

L'ouverture par le feu dans les mines : histoire, archéologie et expérimentations

Claude Dubois

Résumé

Les nombreux vestiges de toutes époques de l'ouverture par le feu dans les mines recèlent des charbons de bois résiduels qui sont source d'information sur les milieux forestiers anciens et les relations entre les mineurs et la forêt. L'expérimentation sur les sites concernés apporte des données quantitatives complémentaires.

Abstract

The many and diachronic vestiges of fire setting in mettalic mines keeps residual charcoal wich give informations about old forestry and relations between miners and forest. Experimentation on sites bring complementary quantitative facts.

Citer ce document / Cite this document :

Dubois Claude. L'ouverture par le feu dans les mines : histoire, archéologie et expérimentations. In: Revue d'Archéométrie, n°20, 1996. pp. 33-46;

doi : <https://doi.org/10.3406/arsci.1996.935>

https://www.persee.fr/doc/arsci_0399-1237_1996_num_20_1_935

Fichier pdf généré le 07/01/2019

L'OUVERTURE PAR LE FEU DANS LES MINES: Histoire, archéologie et expérimentations

Claude DUBOIS*

«N'est-elle pas ainsi ma parole, comme un feu, comme
un marteau qui fait éclater la roche ?»
(Jérémie 23 - 29, Bible trad. Chouraqui).

Résumé: Les nombreux vestiges de toutes époques de l'ouverture par le feu dans les mines recèlent des charbons de bois résiduels qui sont source d'information sur les milieux forestiers anciens et les relations entre les mineurs et la forêt. L'expérimentation sur les sites concernés apporte des données quantitatives complémentaires.

Abstract: The many and diachronic vestiges of fire setting in mettalic mines keeps residual charcoal wich give informations about old forestry and relations between miners and forest. Experimentation on sites bring complementary quantitative facts.

Mots-clés: Abattage / ouverture par le feu, charbons de bois résiduels, taxons, archéologie minière, anthracologie.

Key-words: Fire-setting, residual charcoals, mining archeology, anthracology.

Le feu «étonne» les roches dures siliceuses, c'est-à-dire qu'il les attendrit et provoque leur fracturation par dilatation différentielle des divers composants minéraux et par évaporation de l'eau. Dans les mines métalliques, de la fin du Néolithique à notre époque, les hommes ont employé ce moyen, pour peu qu'ils aient eu du bois pour cela, lorsque les roches encaissantes des minerais s'avéraient trop résistantes à l'action directe des outils manuels. Localement l'ouverture par le feu perdura même au-delà de l'introduction de la poudre explosive dans les mines. Les vestiges sont typiques et souvent faciles à identifier: les profils des excavations ainsi réalisées sont arrondis et la roche abattue est délitée en écailles.

La constitution de brasiers souterrains répétés durant des années, voire des dizaines d'années ou même des siècles pour les très grandes mines de l'est et du nord de l'Europe, a laissé des dépôts de charbons de bois résiduels dans les déblais extérieurs, et souvent *in situ* dans les travaux souterrains. Il y a là un potentiel encore inexploité du point de vue de l'archéologie du paysage et plus particulièrement de la forêt, notamment pour des lieux dépourvus de niveaux exploitables par la palynologie et pour des sites et des époques ignorés des archives forestières. En joignant les approches méthodologiques de l'anthracologie et de l'archéologie minière et expérimentale, on peut tirer parti de ces gisements à la fois en eux-

mêmes et par comparaison avec d'autres dépôts contemporains et voisins, mais d'origines différentes (foyers d'habitats, métallurgie).

Nous avons essayé d'aborder cette problématique dans le contexte des mines d'argent et de cuivre de la première moitié du Ier siècle avant notre ère, situées au pied du front montagnard pyrénéen, en Ariège. Les résultats, bien qu'encore très modestes, confirment la possibilité d'ouvrir de nouvelles perspectives de recherche sur l'interface homme/environnement, ou plus précisément mineur/forêt.

I- HISTORIQUE DE L'OUVERTURE PAR LE FEU

LES TEXTES

De nombreux textes, règlements miniers, traités techniques et autres mentionnent, plus ou moins en détail, l'ouverture par le feu. Nous citons ici les principaux d'entre eux. On remarquera que la nature des essences de bois à utiliser n'est que rarement indiquée, ce qui laisse supposer que le meilleur bois est celui dont on dispose sur place, à moindres frais.

* Archéologue, Association Pyrene et membre associé de l'U.M.R. 5608 du C.N.R.S. à Toulouse.

Mentions antiques

Tite-Live, H.R. Livre XXI-XXXVII, à propos du passage des Alpes par l'armée d'Hannibal en 218 avant notre ère rapporte: «On mit ensuite les soldats à l'œuvre pour aménager la paroi rocheuse, la seule voie possible; comme il fallait entamer la pierre, après avoir abattu et ébranché des arbres gigantesques tout alentour, ils constituent un énorme amoncellement de branches et comme, en outre, s'était levé un vent violent qui facilitait l'embrasement, ils y mettent le feu et dissolvent la roche brûlante en y versant du vinaigre. La roche une fois ainsi calcinée par l'incendie, ils l'entaillent à coups de pics».

Diodore de Sicile, Livre III-XII-4, au sujet des mines d'or limitrophes de l'Égypte, de l'Arabie et de l'Éthiopie note: «La partie la plus dure du terrain aurifère, ils la brûlent avec un grand feu et, après l'avoir ainsi amollie, ils en viennent au travail à la main».

Plinius l'Ancien, H.N. XXXIII-71, écrit à propos des mines d'or d'Espagne: «on rencontre des barrières de silex; on les fait éclater avec du feu et du vinaigre». Sur l'usage du vinaigre (acetum), Plinius précise (H.N. XXXIII - 57) «En y versant du vinaigre, on brise des rochers que le feu n'avait pu briser auparavant».

Moyen-Age

Il existe une mention de l'ouverture par le feu pour la mine de Cumberland, en Grande-Bretagne, en 1282 (Timberlake 1990-1). Le code des mines de Massa Marittima (1294-1325), Toscane, en Italie, mentionne cette technique et en réglemente l'usage en ce qui concerne les mines qui communiquent entre elles. En effet les «concessionnaires» de l'époque pouvaient ouvrir des puits de mine à 15 pas de ceux d'autres exploitants et bien souvent les réseaux souterrains se recoupaient. Dans ce cas le règlement prévoyait que le feu d'abattage ne pouvait être allumé que le samedi ou une veille de jour férié (Simonin,

1859, p. 10). Vers 1480, une charte illustre l'emploi du feu dans la mine de Mendips en Grande-Bretagne (Collins, 1893, p. 84). Le règlement minier de Novo Brdo, en Serbie, en 1488, mentionne l'utilisation de cette technique et les salaires des mineurs qui y sont affectés (Gille, 1969, p. 291-292).

Renaissance

En 1556 Agricola écrit au Livre V de son «De Re Metallica»: «le feu brise les roches les plus dures, mais la manière de l'employer n'est pas simple. En effet, si un filon enfermé dans la roche ne peut être brisé à cause de sa dureté, ou, par suite du manque de place si la tranchée ou la galerie est basse, on y place un tas de bois sec et on l'enflamme. Si la galerie est plus haute, on dispose et enflamme deux tas de bois sec placés l'un au-dessus de l'autre, et ils brûlent tous les deux jusqu'à ce qu'ils soient entièrement consumés par le feu. De cette manière la force du feu ne fait en général pas éclater une grande partie du filon, mais seulement quelques morceaux en surface.../... Pendant que les filons et les roches exhalent une vapeur fétide, et que les puits et les galeries laissent sortir de la fumée, les mineurs et les autres ouvriers ne descendent pas dans la mine, afin que la puanteur n'affecte pas leur santé ou même ne les fasse périr...».

Epoque moderne et contemporaine

Le règlement minier du Derbyshire en Grande-Bretagne, précise les conditions d'utilisation du «fire-setting» en 1601 (Collins, 1893, p. 84). En Suisse, le gobelet du XVII^{ème} siècle, en argent ciselé de scènes minières, du «montagnard de Steiger», atteste l'utilisation de l'ouverture par le feu (photo 1).

En 1773, Antoine Grimoald Monnet, traduisant des ouvrages allemands, écrit dans son «Traité de l'exploitation des mines», à propos du «torréfaction ou calcinage»:



Photo 1: Gravure sur la coupe d'argent XVII^{ème} siècle du «montagnard de Steiger». Photo et autorisation de reproduction du Muséum d'Histoire de Berne.

«Nous avons dit .../... que cette ancienne méthode était abandonnée depuis l'invention de celle du tirage à la poudre: cependant elle ne l'a pas été tellement qu'elle ne se soit encore conservée dans beaucoup d'endroits; il y a même des circonstances & des cas où elle est préférable au tirage à la poudre & à toute autre méthode. L'expérience a montré en effet que cette méthode était de la plus grande utilité dans un filon extrêmement puissant & très dur, comme celui de Ramelsberg, & dans la mine d'étain en amas d'Altenberg en Saxe. Si on employait dans ce cas le tirage à la poudre, on ferait des dépenses considérables, & on n'avancerait pas tant, à beaucoup près, que par le calcinage.

.../... La place doit être assez grande pour pouvoir contenir un quarré de bois de quatre ou cinq pieds de large, & d'autant de hauteur. J'établis ici ces proportions, parce qu'on a remarqué que ce sont celles qui sont les plus convenables, & qui produisent une chaleur assez forte & assez durable pour pénétrer au loin; de sorte qu'après un tel feu, on se trouve à même de poursuivre fort au loin, avant que d'être obligé de poser un nouveau feu: au lieu que, si on ne pose qu'un petit feu, à peine étant suffisant pour attendrir la roche, il faut recommencer sur nouveaux frais. .../... Cette différence est fondée sur ce qu'un feu continu produit plus d'effet que plusieurs feux en des temps différents. .../... Pour faire ce feu, on commence par placer un rang de fagots ou de petit bois sur quelques bûches fort écartées les unes des autres, contre une paroi de l'entaille: on met dessus au moins 16 grosses bûches bien sèches: après les avoir disposées toutes dans un même sens, on en remet autant dessus dans un autre sens; en sorte que les bûches du premier rang se croisent avec celles du second: on continue ainsi à élever le bûcher à la hauteur que l'on veut. Souvent, comme à Altenberg, après avoir fait un petit bûcher quarré dans une des parties de l'entaille, on en fait aussi-tôt un autre à côté, & on continue ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on en ait fait le tour; après quoi on y met le feu, & on se retire. plus le feu dure long-temps, plus l'effet est grand. Sa durée est de 4 à 8 jours, selon le plus ou le moins d'air qui passe en cet endroit. Lorsqu'il est éteint, les ouvriers vont détacher avec la pioche et avec le marteau à pointe, la roche devenue friable».

