Évolutions dans l'exploitation minière entre le second âge du Fer et le début de la période romaine dans le Sud-Ouest de la Gaule : le cas du district pyrénéen à cuivre argentifère du Massif de l'Arize

Emmanuelle Meunier

▶ **To cite this version:**

Emmanuelle Meunier. Évolutions dans l'exploitation minière entre le second âge du Fer et le début de la période romaine dans le Sud-Ouest de la Gaule : le cas du district pyrénéen à cuivre argentifère du Massif de l'Arize. Archéologie et Préhistoire. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2018. Français. NNT : 2018TOU20071 . tel-03092000

HAL Id: tel-03092000
https://theses.hal.science/tel-03092000

Submitted on 1 Jan 2021

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.

Université Fédérale
Toulouse Midi-Pyrénées

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par :
Emmanuelle Meunier

le vendredi 12 octobre 2018

Titre :

Évolutions dans l'exploitation minière entre le second âge du Fer et le début de la période romaine dans le Sud-Ouest de la Gaule. Le cas du district pyrénéen à cuivre argentifère du Massif de l'Arize.

École doctorale et discipline ou spécialité :
ED TESC : Sciences de l'Antiquité

Unité de recherche :
TRACES UMR 5608

Directeur/trice(s) de Thèse :

M. Jean-Paul MÉTAILIÉ - DR CNRS, GÉODE
Mme Béatrice CAUUET - CR CNRS, TRACES

Jury :
M. Philippe BARRAL - Professeur, Université de Franche-Comté - Rapporteur
Mme Nadine DIEUDONNÉ-GLAD - Professeur, Université de Poitiers
M. Stéphane MAUNÉ - DR CNRS, ASM
Mme Almudena OREJAS - Investigadora, CSIC, Espagne - Rapporteur
M. Christian RICO - Maître de Conférences HdR, Université de Toulouse Jean-Jaurès

Thèse en vue de l'obtention du
DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE
Délivré par l'Université de Toulouse - Jean Jaurès

Présentée et soutenue par
Emmanuelle Meunier
Le vendredi 12 octobre 2018

Évolutions dans l'exploitation minière entre le second âge du Fer et le début de la période romaine dans le Sud-Ouest de la Gaule. Le cas du district pyrénéen à cuivre argentifère du Massif de l'Arize.

École Doctorale TESC : Sciences de l'Antiquité

Unité de recherche : TRACES UMR 5608

Sous la direction de :
Jean-Paul Métailié (DR – CNRS)
Béatrice Cauuet (CR – CNRS)

Jury :
M. Philippe BARRAL - Professeur, Université de Franche-Comté - Rapporteur
Mme Nadine DIEUDONNÉ-GLAD - Professeur, Université de Poitiers
M. Stéphane MAUNÉ - DR CNRS, ASM
Mme Almudena OREJAS - Investigadora, CSIC, Espagne - Rapporteur
M. Christian RICO - Maître de Conférences HdR, Université de Toulouse Jean-Jaurès

Remerciements

C’est avec plaisir que je prends maintenant le temps de remercier tous ceux qui m’ont accompagnée au fil de ce doctorat, au premier rang desquels ma famille et mes amis.

En particulier, je tiens à remercier Béatrice Cauuet, qui a accepté de me conduire vers cette thèse et a su manœuvrer face à mon caractère parfois intransigeant. Sa grande disponibilité au cours de ces années et les longues discussions que nous avons eues ont nourri mes réflexions et ont beaucoup compté dans la construction de cette recherche.

À Jean-Paul Métailié, qui a accepté la codirection de cette thèse, je dois l’ouverture vers les questions environnementales. Son implication sur le terrain et lors de la mise en forme des résultats ont été déterminantes. Les perspectives mises en évidence dans ce domaine enrichissent la recherche et élargissent pour la suite mon horizon de réflexion.

L’accompagnement de Claude Dubois sur le terrain a été d’une grande aide dans les premières étapes de localisation des sites. Il a suivi avec bienveillance mon cheminement parfois tortueux à travers ces mines de l’Arize qu’il avait lui-même parcourues et a bien voulu partager ses réflexions et idées lors de conversations toujours constructives.

Plusieurs autres personnes m’ont apporté avec générosité leur connaissance et expertise. Margot Munoz s’est chargée des analyses sur les scories et le minerai et m’a apporté un regard extérieur toujours bienvenu. Jean-Marc Fabre m’a accompagnée à plusieurs reprises sur le terrain et je lui dois une grande partie des belles photos souterraines, ainsi que des pistes de réflexion concernant l’histoire antique de sa région. Raquel Cunill a réalisé l’étude pédo-anthracologique préliminaire, inabordable sans elle. Muriel Llubes a supervisé les prospections géophysiques, qui ont contribué à localiser un atelier. Călin Tămaş, puis Michel Lopez et Emmanuelle Chanvry, qui se sont penchés sur la géologie, François Baleux pour le scanner 3D, Guillaume Verrier, Thomas Le Dreff, Fabienne Olmer, Laurence Benquet et Christine Dieulafait pour le mobilier, Bernard Léchelon pour les échanges au sujet de ses terrains d’étude, Vanessa Py pour les premières identifications anthracologiques : tous ont contribué à ce travail.

Sans pouvoir tous les nommer, je dédie une mention spéciale à tous ceux qui m’ont accompagnée sur le terrain, avec une pensée particulière pour les plus assidus, qui se reconnaîtront, et pour les membres du Spéléo Club de l’Arize, qui m’ont permis de dépasser mes limites. Sur place, la curiosité des habitants pour leur patrimoine a été une source de motivation pour mener cette étude et pouvoir leur en restituer les résultats. Ces opérations ont été menées avec le soutien du SRA Midi-Pyrénées/Occitanie-Toulouse, qui m’a également permis de bénéficier d’une Allocation de Formation et de Recherche en 2016.

Enfin, je remercie les membres du jury d’avoir accepté d’évaluer ce travail. Leur réponse positive rapide a été un encouragement pour tenir la dernière ligne droite.

Introduction

Le terrain de cette recherche est situé dans une région plurielle, le Sud-Ouest de la Gaule, que l'on définit ici comme l'espace entre l'Océan Atlantique, le versant nord des Pyrénées, la côte méditerranéenne languedocienne et l'axe Aude-Garonne bordé par la Montagne Noire (Fig. 1). C'est un véritable isthme à la croisée des influences atlantiques, méditerranéennes, ibériques et de l'Ouest de l'Europe continentale, qui s'expriment différemment à travers cet espace. Les exploitations minières anciennes y sont nombreuses et le district du massif de l'Arize en constitue un des secteurs importants.

On peut distinguer plusieurs sous-régions au sein de cet ensemble, qui ont souvent été étudiées indépendamment les unes des autres du fait de leurs caractéristiques particulières. La frange côtière languedocienne se distingue par ses relations anciennes et continues avec le domaine méditerranéen et le Nord-Est ibérique. À l'autre extrémité, l'Aquitaine, correspondant à l'aire délimitée par les Pyrénées au sud, l'Océan Atlantique à l'ouest et le cours de la Garonne au nord et à l'est, est un secteur dont la particularité apparaissait déjà aux yeux des auteurs classiques, tels César ou Strabon. Reliant ces deux extrémités, la chaîne pyrénéenne au sud et l'axe Aude-Garonne au nord forment deux entités bien distinctes par plusieurs aspects. Les Pyrénées demeurent, à quelques exceptions près, une zone de marges pour la recherche archéologique, alors que l'axe Aude-Garonne, voie de circulation et d'échange, concentre les vestiges archéologiques et l'intérêt de plus nombreux chercheurs. Les Pyrénées sont aussi subdivisées entre la haute montagne et le piémont et entre les différentes vallées, pour ne pas parler de la distinction entre les versants nord et sud. Le côté structurant de l'artère que constituent la vallée de l'Aude, le Lauragais et la vallée de la Garonne est plus souvent mis en avant. Le versant sud de la Montagne Noire, tourné vers cet axe, peut être intégré dans cette zone d'influence. Enfin, le Toulousain occupe une place particulière de par sa position à un point de rupture de charge sur la Garonne, en lien avec les Pyrénées par les vallées garonnaises et ariégeoises et ouvert sur le Massif Central et le Centre-Ouest de la Gaule.

Toute cette région connaît des transformations profondes entre le second âge du Fer et la période romaine, tout comme une large partie de l'Europe Occidentale. La mosaïque de territoires indépendants du début du second âge du Fer se fond dans l'Empire romain à partir des réformes augustéennes, où elle est répartie entre les provinces de Narbonnaise et d'Aquitaine. La période tardo-républicaine, marquée par la mainmise progressive de Rome sur cette région, a longtemps focalisé l'attention des chercheurs. Le fort développement économique observé à partir de la seconde moitié du II^{e} s. av. n. è. était mis au crédit de l'influence de Rome, les relations avec le monde méditerranéen étant présentées comme un élément fondamental dans les évolutions constatées à cette période (essor économique, structuration des entités politiques, développement du fait urbain). La rareté des données concernant les siècles immédiatement antérieurs, soit la première moitié du second âge du Fer, tendait à renforcer cette vision. Les recherches récentes ont cependant montré que les

racines des processus identifiés aux II[e] et I[er] s. av. n. è. sont à rechercher dans des dynamiques que l'on retrouve à l'échelle de l'Europe Celtique, mises en évidence dès le III[e] s. av. n. è. et initiées au cours du IV[e] siècle (Mennessier-Jouannet *et al.* 2007 ; Buchsenschutz *et al.* 2012 ; Sireix 2013a ; Fichtl & Guichard 2016). Les influences méditerranéennes ne se font ressentir que dans un deuxième temps.

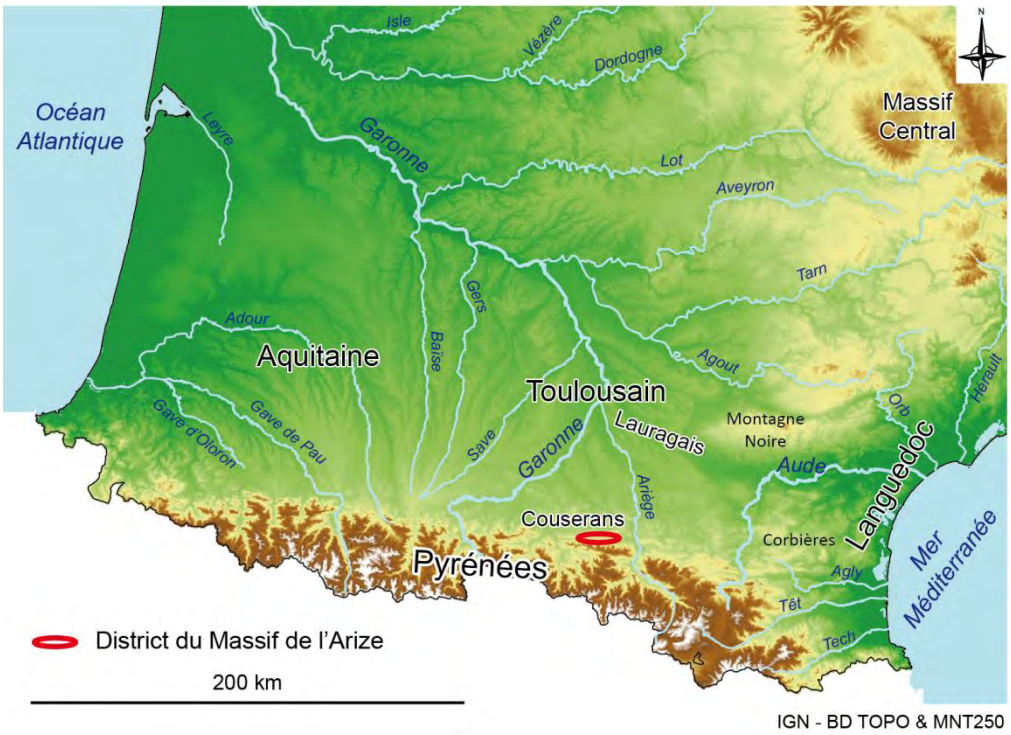


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude.

Les nombreux gisements métalliques dont dispose cette région ont donné lieu à des exploitations notamment entre le second âge du Fer et l'Antiquité, comme nous l'apprennent les recherches conduites en archéologie minière depuis les années 1970. Tous les districts n'ont pas été étudiés au même moment ni de la même manière. Les données disponibles sont donc inégales d'un secteur à l'autre, aussi bien quantitativement que qualitativement. Les exploitations minières datées des II[e] et I[er] s. av. n. è. sont les plus fréquemment documentées et on en connaît dans chacun des secteurs miniers de la région (Sablayrolles 1996 ; Dubois *et al.* 1997 ; Gourdiole & Landes 1998 ; Sablayrolles 2001 ; Mut & Kotarba 2007 ; Parent 2010 ; Mantenant 2014). Pour cette période, des liens ont été proposés entre l'implication d'Italiens dans l'exploitation des ressources locales et la mise en valeur des gisements, particulièrement pour les secteurs proches de la Méditerranée et à l'est de la Garonne. Les recherches menées ces dix dernières années ont cependant conduit à revoir la chronologie de certaines exploitations, vieillies d'un à deux siècles et donc initiées bien avant le début de la conquête romaine du Sud-Ouest (Girard 2007 ; Beyrie & Kammenthaler 2008 ; Beyrie *et al.* 2011). Ces chronologies anciennes représentent autant d'indices ponctuels qui rejoignent ce qui avait été enregistré dans le district aurifère du Limousin, dont l'exploitation démarre au premier âge du Fer (voire dès l'âge du Bronze) et s'intensifie au milieu du III[e] s. av. n. è. (Cauuet 1999, 2004b, 2013 ; Cauuet *et al.* 2018).

