de la mine-puits 1000 (Diot, Tixier, 2000, p. 5).

L'installation de l'habitat à l'écart de l'aire d'exploitation n'est pas surprenante étant donné que la vallée en contrebas, longeant la Corrèze, offre de bonnes conditions d'habitabilité et que remonter tous les jours à moins de 400 m d'altitude est possible sans trop d'efforts ni perte de temps. D'ailleurs, un habitat installé en contrebas du Puy des Angles permettait aux mineurs d'atteindre les différents gîtes du district minier dont il faisait partie. Il faut rappeler que des vestiges d'activités minières sont visibles sur les versants nord et sud du Puy des Angles, ainsi que de l'autre côté de la Corrèze, au lieu-dit de La Rathonie, où une longue tranchée a été recensée comme exploitation minière par le BRGM.

LE CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE

La complexité des travaux miniers du Puy des Angles est telle qu'ils n'auraient pas pu être menés à bien sans la mise à contribution d'un bon nombre d'individus connaissant bien leur métier. Ces travaux ne correspondent pas à une exploi-

tation par petites concessions individuelles, mais découlent d'une organisation complexe, certainement hiérarchisée.

La découverte du gisement, le plan d'intervention exécuté de façon ordonnée, l'application d'un gabarit techniquement très développé et l'avancement des travaux sont l'œuvre de professionnels, secondés par des manœuvres pour les tâches auxiliaires, organisés très probablement en corps de métier. Parmi les métiers complémentaires, celui de forgeron semble incontournable. En effet, les traces d'outils laissées sur les parois des ouvrages ont été faites avec des fers bien effilés et acérés, produits d'une métallurgie avancée et nécessitant un entretien régulier. L'organisation devait également compter des contrôleurs vérifiant le volume de quartz aurifère abattu et la quantité de concentré d'or obtenue après traitement.

La spécialisation des mineurs du Puy des Angles, exerçant dès la fin du III^e s. et durant la première moitié du II^e s., ne fait pas de doute. En revanche, le cadre socio-économique dans lequel ils ont développé l'exploitation de l'or à grande échelle reste, pour l'instant, assez mal connu.

Quelle était la place de ces ouvriers hautement spécialisés – les mineurs – dans la société, et quels étaient leurs rapports avec les autres activités productives ?

Quelle était la destination finale de cet or : échange et/ou thésaurisation ? Quelle hiérarchie contrôlait la distribution des gains, l'échange des produits contre l'or et thésaurisait le reste ? ²⁶

L'incertitude concernant l'existence d'une société étatique avec des habitats hiérarchisés en Limousin avant la Conquête demeure ²⁷ ; les opérations archéologiques (préventives ou programmées) de ces dix dernières années attestent d'un maillage serré des sites du II^e et du I^{er} s. av. J.-C.

Il est peut-être prématuré de parler d'occupation dense, dans le sens d'habitats nombreux, mais des traces d'activités diverses se retrouvent disséminées un peu partout sur le terrain.

26. Cette dernière question a déjà été soulevée par plusieurs auteurs s'appuyant notamment sur l'absence d'or dans les tombes du premier et second âges du Fer en Limousin et en bordure du Massif central, et plus généralement en Aquitaine et dans le Centre-Ouest (Beausoleil, 1999 ; Gomez de Soto, 1999).

27. Depuis sa formulation fondée sur les surfaces des *oppida* lemovices, aucun de ces sites de hauteur n'a fait l'objet d'une opération archéologique (Ralston, 1992, p. 167).

L'existence d'agglomérations villageoises avec des quartiers artisanaux, d'un côté, et des établissements ruraux, de l'autre, témoignent de la séparation effective entre le monde rural et le monde villageois dès le début du II^e s. av. J.-C. ²⁸

Le spécialisation du travail et la reconnaissance des différents métiers sont des faits accomplis dans la société gauloise du second âge du Fer. La découverte de dépôts d'objets rattachés à une activité productive spécifique (artisanale, paysanne) dans le sanctuaire des Châtaigneraies à Saint-Germain-les-Vergnes (Corrèze) en est la preuve. Les espaces réservés aux pratiques à caractère cultuel et/ou funéraire, comme celui-ci, dont l'utilisation continue pendant les premières décennies de la romanisation, témoignent de l'existence de créances autochtones bien ancrées et d'un peuplement attaché à son territoire.

L'entrepôt de distribution de vin italique de La Croix au Buis (Haute-Vienne), avec ses bâtiments érigés selon la technique méditerranéenne de l'adobe (brique crue) et de la couverture de tuile, résulte des contacts étroits avec un vaste réseau d'acheminement de produits de lointains.

Toutes ces nouvelles découvertes montrent une société structurée, reliée à des réseaux de commercialisation de biens de prestige. Étant donné que les sols pauvres du Limousin ne sont guère propices au développement d'une agriculture produisant un surplus et que l'éventuelle existence d'un cheptel voué à l'échange ne peut pas être prouvée, à cause de la disparition des restes osseux dans des terrains granitiques, on peut imaginer que l'exploitation de l'or était l'activité productive la plus importante économiquement pendant le second âge du Fer régional.