La même année 1773, Delius fait paraître à Vienne son «Anleitung zu der Bergbaukunst» que Schreiber traduit en 1778. D'après le passage qui concerne l'ouverture par le feu (p. 245-255), le coût et la rareté du bois ont fait abandonner un peu partout ce mode d'exploitation au bénéfice de la poudre, cependant «dans nos pays, en Felzebanie, près des frontières de la Transylvanie» (Felsobanya en Hongrie), «on emploie le torréfage» sur un filon de plomb argentifère et aurifère. Le texte décrit les deux méthodes employées dans cette mine, selon que l'on avance une galerie ou bien que l'on abat un massif minéralisé précédemment délimité par des galeries et puits qui servent à l'aérage. Pour percer les galeries, on utilise une sorte de four à grille qu'un ouvrier qui reste «à une certaine distance ventre à terre» charge régulièrement de bois, avec des outils à très longs manches. «Par cette opération on ne torréfie ordinairement qu'une distance de deux pieds et demi en largeur et de quelques pouces en profondeur» et il faut répéter les feux pour élargir et égaliser l'ouverture. L'efficacité au niveau du sol est moindre puisque «on achève le sol avec des coups de poudre: car différemment il aurait une trop grande pente». L'élargissement se fait au moyen de bûchers dressés successivement contre chaque paroi, et constitués de 48 bûches en 16 couches. L'abatage des massifs est réalisé avec des bûches très longues empilées sur les déblais des opérations précédentes, par-

fois eux-mêmes installés sur des échafaudages en bois. Les ouvriers constituent «les lits de bois à quatre toises de distance dans la galerie, dans laquelle il entre seize, jusqu'à vingt cordes de bois, chacune composée de quarante huit bûches. Les ouvriers se mettent l'un derrière l'autre le long de ces échafauds, et ils posent les bois par rangées qui sont comptées pour chaque homme qui prépare quatre, cinq jusqu'à dix toises de galeries: lorsque toutes les rangées de bois sont posées, on y met le feu à toutes en même temps. L'époque pour les allumer est toujours le mercredi ou le jeudi, & tous les samedis à midi; les lundis et vendredis on va achever de rompre et de faire tomber les pièces de gangue qui se sont détachées par le feu; on fait sauter les grandes masses avec la poudre». Pour ce type d'opération la mine est évacuée, ce qui évite les accidents lorsque le feu détruit les piliers de soutènement.

Au XIX^{ème} siècle, les traités ou cours d'exploitation des mines, écrits par les professeurs de l'Ecole des Mines de Paris (Combes, 1844, p. 292-297, Callon, 1874, p. 186, Haton de la Goupillière, 1883, p. 167), reprennent la description de Delius-Schreiber et notent qu'il en va de même au Rammelsberg. Un élève ingénieur consacre même son mémoire de voyage à «l'exploitation par le feu de la mine du Rammelsberg» (Lan, 1850). Il distingue trois sortes de bûchers: les premiers pour l'avancement du front de taille d'une galerie voûtée (seitenfeuer), les seconds sur remblais pour l'abatage en hauteur (förstenfeuer) et les derniers sur remblais pour débiter les gros blocs (knüttelfeuer). On dispose les bûchers durant la semaine et tous sont prêts le samedi à 7 h du matin. Alors les mineurs sortent et le garde-feu et ses aides allument en commençant par les étages supérieurs. Le garde reste auprès de chaque feu jusqu'à combustion complète (1/2 à 3/4 d'heure), avant de descendre à l'étage inférieur. C'est lui qui règle la porte d'aérage. A Falun et Sala en Suède, on distingue également les bûchers dressés avec des pièces de bois de 0,80 à 1,75 m de hauteur, disposées sur 5 à 6 rangées, pour les galeries et ceux couchés, avec des bois de 3 à 4 m de longueur empilés/croisés sur 2 à 4 m de hauteur, pour l'abatage en chambre. Ces bûchers brûlent 10 à 12 heures et on attend 24 heures de plus pour aller reprendre le travail manuellement (Durocher, 1855, p. 245-247).

SITES DE RÉFÉRENCES

L'évidence archéologique de l'emploi du feu dans les mines métalliques de toutes époques est très répandue sur le vieux continent.

Chalcolithique

Mines de cuivre d'El Arano dans les Asturies en Espagne (Domergue, 1990, p. 133), de Mitterberg en Autriche (Pittioni, 1951), et de Rudna Glava dans l'ex-Yougoslavie (Jovanovic, 1980, p. 109). Au Pays de Galles, à Ogof Wyddon près de Machynlleth et à Twll y Mwyn - Darren près d'Aberystwyth (Timberlake, 1990-1). Une mine à Zawar Mala, aux Indes, a été creusée sur 250 m de profondeur par le feu (Timberlake, 1990-1). Bien qu'il ne s'agisse pas d'une mine métallique, mentionnons la carrière de haches polies en dolérite, à Plussulien en Bretagne (Le Roux, 1975, p. 16).

Age du Bronze

Les trois sites miniers espagnols de La Loba entre Cordoba et Badajoz, Arroyo del Cuevo entre Cordoba et

Jean, et Consuelo à Cartagena (Domergue, 1990, p. 133). Mines de Mount Gabriel en Irlande, Great Orme's Head, Llandudno, Parys Mountain à Anglesey, Nantyreira, Plynlimon et Cwmystwyth en Grande-Bretagne (Timberlake, 1990-1).

Antiquité celtique et romaine

La mine de cuivre argentifère des Barrençs, à Fournes-Cabardes dans l'Aude (Guilbaut et Landes, 1977, p. 76). Les mines de cuivre argentifère de Pioch-Farrus 4 et de Roussignole à Cabrières dans l'Hérault (Landes, 1989, p. 226). Les mines de plomb argentifère espagnoles de la Sierra de Gador en Almeria et d'Arditurri, ainsi que celle d'or du Teleno dans le Léon (Domergue, 1990, p. 133 et 414). La mine de plomb de Sinjata Voda en Bulgarie (Maksimov, 1971). Dans l'ancienne Dacie (Roumanie), la mine d'or Alburnus Maior, Rosia Montana (Santimbreanu et Wollman, 1974, p. 254-255). La mine d'or de Dolancothy, au sud du Pays de Galles (Holman, 1927). Ajoutons, avec une réserve quant à la datation, la mine de cuivre de Parys-Mountain, Tryselwyn, dans l'île d'Anglesey (Pennant, 1781, an IV). A cette liste s'ajoute depuis peu la découverte d'abattage au feu dans les mines d'or gauloises du Limousin (Cauuet, inédit).

Moyen-Age et Renaissance

Probablement au Haut Moyen-Age, la mine de plomb de Vallauria, commune de Tende, Alpes-Maritimes (Mari et Turco, 1986, p. 240). Au XI^{ème} siècle les Pisans auraient repris les mines antiques de plomb argentifère de Sardaigne en creusant un puits de 180 m de profondeur par le feu (Collins, 1893, p. 83). Les mines d'argent carolingiennes de Melles, dans les Deux-Sèvres, ont été ouvertes par le feu (Sauvaget, 1907 et Tereygeol, inédit). Aux XIII-XIV^{èmes} siècles, mines de Massa Marittima, Toscane, en Italie (Simonin, 1858, p. 597). Les mines d'argent de Brandes-en-Oisans ont très largement connu l'abattage au feu entre les XII^{ème} et XIV^{ème} siècles (Bailly-Maître, 1994, p. 62 à 95). Le feu aurait été utilisé dès 1359 au Rammelsberg, dans le Hartz (Collins, 1893, p. 83). Au milieu du XV^{ème} siècle, pour tenter d'ouvrir le travers-banc du Vernay à la mine de cuivre argentifère de Jacques Cœur à Pampailly, (Brussieux, Rhône), les mineurs furent ponctuellement amenés à utiliser le feu dans des roches très siliceuses (Benoit-Deroin, 1994, p. 49). Localement, cette méthode fut également pratiquée dans les mines d'argent des Vosges et d'Alsace au XVI^{ème} siècle. Elle est reconnue dans plusieurs mines médiévales du Briançonnais, notamment au Fournel, à L'Argentière-la-Bessée dans les Hautes-Alpes (Anonyme, an V, p. 778 et Ancel, inédit).

Mentionnons à part la mine de cuivre de Bouco-Payrol, commune de Brusque en Aveyron, dans laquelle l'ouverture par le feu fut en usage à l'Age du Bronze, dans l'Antiquité gallo-romaine et au Moyen-Age (Lechelon, inédit).

Epoque moderne et contemporaine

A la Sala en Suède, on a pratiqué à l'aide du feu «une excavation de 30 m de large sur 50 m de long et 50 m de hauteur» (Haton de la Goupillière, 1883, p. 167). Egalement en Suède, aux mines de cuivre de Falun, on a creusé une galerie de 400 m à raison de 1,5 m par mois (Timberlake, 1990-1). D'une manière générale, Durocher note, en 1855: «au commencement de ce siècle, le feu était universellement employé comme moyen de dislocation de la roche

dans les mines de fer de la Suède et de la Norvège». Vers 1870 l'abattage au feu est utilisé dans la mine de plomb du Grand-Clôt à La Grave, dans les Hautes-Alpes (Baudinot, 1869 et Chabrand, 1892, p. 14). Nous l'avons vu, le feu est employé à la fin du XVIII^{ème} siècle à Felsobanya en Hongrie (Deliuss - Schreiber, 1778), au Rammelsberg dans le Hartz, en Saxe à Altenberg, à Gayer, et à la mine d'étain de Ehrenfriedersdorff (Werner - Daubuisson, an XIII). Ce mode d'abattage est aussi pratiqué vers 1880 à Altenberg en Saxe (Haton de la Goupillière, 1883, p. 167). Hors de l'Europe et du métal, au XIX^{ème} siècle, cette technique était employée dans les mines de turquoises de Los Cerillos au Nouveau-Mexique (Collins, 1893), pour l'extraction du jade en Birmanie et de l'or en Corée (Foster, discussion suivant l'article de Collins 1893).