Parmi la variété des contextes archéologiques, naturels et historiques qui caractérisent le Sud-Ouest de la Gaule, l'exploitation des ressources minières apparaît comme un dénominateur commun à l'échelle régionale mais aussi entre le second âge du Fer et la période romaine. Les données disponibles sur ces exploitations, fruit du travail de différentes équipes de recherches, sont dispersées entre de nombreuses publications qui ne permettent pas en l'état d'en proposer une vision globale. D'autre part, les exploitations minières, nécessairement liées à la localisation des gisements, sont souvent situées dans des zones en retrait des principaux secteurs d'occupation, moins bien étudiées, dans les zones de piémont ou de montagne. Cette caractéristique est renforcée pour les exploitations antérieures au II^{e} s. av. n. è. car les vestiges de cette période sont en général particulièrement rares, dans le Sud-Ouest comme dans une large partie de la Gaule. Les données issues de l'archéologie minière apparaissent donc comme des éléments susceptibles d'éclairer des aspects méconnus ou peu étudiés concernant l'économie et le peuplement des sociétés de cette région entre le second âge du Fer et la période romaine. Dans le contexte particulier de la diversité du Sud-Ouest de la Gaule, comparer les exploitations minières contemporaines entre elles et caractériser leur évolution au fil de cette période nous semble offrir un prisme de lecture original et prometteur pour alimenter les réflexions concernant le contexte socio-économique du second âge du Fer ainsi que les modalités et les rythmes de la prise en main romaine sur ces territoires.

Dans ce contexte, le district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize (Fig. 1) apparaît comme un cas d'étude au potentiel fort. Localisé dans le piémont pyrénéen ariégeois, dans l'actuel Couserans, il se situe dans une zone de marges, tout de même ouverte sur la vallée de l'Ariège à l'est, qui lui donne accès au Toulousain et aux voies méditerranéennes, et sur celle du Salat à l'ouest, qui débouche dans la vallée de la Garonne. Étudié à partir de la fin des années 1970 par Jean-Emmanuel Guilbaut et Claude Dubois, les recherches dans ce district ont été interrompues au début des années 1990 (Guilbaut 1981 ; Dubois & Guilbaut 1982, 1988, 1989 ; Dubois 1993 ; Dubois *et al.* 1997). Ces premières études avaient conduit les chercheurs à restituer une phase d'exploitation principale antique datée entre la fin du II^{e} siècle et le milieu du I^{er} s. av. n. è., quelques éléments plus tardifs atteignant la période augustéenne. Les recherches de l'époque ont été menées en ayant recours aux techniques habituelles employées alors, intégrant même une approche novatrice pour l'époque avec un volant anthracologique et paléo-environnemental, sous la conduite de Claude Dubois et Jean-Paul Métailié (Dubois 1990, 1992 ; Dubois & Métailié 2001). Cependant, au regard de l'évolution récente de l'archéologie minière, certaines méthodologies mises en œuvre n'étaient plus satisfaisantes et conduisaient à reconsidérer certains résultats, la chronologie de l'exploitation constituant le principal sujet d'interrogations.

Dans le cadre de cette thèse, la reprise de l'étude du district de l'Arize a été basée sur un important travail de terrain, incluant des prospections des mines et de leurs alentours (en souterrain et en surface), des relevés topographiques de détail des travaux miniers et des sondages dans les chantiers d'exploitation et sur des ateliers de traitement du minerai. Cette

méthodologie correspond aux techniques d'étude actuelles de l'archéologie minière, qui ont montré l'importance de la cartographie détaillée des réseaux miniers pour en comprendre la dynamique d'exploitation et, au-delà, restituer le phasage chronologique de l'activité. Le seul mobilier découvert en prospection à la surface des remblais ne constitue plus aujourd'hui un indice chronologique déterminant pour comprendre l'ensemble d'un site. Cela conduit à caractériser l'exploitation en termes techniques, organisationnels et surtout chronologiques, ainsi qu'à restituer la chaîne opératoire permettant de passer du minerai au métal. En parallèle, et dans l'optique de prendre en compte la dimension environnementale de cette exploitation, un site a été choisi pour initier une étude pédo-anthracologique et sédimentaire. Cette démarche vise à retracer l'évolution du couvert végétal et l'impact de l'activité minière sur les processus de formation des sols (sédimentation, érosion), à l'échelle d'un petit bassin versant où une exploitation minière est connue. Le caractère pluridisciplinaire des recherches en archéologie minière s'exprime aussi dans ce travail par une collaboration avec des géologues, plus classique dans ce genre d'études. La caractérisation analytique des minerais de ce district ainsi que l'étude métallogénique de l'un des gisements permettent d'une part de mieux comprendre les choix des mineurs anciens et d'autre part d'alimenter la réflexion concernant la chaîne opératoire d'obtention du métal.

Le cadre temporel imposé par le travail de doctorat et les moyens disponibles pour mener à bien cette recherche ont imposé des limites à la mise en œuvre de ces méthodologies. L'étude des réseaux miniers souterrains représente la part principale du travail. Tous les réseaux n'ont cependant pas pu être intégralement étudiés, certains d'entre eux étant comblés (aucun accès possible au souterrain, non étudié) et d'autres étant à l'inverse trop étendus (étude partielle uniquement). Les données disponibles sont toutefois suffisantes pour mettre en lumière les caractéristiques principales de l'exploitation de ce district. Concernant les sites d'habitats et les ateliers de métallurgie primaire, beaucoup de travail reste à faire : les indications proviennent principalement de prospections et seuls deux nouveaux sondages apportent quelques données stratigraphiques et chronologiques, au demeurant limitées. Il en va de même pour les aspects géologiques et environnementaux : les travaux menés dans le cadre de cette thèse ont un caractère prospectif et demanderaient à être prolongés par des projets spécifiques dotés de moyens mieux dimensionnés. Les premières conclusions que l'on présentera ici sont tout de même éclairantes et ouvrent d'autres pistes de recherche.

Une recherche de ce type, centrée volontairement sur un district d'ampleur somme toute relativement réduite, permet d'apporter des éléments concrets dans le délai nécessairement limité de la réalisation d'une thèse. Les bornes chronologiques de l'exploitation et ses caractéristiques techniques peuvent être définies. Les données disponibles permettent de proposer des pistes pour restituer le mode de gestion des mines et réfléchir à l'identité des exploitants. Les facteurs de continuité ou de rupture dans les différents aspects de l'exploitation peuvent également être mis en évidence. Cependant, la portée des

conclusions que l'on peut en tirer est limitée à l'échelle locale ou au mieux à la région proche. La comparaison avec les autres exploitations minières étudiées par différents chercheurs est une étape à part entière de notre démarche pour atteindre l'échelle régionale étendue du Sud-Ouest de la Gaule que nous avons proposée comme zone d'étude. Savoir si la diversité mise en avant pour l'ensemble de la région se retrouve dans les types d'exploitations minières sera un des aspects que nous pourrons alors aborder. Les marqueurs d'évolution dans les techniques et l'organisation des districts seront mis en évidence dans les différents secteurs et comparés entre eux. Les éléments en lien avec l'identité des exploitants et leur mode d'organisation seront au cœur des réflexions : peuples gaulois indépendants, entrepreneurs venus d'Italie ou continuité de l'implication des populations locales dans la mine seront les options que nous tenterons d'évaluer. Enfin, des points de référence dans d'autres régions minières permettront de mettre en évidence ce qui relève de dynamiques régionales ou au contraire de mouvements d'ampleur plus large.

Mais avant de rentrer dans le vif du sujet, il nous a paru nécessaire de commencer par définir les différents aspects de l'exploitation minière et de la spécialité que constitue l'archéologie minière. Cette discipline qui prend forme en tant que telle au début des années 1970 est encore jeune et en évolution constante. Si ses apports sont bien reconnus dans le champ de l'Histoire des techniques et ponctuellement mis à profit pour nourrir l'Histoire économique, il n'en va pas de même en ce qui concerne l'Histoire politique et sociale des groupes qui ont pratiqué cette activité. Pourtant, la mise en œuvre d'une exploitation minière est intimement liée au contexte socio-économique dans lequel elle prend place, de la même manière qu'elle dépend des conditions environnementales propres à chaque gisement pour son développement. En outre, une exploitation minière ne se limite pas à la mine qui se trouve en son centre. Les ateliers de métallurgie primaire et les habitats des mineurs sont deux autres éléments indissociables de la mine, qui contribuent à structurer le territoire sur lequel elle est installée. La nécessité de subvenir à l'approvisionnement de travailleurs potentiellement nombreux est un autre aspect qui peut avoir un impact sur l'environnement local (pastoralisme, défrichements), plus délicat à identifier. C'est sur la base des liens structurels que les exploitations minières entretiennent avec leurs domaines techniques, environnementaux et socio-économiques que l'archéologie minière peut éclairer des aspects variés des sociétés anciennes. Le premier chapitre de ce travail permettra donc de poser les bases de la réflexion, en définissant tout d'abord l'objet d'étude, les exploitations minières, puis en précisant le cadre historiographique dans lequel s'inscrit cette recherche, celui de l'archéologie minière. Les méthodologies spécifiques à cette discipline employées dans ce travail ainsi que la façon dont les approches pluridisciplinaires s'articulent seront également présentées dans ce premier chapitre.

Les résultats de l'étude menée sur le district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize constituent le corps du deuxième chapitre. Il s'ouvre avec la présentation géologique et géographique du secteur, suivie d'un bilan des recherches antérieures menées sur le district et des questions encore ouvertes lorsque nous en avons repris l'étude. Les nouvelles

données obtenues au cours de cette thèse sont ensuite présentées en fonction de l'état de préservation des sites, qui a conditionné les possibilités d'approfondir les recherches. Les éléments fournis par les observations géologiques réalisées ponctuellement sont spécifiés pour les sites concernés. Cela permet de renouveler l'image de ce district et de déterminer les étapes et les modalités de son exploitation ancienne. Enfin, le bilan préliminaire des données paléo-environnementales disponibles sur ce district et les ouvertures qui en découlent terminent ce chapitre.

Le troisième et dernier chapitre permet d'élargir la réflexion au Sud-Ouest de la Gaule. Ce chapitre de synthèse s'articule suivant les étapes chronologiques définies pour le district de l'Arize. Pour chaque période, les éléments du contexte archéologique et historique nécessaires pour comprendre le cadre dans lequel se déroule cette activité sont présentés, ainsi que les données concernant les autres mines étudiées. Cela permet de dresser pour chaque étape un portrait de l'activité minière et de mettre en évidence les éléments de rupture ou de continuité lors de chacune des phases.

CHAPITRE 1. Des mines à l'archéologie minière

Ce premier chapitre vise à exposer les fondements sur lesquels s'appuie cette étude. Tout d'abord, nous définirons les différents aspects de l'exploitation minière, qui dépassent le cadre strict de l'extraction du minerai. Dans un second temps, nous présenterons les spécificités de l'archéologie minière. Un bilan historiographique amènera à préciser le cadre épistémologique actuel de cette discipline, basé sur des méthodologies spécifiques qui seront également définies.

Les exemples qui illustrent ces deux parties renvoient dans leur grande majorité à des contextes chronologiques situés entre le Chalcolithique et l'Antiquité tardive. Des données associées à des périodes plus tardives, médiévales voire contemporaines, seront utilisées seulement ponctuellement. Ce choix peut paraître arbitraire, surtout en ce qui concerne les questions historiographiques. L'archéologie minière, pour le versant technique de la recherche, s'est largement nourrie des sources modernes ou contemporaines telles que les traités d'ingénierie des mines. Il se justifie ici par notre objectif de dépasser la lecture technique des exploitations pour nous centrer sur les contextes de leur mise en œuvre, directement liés à leur chronologie. De même, le fait de ne pas disposer de sources écrites (ou si peu) pour éclairer le fonctionnement des exploitations antérieures à la période médiévale permet aussi de mieux mettre en évidence les données archéologiques significatives et les interprétations qui en sont données. Cela conduit plus facilement à identifier des traits communs ou des particularités entre les différents sites pris en compte, et à faire ressortir des caractéristiques qui permettent des comparaisons diachroniques et interrégionales.

Nous précisons également ici que les mots suivis d'un astérisque renvoient au glossaire en fin de volume (p. 479).

I. L'exploitation minière : une activité aux nombreuses implications

Cette première partie va conduire à proposer une modélisation des interactions entre les exploitations minières et les différents facteurs qui agissent sur leur mise en œuvre, dans les domaines environnementaux, socio-économiques et techniques. Ces interactions seront illustrées par divers cas particuliers représentatifs, choisis à travers l'Europe et ses marges. La plupart d'entre eux concerne des mines de cuivre ou des mines polymétalliques comprenant du cuivre, comme cela sera le cas pour le district du Massif de l'Arize, au cœur de notre recherche. Le cuivre est en effet l'un des métaux les plus anciens à avoir été exploité, offrant de nombreux vestiges aux archéologues. Cependant, certains aspects de l'activité minière sont indépendants du métal recherché. Des sites miniers correspondant à l'exploitation d'autres substances sont ainsi intégrés à cette présentation générale.

I. A. Une activité ancrée dans un territoire

I. A. 1. Les contraintes géologiques

a. Questions autour de la localisation des ressources

a.i. Les limites des données géologiques actuelles

L'exploitation des ressources minières est tributaire de la localisation des substances que l'on souhaite obtenir. La géologie détermine les conditions d'accès à ces ressources naturelles, inégalement réparties. Si l'on connaît les teneurs moyennes dans la croûte terrestre pour chaque métal, c'est la concentration des minéralisations dans certains points qui forme des gisements potentiellement exploitables. Lorsque l'on cherche à identifier les sources d'approvisionnement en métal des sociétés anciennes, on se tourne donc vers les cartes géologiques et les inventaires minéralogiques actuels qui nous indiquent la présence de ces minéralisations. Cependant, on ne peut pas calquer les ressources disponibles pour les périodes anciennes sur celles connues et indiquées aujourd'hui. Une des principales causes de ce décalage tient au contexte de réalisation des recherches minéralogiques. Leur objectif est de localiser des ressources pour l'exploitation minière contemporaine, à caractère principalement industriel et disposant de techniques bien différentes de celles des Anciens. Les critères définissant l'intérêt d'un gisement ne sont pas les mêmes selon la période considérée.