A. T. i M.

28. Parmi ces sites, des installations à vocations diverses ont été recensées : agglomérations villageoises (Saint-Gence, Haute-Vienne), établissements ruraux (La Vergne des Soirs à Ussel, Corrèze), installations ponctuelles ou saisonnières (Montmagner à Arnac-la-Poste, Haute-Vienne ; Entraygues à Saint-Exupéry-les-Roches, Corrèze ; Lycée agricole de Naves, Corrèze ; Les Betouilles à Ajain, Creuse), ateliers métallurgiques (Puy de Grasse à Perpezac-le-Noir, Corrèze), aménagements près des points d'eau (L'Estrade à Ussel, Corrèze ; Les Hussards à Saint-Germain-les-Vergnes, Corrèze), un ensemble cultuel (Les Châtaigneraies à Saint-Germain-les-Vergnes, Corrèze) et un entrepôt d'échange de marchandises lointaines (La Croix du Buis à Arnac-la-Poste, Haute-Vienne) (Beausoleil, 1995 ; Best, 1995, p. 27 ; 1996 et 2000, p. 6 et 107 ; Perrin, 1996 ; Lintz, 1998 ; 1999 et 2000 ; Toledo i Mur, 1997-1998 ; Toledo i Mur *et al.*, 1997, p. 49-57 et p. 103-106 ; 2001, p. 13 et 2004).

BIBLIOGRAPHIE

Abréviations

BAR	British Archaeological Research.
BRGM	Bulletin de recherches géologiques et minières.
CTHS	Comité des travaux historiques et scientifiques.
DAF	Documents d'archéologie française.
DFS	Document final de synthèse.
MSH	Maison des sciences de l'homme.
RAN	Revue archéologique de Narbonnaise.
SRA	Service régional d'archéologie.

AGRICOLA G.

1556 : *De Re Metallica*, Bâle, Gerard Klopp Éditeur (1987), 508 p.

AMBERT P.

1995 : « Les mines préhistoriques de Cabrières (Hérault) : quinze ans de recherches. État de la question », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 92, 4, p. 499-508.

1998 : « L'évolution de la métallurgie dans le Midi de la France », in FRÈRE-SAUTOT M.-C. (DIR.), *Paléométallurgie des cuivres, Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 oct. 1977*, Montagnac, Monique Mergoïl (coll. Monographies Instrumentum, 5), p. 67-70.

AMBERT P., CAROZZA L.

1996 : « Origine et développement de la première métallurgie française : état de la question », *Archéologie en Languedoc*, 20, 1, p. 43-56.

ANCEL B., FLUCK P.

1988 : *Une exploitation minière du XVI^e s. dans les Vosges : le filon Saint-Louis de Neuenberg (Haut-Rhin). Caractères et évolution*, Paris, MSH (coll. DAF, 16), 122 p.

ANGEL M.

1989 : *Mines et fonderies au XVI^e siècle d'après le De Re Metallica d'Agricola*, Paris, Total Édition Presse.

ARDAILLON E.

1987 : *Les Mines du Laurion dans l'Antiquité*, Paris, A. Fontemoing, 218 p.

BAILLY-MAÎTRE M.-C.

1987 : « Mines et métallurgie au Moyen Âge : les techniques extractives », in *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France méridionale, Actes des journées de Perpignan, 21-22 fév. 1987*, Perpignan, Ville de Perpignan, p. 123-134.

1992 : « Notes sur les techniques extractives médiévales du sud de la France », in *Les Techniques minières de l'Antiquité au XVIII^e siècle*, Paris, éd. du CTHS, p. 283-297.

1996 : « Brandes et les mines d'argent du Dauphin au Moyen Âge », *L'Archéologue*, 25, p. 12-18.

1998 : « Tradition et innovation dans les mines médiévales », in BECK P. (DIR.), *L'Innovation technique au Moyen Âge, Actes du VI^e congrès international d'archéologie médiévale, oct. 1996*, Paris, éd. Errance, p. 99-107.

BAILLY-MAÎTRE M.-C., BRUNO J.

1983 : « Le village minier de Brandes (Huez, Isère) », in BENOIT P., BRAUNSTEIN P. (DIR.), *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale, Actes du colloque de Paris, 19-21 juin 1980*, Paris, éd. du CNRS, p. 289-301.

BAILLY-MAÎTRE M.-C., BRUNO-DUPRAZ J.

1986 : « Un aperçu de l'extraction minière au Moyen Âge dans les Massifs de l'Oisans et de la Chartreuse », in *Les Ressources minérales et l'histoire de leur exploitation, Actes du 108^e congrès national des sociétés savantes, Grenoble 1983*, Paris, éd. du CTHS, p. 165-194.