A partir de leur ouverture en 1623, et jusqu'en 1890, les mines d'argent de Kongsberg ont utilisé l'abattage au feu. D'abord conjointement avec l'usage de la pointerolle, puis à partir de 1659 parallèlement avec la poudre et encore la pointerolle (jusqu'en 1730). Dans une première période, il semble que les filons de calcite argentifère étaient entaillés à la pointerolle, avant que le feu ne fut appliqué afin d'élargir la voie. Ensuite l'on abandonna la taille préalable pour ouvrir directement avec le feu, après avoir recouvert le filon d'argent avec de l'argile, sans doute pour éviter de perdre des particules par décrépitation. Les bûchers n'étaient pas en contact direct avec le front de taille. Les mineurs constituaient de petits bûchers répétés devant un même front, avec des grosseurs de bois et des arrangements différents. Quatre à cinq feux pouvaient être allumés dans une même journée. Malgré des puits d'aération au jour et des communications entre galeries, de nombreux accidents mortels eurent lieu à cause des gaz et fumées, jusque dans les années 1840. A cette époque l'on équipa les galeries de plafonds en bois, puis plus tard en briques, au-dessus desquels circulait la fumée. En complétant ce dispositif par des parois à l'arrière du brasier, l'on parvint à creuser au feu sur des distances de plus de 500 m. En installant des cloisons dans les puits, on permit également une circulation satisfaisante de l'air frais d'un côté et des vapeurs de l'autre. A partir de 1860 l'usage de fleurets en acier et l'introduction du travail à un seul homme pour l'abattage à la poudre commencèrent à devenir plus rentable que l'ouverture par le feu. Il fallut toutefois attendre l'apparition de la dynamite en 1872 pour que l'explosif prenne le pas sur le feu qui fut définitivement abandonné en 1890. Jusque là, bien que coupé relativement loin, transporté par flottage puis par chevaux, le bois et la main d'œuvre nécessaires à l'ouverture par le feu étaient la méthode la plus rentable car à la fois moins onéreuse globalement et plus efficace en rapidité de creusement (Collins, 1893 et Berg, 1992).

Cette revue de sites miniers essentiellement européens présentant des vestiges de l'ouverture par le feu est loin d'être exhaustive. De nombreux autres sont répertoriés dans divers pays, publiés et inédits, et chaque année les prospections alimentent la moisson des archéologues miniers pour toutes les époques. On le voit, il s'agit d'une pratique courante à travers les siècles et fort répandue au moins sur le vieux continent, dont les témoignages archéologiques sont abondants.

TENTATIVES D'AMÉLIORATIONS TECHNIQUES

Des tentatives d'améliorations techniques ont eut lieu, soit avec le bois, soit en utilisant d'autres combustibles. Ainsi la tourbe au Rammelsberg et la houille à Altenberg

ont été vainement essayées (Collins, 1893). Un porte-bûcher à grille en fer, muni de roues («pregelkatze»), a été utilisé à Felsobanya en Hongrie (Deliuss - Schreiber, 1778, p. 247). D'après Haton de la Goupillière: «Ce moyen un peu primitif a été perfectionné dans l'appareil Hugon qui a été employé à la mine des Challanches (Oisans). Il consiste en un fourneau mobile sur rails et alimenté par un petit ventilateur, de manière à pouvoir concentrer une action calorifique intense sur un point donné» (Haton de la Goupillière, 1883, p. 170, texte et figure 137 pour l'appareil Hugon, sans doute tiré de Schreiber qui dirigea la mine des Challanches à Allemont en Isère). Cet usage de l'appareil d'Hugon, dérivé d'une invention de M. de Lapparent, était en fait marginal car il servait normalement à brûler la surface des bois de mine ou des traverses de chemin de fer pour en améliorer la conservation (Callon, 1874, p. 243). Dans la mine de plomb du Grand-Clôt à La Grave, on utilisait non seulement le bois, mais également «de la houille flambante, placée dans une espèce de cornue portable» (Chabrand, 1892, p. 14). Cet appareil était alimenté en vent par une soufflerie tantôt hydraulique, tantôt à vapeur, et lorsqu'elle ne pouvait fonctionner, on avait recours aux bûchers de bois (Baudinot, 1869). Le coke avait aussi été utilisé à la mine de Saint Christoph, près de Breitenbrum en Saxe (Timberlake, 1990-1). C'est à Kongsberg en Norvège qu'après plus de 200 ans d'usage, dans les années 1840, on améliora considérablement l'abattage au feu. L'installation de parois en métal ou en brique à l'arrière des bûchers, combinée à des conduits d'évacuation des fumées, permit au feu d'avoir une efficacité optimale par effet de four, même fort loin du jour (Berg, 1992, p. 73).

La question de l'aspersion

L'aspersion est mentionnée par Tite-Live et par Pliny l'Ancien, avec du vinaigre (*acetum*). Du récit du premier, nous pouvons déduire que le vin transporté par les troupes d'Hannibal était quelque peu «piqué»... Les historiens n'ont pas manqué de s'étonner de ces mentions car le vinaigre, ou acide acétique, ne peut avoir aucun effet sur les roches siliceuses qui sont justement celles soumises au feu. Les expériences d'Holman ont montré une efficacité de l'aspersion avec de l'eau à 10° C comme à 100° C sur du quartz chauffé à 575° C (Holman, 1927, p. 229). Pour accroître l'action fracturante du feu sur la roche, il convient de provoquer un choc thermique, ce qui signifie qu'il faut pouvoir accéder au front de taille travaillé par le feu, avec un liquide en quantité suffisante et au moment où la roche est encore à une température très élevée. Cela ne pouvait avoir lieu que dans des travaux souterrains très bien aérés (par puits au jour ou par des faux plafonds dans les galeries comme à Kongsberg, par exemple). Il n'en existe aucune mention ni aucune preuve dans les grandes mines scandinaves ouvertes par le feu et Berg (1988, p. 61, note 4) n'hésite pas à qualifier l'aspersion de mythe issu de notre inconscient collectif. Cette pratique, finalement sans doute assez marginale si elle exista réellement (remarquons qu'Agricola ne la mentionne pas), serait aisément repérable à partir des charbons résiduels. En effet, le choc thermique provoqué par un liquide froid sur des braises fait éclater la structure anatomique du bois qui devient brillante comme un miroir et tout à fait illisible sous le microscope de l'anthracologue. Nous sommes en mesure d'affirmer que dans les mines antiques pyrénéennes dont nous allons parler, l'aspersion ne fut pas pratiquée, puisque les

charbons résiduels sont tous parfaitement identifiables.

II-EXPLOITATION ARCHÉOLOGIQUE DES DÉPÔTS RÉSIDUELS ET EXPÉRIMENTATIONS EN ARIÈGE

Que nous apprennent les charbons de bois résiduels de l'ouverture par le feu dans les mines, sur le milieu forestier et les pratiques des mineurs? Que peuvent traduire une permanence, ou au contraire une éventuelle évolution des taxons présents le long d'une séquence stratigraphique de déblais miniers, ou bien de dépôt en dépôt en allant du jour vers le fond d'une mine? Qu'apporte la confrontation de ces charbons avec ceux issus des divers foyers de la même population pour d'autres usages?

Il fallait des prolégomènes à cette nouvelle voie de recherche, nous avons tenté de les initier à partir d'un site minier global pyrénéen.

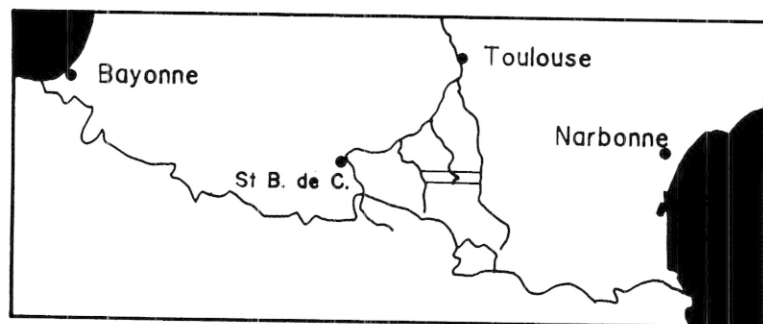
LES MINES D'ARGENT ET DE CUIVRE ANTIQUES DU SÉRONAIS (Ariège)

Au pied du premier gradin du front montagnard des Pyrénées ariégeoises, entre Saint-Girons à l'ouest et Foix à l'est, sur une vingtaine de kilomètres de distance et à environ 500 m d'altitude moyenne, se situent plus de vingt sites archéologiques de la fin du II^e et de la première moitié du I^{er} siècle avant notre ère, dont 18 sites miniers pour l'argent et le cuivre comportant, pour certains, plusieurs réseaux distincts (Carte figure 1). Deux mines au moins (Le Coffre et Le Goutil-L'Argentario) offrent des indices d'habitat sur place et la plaine de Nescus montre les vestiges d'un site d'habitat situé en plein cœur du district d'extraction. L'homogénéité tant du mobilier céramique que des techniques minières, conduit à considérer la zone comme un site global au sein duquel il conviendrait d'affiner la chronologie des sites ponctuels.

Certaines de ces mines ont fait l'objet de reprises d'exploitation à la fin du XIX^e siècle et au début du nôtre, sur des minéralisations non repérées par les «Anciens», d'autres sont demeurées intouchées depuis 2000 ans. Quelques-unes ont été creusées sur une centaine de mètres en verticale, sous le niveau des torrents (La Calotte, Pétaeille), d'autres ont suivi des réseaux de filonnets enchevêtrés dans les dolomies (Goutil-L'Argentario). Les unes conservent les empreintes de l'ouverture à la pointerolle (Pétaeille, Rouge...), d'autres offrent les vestiges de l'abattage au feu (Coustalade, Hautech) et certaines présentent des reliquats des deux méthodes (Goutil-L'Argentario).

Jusqu'à présent l'environnement forestier antique du front montagnard nous échappait, notamment du fait que ce secteur est dépourvu de zones tourbeuses qui auraient permis une approche palynologique sur le long terme, comme cela a été fait pour la zone montagnarde elle-même. Par extrapolation à partir de ces travaux sur les tourbières d'altitude (Kenla-Jalut, 1979, Jalut, 1984-1 et -2 et Galop, inédit, thèse en cours), on pouvait imaginer qu'à partir de la fin du dernier âge glaciaire et plus particulièrement sous la poussée anthropique de l'Age du Bronze, la sapinière s'était progressivement transformée en hêtraie-sapinière. Cette hypothèse pouvait s'appuyer sur la composition des forêts du XVII^e siècle visitées à l'occasion de la Réformation (1) dans lesquelles sapin et hêtre co-existent. De nos jours, les bois des environs de La-Bastide-de-Sérou

(1) Archives de la Réformation de 1669 par De Froidour, Archives Régionales de Midi-Pyrénées, série P, dossier K1.



SERONAI, FRONT MONTAGNARD ARIEGEOIS

Carte des sites fin IIe à milieu Ier siècle av. n. e.