Le premier critère est celui du seuil d'exploitabilité des gisements, qui a varié au cours du temps (O'Brien 2015, p. 12-15). Il dépend bien sûr de la teneur de la minéralisation, mais aussi de la morphologie du gisement et de sa localisation. Sa localisation dans l'espace d'une part, mais aussi sa localisation par rapport à la surface. Les Anciens repéraient les gisements principalement à l'affleurement, alors qu'aujourd'hui les techniques de prospection minière modernes permettent d'en repérer en profondeur. La morphologie de la minéralisation conditionne à son tour son accessibilité. Pour les Anciens, elle devait tout d'abord être visible à l'œil nu ; les substances disséminées dans la roche à des tailles microscopiques ne

pouvaient pas être repérées. D'autre part, en fonction des techniques minières connues, la morphologie du gisement peut imposer une limite à l'exploitation. Si la minéralisation s'enfonce rapidement et profondément sous terre, il faut pouvoir mettre en œuvre des techniques adaptées pour la suivre et gérer les éventuelles venues d'eau et les risques d'éboulements. Enfin, la teneur minimale exploitable dépend de l'efficacité des procédés métallurgiques employés. Pour le minerai de cuivre par exemple, on peut aujourd'hui extraire le métal depuis une concentration aussi faible que 0,4%. À la préhistoire, la teneur du minerai devait être d'au moins 3% (O'Brien 2015, p. 12). Le seuil d'exploitabilité des gisements s'est donc globalement abaissé à mesure que les techniques ont progressé et une partie des ressources signalées par les géologues n'était pas réellement disponible pour les périodes anciennes. Toutefois, des opérations minutieuses de tri manuel qui seraient aujourd'hui impossibles à cause du coût de la main-d'œuvre étaient auparavant dans le domaine du faisable et ont permis de faciliter les traitements métallurgiques ultérieurs.

Un autre élément qui rentre en ligne de compte au sujet de l'exploitabilité est le polymétallisme des gisements. Si certains minerais simples ne contiennent qu'un seul métal, comme la chalcocite[1] ou la galène, d'autres en contiennent plusieurs, comme la chalcopyrite qui associe cuivre et fer. On peut aussi avoir des minéralisations qui associent plusieurs minerais. Dans ces deux cas, tous les métaux présents ne sont pas forcément exploitables. Il faut qu'ils se trouvent à la fois en proportion suffisante et que les techniques métallurgiques disponibles permettent de les séparer des autres. Le seuil peut là encore varier à travers le temps en fonction des évolutions techniques.

A l'inverse, les cartes géologiques actuelles présentent aussi des manques par rapport à ce qui pouvait intéresser les Anciens. Aujourd'hui, les gisements de trop petite taille ne sont considérés que comme des indices : on ne lancera pas un chantier pour quelques kilos de métal[2]. Ces petits gisements ont par contre pu répondre aux besoins des communautés anciennes, surtout si la teneur du minerai était élevée. Le problème se pose lorsque ces gisements d'ampleur réduite ont été épuisés lors d'une seule phase d'exploitation ancienne. On pourra retrouver en prospection les grattages ou petits chantiers qui leur correspondent, mais il sera difficile, si la minéralisation a été totalement extraite, de savoir ce qui a été exploité. Les gisements épuisés ou de trop petite taille constituent donc des lacunes des inventaires actuels lorsque l'on s'intéresse aux ressources anciennes. Malgré tout, ces cartes et ces inventaires restent un outil indispensable pour démarrer les recherches de travaux anciens.

[1] La composition des minerais utilisés aux périodes anciennes est donnée dans le tableau 1, p. 22.

[2] Les réserves de la mine de cuivre de Banca dans les Pyrénées Atlantiques, estimées à 4000 t, sont considérées comme insuffisantes pour mériter une exploitation en 1990 (BRGM 1990, 1-91).

a.ii. L'Europe, un continent aux ressources multiples

Les métaux exploités durant l'âge du Fer et l'Antiquité sont nombreux. Cuivre, or, argent, étain, plomb et fer[3] formaient la palette des métallurgistes de ces époques. En Europe, le fer est le dernier à être utilisé. Métal le plus répandu à la surface du globe, sa température de fusion très élevée, supérieure aux capacités des premiers fourneaux, a nécessité le développement d'une chaîne opératoire particulière, au cours de laquelle le fer reste à l'état pâteux, qui a retardé son utilisation par rapport aux autres métaux. Ses caractéristiques physiques et son oxydation rapide en font aussi un métal à part, plutôt voué au domaine de l'utilitaire. L'or est aussi un métal particulier en raison de sa grande valeur. Inaltérable et rare, il a toujours eu un statut spécial. L'argent est également considéré comme un métal précieux et il peut se trouver en impuretés dans l'or, mais on le trouve également dans les minéralisations à plomb ou encore à cuivre. On peut pour cela le rapprocher du groupe des non-ferreux, au cœur de notre travail, qui rassemble le cuivre, l'étain et le plomb. L'étain est un peu particulier dans la mesure où il est très mal réparti à la surface du globe et rarement associé dans les gisements à d'autres métaux, si ce n'est à l'or dans certains gîtes détritiques[4]. Les problématiques liées à ce métal sont spécifiques et ne seront pas abordées ici[5]. Le plomb est plus courant et commence à être utilisé au Bronze final pour la fabrication de bronzes ternaires en alliage avec le cuivre et l'étain. Le cuivre est le premier métal à avoir été exploité en Europe, et ce depuis le Chalcolithique, avec l'or. Ces deux métaux existent à l'état natif, mais le cuivre est le premier à être obtenu par un traitement métallurgique des minerais de malachite et d'azurite (O'Brien 2015, p. 34). Sa valeur s'est maintenue tout au long de l'âge du Bronze, avec l'alliage du même nom, et même si le fer le supplante ensuite dans la sphère utilitaire ou pour l'armement, il reste néanmoins très utilisé jusqu'à la fin de la période gallo-romaine, et encore par la suite. Ce métal a, en quelque sorte, un rôle de déclencheur dans le développement des processus métallurgiques et miniers. Extraction en roche, réduction d'un minerai oxydé, puis sulfuré, traitement des minerais polymétalliques, élaboration d'un alliage, le bronze, aux proportions contrôlées, métallurgie à froid et à chaud sont autant de procédés qui ont été appliqués d'abord au cuivre. C'est aussi le métal qui permet d'aborder l'évolution de l'activité minière sur la plus longue durée, étant un des premiers à être recherché.

[3] Des pièces en laiton, un alliage de cuivre et de zinc, sont connues à Pompéï à partir de -45 (Tylecote 1979, p. 58). Cependant, les données disponibles actuellement sont particulièrement rares concernant l'exploitation de ce métal. Il ne sera donc pas pris en compte ici, d'autant plus qu'il n'aurait alors été utilisé que sous forme de minerai, la calamine ($ZnCo_3$). De futures recherches conduiront probablement à faire évoluer cette question dans les années à venir.

[4] L'oxyde d'étain, la cassitérite, est en effet également assez dense et chimiquement très stable. Elle se retrouve sous forme de petits grains noirs qui étaient souvent piégés par les orpailleurs, comme le signalait déjà Pline l'Ancien (*Hist. Nat.*, XXXIV, 47).

[5] Le « problème de l'étain », indispensable pour faire du bronze, utilisé à travers tout le bassin méditerranéen, mais dont les gisements sont localisés sur la façade atlantique, dans le centre de la Gaule ou dans les Cornouailles, est ancien (Charles 1975 ; Giumlia-Mair & Lo Schiavo 2003). Un renouveau des recherches scientifiques ces dernières années a donné lieu à plusieurs colloques mettant en avant des perspectives tout à fait intéressantes sur ce sujet (SEDPGYM 2016 ; DTRG 2017).

Tous les métaux utilisés par les Anciens peuvent se retrouver dans des terrains de différentes périodes géologiques. La formation des gisements est souvent liée à des phénomènes tectoniques et l'Europe, avec des terrains très variés sur l'ensemble du continent (Fig. 2), garde des traces de plusieurs épisodes métallogéniques (Large 2003 ; Jébrak & Marcoux 2008, p. 505).

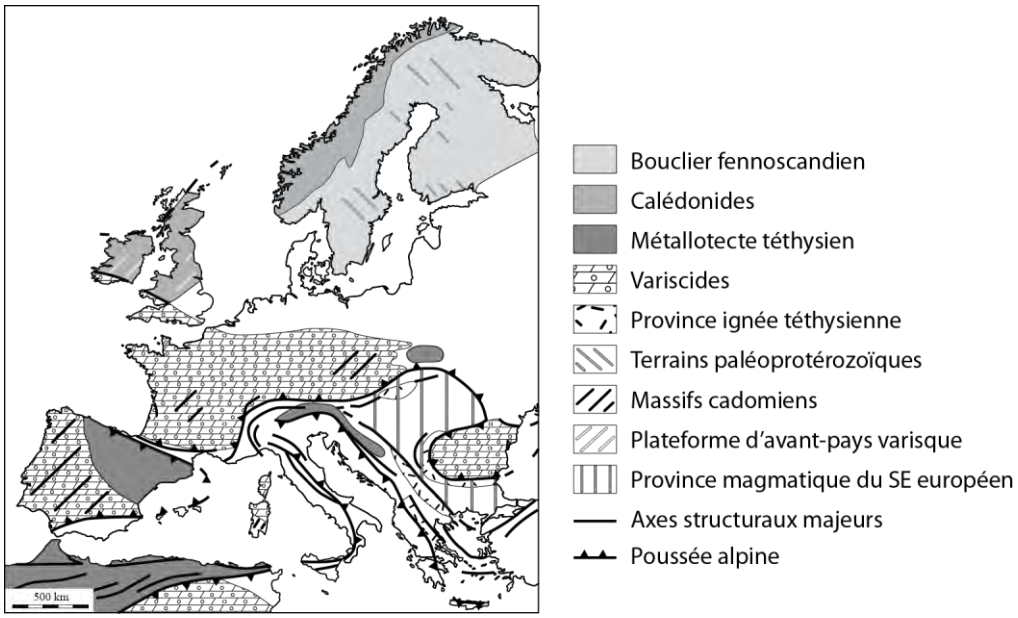


Fig. 2 : Carte des principaux terrains géologiques européens (d'après Large 2003).

Les plus anciens sont ceux du bouclier fennoscandien, correspondant à l'Archéen et au Protérozoïque[6]. On y trouve des mines de cuivre récentes, sur des gisements parmi les plus étendus d'Europe, mais avec des teneurs basses. Les terrains postérieurs, du Paléozoïque inférieur, sont ceux de la chaîne calédonienne*. Ils mêlent roches sédimentaires et intrusions granitiques. Des gisements d'origine volcanique s'y rencontrent aussi. Le troisième groupe de terrains correspond à l'orogenèse hercynienne* et affecte une grande partie de l'Europe (ouest, centre, sud). Il s'agit d'anciens massifs érodés ou repris par les épisodes orogéniques* suivants et séparés par des bassins sédimentaires comblés au cours du Paléozoïque. Des phénomènes volcaniques y sont identifiés et des intrusions granitiques s'y trouvent également. Ils sont aujourd'hui largement recouverts par des terrains plus récents, du Secondaire et du Tertiaire. Ils renferment une grande diversité de gisements autant en termes de substances présentes, de morphologies et de phénomènes qui ont présidé à leur formation. La ceinture pyriteuse du sud de la péninsule Ibérique appartient à ce contexte, tout comme de nombreux gisements pyrénéens. Enfin, la phase alpine, liée à la fermeture de la Téthys*, à l'ère Tertiaire, a laissé des traces dans tout le Sud de l'Europe, depuis la péninsule Ibérique jusqu'aux Carpates, incluant les Alpes et une partie du plancher méditerranéen. La géologie de cet ensemble est complexe et remobilise des roches formée lors du Secondaire et du Tertiaire. Les gisements qu'il renferme sont de différents types et on en dénombre de très riches, comme les porphyres à cuivre de Bor en Serbie, les veines

[6] Voir échelle des temps géologiques en annexe 1.

polymétalliques de Baia Mare en Roumanie ou encore les sulfures massifs de Chypre. On pourrait même ajouter les terrains quaternaires qui fournissent[7], avec les alluvions*, colluvions*, et autres terrains détritiques*, des réserves minérales exploitées par exemple par les orpailleurs.

En définitive, à l'échelle européenne, les ressources minérales sont variées et ne manquent pas. La carte métallogénique d'Europe publiée entre 1968 et 1970 par la Commission de la Carte géologique du Monde et l'Union Internationale des Sciences Géologiques nous en donne un aperçu, repris pour ce qui concerne les métaux utilisés par les Anciens dans la figure 2 (cuivre, or, argent, étain, plomb, fer). L'échelle de la carte ne permet pas une analyse fine, et tous les gisements signalés n'étaient pas forcément accessibles aux périodes qui nous intéressent, mais la vision d'ensemble permet tout de même quelques remarques.

Le cuivre en particulier est plutôt largement réparti, bien que certaines zones en soient moins pourvues. Cette distribution a favorisé l'adoption progressive de ce métal entre 5000 et 2000 av. n. è. à travers le continent et facilité l'éclosion de multiples centres miniers et métallurgiques, à la suite des premières exploitations des Balkans (O'Brien 2015, pp. 32-35). L'approvisionnement à l'échelle locale ou régionale est presque toujours possible. On remarquera aussi la densité de points sur la Péninsule ibérique, et la variété des métaux signalés : tous ceux qui étaient utiles entre la Préhistoire et l'Antiquité y sont présents.