BAILLY-MAÎTRE M.-C., HOULÈS N., LANDES C.

1984 : « Le site minier antique de Pioch-Farrus (commune de Cabrières, Hérault). Recherches préliminaires », *RAN*, XVII, p. 327-337.

BARFIELD L.

1999 : « Neolithic and Cooper Age Flint Exploitation in Northern Italy », in DELLA CASA (DIR.), « Prehistoric Alpine Environment, Society and Economy », *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie*, 55, p. 245-252.

BARTH F.-E.

1991 : « Hallstatt et les mines de sel gemme », in MOSCATI S. (DIR.), *Les Celtes*, Milan, Bompiani, p. 163-166.

BEAUSOLEIL J.-M.

1995 : « Montmagner, Arnac-la-Poste (87) », *Bilan scientifique 1995*, DRAC-SRA Limousin, p. 41-42.

1999 : « Mobilier funéraire et identification

du pouvoir territorial à l'âge du Fer sur la bordure occidentale du Massif central », in CAUCET B. (DIR.), *L'Or dans l'Antiquité : de la mine à l'objet, Actes du colloque de Limoges, 1992*, Talence, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à Aquitania, 9), p. 347-356.

BECK P. (DIR.)

1998 : *L'Innovation technique au Moyen Âge, Actes du VI^e congrès international d'archéologie médiévale, oct. 1996*, Dijon-Mont-Beuvray-Chenôve-Le Creusot-Montbard, Paris, éd. Errance, 317 p.

BENOIT P., BRAUNSTEIN P.

1983 : « Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale » in *Actes du colloque de Paris, 19-21 juin 1980*, Paris, éd. du CNRS, p. 289-301.

BERNABEU J., OROZCO T., TERRADES X. (DIR.)

1998 : *Los Recursos abióticos en la prehistoria. Caracterización, aprovisionamiento e intercambio*, Valence, Universitat de Valencia (coll. Oberta, série Historia, 2), 188 p.

BERNARD L.

2000 : « L'ensemble minier 1000-2000 » in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, vol. 1, DFS, inédit, p. 59-80.

BEST C.

1995 : « Les Betoulles, Ajain (23) », *Bilan scientifique 1995*, DRAC-SRA Limousin, p. 27.

1996 : « Le Puy de Grâce, Perpezac-le-Noir (19) », *Bilan scientifique 1996*, DRAC-SRA Limousin, p. 17-18.

1998a : *Les Mines d'or du Puy des Angles. Avant-projet d'évaluation archéologique*, Note interne AFAN, 2 p.

1998b : A-89, section 5.2 : *prospection archéologique. Principe d'évaluation des mines d'or du Puy des Angles*, note interne AFAN, 2 p.

2000 : *Évaluation de la section autoroutière entre Ussel et Tulle (19) : prospection archéologique de l'autoroute A-89, janv. 98-mars 2000*, DFS, inédit, 109 p., 56 fig.

BINSTEINER A.

1994 : « Ausgewählte Silexlagerstätten und deren abbau in den Provinzen Trient und Verona », *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 24, p. 255-263.

BLANCO FREIJEIRO A., ROTHENBERG B.

1981 : *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva* (EAH), Barcelone, LABOR, 312 p., 7 ill.

BOSCH J., ESTRADA A.

1998 : « La minería en el Neolítico postcardial de Gavà », in BERNABEU J., OROZCO T., TERRADES X. (DIR.), *Los Recursos abióticos en la prehistoria. Caracterización, aprovisionamiento e intercambio*, Valence, Universitat de Valencia (coll. Oberta, série Historia, 2), p. 139-153.

BOSCH J., ESTRADA A., NOAIN M. J.

1996 : « Minería neolítica en Gavà (Baix Llobregat, Barcelona) », *Trabajos de Prehistoria*, 53, 1, p. 59-71.

BOSTYN F., LANCHON Y. (DIR.)

1992 : *Jablins. Le Haut Château (Seine-et-Marne) : une mine de silex au Néolithique*, Paris, MSH (coll. DAF, 35), 246 p.

BOULOUMIÉ B.

1989 : « Les sources complémentaires d'approvisionnement en métaux de l'Étrurie orientalisante et archaïque », in DOMERGUE C. (DIR.), *Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, I, Madrid, Ministerio de Cultura, p. 213-221.

BOUSSICAULT M.

1998 : « Orliac-de-Bar, Seilhac, Naves, Tulle, Beaumont, Les Angles-sur-Corrèze. Prospection-inventaire des sites aurifères », *Bilan scientifique 1998, DRAC-SRA Limousin*, p. 24-25.

1999 : « Inventaire des mines d'or protohistoriques. Secteurs de Tulle et Ussel. Prospection thématique », *Bilan scientifique 1999, DRAC-SRA Limousin*, p. 22-23.