- | | | | |
|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 - La Calotte | 2 - Coumetorte | 3 - Coustalade | 4 - Rouge |
| 5 - Petareille | 6 - Chateau St Barthelemy | 7 - Goutil / Largentario | |
| 8 - Bugnas | 9 - Hautech | 10 - Esquinares | 11 - Tuillerie |
| 12 - Lagarde | 13 - Nescus | 14 - Berny / Le Coffre | 15 - Moutou |
| | | | 16 - Gayet |
| | | | 17 - Matet |

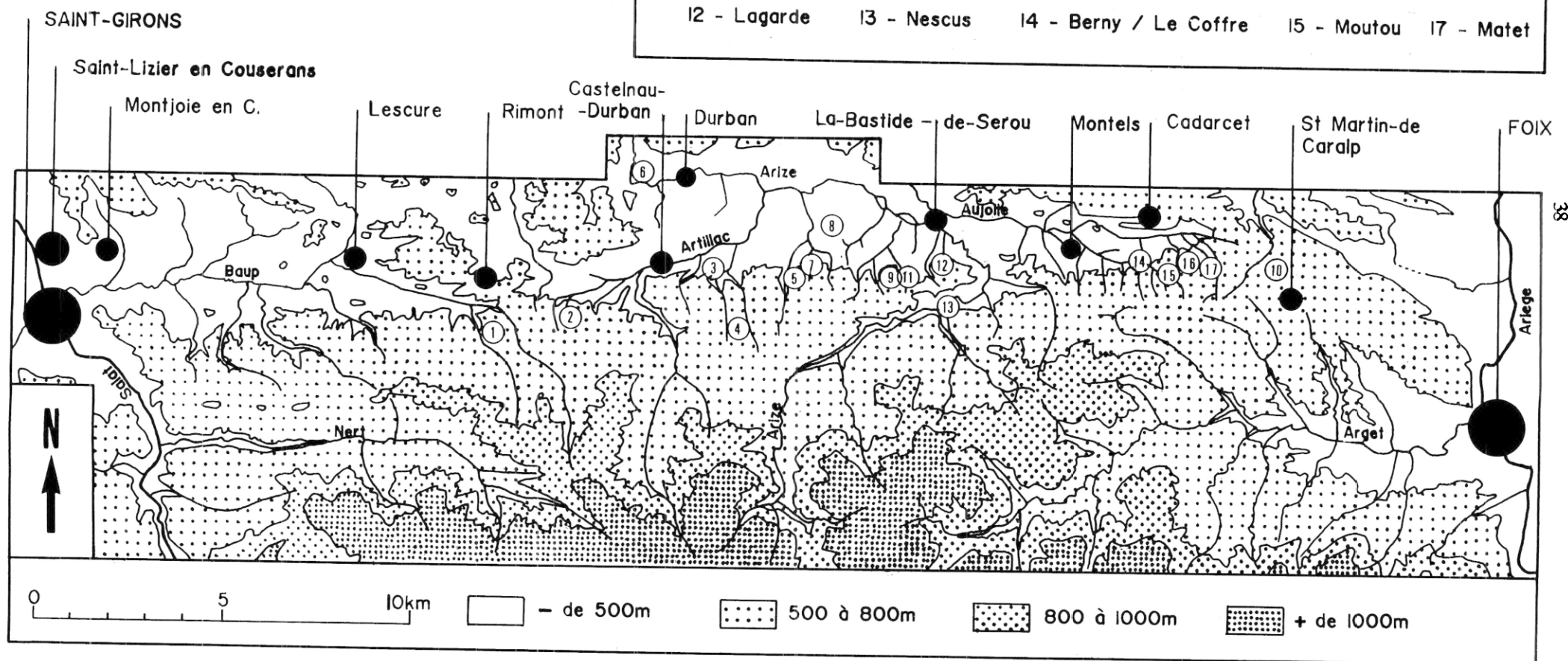


Fig. 1: Seronais, front montagnard ariégeois, carte des sites fin IIème à milieu Ier siècle avant n.è.

recolonisent les espaces consacrés aux cultures et à la fauche il y a 50 ans. Les espèces liées à la présence humaine (merisier, pruniers etc...) dégénèrent, le hêtre règne en maître, mais les semis naturels de sapins sont de plus en plus nombreux parmi les feuillus, tant à partir de vieux portes-graines isolés que de plantations récentes.

Le modèle de la hêtraie-sapinière montagnarde est-il réellement transposable au front nord montagnard? Si oui, comment les mineurs se sont-ils comportés par rapport aux deux essences dominantes et, au bout du compte, quelle fut l'influence du phénomène minier antique sur la forêt?

LES SITES PONCTUELS DE RÉFÉRENCE

Sur le site de la Coustalade (commune de Castelnau-Durban), la reprise d'exploitation de la fin du XIX^{ème} siècle a très largement détruit les vestiges antiques. Toutefois, ces travaux récents permirent de découvrir dans les anciens déblais une sorte de long rateau en fer (2) dont on peut présumer qu'il servait à tirer le minerai abattu par le feu et les braises à l'écart du front de taille brûlant.

Le site minier du Goutil-L'Argentario (commune de La Bastide-de-Sérou) comporte deux réseaux distincts, de part et d'autre d'un petit vallon comblé sur plusieurs mètres d'épaisseur par les déblais, et plusieurs autres départs souterrains bouchés. Le réseau 2 couvre environ 1 hectare en souterrain et décrit un spectaculaire labyrinthe qui poursuit les fractures minéralisées en tous sens (Plan figure 2). L'ouverture par le feu y est généralisée, mais l'on note des travaux à la pointerolle, parfois en sur-imposition au feu (photo 2). Les fronts de taille sont nombreux et recèlent des déblais charbonneux. Toutefois une datation faite sur un prélèvement provenant du front de taille le plus éloigné du jour et d'allure différente du reste de la mine a montré que ces travaux avaient fait l'objet d'une reprise au XIV^{ème} siècle (3), d'ampleur inconnue (tentative très limitée ou importante?). L'exploitation paléo-environnementale des charbons résiduels de ce vaste et complexe réseau devra donc s'appuyer sur des datations systématiques et des relevés topographiques détaillés.

La colline d'Hautech comporte 4 travaux miniers antiques connus, dont 1 tranchée remblayée (n°1), 2 travaux souterrains ouverts par le feu remblayés et noyés au bout de quelques mètres (n°s 2 et 3), et une mine plus importante (n° 4). Cette dernière se développe sur au moins 60 m de profondeur dont 40 m sont visitables et 200 m de longueur estimée à la base (noyée et remblayée) (Coupe développée figure 3). La dolomie du Dévonien comporte de nombreuses micro-fractures silicifiées qui lui confèrent sa dureté. Les parois lisses et concaves se délitent encore localement en écailles comme celles qui composent les déblais stériles. Les sondages effectués dans les haldes (déblais rejetés à l'extérieur) montrent l'abondance des charbons de bois résiduels de l'abattage par le feu. Quelques poches de déblais charbonneux existent encore *in situ* dans des petites excavations latérales du défilage souterrain. Quatre d'entre eux ont fait l'objet d'un prélèvement, ainsi qu'un dépôt semblable dans l'une des mines voisines (n° 3), en amont de la partie profonde remblayée et noyée.

Nous avons recueilli plusieurs litres de ces déblais, desquels nous avons extrait les plus gros morceaux de dolo-

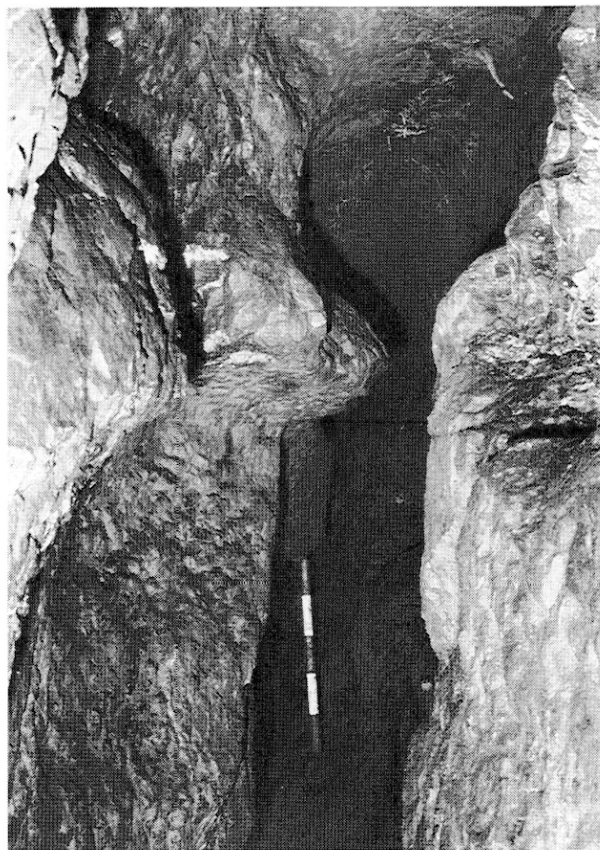


Photo 2: Goutil-L'Argentario, réseau 2. Galerie ovoïde supérieure ouverte par le feu dont le plancher a été percé par un défilage à la pointerolle.

mie. Le passage au tamis à la maille de 5 mm dans un courant d'eau a permis de récupérer par flottation les charbons de bois, sans distinction de tailles, selon le protocole méthodologique normalisé de l'anthracologie (Chabal, 1989 et Davasse, 1992).

Nous n'avons abordé les déblais miniers qu'au moyen de sondages très limités. Ces investigations de reconnaissance ont révélé, tant au Goutil-L'Argentario qu'à Hautech, la présence de charbons de bois mêlés aux écailles de dolomie chauffée des stériles. Mais il conviendrait de fouiller ces dépôts sur des échelles plus grandes qui autorisent des prélèvements de charbons au sein de stratigraphies bien repérées.

Des sondages archéologiques menés sur deux fosses dépotoirs riches en mobilier domestique, sur le site minier du Goutil-L'Argentario et à Nescus, ont livré des charbons de bois prélevés par tamisage du sédiment de remplissage.

PREMIERS RÉSULTATS

Les quatre prélèvements de la mine n° 4 d'Hautech ont donné les résultats qui suivent, en allant du jour vers le fond des travaux (Coupe figure 3).

1 - Sur 100 charbons: 40 *corylus avellana* (noisetier), 38 *fagus sylvatica* (hêtre), 4 *quercus* sp. (chêne), 4 *prunus avium* (merisier), 4 *populus* sp. (peuplier), 3 *castanea sativa*

(2) Rapport de l'Ingénieur des Mines G. Vieira, en 1875, Archives de la DRIRE Midi-Pyrénées, dossier A 36.