A l'échelle de la France, la carte des gîtes, gisements et indices minéralisés, alimentée en ligne par le BRGM[8], nous donne les premiers éléments pour évaluer l'exploitabilité d'un gîte aux périodes anciennes. Quatre catégories de gisements comprennent ainsi des substances exploitables par les Anciens (Fig. 4). Les inventaires minéralogiques départementaux édités dans les années 1970 et 1980 et les cartes géologiques accompagnées de leurs notices sont des compléments indispensables pour travailler à une échelle plus réduite.

[7] Le passé pourrait être ici employé dans la mesure où beaucoup de ces gîtes ont été exploités intensément et sont aujourd'hui épuisés. Ainsi, jusqu'au milieu du XIX^{e} s., les 4/5 de la production mondiale d'or provenaient d'alluvions. La ruée vers l'or des dépôts d'Amérique du Nord a provoqué leur épuisement (BRGM 1979, p. 2).

[8] Bureau des Recherches Géologiques et Minières. Carte disponible sur le site infoterre : infoterre.brgm.fr.

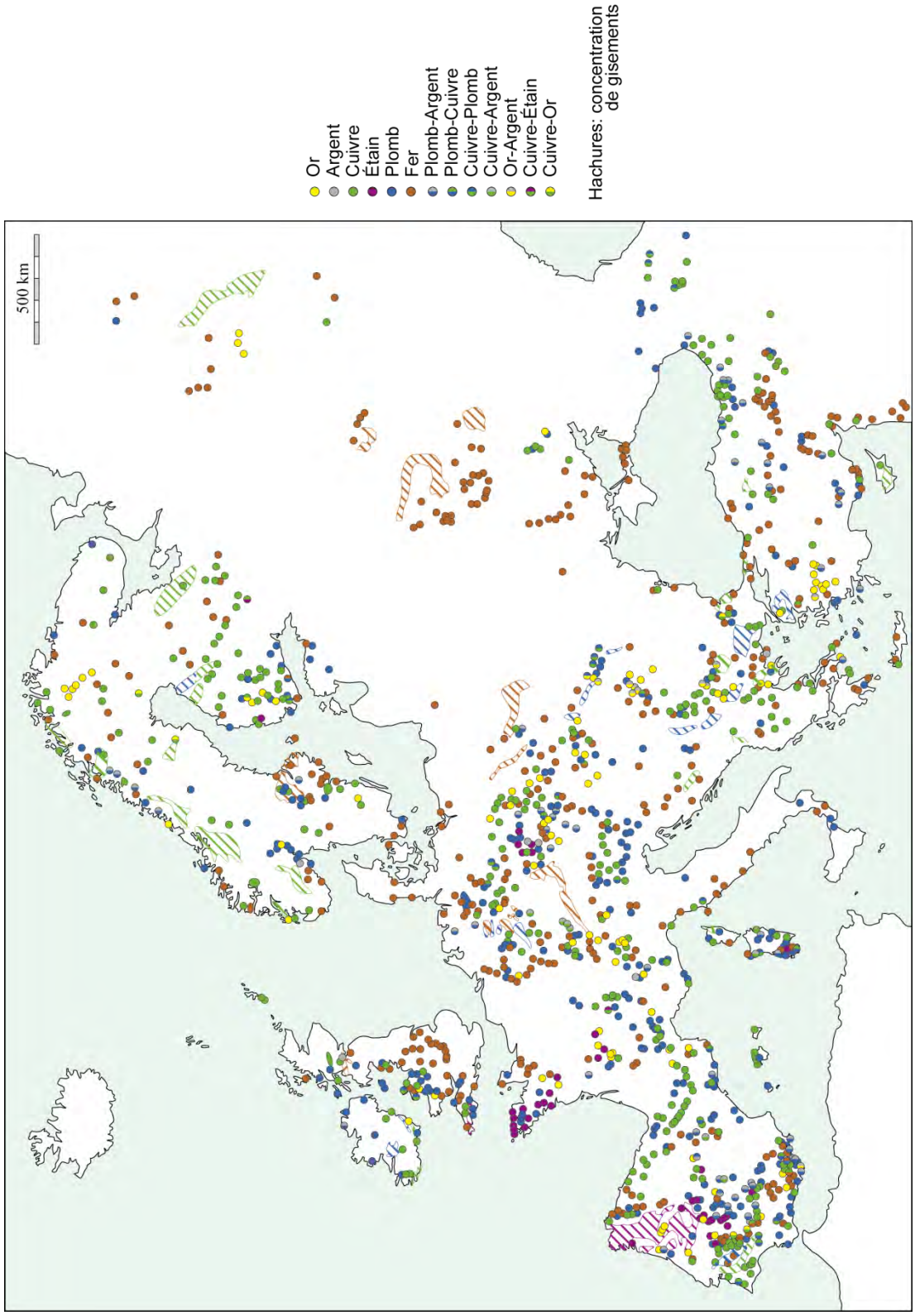


Fig. 3 : Localisation des gisements métalliques (Cu, Au, Ag, Sn, Pb, Fe) en Europe (d'après la Carte métallogénique de l'Europe à 1 :2.500.000 – 1968-1970).

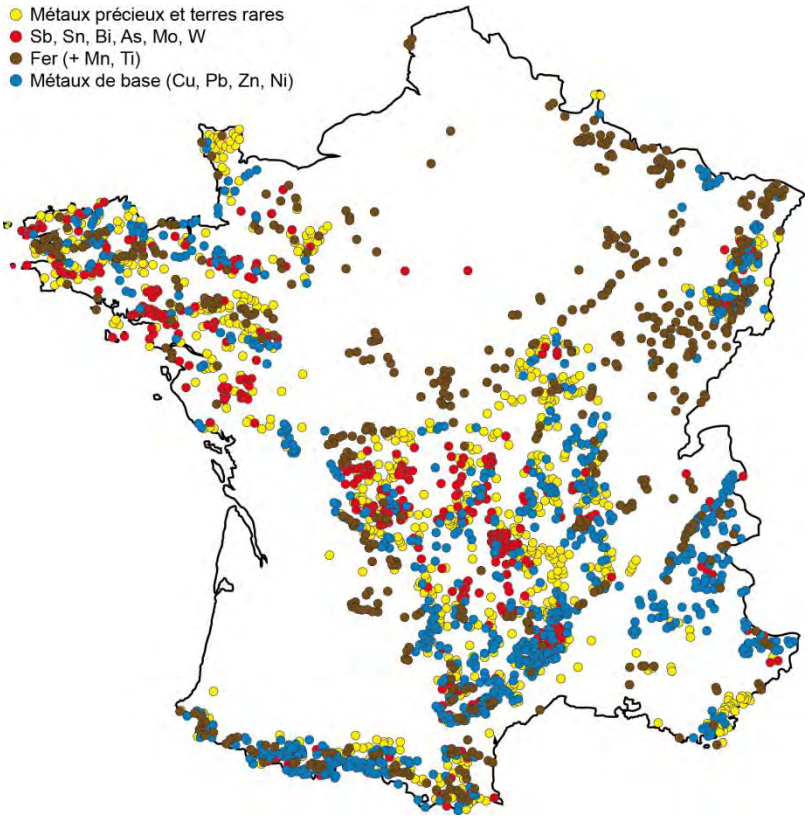


Fig. 4 : Carte métallogénique simplifiée de la France métropolitaine (source : BRGM, Infoterre).

Au niveau national, on constate que tous les métaux qui pouvaient être utiles aux périodes anciennes sont présents sur le territoire. Les gisements référencés sont situés principalement dans les régions montagneuses : Pyrénées, Alpes, Massif Central et Massif Armoricain, ainsi que dans le Jura et les Vosges. Du fer, dont les dépôts peuvent être d'origine sédimentaire, se trouve également dans les zones de plaine. Sans rentrer dans le détail des substances identifiées à chaque endroit, on comprend déjà que des réseaux d'échanges vont devoir être mis en place entre les zones productrices et celles qui ne disposent pas de la ressource. De même, pour que l'exploitation soit possible, il faut que des noyaux de populations existent ou se constituent à proximité des gisements[9].

Dès que l'on envisage des réseaux d'échanges, on se doit de prendre en compte les ressources disponibles au-delà des frontières nationales actuelles. Pour les périodes traitées ici, l'âge du Fer et l'Antiquité romaine, les échanges peuvent se faire au niveau européen et tout autour du Bassin méditerranéen. A cette échelle, le territoire français n'apparaît pas aujourd'hui comme étant particulièrement riche en métaux. Les ressources existent bien, mais dans les synthèses prenant en compte d'autres territoires, le potentiel est jugé globalement « modeste », en termes de réserves et de production cumulée (BRGM 1974, p. 2). Pour le cuivre, la France est même considérée dans les dernières décennies du XX^{e} s. comme l'un des plus petits producteurs (BRGM 1974, p. 6 ; BRGM & AMMI 1990, pp. 1-61). Des gisements de plus grande taille sont localisés dans la ceinture pyriteuse ibérique, dans la

[9] Ces deux aspects sont discutés plus bas dans ce chapitre, aux points I. A. 3, p. 40 et I. B. 2, p. 55.

zone nord-alpine, sur l'île de Chypre, ou encore en Europe du Nord. La Pologne dispose aussi de ressources élevées, ainsi que le Proche-Orient. L'or et le fer sont les seuls éléments dont la production et les réserves françaises sont jugées significatives (BRGM 1974, 1979). Ces évaluations ne peuvent pas être appliquées directement aux périodes anciennes mais sont toutefois révélatrices si l'on recherche des districts ayant pu fournir les réseaux à longue distance.

Il faut garder à l'esprit que des gisements lointains peuvent même supplanter les districts locaux si l'activité minière est suffisante et les réseaux de distribution organisés de sorte qu'ils approvisionnent régulièrement les zones demandeuses. L'exploitation de l'étain des Cornouailles au XIX^{e} s. fournit un exemple récent de ce phénomène. Les milliers de tonnes d'étain produites dans cette région, pourtant excentrée, pourvoyaient alors aux besoins de la majeure partie de l'Europe, à tel point que les ressources de l'Ouest de la péninsule Ibérique, pourtant abondantes, ne faisaient l'objet que d'exploitations mineures (Pérez Domingo 1831, pp. 29-30 ; Borlase 1897, pp. 21-28). Si l'on raisonne en termes d'approvisionnement de marchés à longue distance, on ne se place pas dans le même contexte que lorsqu'il s'agit de fournir du métal sur le plan local ou régional. Les deux systèmes peuvent coexister et être indépendants l'un de l'autre. Cependant, le critère géologique de la taille du gisement reste un préalable à l'existence d'une production excédentaire par rapport aux besoins locaux et destinée aux échanges à longue distance (Stöllner 2003, p. 421).

L'étude des données géologiques disponibles permet de localiser les districts métallifères principaux. Pour confirmer le potentiel, une étude de terrain selon les méthodes propres à l'archéologie minière est indispensable[10]. C'est aussi le seul moyen de mettre en évidence les petits districts non référencés par les géologues. Mais au-delà du déterminisme relatif à la localisation et à l'ampleur des gisements, les contraintes géologiques s'expriment aussi lors de l'exploitation.

b. Des minéralisations à suivre, des stériles à attaquer

Les gisements métalliques se divisent en deux grandes familles : les gisements primaires, inclus dans des roches en place, et les gisements secondaires ou détritiques, issus de l'érosion ou du remaniement des premiers. Les gîtes détritiques concernent surtout l'or, ou l'étain sous forme de cassitérite, tous les deux suffisamment denses et chimiquement stables pour être préservés dans ces conditions et reconcentrés dans certains points. Ils correspondent aux alluvions de cours d'eau ou à des niveaux de conglomérats mêlant argile, graviers et galets. Les particules métalliques sont dans ce cas disséminées parmi les sables des rivières ou dans ces conglomérats. Leur quantité dépend de l'importance du gisement primaire érodé à la source et l'extension de la zone métallifère des conditions de transport et de dépôt des matériaux. Les stériles à traiter dans ce cadre (boues, sables, graviers) représentent souvent un volume supérieur à celui des mines en roche, mais ils sont aussi

[10] Voir dans ce chapitre le point 0, p. 91.

plus friables. Plus que leur attaque, qui reste tout de même un travail important, c'est le tri des particules métalliques dans la masse qui représente le défi majeur (Cauuet 2001a, pp. 34-40).

Les gisements primaires, en roche donc, sont de nature plus variée. L'exemple le plus courant est lié à la présence de fractures, remplies par les minéralisations. Les gisements prennent alors la forme de filons, définis par une direction, une puissance (l'épaisseur) et un pendage, qui peuvent varier d'une extrémité à l'autre de la structure. La puissance peut passer de quelques millimètres à plusieurs mètres. Si les filons ont des directions globalement rectilignes, ils peuvent tout de même se pincer, puis reprendre, ou se dédoubler (Jébrak & Marcoux 2008, pp. 58-59). Des filons croiseurs viennent parfois enrichir ponctuellement la structure principale. Selon la configuration de la zone fracturée, un réseau de veines s'entrecroisant dans de multiples directions peut constituer un stockwerk*.

Un autre groupe correspond aux remplissages karstiques. Les karsts sont les vides formés dans les roches carbonatées par la circulation d'eaux de ruissellement, qui entraîne leur dissolution. De nombreuses grottes sont dues à ce phénomène. Les karsts ont pu piéger des fluides minéralisés qui remplissent alors les cavités en formant des amas dont les contours s'adaptent à l'espace disponible, souvent irrégulier. Ils ont aussi pu stocker des amas minéralisés formés en un autre endroit, puis érodés et transportés jusqu'à ces espaces vides (Jébrak & Marcoux 2008, p. 63). Les pincements et élargissements successifs sont nombreux, la direction des amas plus aléatoire. Leurs dimensions sont encore une fois variables, pouvant atteindre plusieurs mètres de puissance.