2000a : « Mines d'or protohistoriques de la Corrèze. Confolent-Port-Dieu, Saint-Étienne-aux-Clos, Monestier-Port-Dieu et Thalamy (Corrèze). Prospection thématique des sites aurifères », *Bilan scientifique 2000, DRAC-SRA Limousin*, p. 25.

2000b : « Cartographie des filons », TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, vol. I, DFS, inédit, p. 25 et fig. 9.

BRGM

1994 : *P.E.R. les Angles sur Corrèze (19), Synthèse et bilan des travaux réalisés de 1987 à 1993*, Orléans, BRGM.

BRIOS F.

1990 : « L'exploitation du silex en plaquettes à Salinelles (Gard). Données nouvelles sur les lieux et modes d'extraction sur les ateliers, problèmes de diffusion », in GUILAINE J., GUTHERZ X. (DIR.), *Autour de Jean Arnal*, Montpellier, Université des sciences et techniques du Languedoc, p. 219-232.

CAMPANA N., MAGGI R., PEARCE M.

1998 : « Miniere preistoriche di rame a Libiola e Monte Loreto », in DEL LUCCHESI A., MAGGI R. (DIR.), *Dal Diaspro al Bronzo. L'Età del Rame e l'Età del Bronzo in Liguria : 26 secoli di storia fra 3600 e 1000 anni avanti Cristo*, La Spezia, Luna Editore, p. 138-141.

CAMPOREALE G.

1989 : « Gli Etruschi e le risorse minerarie : aspetti e problemi », in DOMERGUE C. (DIR.), *Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, I, Madrid, Ministerio de Cultura, p. 205-210.

CAUET B.

1987 : « Aurières du Limousin. État de la recherche dans le district minier de Saint-Yriex-la-Perche (Haute-Vienne) », in *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France méridionale, Journées de Perpignan, 21-22 fév. 1987*, p. 53-72.

1988 : « La mine antique des Fouilloux (Jumilhac, Dordogne) : les premiers résultats de la fouille », *Aquitania*, VI, p. 181-190.

1991 : « L'exploitation de l'or en Limousin, des Gaulois aux Gallo-Romains », *Annales du Midi, Revue de la France méridionale*, 103, p. 149-181.

1992 : « Aurières en Limousin », *Travaux d'archéologie limousine*, 12, p. 7-22.

1993 : « Celtic Gold Mines in West Central Gaul », in MORTEANI G., NORTHOVER J. (EDS), *Prehistoric Gold in Europe. Mines, Metallurgy and Manufacture*, Dordrecht, Kluwer, NATO ASI Series, p. 219-240.

1994a : « Nouvelles découvertes sur les aurières de la haute vallée de l'Isle (Dordogne/Haute-Vienne) », *Aquitania*, XII, p. 111-123.

1994b : « Mines d'or et monnayages mérovingiens du Limousin : relation problématique », *Bulletin de la Société française de numismatique*, 6, p. 835-838.

1994c : *Les Mines d'or gauloises du Limousin*, Limoges, Association Culture et Patrimoine en Limousin, 36 p.

1996 : « Mines d'or protohistoriques du Limousin. État des recherches », in *La Publication archéologique sur CD-ROM : exemples pratiques d'écriture électronique*,

Paris, Ministère de la Culture, Direction du Patrimoine, Dossier n° 6.

1997a : « Boisages et techniques d'exhaure gaulois à la mine d'or de la Fagassière (Château-Chervix, Haute-Vienne) », *Pallas*, 46, p. 197-218.

1997b : « Les mines d'or de la Gaule, recherches en Limousin », *L'Archéologue*, 33, p. 17-23.

1999a : « L'exploitation de l'or en Gaule à l'âge du Fer », in CAUET B. (DIR.), *L'Or dans l'Antiquité : de la mine à l'objet, Actes du colloque de Limoges, 1992*, Talence, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à *Aquitania*, 9), p. 31-70.

1999b : *Mines d'or du Puy du Merle (Les Angles-sur-Corrèze, 19). Projet de viaduc sur l'A-89. Données scientifiques et problématique de la fouille*, fév. 1999, dactylogr., 6 p.

2000 : « Techniques de boisages dans les mines d'or gauloises du sud-ouest du Massif central », in DOMERGUE C., LEROY M. (DIR.), « Dossier : Mines et métallurgies en Gaule, recherches récentes », *Gallia*, 57, p. 129-146.

2001 : « Des mines d'or en roche protohistoriques chez les Lémovices », in *L'Or de Tolosa*, Catalogue d'exposition, Toulouse, musée de Saint-Raymond, musée des Antiquités de Toulouse, p. 48-64.

CAUET B. (DIR.)

1999 : *L'Or dans l'Antiquité : de la mine à l'objet, Actes du colloque de Limoges, 1992*, Talence, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à *Aquitania*, 9), 492 p.

CAUET B., DIDIERJEAN F.

1992 : « Mines d'or gauloises et habitats associés du sud-Limousin : méthodes de prospection archéologique », *Aquitania*, X, p. 31-47.