(3) Gif-sur-Yvette n° 8926, sur 40 grammes de charbons de hêtre n'ayant pas plus de 7 à 8 cernes. Dates calibrées: 1307-1450 avec un fort pic de probabilité entre 1375 et 1400.

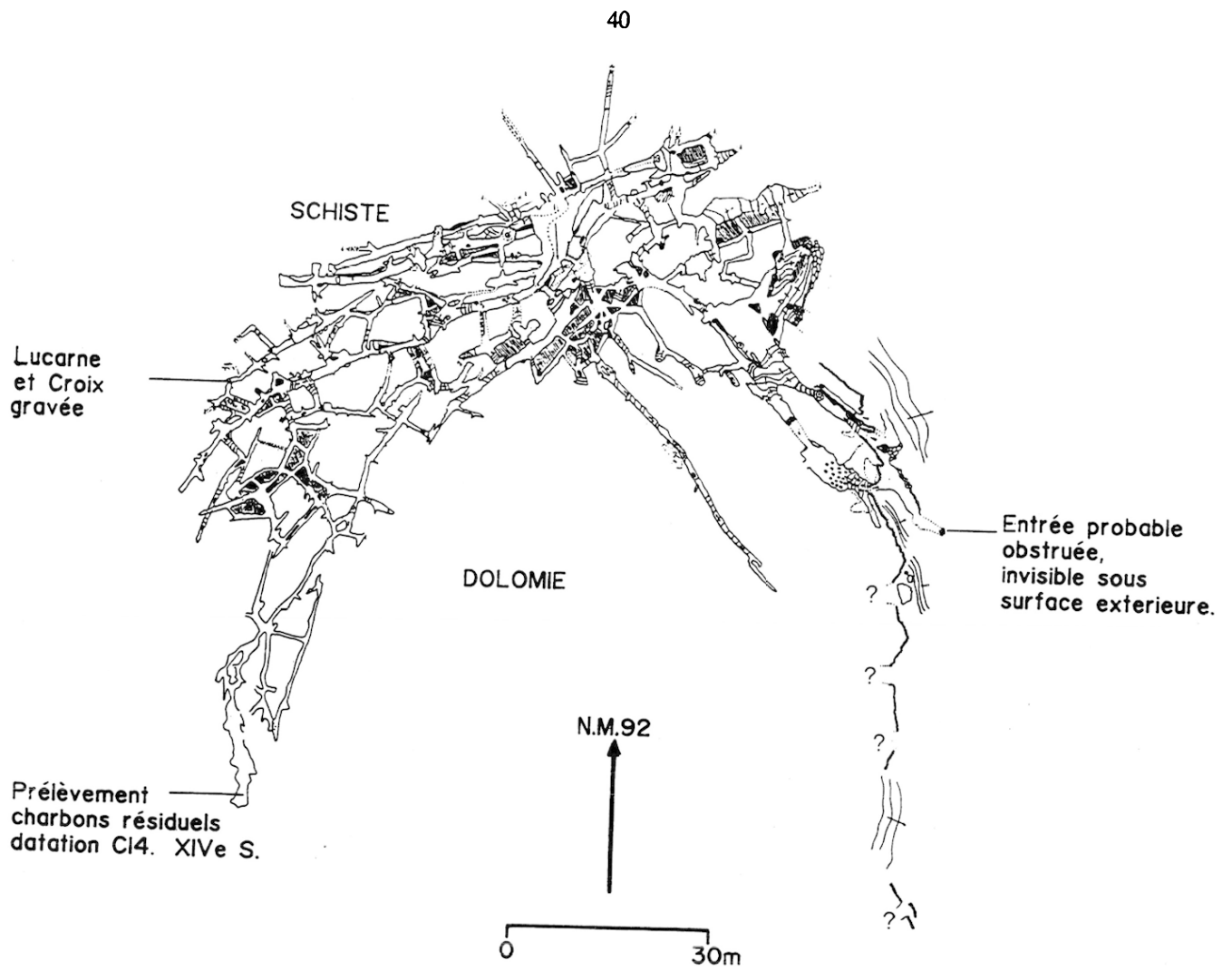


Fig. 2: La-Bastide-de-Serou, le Goutil, l'Argentario, plan topographique du réseau 2, par J.P. Calvet et G. Armengaud, 1992.



Photo 3: Hautech 3. Cavité ovoïde ouverte par le feu et dépôt résiduel d'écaillés de dolomie, de barytine et de charbons de bois.

(châtaignier), 2 *alnus* sp. (aulne), 1 *juglans* (noyer), 1 *prunus* sp. (tribu du prunier), 1 *pirus* sp. (tribu du pommier) et 2 indéterminés.

2 - Sur 30 charbons: 28 *fagus* et 2 *pirus malus* (pommier sauvage).

3 - Sur 100 charbons: 97 *fagus*, 1 *populus* sp., 1 *abies alba* (sapin) et 1 indéterminé.

4 - Sur 75 charbons: 74 *fagus* et 1 *quercus* sp.

Un prélèvement effectué dans la mine n° 3 (photo 3) a livré 30 charbons de *fagus*.

Fosse dépotoir du site d'habitat de Nescus: sur 30 charbons, 29 *abies alba* et 1 *fagus*.

Fosse dépotoir domestique du Goutil-L' Argentario: sur 100 charbons, 61 *fagus*, 22 *buxus* (buis), 16 *abies* et 1 indéterminable.

Réseau du Goutil-L' Argentario n° 2, prélèvement au pied

d'un front de taille d'allure antique (sous réserve de datation): sur 150 charbons, 146 *fagus*, 2 *buxus*, 1 *abies* et 1 indéterminable.

Malgré la faiblesse de l'échantillonnage, ces premiers chiffres mettent plusieurs faits en évidence. La présence de merisier, noisetier, buis, noyer etc... montre un paysage anthropisé sans doute proche des travaux miniers. Le hêtre et le sapin formaient certainement l'essentiel du fond forestier. La répartition des différents taxons selon les types de dépôts livre également deux indications. Les mineurs ont choisi préférentiellement le bois de feuillus pour l'abattage au feu. Dans un premier temps ils semblent avoir utilisé tous les arbres proches de la mine (prélèvement 1 de Hautech n° 4) avant de passer à l'exploitation sélective du milieu forestier.

Ces premiers résultats, pour modestes et parcellaires

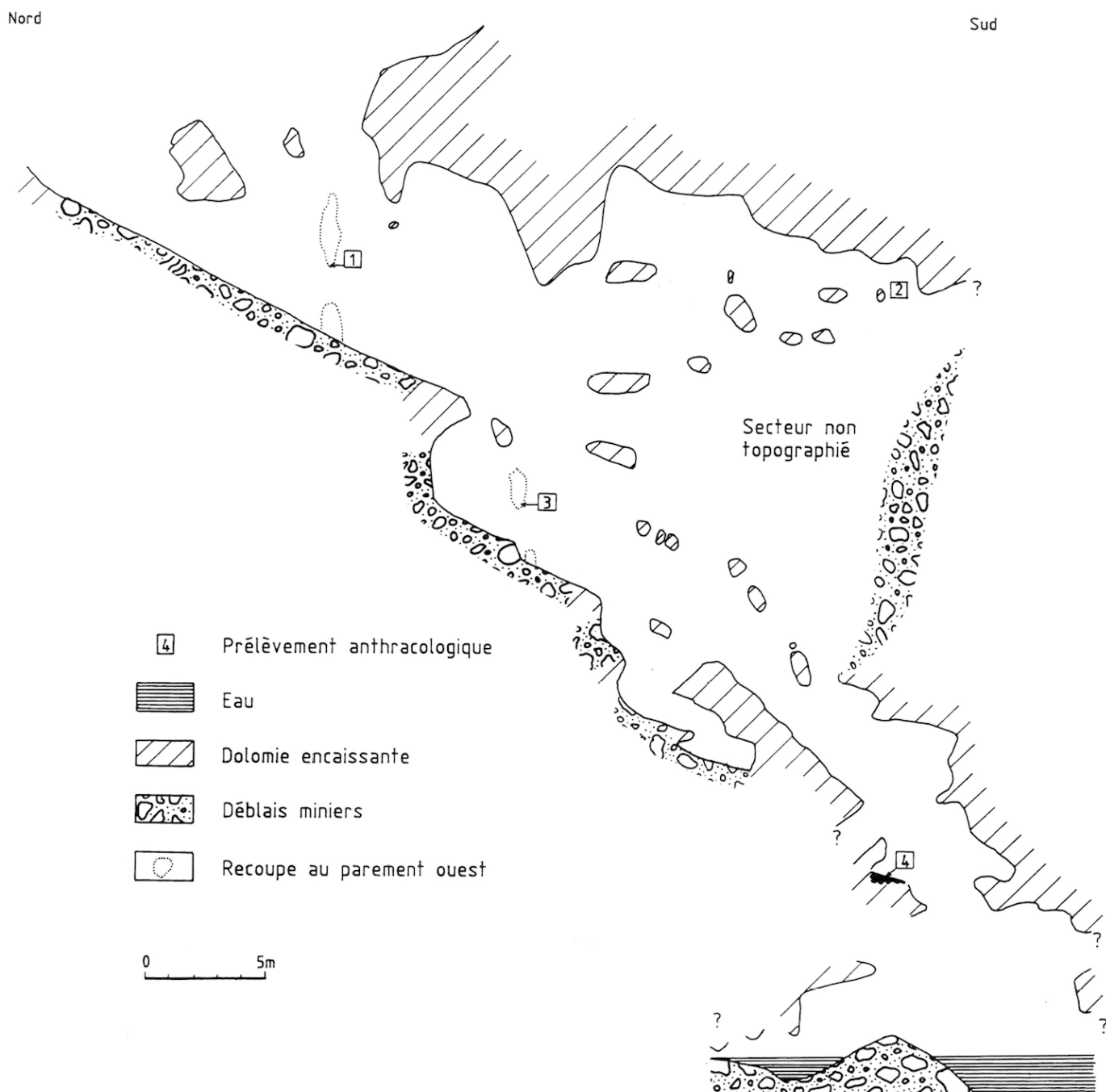


Fig. 3: Larbont, mine d'Hautech: coupe développée. Relevé: Dubois C., Guilbaut J.E., Guillot F., Ravaiau N.

qu'ils soient, attestent déjà l'intérêt de cette nouvelle méthode de recherche. Bien entendu il conviendra d'augmenter le nombre de prélèvements et la quantité de charbons identifiés afin d'asseoir les conclusions et de les affiner.