Pour mener une exploitation efficace, les mineurs doivent comprendre l'architecture du gisement, déterminée par le contexte géologique de leur formation. Ils doivent bien orienter leur exploitation et la limiter aux secteurs riches pour ne pas travailler inutilement dans le stérile. À l'inverse, pour ne pas se priver de ressources, il faut oser ne pas s'arrêter aux premiers pincements des filons. Comprendre qu'un système filonien est composé de plusieurs veines parallèles permettra de rechercher les suivantes par des galeries transversales perpendiculaires, même s'il faut pour cela attaquer le stérile, comme le montrent de nombreux exemples (voir point I. A. 2.b, p. 30 dans ce chapitre).

Quel que soit le type des minéralisations en roche, elles contiennent toujours une part d'éléments stériles, qui forment sa gangue*. Selon le contexte métallogénique, il peut s'agir de quartz, lorsque les fluides porteurs de la minéralisation sont siliceux. On trouve aussi de la barytine, parfois associée aux gisements cuivreux, et qui peut être combinée avec du quartz. Ces éléments sont transportés par les fluides minéralisés et cristallisent ensemble lorsque la température diminue. Dans les contextes carbonatés, et en particulier avec les remplissages karstiques, on trouve facilement de la calcite dans la gangue des minerais. Le matériau de la gangue peut servir de guide au prospecteur ou au mineur pour repérer un gisement à l'affleurement et le suivre une fois l'exploitation démarrée. Lors du tri du minerai, le séparer de sa gangue pourra poser des difficultés. Cependant, la plus grande part

de stérile ne provient pas de la gangue mais de la roche encaissante, qu'il faut souvent attaquer pour avoir un espace de travail suffisant.

Nous avons vu dans la sous-partie précédente que des terrains géologiques de presque tous les âges géologiques pouvaient être minéralisés. La nature des roches qui abritent les minéralisations est donc très variée : calcaires, grès, schistes, quartzites, pélites, dolomies, granodiorites, conglomérats, marbres, etc. Toutes ces roches n'ont pas la même dureté et leur structure plus ou moins massive ou grenue va compliquer ou faciliter l'extraction. Jusqu'à l'utilisation de la poudre noire, qui se développe dans les mines à partir du XVII^{e} siècle (Kammenthaler *et al.* 2016), les modes d'attaque de la roche n'ont pas beaucoup évolué depuis la préhistoire. Il s'agit du travail à l'outil, parfois complété ou précédé par une attaque au feu, les outils ayant bien sûr un peu évolué au cours du temps. Les marteaux en pierre et pics en bois de cerf aux pointes durcies au feu de la fin du Chalcolithique ont laissé la place aux pics, aux pointerolles et aux masses en fer, après quelques occurrences de pics en bronze (de Blas Cortina 2005, p. 200 ; Domergue 2008, pp. 97-100 ; O'Brien 2015, pp. 206-211). Cependant, le principe reste le même : il faut taper[11]. L'abattage au feu facilite l'attaque des roches les plus dures, mais dans un cas comme dans l'autre, le travail dans le stérile reste fastidieux.

La nature de la roche encaissante conditionne aussi la fragilité ou la sécurité des travaux. Les risques d'éboulements sont plus élevés dans des contextes schisteux que dans des calcaires massifs par exemple, les plans de schistosité entraînant des décrochements par plaques. L'étayage des chantiers doit être géré en conséquence. Mais des altérations de la roche, au-delà de sa nature, peuvent la rendre tout aussi fragile. C'est un cas de figure très courant au voisinage des structures minéralisées qui ont bien souvent suivi des fractures ou des failles. Les parties affleurantes des gisements sont également plus fortement affectées par l'eau, le vent, les attaques cycliques du gel hivernal et parfois les racines de certains arbres. Ces altérations peuvent s'étendre en profondeur selon la nature de la roche et son degré de fissuration, amplifiant le phénomène. Ces points noirs pour la sécurité des chantiers peuvent aussi faciliter l'attaque du gisement. Ainsi, des mines d'or en roche dans le Limousin ont été ouvertes sous forme de larges fosses sur les premiers mètres depuis la surface, en profitant d'un encaissant altéré (Cauuet 2001a, p. 50). Dans ce contexte, les filons aurifères, à gangue de quartz, étaient plus durs que le stérile.

La localisation des gisements, la morphologie des minéralisations et la nature de la roche encaissante ont des implications sur l'activité minière quel que soit le métal exploité. En revanche, ce qui va varier pour chaque métal est le minerai exploité, et, de fait, la façon de le traiter.

[11] « Puis la recherche des mines est si mal aisée et difficile, leur ouverture si fâcheuse et pénible, et elles mesme si rudes à les manier, qu'il n'y a moyen d'en parler avec une délicatesse de langage affecté, comme si l'on enfiloit des perles. » (Gobet 1779, p. 97).

c. Six métaux recherchés, une multitude de minerais

Nous avons évoqué le cas des métaux natifs, or, cuivre, mais aussi argent, qui peuvent exister naturellement à l'état métallique. Ce sont des cas rares, sauf pour l'or, et la plupart du temps, les métaux sont présents sous formes d'oxydes, de sulfures, de carbonates, de silicates, … selon l'élément auquel ils sont associés (Tab. 1). Chaque métal peut se retrouver dans différentes familles chimiques de minerai et les inventaires minéralogiques en dénombrent plusieurs centaines. Cependant, nombre d'entre eux sont assez rares et ceux qui ont été exploités aux périodes anciennes forment une liste bien plus réduite. Les diverses synthèses d'archéologie minière et les publications ciblées sur certains sites permettent de recenser une vingtaine de substances plus couramment utilisées (en particulier : Serneels 2004, pp. 25-27 ; Domergue 2008, p. 54 ; O'Brien 2015, p. 2).

Minerai	**Formule**	**Nature**	**Métal obtenu**
Argent natif	Ag	Métal natif	Argent
Azurite	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	Carbonate	Cuivre
Bornite	Cu_5FeS_4	Sulfure	Cuivre
Cassitérite	SnO_2	Oxyde	Étain
Chalcocite	Cu_2S	Sulfure	Cuivre
Chalcopyrite	$CuFeS_2$	Sulfure	Cuivre
Chrysocolle	$(Cu, Al)_2H_2Si_2O_5 \cdot_n H_2O$	Silicate hydraté	Cuivre
Covellite	CuS	Sulfure	Cuivre
Cuivre natif	Cu	Métal natif	Cuivre
Cuprite	Cu_2O	Oxyde	Cuivre
Galène (argentifère)	PbS PbS, Ag	Sulfure	Plomb Plomb (Argent)
Goethite	FeO(OH)	Oxyde hydraté	Fer
Hématite	Fe_2O_3	Oxyde	Fer
Jarosite (argentifère)	$AgFe_3(SO_4)_2(OH)_6$	Sulfate	(Argent)
Magnétite	Fe_3O_4	Oxyde	Fer
Malachite	$Cu_2(CO_3)(OH)_2$	Carbonate	Cuivre
Or natif	Au	Métal natif	Or
Pyrite (aurifère)	FeS_2 FeS_2, Au	Sulfure	Fer (Or)
Sidérite	$FeCO_3$	Carbonate	Fer
Tennantite (argentifère)	$(Cu, Fe)_{12}(As, Sb)_4S_{13}$ $(Ag, Cu, Fe)_{12}(As, Sb)_4S_{13}$	Sulfosel	Cuivre Cuivre (Argent)
Ténorite	CuO	Oxyde	Cuivre
Tétraédrite (argentifère)	$(Cu, Fe)_{12}(Sb, As)_4S_{13}$ $(Ag, Cu, Fe)_{12}(Sb, AS)_4S_{13}$	Sulfosel	Cuivre Cuivre (Argent)

Tab. 1 : Liste des principaux minerais exploités aux périodes anciennes.

On remarque que le plomb et l'étain n'étaient obtenus que depuis un seul minerai pour ces périodes, respectivement la galène et la cassitérite[12]. L'or peut avoir deux origines : il existe à l'état natif ou associé à des pyrites (ou arsénopyrites - FeAsS). L'argent peut être

[12] D'autres minerais plombifères ou stannifères existent mais leur exploitation aux périodes anciennes n'est pas attestée ou seulement supposée dans quelques cas particuliers.

obtenu de quatre minerais différents, dans lesquels il est toujours associé à d'autres substances. La galène argentifère est la source la plus utilisée et la mieux connue. Le cuivre et le fer sont les métaux dont les variétés minérales exploitées sont les plus nombreuses. Pour le cuivre, on remarquera que plusieurs de ces minerais sont très semblables. Ténorite et cuprite d'un côté, covellite et chalcocite de l'autre, se distinguent par une proportion de cuivre qui passe du simple au double par rapport à l'oxygène ou au soufre. L'azurite et la malachite sont assez proches également. Enfin, la tétraédrite et la tennantite représentent les deux pôles d'une même série dans laquelle les proportions d'antimoine et d'arsenic varient. La formule indique également que du fer peut s'y trouver en proportions variables. D'autres éléments peuvent se substituer aux composants théoriques de ces minerais : zinc, manganèse, cadmium, mercure mais aussi nickel selon le contexte de formation du gisement (Moëlo *et al.* 2008, p. 14). Cette constatation nous amène à aborder la question du polymétallisme d'un corps de minerai.

Le polymétallisme des gisements est un phénomène déterminé par le contexte géologique et métallogénique, très répandu, et qui n'a pas empêché les Anciens d'exploiter une minéralisation. Il peut se rencontrer à l'échelle du gisement ou du minerai. Les associations de métaux peuvent être liées à l'affinité de certains d'entre eux (plomb-zinc ou encore étain-tungstène) ou à la présence de plusieurs minerais inclus dans une même paragenèse*.

Les associations de sulfures sont fréquentes : galène et sphalérites (ZnS) se retrouvent souvent dans les mêmes gisements, ce qui donne une association de trois métaux, le plomb, le zinc et l'argent si la galène est argentifère. La paragenèse sulfurée dite « BPGC » correspond à de nombreux gisements associant dans des proportions variables sphalérite, pyrite, galène et chalcopyrite. On la retrouve dans les plus grands gisements européens exploités par les Anciens, comme ceux de la ceinture pyriteuse ibérique, de la Sierra de Cartagena, ou encore dans les gisements pyrénéens de la haute chaîne. Lorsque ces gisements se retrouvent exposés au ruissellement des eaux de surface, entre l'affleurement et la nappe phréatique, une réaction chimique d'oxydation a lieu et altère les sulfures primaires. Le fer contenu dans ces sulfures, insoluble dans ces conditions, précipite sous forme d'oxydes qui restent près de la surface alors que le cuivre et le plomb, solubles dans ce contexte, sont transportés jusqu'au niveau de la nappe phréatique où ils précipitent à leur tour. Ils forment alors ce que l'on appelle des sulfures secondaires, enrichissant la minéralisation (Jébrak & Marcoux 2008, p. 475). Les oxydes de fer présents en surface forment alors ce qu'on appelle un chapeau de fer, avec des teneurs allant jusqu'à 70% de fer. Leur localisation près de la surface les rend particulièrement intéressants et ils ont été largement exploités dès l'âge du Fer (Tollon & Béziat 2004). En profondeur, les mineurs pouvaient retrouver les autres substances métalliques (cuivre, plomb) et poursuivre l'exploitation de ces métaux.

Nous avons également évoqué l'association dans certains gîtes détritiques de l'or et de la cassitérite (étain). D'autre part, l'or natif, pour être sous une forme métallique, n'en contient

pas moins des impuretés, au titre desquelles on trouve de l'argent. L'alliage naturel de ces deux métaux est un électrum qui peut contenir jusqu'à 20% d'argent dans les gîtes en roche, de 10 à 15% lorsqu'il a subi l'action érosive à l'origine des gîtes détritiques (Cauuet 2004b, p. 18). Enfin, le cas de la tétraédrite et de la tennantite, regroupées sous le nom de cuivres gris, constituent d'autres cas de minerais polymétalliques. Les exemples sont nombreux, et on peut les répartir en trois catégories, ayant des implications différentes sur l'exploitation[13].

Le premier cas est celui d'un polymétallisme incluant des substances sans intérêt à un minerai recherché, comme dans les gisements associant la sphalérite à la galène, ou encore ceux où du zinc, du nickel ou du manganèse sont intégrés aux cuivres gris[14]. Ces substances seront donc considérées comme des stériles éliminés dans la chaîne de production. Le tri peut se faire lors de l'extraction, en choisissant d'attaquer l'une ou l'autre des minéralisations si elles ne sont pas dans le même corps de minerai (minéraux dans deux veines différentes par exemple). Lorsque les deux minerais sont associés dans le même corps de minerai, le tri s'effectue après l'extraction, en les séparant manuellement. Dans le cas de métaux sans intérêt intégrés dans le minerai, la séparation commence lors du traitement minéralurgique (enrichissement du minerai), mais a lieu principalement à l'étape suivante, la métallurgie primaire, qui vise à transformer le minerai en métal.

On a ensuite le cas du polymétallisme dans lequel les substances en présence sont toutes potentiellement intéressantes pour les exploitants. C'est le cas de la cassitérite associée à l'or des alluvions, des chapeaux de fer surmontant les gisements à sulfures de plomb ou cuivre, ou encore de l'argent dans la galène ou même dans les cuivres gris. Dans le premier cas, l'or et la cassitérite se distinguent suffisamment bien pour que le tri soit fait tôt dans le processus de traitement du minerai, chacun étant soumis à une chaîne opératoire distincte. Les chapeaux de fer quant à eux sont exploités au démarrage du chantier minier, étant à la surface, et les mineurs savent différencier ces zones ferrifères des niveaux plus profonds qui contiennent le cuivre ou le plomb. Pour la galène ou les cuivres gris argentifères, c'est le processus métallurgique qui permettra d'obtenir l'argent en plus du plomb ou du cuivre.