CAUET B., TOLLON F.

1999 : « Problèmes posés par le traitement des minerais et la récupération de l'or dans les mines gauloises », in CAUET B. (DIR.), *L'Or dans l'Antiquité : de la mine à l'objet, Actes du colloque de Limoges, 1992*, Talence, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à *Aquitania*, 9), p. 185-198.

CHALON P.-F.

1909 : *Manuel du mineur*, Paris, C. Béranger, 633 p.

CHEVALIER R.

1987 : « Principales sources concernant les mines et la métallurgie en Gaule (ordre chronologique) », in CHEVALIER R. (DIR.), *Les Mines et la métallurgie en Gaule et dans les régions voisines* (coll. *Caesarodunum*, XXII), p. 7-10.

COISSAC G.-M.

1913 : *Mon Limousin*, Paris, A. Lahure (réimpression : Marseille, Laffitte, 1978), 439 p.

COLES J. M., HARDING A. F.

1979 : *The Bronze Age in Europe*, Londres, Methuen, 581 p.

COLLECTIF

1983 : *Vocabulaire de la mine souterraine*, Saint-Étienne, Société de l'industrie minière (coll. Suppl. à la revue *Industrie minière*), 84 p.

COMBES H.

1839 : *Aérage des mines*, Paris, Carilian-Goeury et V. Dalmont, 122 p.

CONOPHAGOS C.

1989 : « Quelques considérations générales sur les procédés de concentration pendant l'Antiquité et sur leur évolution », in DOMERGUE C. (DIR.), *Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, II, Madrid, Ministerio de Cultura, p. 96-106.

COUJOU P.

2000 : « L'ensemble minier 5172-3024 », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, vol. I, DFS, inédit, p. 51.

COUJOU P., DAUSSY A.

2000 : « Le relevé schématique des traces d'outils », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, Annexe, DFS, inédit.

DELIBES DE CASTRO G. (DIR.)

1998 : « Minerales y metales en la prehistoria reciente. Algunos testimonios de su explotación y laboreo en la Península Ibérica », *Studia archaeologica*, 88, p. 71-103.

DEL LUCCHESI A., MAGGI R. (DIR.)

1998 : « Dal Diaspro al Bronzo. L'Età del Rame e del Bronzo in Liguria : 26 secoli di storia fra 3600 e 1000 anni avanti Cristo », *Quaderni della Soprintendenza archeologica della Liguria*, 5, 195 p.

DI LERNIA S., GALIBERTI A.

1993 : « Archéologia mineraria della selce nella preistoria. Definizioni, potenzialità e prospettive della ricerca », *Quaderni del dipartimento di archeologia e storia delle arte. Sezione archeologica*, Florence, Università di Siena, Edizioni all'insegna del giglio, p. 5-83.

DIOT M.-F., TIXIER C.

2000 : « Étude palynologique du Puy des

Angles », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, Annexes, DFS, inédit, 4 p., 4 fig.

DOMERGUE C.

1990 : *Les Mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, Rome, École française de Rome, 127, 626 p.

DOMERGUE C. (DIR.)

1989 : *Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterránea y europeas*, Madrid, Ministerio de Cultura, 2 vol., 261 et 223 p.

DOMERGUE C., LEROY M. (DIR.)

2000 : « Dossier : Mines et métallurgies en Gaule, recherches récentes », *Gallia*, 57, 158 p.

DORION C.-J.

1893 : *Exploitation des mines. Encyclopédie des Travaux publics*, Paris, Librairie polytechnique Baudry et Cie, 667 p.

DUBOIS C., GUIBAULT J.-E.

1988 : « Relation entre les gîtes métalliques et les techniques d'exploitation minières antiques en Ariège », in *Colloque international sur les ressources minières et l'histoire de leur exploitation de l'Antiquité à la fin du XVIII^e siècle*, 113^e Congrès national des sociétés savantes, Strasbourg, 5-9 avril 1988, Paris, éd. du CTHS, p. 79-96.

DUVAL A.

1990 : « Les systèmes chronologiques : la fin de La Tène moyenne et La Tène finale », in DUVAL A., MOREL J.-P., ROMAN Y. (DIR.), *Gaule interne et Gaule méditerranéenne aux I^{er} et II^e siècles avant J.-C. : confrontations chronologiques* (coll. Suppl. à la RAN, 21), p. 331-334.

ÉCOLE TECHNIQUE DES MINES DE DOUAI

1945 : *Cours d'exploitation des mines*.

EMBERGER A., MELOUX J.

1979 : *Carte des gîtes minéraux de la France au 1/500 000, feuille de Lyon*, Orléans, BRGM.

FLOCH J.-P.

1984 : « La série limousine : réflexion axée sur une synthèse géologique régionale et son utilisation pour la prospection de l'or », *Chroniques de la recherche minière*, 474, p. 5-10.

FLOCH J.-P., SANTALLIER D., GUILLOT P.-L., GROGLIER J.