L'EXPÉRIMENTATION NÉCESSAIRE

Au-delà des indications sur les essences présentes dans le paysage minier antique et sur les pratiques des mineurs, nous nous interrogeons sur les quantités de bois qui ont été utilisées pour l'abattage au feu, afin d'estimer l'impact de cette technique sur le couvert forestier. Pour cela nous avons eu recours à l'expérimentation.

L'approche expérimentale de l'ouverture par le feu est nouvelle, mis à part deux essais anciens en laboratoires. En 1861, Daubrée conseillait aux ingénieurs italiens qui creusaient le tunnel du mont Cenis, de renouer avec l'abattage au feu, mais d'une façon modernisée. Il s'agissait d'appliquer une expérience de laboratoire qui montre que la chaleur intense et rapide d'un chalumeau à oxygène et hydrogène fait décrépir les quartzites et permet de les forer (Daubrée, 1861). Également en laboratoire, Holman a montré que le processus est efficace sur le quartz à partir de 300 à 400° C (Holman 1927, p. 229 et 233). Des travaux britanniques récents (Willies, 1994) estiment que la température de 700° C pouvait aisément être atteinte et soutenue.

Ces dernières années les archéologues gallois ont procédé à des expérimentations *in situ*, dans les mines de l'Âge du Bronze (Pickin et Timberlake, 1988, Lewis, 1990, Timberlake, 1990-2), principalement dans le but d'étudier l'efficacité des marteaux de pierre et des piques en bois de cervidés, et de la méthode en général. Ces expérimentations ont été menées dans des endroits très ventilés et avec des rechargements périodiques en bois du brasier. Celle exécutée par P. Crew (Crew, 1989) se rapproche très nettement de nos propres conditions expérimentales, à la différence cependant que la gangue de la mine galloise de Rhiw Goch est quartzreuse alors que celle du Séronais est barytique.

En ce qui nous concerne, le site d'Hautech n'offrait pas de possibilité de mise en œuvre facile. Le réseau n° 2 du Goutil-L'Argentario ne communique plus avec l'extérieur que par un petit orifice alors qu'à l'époque de l'exploitation antique plusieurs galeries et puits au jour assuraient l'aérage, bien qu'ils fussent tous groupés sur quelques dizaines de mètres carrés alors que le labyrinthe souterrain couvre, nous l'avons dit, environ 1 hectare. Une expérimentation souterraine n'aurait pas été viable dans les conditions actuelles. En revanche la petite falaise dans laquelle l'entrée praticable est percée offre encore un filonnet de barytine semblable à ceux qu'ont exploités les mineurs de l'Antiquité, à ceci près qu'il est stérile, ce qui explique qu'il n'ait pas été attaqué. Un petit surplomb rocheux l'abrite.

Nous avons utilisé, conformément aux données anthracologiques, du bois de hêtre, sec, que nous avons pesé au moment de la constitution des bûchers. Nous avons fait 4 expérimentations successives en septembre 1992 (4).

Pour la première, nous avons mis un fagot de brindilles sèches sur le sol, contre la paroi, puis nous avons empilé des bûches de 1 m de long, de telle façon qu'elles étaient penchées: une extrémité en hauteur contre la roche, l'autre en bas vers le sol. Le bûcher atteignait 1,10 m de hauteur

contre la paroi. Environ 200 kg de bois ont été mis à feu. Au bout de 10 minutes les flammes mesuraient 2,50 m de hauteur et la roche commençait à éclater. Rapidement la barytine du filon se mit à décrépir et à se pulvériser aux alentours en poussière blanche. Certaines bûches glissèrent vers l'arrière en s'effondrant, mais partant du principe que les mineurs ne pouvaient pas intervenir sur le feu, nous n'avons pas remis ces bûches contre la roche. 48 heures plus tard nous ramassâmes 63,5 kg de dolomie et barytine tombés sous l'action du feu. La dolomie était alors rouge-grenat, tendre, et sonnait mat. Avec un piochon, une pointerolle en acier et une massette nous attaquâmes le front de taille. 166 kg ont encore été extraits ainsi (total 229,5 kg). Nous avons arrêté nos efforts lorsque la roche recommençait à sonner clair, à résister à la pénétration des outils et redevenait brun-roux. Le front de taille avait reculé de 2 à 15 cm selon les endroits, l'efficacité maximale ayant eu lieu vers le haut. Toutefois, nous considérons cette première expérimentation comme atypique car nous avons attaqué une roche altérée par vingt siècles d'intempéries et certains quartiers de roche n'offraient qu'une résistance limitée avant même la mise à feu.

Pour la seconde expérimentation, nous avons mis la même quantité de bois, mais posé horizontalement, de manière à éviter les pertes lors de l'affaissement du bûcher. Celui-ci atteignait 0,60 m de hauteur hors fagot d'allumage, pour 0,80 m de largeur, avec des bûches de 1 m de longueur et de nombreux vides. D'autre part, nous avons construit deux murettes latérales en blocs de pierre et terre, de façon à encadrer le bûcher comme dans une galerie, mais sans plafond. Le feu fut efficace durant 1 heure environ. 18 kg de tout venant tombèrent d'eux-mêmes et l'attaque manuelle en procura 89 de plus (total 107 kg). Le recul du front de taille était compris entre 1 cm vers le bas et 10 cm vers le haut.

La troisième expérimentation s'est également déroulée entre les deux murettes, mais avec des bûches de 0,50 m de longueur seulement, et refendues. En effet nous avions remarqué que la moitié au moins de nos bûches de 1 m flambait en pure perte. Nous avons posé quelques blocs de dolomie et une bûche transversale devant le fagot d'allumage, de manière à éviter que les bûches ne penchent vers l'arrière. 50 kg de bois ont été enflammés (photo 4). Au bout de 15 minutes les premiers décrépitement de la barytine se faisaient entendre. Ils étaient très intenses et accompagnés de projections, 5 minutes plus tard. L'action du feu fit tomber 8 kg de roche, l'intervention au piochon 24 kg de plus et l'attaque à la pointerolle et à la massette 42 kg supplémentaires: total 74 kg. Le front de taille a reculé de 3 cm vers le bas à 10 cm au centre et vers le haut.

La quatrième et dernière expérimentation se fit dans les mêmes conditions que la précédente, avec 58 kg de bois dont quelques bûches transversales destinées à surélever l'arrière des bûches dont la tête plongeait vers le filon. La barytine décrépitait au bout de 15 à 20 minutes et le feu brûla plus de 2 heures. L'action du feu ne provoqua la chute que de 4 kg de roche, surtout de la barytine, et creusa le filon sur 5 cm. 22 kg furent abattus au piochon, puis 40 à la pointerolle: total 66 kg. Le front de taille a reculé de 5 cm de façon homogène, c'est-à-dire tant en haut qu'en bas et au centre et tant sur les côtés que dans le filon.

Les résultats chiffrés sont résumés sur la figure 4 et dans le tableau 1.

Nos meilleurs résultats sont comparables à ceux obtenus par P. Crew au Pays-de-Galles, sauf pour le rendement

(4) Guilbaut, J.E., Métaillé, J.P., Tereygeol, F. et Magnet, J.L. pour la vidéo, ont participé à ces travaux.

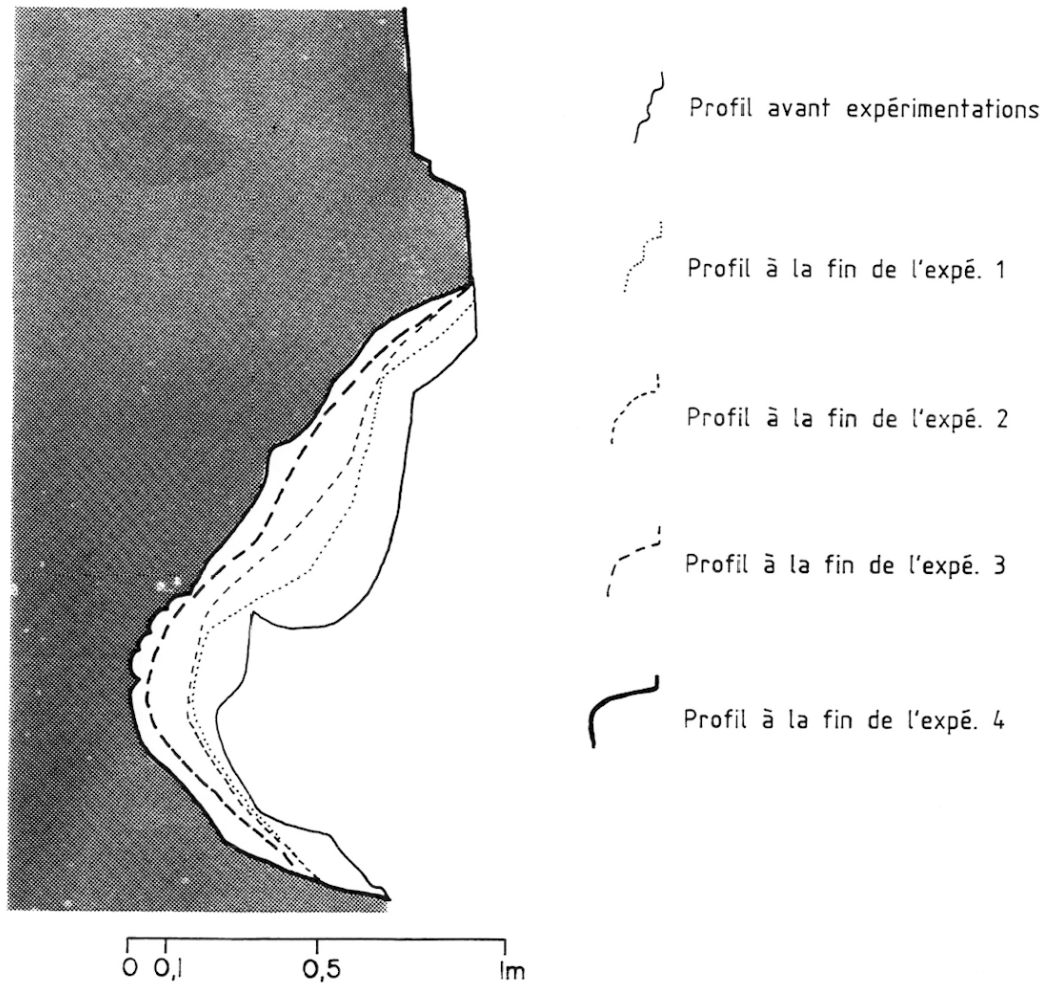


Fig. 4: La-Bastide-de-Serou. Le Goutil - L'Argentario 1992. Expérimentations d'ouverture par le feu, profils des fronts de taille successifs.

qui est moindre en ce qui nous concerne (1,5 au mieux pour nous contre 2 à Rhiw Goch). Une même constatation: la difficulté à creuser la roche vers le bas. Cette remarque rend délicate la transposition des résultats du Goutil-L'Argentario à la mine verticale d'Hautech, même si celle-ci fut aussi attaquée à partir de niveaux horizontaux. L'avancement pouvait être plus lent et donc les quantités de bois beaucoup plus importantes à Hautech qu'au Goutil-L'Argentario, à moins que les mineurs de l'Antiquité n'aient eu un savoir faire qui leur permettait de compenser la difficulté d'abattre un filon vertical en descendant. On peut toutefois en douter si l'on se réfère à ce que signale Delius pour les mines de Felsobanya dans lesquelles la sole des galeries creusées au feu était reprise à la poudre, ou encore à ce que note Durocher à propos des mines de Scandinavie: «La quantité de bois qu'il fallait consommer jadis dans le fonçement des puits était énorme et tout à fait hors de proportions avec celle que l'on emploie dans le perçement des galeries. Dans les pays de mines, la tradition a conservé le souvenir de vastes étendues de forêts qui ont été déboisées aux époques où on avait à foncer des puits» (Durocher, 1855, p. 243).