Enfin, le dernier cas correspond aux gisements polymétalliques contenant des substances potentiellement utiles mais qui ne sont pas exploitées pour autant. Cela va être le cas des pyrites aurifères qui associent fer et or, ou encore de la chalcopyrite, qui associe cuivre et fer. Dans ces deux cas, le fer était délaissé. On sait que le soufre contenu dans ces minerais diminue la qualité du fer produit (Serneels 2004, p. 27). D'autre part, la teneur en fer de la chalcopyrite, par exemple, est faible (30%). A ceci s'ajoute le fait que les gisements ferrifères sont nombreux, bien répartis, et que d'autres types sont bien plus riches en fer (48% pour la

[13] Rappelons que le caractère polymétallique d'un gisement n'est significatif que si les substances annexes sont présentes en quantité suffisante.

[14] Pour la préhistoire, le fer, le plomb et même la cassitérite ont pu être considérés comme des substances sans intérêt. Les gisements les renfermant ont pu faire l'objet d'une exploitation plus tardive. Le même phénomène se retrouve avec les métaux non utiles pour l'âge du Fer et l'Antiquité qui le sont devenus au cours du Moyen Âge ou plus récemment (par exemple le zinc sous forme de sphalérite) : une partie des reprises minières sur chantiers anciens a eu pour objectif l'exploitation de ces « nouveaux » métaux.

sidérite à 72% pour l'hématite). Nous avons aussi déjà parlé des chapeaux de fer (qui contiennent des minerais de fer oxydés) et de leur facilité d'exploitation. Tout ceci peut expliquer que des choix aient été faits par les mineurs et les métallurgistes d'utiliser certaines ressources dans un seul objectif.

Ces différentes configurations de polymétallisme peuvent se retrouver dans un même gisement. Cette situation a été identifiée dans une mine du district de Carthagène (Espagne), dans laquelle la minéralisation principale est un système filonien de galène argentifère. Lors d'une deuxième étape métallogénique, un autre système dominé par des oxydes de fer associés à du zinc (ici de la sphalérite, ZnS) se met en place, sous la forme de remplissages karstiques. Le polymétallisme de ce gisement associe ici des substances toutes utiles dans les filons de galène argentifère et des métaux en partie utiles dans les remplissages karstiques à oxydes de fer et sphalérite. Ces deux types de minéralisation ont exploités dès l'Antiquité (Fabre *et al.* 2018, pp. 132-134). Cela montre que les mineurs avaient bien perçu l'organisation de l'une et de l'autre des structures minéralisées et que les métallurgistes avaient la possibilité de traiter aussi bien la galène argentifère que de séparer les oxydes de fer et la sphalérite. C'est un bon exemple de la maîtrise technique atteinte par les communautés impliquées dans l'activité minière. Cette maîtrise, comme nous allons le voir, va de pair avec une installation durable à proximité des ressources.

I. A. 2. Les mineurs de l'Antiquité face aux contraintes géologiques : subordination, adaptation, dépassement

« Des farfelus ont existé de tout temps. Les travaux étaient en général, cependant, judicieusement conçus. »

Ainsi s'exprimait J. Ramin (Ramin 1977, p. 52) à propos des mineurs de l'Antiquité. Cette phrase reflète les deux extrêmes que l'on peut rencontrer lorsque l'on étudie une exploitation minière. D'un côté, les « farfelus », ou mineurs non spécialistes qui font ce qu'ils peuvent pour tirer quelque quantité de minerai de ressources locales. De l'autre, des « concepteurs judicieux », ou mineurs spécialisés qui ont su mener une exploitation adaptée au gisement, efficace, et dont les ouvrages qui nous parviennent montrent maîtrise technique et inventivité. Entre les deux se trouvent des chantiers menés simplement mais efficacement, dont l'ampleur peut être réduite, modérée, ou plus vaste, mais qui sont toujours conduits par des mineurs qui savent ce qu'ils font.

La spécialisation dans une activité implique que l'on maîtrise les opérations nécessaires à sa réalisation, qu'on la pratique avec efficacité et que l'on y dédie un certain temps. Ces trois caractéristiques sont observables à travers les techniques minières utilisées et les modalités de leur mise en œuvre, à travers la compréhension de l'organisation du gisement révélée par les choix d'exploitation et à travers la durée de l'activité. Pour les mines, il ne s'agira pas tellement d'une spécialisation individuelle, car c'est une activité qui se pratique fondamentalement en groupe. D'autre part, il est rare de pouvoir identifier des individus au

sein d'une exploitation ancienne. On s'attachera donc à déterminer le degré de spécialisation à l'échelle de la communauté impliquée dans cette activité.

a. La chaîne opératoire de l'exploitation minière

Les différentes étapes de l'exploitation minière sont bien connues et ont fait l'objet de nombreuses présentations globales (par exemple Davies 1935 ; Healy 1978 ; Tylecote 1979 ; Shepherd 1993 ; García Romero 2007 ; Domergue 2008) ou à travers des études de cas ciblées sur un métal (entre autres : Cauuet 2001a - or ; de Blas Cortina 2014 - cuivre)[15] dans la littérature archéologique, mais aussi dans des traités spécialisés. Le plus célèbre d'entre eux et aussi le plus ancien est celui de G. Agricola, *De Re Metallica*, datant de 1556, qui compile une somme d'informations considérable sur les techniques minières et métallurgiques connues à son époque ou décrites par des auteurs de l'Antiquité. On peut classer ces étapes, depuis l'extraction du minerai jusqu'à l'obtention du métal, en fonction de leur degré de spécificité selon le métal recherché (Fig. 5).

La première étape, commune à tous, est celle de la prospection, qui permet de repérer le gisement. Bien sûr, les indices que l'on va suivre sont différents selon le métal recherché, mais la façon de les repérer ne varie pas : prospection, observation des roches à l'affleurement et des blocs détachés à faible distance ou en bas de pente, prise d'échantillon en roche ou en alluvions. Une fois le gisement repéré, les modes d'exploitation vont varier selon les deux grands types de gîtes rencontrés : en roche ou détritiques. En effet, nous avons vu plus haut que l'encaissant et la morphologie de la minéralisation déterminent la façon dont la mine sera conduite. Le type de minerai présent ne change rien à la manière d'attaquer un filon ou un remplissage karstique. Les mines exploitant des gîtes détritiques peuvent de leur côté être comparées entre elles. Cette phase d'exploitation minière permet de récupérer des minerais et dans certains cas un métal natif (or alluvial ou en roche, plus rarement cuivre ou argent natif), tous associés à des stériles. L'étape qui suit l'extraction, la minéralurgie, vise donc à éliminer un maximum de ces stériles avant de passer à la métallurgie primaire. Il s'agit d'opérer une concentration en minerai riche ou en métal natif traité. On parle aussi d'enrichissement du minerai par des opérations à sec (tri manuel, concassage, broyage, vannage), au feu (grillage) ou encore à l'eau (tri hydro-gravimétrique).

[15] Tous les exemples illustrant les différents aspects mentionnés ne peuvent pas être cités ; les références indiquées dans les pages qui suivent correspondent donc à des choix de sites représentatifs publiés.

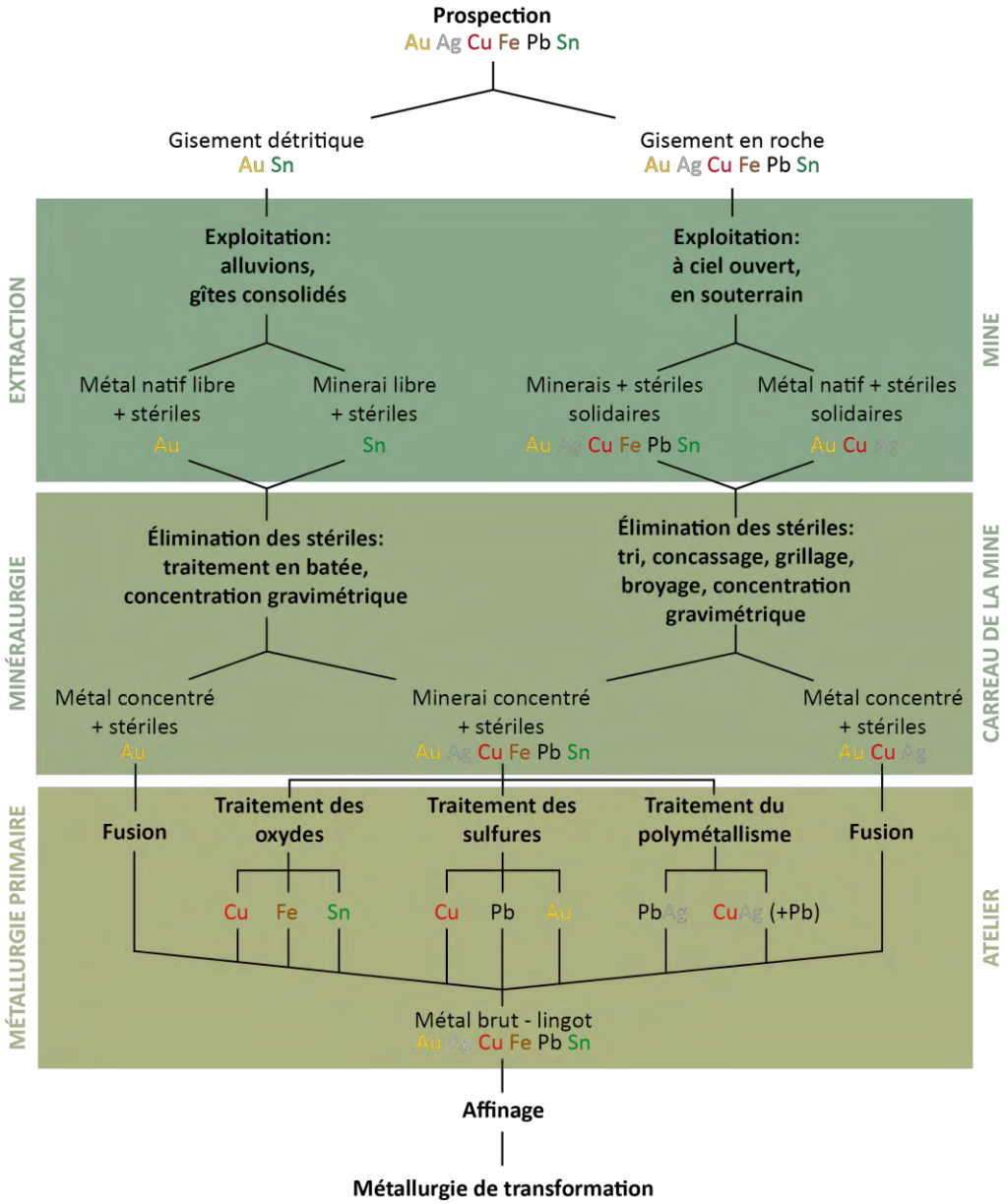


Fig. 5 : Les principales étapes de la mine au métal selon leur spécificité en fonction la substance recherchée.

La minéralurgie ne va pas tant varier en fonction du métal qu'en fonction du type d'exploitation minière et du contexte géologique (nature de la roche encaissante, de la gangue et du type de minerai). D'un côté, dans les gîtes détritiques, l'érosion qui les a formés a déjà fait le travail de séparation entre minéralisation, gangue et roche encaissante. Les substances intéressantes (or ou cassitérite) sont donc libres, mais mêlées à des graviers et des sables dans le cas des alluvions de rivière et enveloppées dans des argiles dans le cas des gîtes détritiques consolidés[16]. La séparation du stérile sera alors faite principalement grâce à l'eau. On pourra utiliser des batées pour l'orpaillage ou procéder à une séparation

[16] Les gisements détritiques consolidés se sont formés dans des temps reculés et se trouvent actuellement dans des terrains sédimentaires massifs. C'est le cas des dépôts aurifères du Tertiaire exploités à Las Médulas (Espagne) par exemple (Hérail & Pérez García 1989, pp. 21-24).

gravimétrique à l'aide de sluices notamment. Cela consiste à utiliser un courant d'eau maîtrisé qui entraîne dans un canal les particules stériles plus légères alors que les particules lourdes, dont l'or et d'autres métaux ou minéraux denses, se déposent sur le fond. Pour les récupérer, le fond des canaux est tapissé de mousses, de plantes pubescentes ou même de peaux d'animaux qui piègent ces particules lourdes. Le concentré obtenu passera ensuite à l'étape de la métallurgie primaire (Cauuet 1999, pp. 56-57).

De l'autre côté, dans les mines en roche, le minerai (pour tous les métaux recherchés) ou le métal natif (or, cuivre, argent) est solidaire des stériles. La gangue ou même l'encaissant se retrouvent dans le même bloc que la minéralisation. La séparation entre les différents éléments ne peut se faire qu'en cassant les blocs remontés à la surface. Un premier concassage peut être effectué dès la sortie sur le carreau* de la mine, avec tri visuel des stériles. Selon la taille des éléments désirée pour l'opération métallurgique, le concassage peut être suivi d'un broyage à la meule pour obtenir des grains plus fins. Si la gangue est très dure, comme dans le cas du quartz, les blocs à concasser peuvent être grillés pour faciliter le travail. Ce grillage aura aussi pour effet d'éliminer une partie du soufre éventuellement contenu dans le minerai. Le produit du broyage est une poudre plus ou moins fine qui mêle grains stériles et grains minéralisés (minerai ou métal natif pour l'or). Pour les séparer, une opération de tri gravimétrique peut être menée, de la même manière que pour les exploitations de gisements détritiques ou par le biais de fosses de décantation (Ambert 1998, p. 2). Le résultat est là aussi un minerai concentré ou du métal natif libéré de la majeure partie des stériles, mais qui en contient toujours un peu.