1977 : « Données récentes sur la géologie du Bas-Limousin », in *Actes du 102^e congrès*

national des sociétés savantes, II, Limoges, 1977, Paris, éd. du CTHS, p. 147-148.

FOUCAULT A., RAOULT J.-F.

1988 : *Dictionnaire de géologie*, Paris, Masson, 350 p.

FRÈRE-SAUTOT M.-C. (DIR.)

1998 : *Paléométallurgie des cuivres*, Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 oct. 1977, Montagnac, Monique Mergoïl (coll. Monographies Instrumentum, 5), 249 p.

GÁBORI-CSÁNK V.

1988 : « Une mine de silex paléolithique à Budapest, Hongrie », in DIBBLE H. I., MONTEF-WHITE A. (EDS), *Upper Pleistocene Prehistory of Western Eurasia*, Philadelphie, University Museum Press (coll. Museum monograph of the University of Pennsylvania, 54), p. 141-143.

GALLIEN V., LANGLOIS J.-Y.

2001 : « Les mines de fer du nord de la Sarthe, bilan des fouilles sur l'A-28 », *Archéopages*, 5, p. 12-19.

GATTIGLIA A., ROSSI M.

1995 : « Les céramiques de la mine préhistorique de Saint-Véran (Hautes-Alpes) », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 92, 4, p. 509-518.

GEOFFROY J.

1967 : « Les mines métalliques dans la Haute-Vienne », *Guide géologique de la Haute-Vienne*, Limoges, Musée municipal, p. 79-91.

GIARDINO C.

1995 : *Il Mediterraneo occidentale fra XIV ed VIII secolo a.C. Cerchie mineraria e metallurgiche*, Oxford, Archaeopress (coll. BAR International Series, 612), 410 p.

GOMEZ DE SOTO J.

1996 : *La grotte des Perrats à Agris (Charente), 1981-1994 : étude préliminaire*, Chauvigny, Association des publications chauvinoises, 139 p.

1999 : « Habitats et nécropoles des âges des métaux en Centre-Ouest et en Aquitaine : la question de l'or absent », in CAUQUET B. (DIR.), *L'Or dans l'Antiquité : de la mine à l'objet*, Actes du colloque de Limoges, 1992, Talence, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à Aquitania, 9), p. 337-346.

GRANDEMANGE J.

1991 : *Les Mines d'argent du duché de Lorraine au XV^e s. Histoire et archéologie du Val de Lièpvre (Haut-Rhin)*, Paris, MSH (coll. DAF, 30), 117 p.