La première question à laquelle nous devons essayer de répondre, est celle de la durée de l'exploitation d'un réseau comme celui du Goutil-L'Argentario n° 2 dont tous les vides mis bout à bout approchent 1 km de longueur. Nous pouvons nous livrer à quelques calculs hypothétiques à partir des résultats des expérimentations. Il faut

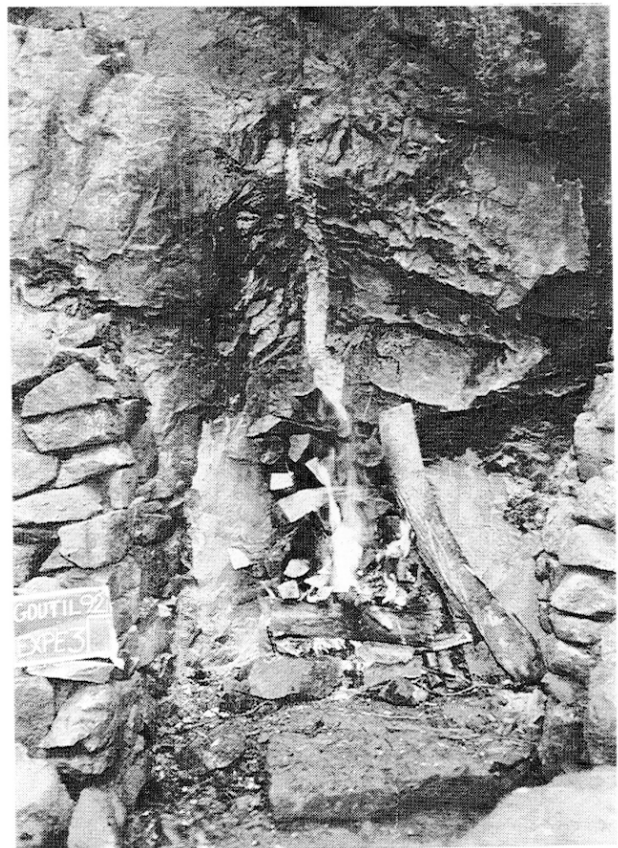


Photo 4: Goutil-L'Argentario. Expérimentation d'ouverture par le feu en 1992. Allumage du troisième bûcher.

EXPE N°	BOIS	ABATTAGE			Roche/Bois Rendement	Recul FdT 50 cm sol
		Feu seul	Manuel	Total		
1	200 Kg env.	63,5 Kg	166 Kg	229,5 Kg	1 env.	12 cm
2	200 Kg env.	18 Kg	89 Kg	107 Kg	0,5 env.	1 cm
3	50 Kg	8 Kg	66 Kg	74 Kg	1,48	10 cm
4	58 Kg	4 Kg	62 Kg	66 Kg	1,14	5 cm

Tab. 1

bien entendu garder à l'esprit que nous ne sommes pas dans les conditions réelles des Anciens mineurs: nous sommes à l'extérieur avec un excellent tirage, nous utilisons des outils en acier suédois, à l'inverse nous n'avons pas d'effet de four comme en souterrain, ni de conservation de chaleur dans la roche comme avec des feux répétés sans arrêt, et surtout nous sommes dépourvus de tout savoir faire, de toute expérience... Le bilan de ces différences nous semble d'ailleurs être à notre désavantage.

La multiplicité des filonnets autorisait l'abattage sur plusieurs fronts de tailles en même temps, avec comme limite les possibilités d'aérage et d'évacuation des fumées. Celles-ci étaient bien assurées par la présence de plusieurs orifices à différents niveaux, mais l'effet devait s'atténuer assez vite en s'éloignant dans le labyrinthe. On peut d'ailleurs penser que plusieurs petites lucarnes creusées hors minéralisation, qui mettent en communication deux secteurs profonds du réseau, avaient pour but de créer un courant d'air (5). Nous ne savons rien de la condition des mineurs, mais nous pouvons supposer que quelle qu'elle fut, le travail d'extraction souterrain se faisait jour et nuit. Combien de feux pouvaient se succéder sur un même front en 24 heures? Prenons comme base: feu lui-même 3 heures, refroidissement, évacuation des gaz 6 heures, déblaiement, abattage manuel et confection du bûcher 3 heures, l'évacuation des stériles, du minerai et l'apport des bûches pour le brasier suivant pouvant se faire pendant l'abattage manuel par une autre équipe, total 12 heures, soit 2 bûchers par 24 heures. C'est là le rythme de travail qui se pratiquait à Kongsberg au XIX^e siècle (Durocher, 1855, p. 248). Tablons sur 10 cm d'avancement par feu, quelque soit la hauteur du front de taille. Pour 2 feux par 24 heures sur 2 fronts de tailles simultanés reculant chacun de 10 cm par feu, il faudrait 10000 feux et 7 ans pour creuser 1 km de galeries. Pour 2 feux par 24 heures sur 3 fronts simultanés reculant de 10 cm, il faudrait 4 ans 1/2. On peut aussi supposer une organisation du travail comparable à celle de la mine de cobalt de Skuterud, en Norvège au XIX^e siècle: 3 à 4 bûchers de 1/3 à 1/2 stère par 24 heures, brûlant en un peu moins de 3 heures, avec intervention manuelle sans attendre le refroidissement. Avec ce système l'avancement moyen est de 5 m par mois dans une roche quartzreuse (Durocher, 1855, p. 247-248). Pour 3 feux/24 h, 3 fronts et 5 cm de recul, il faudrait 20000 feux et 6 ans. Pour 3 feux/24 h, 3 fronts et 10 cm de recul, il faudrait 10000 feux et 3 ans. Evidemment le nombre de fronts exploités en même temps a pu évoluer non seulement en fonction des possibilités d'aération mais aussi selon la

dynamique de développement des travaux. Bien entendu nos données sont hypothétiques, toutefois l'ordre d'idée obtenu ne semble pas aberrant et peut constituer une base de travail. Ainsi c'est peut-être environ 5 années qui furent nécessaires, seulement, pour creuser le réseau n° 2 du Goutil-L'Argentario.

Les calculs précédents permettent une seconde évaluation: celle de la quantité de bois consommée. Pour cela encore nous sommes dans le domaine de la spéculation, car nous ne savons rien de la quantité de bois réellement utilisée par les Anciens. Elle dépend de la manière dont était constitués les bûchers et de la dimension de ceux-ci. Nos deux derniers feux expérimentaux sont les plus petits (50 Kg, soit environ 1/4 de stère) et les plus efficaces. Ce type de feu permettrait d'effectuer 2 ou 3 opérations par 24 heures sur un front de taille d'environ 1 m de hauteur. Dans ce cas, 10 000 feux représentent 2500 stères et 20 000 feux 5000 stères. Dans une hêtraie-sapinière contenant 100 m³ de hêtre à l'hectare, il faudrait exploiter 250 à 500 hectares de futaie, soit 2,5 à 5 km². Ou encore 1/10^eme à 1/6^eme de la surface du premier gradin montagnard dans sa portion mise en exploitation minière.

Il est tout à fait évident que ces approximations de durée, de quantité de bois et de surface forestière nécessaire, faites à partir d'expérimentations empiriques, sont très hypothétiques. Néanmoins elles permettent de fixer des ordres de grandeurs vraisemblables à défaut d'être justes. Nous en tirons une première hypothèse de travail concernant l'impact de l'abattage par le feu sur l'environnement forestier. Les grandes mines ouvertes de cette façon ont probablement créé, en une dizaine d'années peut-être, des espaces déboisés de plusieurs kilomètres carrés autour d'elles.

Il serait particulièrement intéressant de saisir la dynamique forestière issue de cette situation. La pression minière favorisait-elle les feuillus qui rejettent de souche et le développement d'aires agricoles dans les secteurs topographiquement adéquats? Ou bien les espaces ouverts retrouvèrent-ils un équilibre entre semis de sapins et rejets de hêtres? Tout dépend de la densité et de l'intensité de l'anthropisation une fois le phénomène d'extraction minière terminé.

III- CONCLUSION

Les vestiges de mines métalliques en roches très dures, ouvertes par le feu, sont très nombreux en Europe. Ils peuvent faire l'objet d'études archéologiques et

(5) L'une de ces petites lucarnes présente non loin de son bord une croix gravée qui peut être une marque topographique indiquant au mineur où percer la paroi, en l'absence de minéralisation à suivre.

anthracologiques dans le but de fournir des données sur l'environnement forestier existant à l'époque de l'exploitation minière. On peut mettre en évidence des évolutions taxonomiques entre le début et la fin des travaux miniers à condition d'opérer les prélèvements de charbons résiduels en fonction de la dynamique de l'exploitation ou de la stratigraphie des déblais. La recherche de dépôts charbonneux voisins et contemporains des mines ouvertes par le feu permet de compléter l'image du peuplement forestier et de cerner des pratiques de prélèvements sélectifs selon les usages du bois. Des expérimentations autorisent, par approximation, une évaluation de la durée de l'exploitation minière et forestière et de la quantité de bois nécessaire.