La métallurgie primaire est la dernière grande étape du processus qui permet d'obtenir un métal brut utilisable. Mais cette étape est plurielle car chaque substance à traiter aura sa propre chaîne opératoire métallurgique. Nous ne les détaillerons pas ici mais en rappelons simplement les grands principes. Une première distinction doit se faire entre métaux natifs et minerais. Les métaux natifs sont naturellement plus proches de la fin de la chaîne. Cependant, qu'ils aient été récupérés depuis des gîtes en roche ou détritiques, le concentré obtenu ne contient que des petits fragments de métal, mêlés avec une proportion variable de stériles fins, incluant les autres minéraux métalliques associés dans le gisement à la substance recherchée. De ce fait, le concentré obtenu ne permet pas une utilisation immédiate de métal épuré. Si dans les tout premiers temps de son utilisation le cuivre natif a pu être mis en forme à froid par martelage (O'Brien 2015, p. 37), la fusion du concentré pour agglomérer le métal est tout de même l'option la plus pratiquée. Cette étape a été bien mise en évidence dans la chaîne opératoire du traitement de l'or en roche des mines gauloises du Limousin. La fusion du concentré dans des creusets permet d'agglomérer l'or et d'évacuer sous forme de scorie (un verre noirâtre) les sables stériles et les autres métaux qui étaient encore présents dans le concentré. Cette opération de fusion peut être répétée plusieurs fois pour épurer au maximum le métal (Cauuet 2004b, p. 107). Il peut ensuite être coulé

dans un moule pour former un lingot[17], de taille et de poids variable selon les périodes et les contextes.

Dans le cas des minerais, il faut non seulement évacuer les stériles restants mais aussi passer à la forme métallique de la substance recherchée. Les opérations métallurgiques vont alors varier pour chaque substance traitée, et peuvent être très simples (réduction des oxydes de cuivre, de la cassitérite) à très complexes (traitement des minerais polymétalliques par exemple). Sans entrer dans les détails, on peut tout de même présenter les principes qui régissent ces réactions.

Parmi les minerais, on distingue les deux grandes familles des minerais oxydés et sulfurés. Les oxydes vont subir une réduction. Cette réaction a lieu grâce au charbon, le carbone qu'il contient et l'oxygène du minerai formant du CO_2 et du CO éliminés dans les fumées. La réaction doit avoir lieu en contexte clos, idéalement un four avec des entrées d'air contrôlées. Pour les sulfures, la réaction se fait en deux temps. Le soufre est éliminé par oxydation du minerai, puis une phase de réduction va permettre d'obtenir le métal. L'oxydation a lieu lors d'une phase de grillage, en foyer ouvert. Lors du traitement minéralurgique, certains minerais ont pu y être déjà soumis. Dans d'autres cas, le grillage fait partie de la chaîne opératoire métallurgique et est suivi immédiatement d'une phase de réduction. Cela a été bien étudié pour le cuivre. Cette phase d'élimination du soufre est primordiale pour la réussite de l'opération et la durée de la réaction doit être longue pour un meilleur résultat (Happ 1998). Mais d'autres procédés permettent d'éliminer le soufre puis l'oxygène en continu dans une seule structure (Bourgarit *et al.* 2010, pp. 279-281). Lors de ces opérations, les stériles sont éliminés sous forme de scories plus ou moins abondantes.

Au-delà des différences entre oxydes et sulfures, les minerais polymétalliques sont autant d'autres cas particuliers, traités en plusieurs étapes pour séparer les différents métaux en présence. La chaîne opératoire du plomb argentifère est assez bien connue pour les périodes anciennes. L'affinité du plomb et de l'argent permet l'obtention d'un alliage métallique de ces deux métaux, appelé le plomb d'œuvre, après traitement de la galène. L'argent est ensuite séparé du plomb par coupellation. Ce procédé est basé sur l'oxydation plus rapide du plomb par rapport à l'argent. Quand le mélange est chauffé, un oxyde de plomb se forme, la litharge, qui surnage au-dessus du mélange. Cet oxyde est absorbé par la coupelle mais peut aussi être récupéré au moyen d'une tige de fer fine sur laquelle se fige la litharge en couches successives, formant des rouleaux (*tubuli* en latin). La litharge pouvait ensuite être réduite pour obtenir du plomb, mais elle faisait aussi partie de la pharmacopée romaine (Domergue 2008, pp. 159-163 ; Baron *et al.* 2010, p. 152).

Les différents métaux bruts obtenus par ces processus passent ensuite dans le circuit de la métallurgie de transformation sous la forme de lingots. Dans certains cas, une étape supplémentaire d'affinage peut être mise en œuvre, par exemple pour évacuer l'argent

[17] Le terme lingot est utilisé ici pour désigner une masse de métal brut, sans présager du respect d'une métrologie quelconque.

présent dans l'or (Craddock *et al.* 2005). Dans le cas de la sidérurgie, l'affinage ou épuration va permettre d'éliminer les petits fragments de scorie encore présents dans la loupe de fer produite à la sortie des bas fourneaux. L'étape minéralurgique se déroule en général à proximité de la mine. La métallurgie primaire peut être mise en œuvre à proximité ou plus loin, tout comme l'affinage. Par contre, les ateliers de métallurgie de transformation se trouvent rarement dans l'entourage immédiat des mines, avec lesquelles ils peuvent être en concurrence du fait des besoins en bois élevés de chaque activité. Selon les débouchés pour le métal, ils peuvent se situer dans des habitats proches ou à plus longue distance, faisant intervenir une étape de transport dans le cadre de circuits économiques variés, et donc une rupture spatiale dans la chaîne opératoire.

Les opérations minières et minéralurgiques sont communes à plusieurs métaux, ce qui permet des comparaisons entre des mines exploitées pour différentes substances. Cela n'est pas négligeable quand on connaît le nombre relativement réduit de mines étudiées en détail (voir plus bas dans ce chapitre, point II. A, p. 77). Il en ressort également que des communautés qui ont pratiqué une activité minière pour un métal donné n'auront pas de difficulté à s'attaquer à une autre minéralisation, pour peu qu'elle se trouve sur leur territoire et leur soit utile. Au contraire, la métallurgie primaire présente un degré de spécificité très élevé selon les métaux du fait des variations de traitement entre les minerais. Le passage de l'un à l'autre est moins évident, même si les grands principes se retrouvent. Ainsi, le contrôle de la température de réaction est crucial, mais elle est différente pour chaque métal. De plus, la nature de la gangue, voire de l'encaissant, peut jouer le rôle de fondant et abaisser la température de réaction. Dans d'autres cas, un fondant est ajouté au minerai pour obtenir cet effet. L'équilibre des proportions entre minerai et charbon peut varier également. Et que dire de la maîtrise des procédés sidérurgiques, dont la complexité n'a été dominée que plus d'un millénaire après l'utilisation courante du cuivre, puis du bronze ? Sans transmission du savoir-faire, le passage du traitement d'un minerai à un autre peut donner lieu à un certain nombre de tâtonnements. La mise en œuvre de la chaîne opératoire idoine étant la seule manière de donner de la valeur au minerai brut, il y a en quelque sorte une obligation de résultat à cette étape de la chaîne, qui va forcément de pair avec la maîtrise d'un savoir-faire minimal. Les « farfelus » de Ramin (1977, p. 52) ne pourront pas prospérer à ce stade de l'activité. Nous nous pencherons donc sur le cas des mineurs dans notre réflexion sur la spécialisation des communautés.

b. L'art de la mine : les critères pour l'évaluer

La phase de prospection, qui permet de repérer les gisements, est primordiale, mais ne laisse généralement que peu de traces exploitables archéologiquement. Ce que l'on peut retrouver sont les petits travaux de recherche (grattages sur affleurement, petites tranchées en surface) éventuellement effectués autour de chantiers de plus grande envergure qui ont fait l'objet d'une véritable exploitation (Cauuet 2004b, pp. 37-40). La variété des gîtes exploités par les Anciens et les nombreuses zones minières identifiées montrent néanmoins leur maîtrise des territoires et de leurs ressources. Nous ne passerons pas ici en revue les

méthodes d'exploitation des mines sur gisements détritiques. On se contentera de signaler que l'orpaillage est la technique la plus simple à mettre en œuvre, et l'exploitation des gisements consolidés par la force hydraulique est celle qui requiert la plus grande maîtrise. En effet, dans ce cas, il faut mettre en place des conduites d'eau vers la partie haute des reliefs à exploiter, ce qui exige un investissement important en travailleurs et en temps et fait appel à des connaissances en ingénierie (en topographie et hydraulique) qui peuvent être poussées (Cauuet 2001a, pp. 32-40 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, pp. 277-281).

Les mines en roche peuvent être souterraines ou à ciel ouvert, ces dernières se prolongeant également sous terre dans certains cas. Creuser est bien l'action maîtresse dans l'exploitation de ces gisements, mais encore faut-il le faire dans les règles de l'art. Deux techniques de creusement coexistent : le travail à l'outil et l'abattage au feu. Les outils les plus utilisés dans ce cas sont le pic et la pointerolle, en fer, dès que ce matériau est utilisable (Domergue 2008, pp. 96-99). Le pic est un outil emmanché, à percussion lancée ; la pointerolle est un outil avec ou sans manche, à percussion posée (Urteaga 1997, p. 513). La pointerolle pourrait être comparée à un burin étroit que le mineur pose contre la roche à abattre et sur laquelle il frappe à coups de massette en fer. Ces deux outils laissent des marques sur les parois sous forme d'incisions étroites, plus longues et régulières dans le cas des pointerolles. Quelques rares exemplaires d'outils de mineurs ont été trouvés en fouille, et on signalera le lot important découvert sur le site de La Loba (Fuenteobejuna, Espagne). Des coins, ciseaux et burins complétaient également la panoplie du mineur (Domergue 2002). L'ouverture au feu était utilisée uniquement en contexte de roche encaissante très dure, et ce depuis la préhistoire (Dubois 1996, p. 33 ; O'Brien 2015, pp. 204-206). Pour fragiliser le matériau à abattre, un bûcher était installé contre la paroi. La chaleur vive provoque une dilatation de la partie superficielle de la roche en contact avec le bûcher. La chaleur ne se diffuse que sur quelques centimètres et les différences de dilatation entraînent la formation de fissures et d'écailles, ce que l'on nomme l'étonnement de la roche. Une partie de ces écailles se détachent d'elles-mêmes de la paroi pendant l'opération, un passage à l'outil sur la surface altérée permet de faire tomber un peu plus de roche. Ce procédé donne un profil ovoïde caractéristique aux travaux, du fait de la diffusion radiale de la chaleur (Dubois 1996, p 33 ; Maass 2005, p. 66 ; Ancel & Py 2008, p. 36).

L'utilisation d'outils est relativement simple à mettre en œuvre, il suffit de disposer des outils et d'une force de frappe suffisante. Pour le feu, les mineurs ne pouvant pas intervenir pendant la combustion, la mise en place du bûcher doit être maîtrisée pour que la chaleur soit bien dirigée sur la zone que les mineurs souhaitent attaquer. Les tentatives de reconstitution en expérimentation montrent la complexité du processus (Ancel & Py 2008, p. 39). L'aérage doit être suffisant car un apport d'oxygène est nécessaire à la combustion et il faut aussi pouvoir évacuer les fumées. Chaque feu permet d'avancer de quelques centimètres seulement. Il faut donc répéter l'opération de nombreuses fois, avec ce que cela implique en termes d'approvisionnement en bois et d'organisation du travail entre phases de combustion, de refroidissement et d'évacuation des produits (minerai, stériles). On

considèrera donc que les mineurs qui utilisent l'abattage au feu développent par la force des choses un certain degré de spécialisation dans la conduite des travaux.

Savoir creuser est une chose, mais il faut aussi maintenir la sécurité du chantier en consolidant les ouvrages. Lorsque des minéralisations sont dépilées, le vide créé par le chantier minier devient une zone de faiblesse structurelle. La force de gravité étant toujours active, des éboulements peuvent s'y produire dans certaines conditions. Là encore, la nature de l'encaissant joue un rôle important. Les roches schisteuses par exemple auront tendance à se déliter plus facilement ; des roches plus compactes par nature mais fissurées ou faillées pourront aussi s'avérer dangereuses. Les mineurs ont donc dû prévenir ces risques en renforçant la structure des travaux (Domergue 2008, pp. 111-113). Deux options principales ont été utilisées : le soutènement naturel, qui consiste à laisser des piliers de roche en place pour soutenir la couronne des travaux, et le boisage, qui renforce au moyen de structures charpentées, simples ou complexes, la zone à protéger. Dans le premier cas, la roche stérile ou très faiblement minéralisée est généralement mise à profit pour ménager ces piliers. En ce qui concerne le boisage, cela va du simple étai coincé en force en travers d'un chantier vertical ou à l'aplomb d'un point de fragilité, à des structures plus sophistiquées pouvant protéger des volumes importants de travaux.

Des exemples de boisages complexes, conservés grâce à un ennoyage des chantiers souterrains, ont été mis au jour dans certaines mines anciennes (Cauuet *et al.* 2005, pp. 430-433 ; Stöllner *et al.* 2011), et notamment dans les mines d'or datées du III^{e} au I^{er} s. av. n. è. en Limousin (Cauuet 2000). Le site de Cros-Gallet Sud (Le Chalard, Haute-Vienne) a livré des étais simples, coincés en force en travers du dépilage entre une encoche d'un côté et des cales de bois de l'autre pour assurer le maintien. Celui des Fouilloux (Jumilhac-le-Grand, Dordogne), après un démarrage à ciel ouvert en fosse allongée, se poursuit par l'exploitation d'un filon incliné de 40º. Il a livré un système plus complexe avec un coffrage intégral de la paroi située au toit du filon, soutenu par un étayage en T ou en U assemblé à tenons et mortaises. La mine de La Fagassière (Château-Chervix, Haute-Vienne) montre un système mixte, utilisant des étais simples au sud et un coffrage maintenu par étais transversaux et latéraux au nord. Des fibres végétales (mousse, fougères, feuillages) étaient placées entre la roche et les planches de coffrage pour compenser les irrégularités de la paroi et permettre un appui plus uniforme des planches. B. Cauuet souligne que les choix dans le mode d'étayage étaient bien adaptés au terrain et que les techniques d'assemblage doivent beaucoup aux connaissances mises en œuvre dans l'architecture à ossature en bois utilisée à cette période de l'âge du Fer (Cauuet 2004b, pp. 53-59). Le volume de bois utilisé indique aussi que des équipes de bûcherons et de charpentiers étaient certainement dédiées à l'activité minière. Cela montre un engagement fort d'une communauté vis-à-vis de ses mines, qui va dans le sens d'une main-d'œuvre importante dédiée à l'extraction.