- GROLIER J., GUILLOT P.-L.**
1979 : *Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Tulle (XXI-34)*, Orléans, BRGM.
- HOLGATE R.**
1991 : *Prehistoric Flint Mines*, Princes Risborough, Shire, 64 p.
- ICOMOS**
2000 : *Évaluation des biens culturels. Spiennes (Belgique)*, Paris, ICOMOS-UNESCO, p. 57-63.
- LANGLOIS J.-Y.**
1998 : « Mines de fer », *L'Archéologue*, 36, p. 26-28.
- LAPORTE A.**
1937 : « Une contribution à l'étude des mines d'or limousines », *Bulletin de la Société d'études scientifiques du Limousin*, 401, p. 364-368.
1966 : *L'Archéologie et l'histoire au service de la recherche minière. Un exemple d'application : les gisements aurifères du Limousin et de la Marche*, thèse de 3^e cycle, Faculté des sciences de l'université de Paris, 1960, Orléans, BRGM, 342 p. et 109 pl.
- LAPORTE L. (COORD.)**
1998 : *L'Estuaire de la Charente de la Protohistoire au Moyen Âge. La Challonnière et Mortantambe (Charente-Maritime)*, Paris, MSH (coll. DAF, 72), 228 p.
- LINTZ G.**
1998 : « Saint-Gence. Le Pâtureau », *Bilan scientifique 1998, DRAC-SRA Limousin*, p. 44-47.
1999 : « Saint-Gence. Le Pâtureau », *Bilan scientifique 1999, DRAC-SRA Limousin*, p. 44-46.
2000 : « Saint-Gence. Le Bourg », *Bilan scientifique 2000, DRAC-SRA Limousin*, p. 51-52.
- MALLARD E.**
1866 : « Note sur les gisements stannifères du Limousin et de la Marche et sur quelques anciennes fouilles qui paraissent s'y rattacher », *Annales des Mines*, 6^e série, t. 10, p. 321-352.
- MILLE P.**
2000 : « Étude des bois gorgés d'eau », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, vol. I, DFS, inédit, p. 180-184.
- MILOR F.**
2000 : « Géologie », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, DFS, inédit, p. 14-20 et fig. 5-8.
- MOHEN J.-P.**
1990 : *Métallurgie préhistorique. Introduction à la paléo-métallurgie*, Paris, Masson, 230 p.
- MOOSLEITNER F.**
1991 : « Le site du Dürrenberg (Salzburg) », in MOSCATI S. (DIR.), *Les Celtes*, Milan, Bompiani, p. 169-173.
- MORDANT C., PERNOT M., RYCHNER V. (DIR.)**
1998 : *L'Atelier du bronzier en Europe du XX^e au VI^e siècle avant notre ère. Du minerai au métal, du métal à l'objet*, Actes du colloque international « Bronze 96 », Neuchâtel et Dijon, 1996, Paris, éd. du CTHS, 300 p.
- MOSCATI S. (DIR.)**
1991 : *Les Celtes*, Milan, Bompiani, 795 p.
- NENERT S.**
1988 : *L'Or en Limousin*, Limoges, Laboratoire régional de géologie appliquée, 6 p.
- NEYRAUD J.**
1937-1938 : « Comment les Gallo-Romains procédaient à l'extraction de l'or en Limousin », *Bulletin de la Société d'études scientifiques du Limousin*, 403, p. 401-408 ; 404, p. 420-424 ; 405, p. 440-444 ; 406, p. 453-457.
1939-1940 : « L'industrie aurifère limousine de l'époque gallo-romaine », *Bulletin de la Société d'études scientifiques du Limousin*, 1939, 411, p. 63-81 et 1940, 412, p. 90-108.
- OTT I., BEUCHER D., GIUDICELLI M.**
2004 : *L'Or blanc de Hallstatt*, Catalogue d'exposition, Mont-Beuvray, musée de Bibracte, mai-nov. 2004, 30 p.
- PÉLEGRIN J., RICHARD A. (DIR.)**
1995 : *Les Mines de silex au Néolithique en Europe : avancées récentes*, Actes de la table ronde internationale de Vesoul, 18-19 oct. 1991, Paris, éd. du CTHS (coll. Documents préhistoriques, 7), 288 p.
- PERRIN S.**
1996 : « La Vergne des Soirs, Ussel (19) », *Bilan scientifique 1996, DRAC-SRA Limousin*, p. 19.
- RALSTON I. B. M.**
1992 : *Les Enceintes fortifiées du Limousin. Les habitats protohistoriques de la France méditerranéenne*, Paris, MSH (coll. DAF, 36), 190 p.
- RAMIN J.**
1977 : *La Technique minière et métallurgique des Anciens*, Bruxelles, Société d'Études latines de Bruxelles (coll. Latomus, 153), 223 p.
- SAGUI C.-L.**
1939 : « Les mines anciennes du Limousin (région de Saint-Yriex) », *Bulletin de la Société archéologique et historique du Limousin*, LXXVIII, p. 250-277.
- SANCHEZ-PALENCIA F.-J.**
1989 : « La explotación del oro en la Hispania romana : sus inicios y precedentes », in DOMERGUE C. (DIR.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, Madrid, Ministerio de la Cultura, vol. II, p. 35-53.
- SCHMID E.**
1972 : « A Mousterian Silex Mine and Dwelling-Place in the Swiss Jura », in COLLECTIF (DIR.), *The Origin of Homo Sapiens. Ecology and Conservation*, Paris, Unesco, p. 129-132.
- SEDLMEIER J.**
1995 : « Mines de silex », in *La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Âge*, II, p. 125-129.
- SÉRONIE-VIVIEN M.-R., LENOIR M. (DIR.)**
1990 : *Le Silex de sa genèse à l'outil*, Actes du V^e colloque international sur le silex, Bordeaux 1987, Paris, éd. du CNRS (coll. Cahiers du Quaternaire, 17), 2 vol., 645 p.
- SERRA I RAFOLS J.-C.**
1924 : « Els començos de la mineria i la metal·lúrgia del coure a la Península Ibèrica », *Bulletí de l'Associació Catalana d'Antropologia, Etnologia i Prehistòria*, II, 2, p. 147-186.
- SHEPPERD R.**
1993 : *Ancient Mining*, Londres, Elsevier for the Institution of Mining and Metallurgy, 494 p.
- SIREIX C.**
1990 : « Officine de potiers et production céramique sur le site protohistorique de Lacoste à Mouliets-et-Villemartin (Gironde) », *Aquitania*, VIII, p. 45-97.
- SPERBER L.**
1999 : « Crises dans l'approvisionnement du métal d'Europe de l'ouest à l'âge du Bronze : passage du bronze au fer », in *L'Europe aux temps d'Ulysse. Dieux et héros de l'âge du Bronze*, Paris, Réunion des Musées nationaux, p. 48-51.
- SZEPERTYSKI B.**
2000 : « Datations en dendrochronologie. Site du Puy des Angles (19) », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, Annexes, DFS, inédit, 5 p., 2 fig.

TAMAIN G.

1986 : « L'or des Lemovices », in *Les Ressources minérales et l'histoire de leur exploitation, Actes du 108^e congrès national des sociétés savantes, Grenoble 1983*, Paris, éd. du CTHS, p. 119-131.