Ainsi, alors que nous n'avions aucune donnée concernant le couvert forestier du front nord pyrénéen ariégeois dans l'Antiquité, nous disposons désormais d'une perception par l'intermédiaire des mines d'argent et de cuivre de la première moitié du I^{er} siècle avant notre ère. Les essences anthropiques, notamment les fruitiers, précédaient topographiquement une forêt de hêtres et de sapins. Après avoir puisé dans les essences liées à la présence de l'homme, les mineurs ont exploité sélectivement le hêtre pour l'ouverture par le feu, tandis que le sapin était utilisé pour divers autres usages. En quelques années, plusieurs kilomètres carrés auraient ainsi été déboisés, ce qui constituait sans doute alors la marque la plus spectaculaire de l'activité humaine d'extraction des minerais sur le paysage.

BIBLIOGRAPHIE

- AGRICOLA, 1556-1987 - *De Re Metallica*, traduit de l'édition originale latine de 1556 par A. France-Lanord, Thionville, G. Klopp, 84-85.
- ANONYME, 1797 - Suite du Tableau des Mines et Usines de la République, par ordre de Départements. Département des Alpes (hautes), *Journ. Mines*, 3, XXXIV, messidor an V, 761-790 (peut-être Charles Coquebert).
- BAILLY-MAITRE, M.C. et DUPRAZ, J., 1994 - Brandes-en-Oisans, la mine d'argent des Dauphins (XII-XIV^{ème} s.), Isère. *Doc. Archéol. Rhône-Alpes*, 9, Diff. ALPARA, Lyon, 169 p.
- BAUDINOT, 1869 - P.V. de visite à la mine du Grand Clot, à la Grave, en Hautes-Alpes, manuscrit, *Archives Nationales*, F 14 3866.
- BENOIT, P. et DEROIN, J.P., 1994 - L'ancienne mine de plomb argentifère de Pampailly en Lyonnais (XV^{ème} siècle): apport de l'archéologie minière à la connaissance géologique de la Série de la Brévenne (Massif central, France), *Chronique de la recherche minière, B.R.G.M.*, 514, 44-51.
- BERG, B.I., 1992 - Les techniques d'abattage à Kongsberg (Norvège) du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle: pointerolle, travail au feu et tir à la poudre, *Actes du colloque international sur les ressources minières et l'histoire de leur exploitation de l'Antiquité à la fin du XVIII^{ème} siècle*, tenu en avril 1988 à Strasbourg, Paris, C.T.H.S., 55-76.
- CALLON, J., 1874 - *Cours professés à l'Ecole des Mines de Paris, 2^e partie «Cours d'exploitation des mines»*, I, Paris, Dunod.
- CHABAL, L., 1989 - Perspectives anthracologiques sur le site de Lattes (Hérault), *Lattara*, 2, 53-72.
- CHABRAND, E., 1892 - *Essai historique sur l'origine de l'exploitation des mines métalliques et de la métallurgie dans les Alpes du Dauphiné*, Grenoble, Ed. X. Drevet. Publication du Journal Le Dauphiné, 23 pages.
- COLLINS, A.L., 1893 - Fire-setting: the art of mining by fire, *Journal of Federated Institute of Mining Engineers*, V, 82-88, plus commentaire de C. Le Neve Foster, 88-92.
- COMBES, C., 1844 - *Traité de l'exploitation des mines*, I, Paris, Carilian-Gœuvry et V. Dalmont, 292-297.
- CREW, P., 1990 - Firesetting experiment at Rhiw Goch, 1989, Early Mining in the British Isles, *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 57.
- DAUBRÉE, 1861 - Emploi de la chaleur et de la décrépitation qu'elle peut produire pour le percement de certaines roches très dures, et notamment des quartzites. *Ann. Mines*, 5^e série, XIX, Mémoires, 23-25.
- DAVASSE, B., 1992 - Aspects méthodologiques de l'anthracologie des charbonnières. Histoire des forêts de la vallée de Soulcem (Pyrénées ariégeoises, France), *Actes du colloque «Proto-Industries et histoire des forêts», tenu à Loubières (Ariège) du 10 au 13 octobre 1990*, Toulouse, *Les Cahiers de l'Izard*, 3, 207-221.
- DELIUS-SCHREIBER, 1778 - *Traité sur la science de l'exploitation des mines par théorie et pratique avec un discours sur les principes des finances*, fait par l'Académie Impériale et Royale de Schemnitz, par Christophe-François Delius, traduit en français par Schreiber. I, Paris, Imp. P.D. Pierres.
- DOMERGUE, C., 1990 - Les mines de la péninsule ibérique dans l'Antiquité romaine, *Collection de l'Ecole Française de Rome* - 127, Paris De Boccard.
- DUBOIS, C., 1992 - De la forêt au métal: premières données diachroniques et archéologiques en Ariège, *Actes du colloque «Proto-Industries et histoire des forêts», tenu à Loubières (Ariège) du 10 au 13 octobre 1990*, Toulouse, *Les Cahiers de l'Izard*, 3, 287-300.
- DUBOIS, C., 1995 - Mines, métallurgie et forêts antiques des Pyrénées ariégeoises, conférence donnée le 7 novembre 1993, *Bull. Soc. Géo. Toulouse*, 274, 1993-1994, 37-51.
- DUROCHER, J., 1855 - Notes sur l'exploitation des mines et des usines dans le nord de l'Europe, *Ann. Mines*, 5^e série, VIII, 213-364.
- GUILBAUT, J.E. et LANDES, C., 1977 - Les travaux miniers gallo-romains des Barrenes, commune de Fournes-Cabardes (Aude), *Bull. Soc. Et. scient. Aude*, LXXVII, 75-81.
- JALUT, 1984-1 - L'action de l'homme sur la forêt montagnarde des Pyrénées ariégeoises et orientales depuis 4000 B.P. d'après l'analyse pollinique, *Actes du 106^e Congrès National des Sociétés Savantes tenu à Perpignan en 1981*, Paris C.T.H.S., 163-172.
- JALUT, 1984-2 - Quelques aspects de l'action de l'homme sur le milieu montagnard pyrénéen: conséquences phytogéographiques, *Actes du colloque international «Ecologie et Biogéographie des Milieux Montagnards de la Haute altitude», tenu à Gabas en 1982*, *Documents d'Ecologie Pyrénéenne*, 3-4, 503-509.
- KENLA-JALUT, 1979 - Déterminisme anthropique de développement du hêtre dans la sapinière du Couserans (Pyrénées ariégeoises, France) durant le Subatlantique, *Géobios*, 12, (5), 735-738.
- LEWIS, A., 1990 - Firesetting Experiments on the Great Orme, 1989 «Early Mining in the British Isles», *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 55-56.
- MARI, G. et TURCO, G., 1986 - «Historique et production de la mine de Vallauria (Alpes-Maritimes)», *Actes du colloque «Les ressources minérales et l'histoire de leur exploitation» tenu en avril 1983 à Grenoble*, Paris C.T.H.S., 237-249.
- GILLE, B., 1969 - Les problèmes de la technique minière au Moyen-Age, *Rev. Hist. Mines et Métal.*, I, (2), Genève Droz, 279-298.
- HATON de la GOUPILLIÈRE, 1883 - *Cours d'exploitation des mines*, Paris, Dunod, I.
- HOLMAN, B.W., 1927 - Heat-treatment as an Agent in Rock-breaking, *Transactions Institute Mining Metals*, 36, 219-234 et discussions, 234-262.
- JOVANOVIĆ, B., 1980 - Les débuts de l'exploitation des mines de cuivre en Europe, *Pour la Science*, 33, 106-113.
- LAN, 1850 - Mémoire sur l'exploitation par le feu de la mine du Rammelsberg, mémoire de voyage manuscrit, remis le 14 nov. 1850, *Ecole des Mines de Paris*, 436.
- LANDES, C., 1989 - Les ressources minières antiques des Cévennes: premiers résultats *Actes du colloque «Mineria y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterraneas y europeas» tenu en octobre 1985 à Madrid*, I, 223-234.

- LE ROUX, C.T., 1975 - Les fabriques de haches polies en Bretagne, bref état de la question, *Actes du 98^e congrès national des Sociétés Savantes tenu à Saint-Etienne en 1973*, «Archéologie minière, Forez et Massif Central», Paris C.T.H.S., 9-20.
- MAKSIMOV, E., 1971 - Der alte Erzbergbau Bulgariens, *Géologie*, 20, p 558.
- MONNET, A.G., 1773 - *Traité de l'exploitation des mines*, Paris Didot 1773, re-édition Belfort Patrimoine Minier 1990, 79-82.
- PENNANT, 1796 - Description des mines de cuivre de l'île d'Anglesey, dans le pays de Galles, traduction anonyme (Charles Coquebert ?) de «Tour in Wales», Londres 1781, tome II, p. 265, dans *Journal des Mines*, 2, (XVI), nivôse an IV, 67-76.
- PICKIN, J. et TIMBERLAKE, S., 1988 - Stone hammers and fire-setting: a preliminary experiment at Cwmystwyth mine, Dyfed, *Bull. of the Peak District Mines Historical Society*, 10, (3), 165-167.
- PITTIONI, R., 1951 - Préhistoric copper-mining in Austria. Problems and Facts, University of London. Institute of Archaeology, 7th Annual Report.
- SANTIMBREANU, A. et WOLLMAN, V., 1974 - Aspecte tehnice ale exploatarii aurului in perioada romana la Alburnus Maior (Rosia Montana), *Acta Musei Apulensis, Apulum*, XII, Alba Iulia 1974, 240-279.
- SAUVAGET, 1907 - De l'exploitation des mines de Melle, *Bull. Soc. hist. et scient. Deux-Sèvres*, 49-62.
- SIMONIN, L., 1858 - De l'exploitation des mines et de la métallurgie en Toscane pendant l'Antiquité et le Moyen Age. *Ann. Mines, 5^e série*, XIV, Mémoires, 1858, 557-615.
- SIMONIN, L., 1859 - De l'ancienne loi des mines de la République italienne de Massa-Marittima (Toscane), *Ann. Mines, 5^e série*, XV, Partie administrative, 1-15.
- TIMBERLAKE, S., 1990-1 - Review of the Historical Evidence for the Use of Firesetting, «Early Mining in the British Isles», *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 49-52.
- TIMBERLAKE, S., 1990-2 - Firesetting and Primitive Mining Experiment, Cwmystwyth, 1989 «Early Mining in the British Isles», *Plas Tan y Bwlch Occasional Paper*, 1, 53-54.
- WERNER-DAUBUISSON, 1804 - Des différents degrés de solidité de la roche, considérés comme base des différents modes de l'entailler, traduit du Journal des Mines allemand tome I, p. 4, par Daubuisson, *Journ. Mines*, XVII, (97), vendémiaire an XIII, 5-16.
- WILLIES, L., 1994 - Firesetting technology, in «Historical Metallurgy Society Special Publication: Mining before powder», *Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, 12, (3).