TEISSIER P.

1945 : *Exploitation des mines*, Alès, Compan Imprimeur, 229 p.

TEMPIER P., LAMEYRE J., LABERNARDIÈRE H., SCANVIC J.-Y.

1978 : *Carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de la Roche-Canillac (XXII-34)*, Orléans, BRGM.

TEREYGEOL F.

1998 : « Les mines de Melle (Deux-Sèvres) : une expérimentation d'attaque au feu *in situ* », in BECK P. (DIR.), *L'Innovation technique au Moyen Âge, Actes du VI^e congrès international d'archéologie médiévale, oct. 1996*, Paris, éd. Errance, p. 111-113.

TOLEDO I MUR A.

1997-1998 : « La Croix du Buis (Arnac-la-Poste, Haute-Vienne). Un entrepôt du I^{er} s. av. J.-C. », *Aquitania*, XV, p. 109-140.

TOLEDO I MUR A., BERNARD L., BERNARD F., BOUSSICAULT M., COUJOU P., DAUSSY A., DIOT M.-F., MAILHE V., MILLE P., MILOR F., O'YL W., SZERPETYSKI B., TIXIER C., VACCA-GOUTOULLI M. (DIR.)

2000 : *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, DFS, inédit, vol. I, texte : 206 p., 88 fig. et vol. II, photos : 107 pl.

TOLEDO I MUR A., CABEZUELO U., MILOR F., CHEVREUSE F., TEXIER P.

1997 : *Sondages et évaluation sur le tronçon Ussel (19) - Saint-Julien-Puy-Lavèze (63) de la future autoroute A-89*, DFS, inédit, 378 p., 109 fig.

TOLEDO I MUR A., CAUJET B.

1999 : *Le Puy des Angles (Les Angles-sur-Corrèze, 19) : diagnostic, bilan provisoire au 5/6/1999*, Document interne, 6 p., 13 fig.

TOLEDO I MUR A., COUJOU P.

2000 : « L'ensemble minier 5000-5064/5165-5062 », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, DFS, inédit, p. 81-119.

TOLEDO I MUR A., MILOR F., D'AGOSTINO A., BROUTÉ R.

2001 : *Campagne de prospection et évaluation archéologique du nouveau tracé de la RD-9, reliant l'A-89 à l'A-20*, DFS, inédit, 15 p., 9 fig.

TOLEDO I MUR A., MILOR F., ROGER J., PETIT F., BET P., WITTMANN A., CABANIS M.

2004 : « Un site cultuel et funéraire de la protohistoire aux premiers temps de la période gallo-romaine : Les Châtaigneraies, Saint-Germain-les-Vergnes (Corrèze) », *Travaux d'archéologie limousine*, 2004, p. 7-51.

TYLECOTE R. F.

1987 : *The Early History of Metallurgy in Europe*, Londres, Longman, 352 p.

VACCA-GOUTOULLI M.

2000a : « Étude des traces d'outils dans la mine du Puy des Angles », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, DFS, inédit, p. 143-154.

2000b : « Fiches spécifiques des traces portées par les parois des galeries », in TOLEDO I MUR A. ET AL. (DIR.), *Le Puy des Angles. Une mine d'or protohistorique*, DFS, inédit, Annexes, 17 p.

VAUCORBEIL H. DE

1979-1980 : « L'archéologie des gisements

métallifères en Limousin », *Travaux d'archéologie limousine*, I, p. 51-62.

VERRAES G.

1987 : « L'origine et la survivance des techniques minières à travers les âges », in *Les Mines et la métallurgie en Gaule et dans les provinces voisines, Actes du colloque des 26-27 avril 1986*, Paris, éd. Errance (coll. *Caesardunum*, XXII), p. 307-333.

VILLALBA M. J., BAÑOLAS L., ARENAS J., ALONSO M.

1986 : *Les Mines néolithiques de Can Tintorer. Gavà. Excavacions 1978-1980*, Barcelone, Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, 203 p.

VILLALBA M. J., EDO M.

1992 : « Aspectes sobre la mineria subterrània i la tecnologia aplicada als sistemes d'exploració », in *Actes del 9^e Col·loqui internacional d'arqueologia de Puigcerdà 1991*, Puigcerdà, Institut d'Estudis Ceretans, p. 195-199.

WEISBERGER G.

1989 : « Recent Research on Prehistoric and Ancient Mining in Greece », in DOMERGUE C. (DIR.), *Minería y metalúrgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, I, Madrid, Ministerio de Cultura, p. 197-204.

WELLER O.

2002 : « The Earliest Rock Salt Exploitation in Europe : a Salt Mountain in the Spanish Neolithic », *Antiquity*, 76, p. 317-318.

YOUNG S. M. M., POLLARD A. M., BUDD P., IXXER R. I. (EDS)

1999 : *Metals in Antiquity*, Oxford, Archaeopress (coll. BAR International Series, 792), 348 p.