Un autre problème auquel les mineurs ont pu être confrontés est celui des eaux souterraines. Que ce soit par infiltration depuis la surface ou parce que les travaux atteignent le niveau de la nappe phréatique, les eaux de mine peuvent nuire au déroulement

d'une exploitation. Certains chantiers ouverts dans des contextes où la roche encaissante est poreuse drainent l'eau sans que les mineurs aient à s'en soucier beaucoup. Si les venues d'eau sont importantes et la roche moins perméable, des systèmes d'exhaure ont dû être mis en place (Healy 1978, pp. 100-102 ; Domergue 2008, pp. 120-128 ; Ancel *et al.* 2012 ; O'Brien 2015, p. 220). Les plus basiques consistent à évacuer l'eau vers la surface, à la main. Cela fonctionne pour des venues d'eau peu abondantes. Lorsque le relief s'y prête, des galeries dédiées à l'exhaure peuvent partir d'un point bas des travaux et sortir au jour à un niveau inférieur à travers les stériles. Des saignées creusées à la sole des galeries ou des canaux en bois peuvent aussi servir à guider l'eau pour son évacuation (Cauuet 2004b, pp. 66-69 ; Sánchez-Palencia 2015). Un des plus anciens exemples provient du Royaume-Uni, à Copa Hill (Cwmystwyth, Pays de Galles). L'entrée d'une mine à ciel ouvert a été aménagée sous forme de fossé au fond duquel un canal fait d'un demi-tronc d'aulne évidé a été installé, autour de 1900 av. n. è. (Timberlake 2003b, pp. 39-40). Parfois, des puisards permettent de collecter les eaux de plusieurs secteurs d'une mine pour les évacuer ensuite depuis ce point, en les remontant vers la surface ou jusqu'à une galerie d'exhaure. Pour remonter l'eau vers les niveaux supérieurs, des machineries en bois ont été utilisées[18] : vis d'Archimède et roues à augets, sur le modèle des systèmes d'irrigation développés en Égypte (Wilson 2002, pp. 7-9). La péninsule Ibérique a livré plusieurs exemples de ces deux systèmes (Domergue 2008, pp. 122-125 ; Ugalde 2010). Des roues à augets sont également connues en Dacie romaine, dans les chantiers de Roşia Montană, au II^{e} s. de n. è. (Cauuet 2011, pp. 357-359). Il est également possible que des vis d'Archimède aient été utilisées dans des mines d'or du Limousin entre les III^{e} et I^{er} s. av. n. è. (Cauuet 2004b, p. 69). L'exhaure est un domaine dans lequel différents degrés de complexité sont identifiables, qui témoignent rapidement d'un investissement important d'une communauté dans ces chantiers et peut-être de la présence de techniciens spécialisés ou d'ingénieurs.

L'organisation des chantiers est justement un autre moyen d'évaluer le degré de spécialisation des mineurs impliqués. Des aménagements existent pour faciliter le travail : plates-formes pour atteindre différents niveaux du chantier, planchers pour circuler dans les chantiers verticaux, ou encore encoches dans les parois, échelles ou plans inclinés pour la circulation d'un niveau à l'autre. Des galeries sont parfois creusées dans le stérile pour faciliter la circulation en dehors de la zone de travail ou pour rejoindre plus facilement deux secteurs d'une mine. L'aérage des chantiers est également important, surtout lorsque l'abattage au feu est pratiqué. Des puits peuvent être creusés depuis la surface pour rejoindre les niveaux inférieurs de chantiers et y amener de l'air (Ancel *et al.* 2001, p. 192 ; Morin *et al.* 2012 ; Arboledas Martínez *et al.* 2014, p. 126). Ils peuvent aussi servir pour la circulation des mineurs et permettre de remonter les produits de l'extraction. Les ouvrages d'accès, d'exhaure et de ventilation, qui ne sont pas directement des ouvrages d'exploitation, n'en sont pas moins indispensables au bon déroulement des travaux. Pour les grands chantiers dans lesquels plusieurs secteurs peuvent être exploités simultanément, ces

[18] L'utilisation de seaux ou d'outres en peau est aussi attestée (Timberlake 2003b, pp. 69-70).

ouvrages participent à la structuration des secteurs de travail (Rouzaud *et al.* 1997, p. 277 ; Cauuet 2011, p. 360).

Dans certains cas, la topographie des chantiers peut mettre en évidence un découpage de l'espace minier lié à une organisation en concessions. Ce type d'organisation a pu être mis en évidence sur le site d'Aljustrel au Portugal ou à Roşia Montană en Roumanie (Cauuet 2004a, p. 38-42). La gestion des déchets fait aussi partie de l'organisation de l'espace minier. Le rebouchage de chantiers ou de secteurs déjà exploités est particulièrement répandu dans l'exploitation minière, depuis l'origine de cette activité. Cela limite la manutention de stériles et permet également d'aménager l'espace dans les chantiers, avec la mise en place de plates-formes de travail, d'assurer le soutènement en comblant des secteurs sensibles de la mine, ou de délimiter des espaces de circulation (Bailly-Maître 1997b, p. 289 ; Antolinos Marín *et al.* 2013, pp. 165). Bien sûr, plus le chantier est grand, plus il est facile de percevoir des éléments d'organisation. Cependant, même sur des petits travaux, des mineurs chevronnés mettront en place les éléments nécessaires à une exploitation efficace.

Le dernier aspect permettant de mettre en évidence le degré de spécialisation des mineurs est leur capacité à comprendre la géologie du gisement qu'ils exploitent et à orienter l'exploitation selon la minéralisation. Cela a pu être mis en évidence grâce à des collaborations entre géologues et archéologues sur le terrain, à l'échelle d'une mine (voir 0, p. 91). Suivre la minéralisation principale et repérer les corps de minerai (filons, stockwerks, brèches) est le premier degré de compréhension géologique. C'est ainsi que les exploitations sur filon seront globalement rectilignes et adossées au pendage de la structure. Mais d'autres éléments peuvent révéler une compréhension plus avancée des caractéristiques de la minéralisation. La minéralisation principale peut être rejointe par des filons croiseurs qui produisent un enrichissement local de la structure. Des élargissements de travaux ont pu être décidés pour tirer parti de ces secteurs plus riches. Cela a été mis en évidence dans la mine des Barrencs (Lastours – Fourne Cabardès, Aude) où ces enrichissements, même de petite taille, ont été soigneusement exploités (Munteanu *et al.* 2016, pp. 178). L'étude géologique menée dans les travaux de Roşia Montană a permis de montrer que les mineurs avaient reconnu le phénomène de silicification de la roche à proximité des minéralisations et qu'ils suivaient cet indice (augmentation de la dureté de la roche, couleur grisâtre) dans des ouvrages de recherche, pour localiser d'autres corps minéralisés. Une fois la zone silicifiée dépassée, les recherches étaient interrompues pour ne pas travailler inutilement dans la roche stérile (Cauuet & Tămaş 2012, pp. 237-239).

c. Les communautés minières : des spécialistes de l'adaptation

La première chose qui transparaît de la présentation qui vient d'être faite est que l'amateurisme n'est pas vraiment possible quand il s'agit de mener une exploitation d'envergure. La première raison en est que la mine est une activité qui demande du temps. La dureté de la roche limite les mètres cubes qu'il est possible d'extraire par jour. De plus, l'espace confiné des travaux en souterrain ne permet pas un travail à plusieurs équipes sur

un même front de taille*. Les galeries ou les chantiers qui ont juste une largeur d'homme ou un peu plus sont très fréquents, même dans les grands réseaux. Plusieurs secteurs peuvent par contre être exploités simultanément, et les grands chantiers ont été ouverts par des équipes élargies. Quand la morphologie de la minéralisation s'y prête, l'exploitation peut se faire sur plusieurs niveaux de manière simultanée. Cela demande de pouvoir employer un certain nombre de personnes en continu pour cette activité, qui ne seront donc pas disponibles pour d'autres types de productions, artisanales ou alimentaires. Si l'on ajoute à cela les métallurgistes qui doivent traiter le métal, ainsi que les bûcherons et/ou charpentiers dans un contexte où les besoins en bois sont élevés (ouverture au feu dominante, soutènement généralisé), cela engendre nécessairement des spécialisations au sein de la communauté qui pratique cette activité.

Quand on considère des chantiers de taille plus modeste, les choses sont plus nuancées. La présentation des techniques minières au point précédent permet d'évaluer le degré de spécialisation nécessaire à leur mise en œuvre, qui est variable mais demande souvent un investissement en temps ou en main-d'œuvre et la mobilisation de connaissances qu'il est difficile de rassembler sans une volonté assumée de s'investir dans l'activité. On peut donc se demander s'il est possible d'ouvrir un chantier minier sans s'y spécialiser.

Nous avons évoqué les aménagements annexes à l'exploitation, mais qui lui sont parfois indispensables comme les dispositifs d'exhaure, d'aérage, les plates-formes de travail ou encore les éléments de soutènement. On ne trouve pas forcément l'ensemble de ces dispositifs dans toutes les mines. Les très grands chantiers, là encore, sont plus susceptibles de les rassembler, mais il faut garder à l'esprit qu'ils sont mis en œuvre en fonction des nécessités réelles de chaque mine. On l'a dit, l'exhaure pourra être gérée par des dispositifs très simples si les chantiers n'atteignent pas la nappe phréatique ou se situent en milieu très sec. Le soutènement n'impliquera pas toujours l'utilisation de boisages si la roche encaissante est saine et peut être supportée par des piliers de roche laissée en place. L'aérage fera l'objet de creusements spécifiques pour des chantiers profonds n'ayant que peu d'accès au jour. Il n'y a guère que la gestion des stériles qui soit communément exprimée par un remblaiement des chantiers anciens. Et encore, là aussi des variations sont possibles. L'absence d'un élément ou un autre n'est pas forcément une marque d'amateurisme, et témoigne simplement des nécessités spécifiques du chantier concerné.

L'allure des travaux pourrait aussi être considérée comme une marque de spécialisation des mineurs. En effet, quand on est face à des chantiers réguliers, comme c'est le cas de ceux de Roşia Montană, avec de belles galeries de section trapézoïdale, on ne peut bien sûr pas penser à des mineurs occasionnels (Cauuet 2014, pp. 92-98). Mais tous les chantiers n'ont pas cette allure, même si les travaux sont bien développés en extension. Le cas a pu être observé dans la mine de la Rambla del Abenque de la Sierra Minera de Carthagène en Espagne, dans laquelle le réseau situé près de l'entrée actuelle a un profil totalement irrégulier. Cette partie des travaux semblait au départ l'œuvre de mineurs mal organisés, ayant exploité un secteur au hasard. L'étude géologique a montré qu'il s'agissait de

l'exploitation d'un remplissage karstique, aux contours irréguliers, parfaitement compris et suivi par les mineurs (Fabre *et al.* 2018, p. 133).

Pour les périodes anciennes, la conduite d'une mine ne se fait pas suivant un cahier des charges strict avec une série de solutions prédéfinies à adopter en toutes circonstances. Il s'agit plutôt de respecter des grands principes et de trouver dans chaque cas la solution la plus appropriée au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Le premier principe est celui de l'efficacité. Les creusements dans le stérile doivent être limités, en suivant au plus près les minéralisations. Le deuxième principe est celui de la sécurité : le passage en souterrain en particulier implique de se prémunir des éboulements, mais également de l'ennoyage des chantiers et de l'asphyxie. Si l'un de ces trois évènements se produit, l'exploitation n'est plus possible et il n'y a pas de demi-mesure envisageable. Le troisième et dernier principe est celui de l'ergonomie des chantiers. Parler d'ergonomie peut paraître bien loin de la réalité dans certains travaux où l'espace est limité à celui strictement nécessaire à la circulation, obligeant parfois à ramper. Un minimum sera cependant toujours nécessaire, comme l'aménagement de passages verticaux pour la circulation, avec au moins des encoches par exemple. Les mines antiques les plus confortables permettent aux mineurs de circuler debout, les passages verticaux sont équipés d'échelles ou aménagés avec des plans inclinés ou des escaliers, des plates-formes sur stériles ou en bois facilitent l'accès à la minéralisation, et on pourrait aussi y inclure l'éclairage au moyen de lampes disposées dans des niches creusées dans les parois. Cette combinaison d'aménagements se retrouve notamment dans les mines d'or romaines de Roşia Montană, en Roumanie (Cauuet 2011). L'éventail des choix possibles est là aussi très large, et c'est le seul domaine dans lequel les mineurs se libèrent des contraintes géologiques ou du milieu. En effet, suivre les minéralisations de près pour limiter les creusements dans le stérile impose de comprendre la morphologie du gisement, conditionnée par des processus géologiques. Les questions de sécurité sont aussi liées à la géologie, qui détermine la nature de l'encaissant et la profondeur atteinte par la minéralisation. Le milieu plus ou moins humide joue aussi un rôle dans les impératifs d'exhaure. Décider d'attaquer un peu plus le stérile pour obtenir des galeries où l'on se tienne debout relève de l'arbitraire et, pourrait-on dire, d'une forme de volonté de s'affranchir des contraintes naturelles du milieu souterrain.

Des petites mines qui ne montrent pas un grand investissement dans leur exploitation sont tout de même connues pour ces périodes anciennes. Elles sont peu nombreuses, ce qui est logique car des petits chantiers laissent moins de traces et sont plus difficiles à repérer pour les archéologues, et plus facilement détruites lors des reprises éventuelles. Un ensemble de petits travaux pour or sur le plateau de l'Assaladou (à 1600 m d'altitude), près d'Ax-les-Thermes en Ariège, a pu être étudié par B. Cauuet (Cauuet 2001b). Deux des fosses minières repérées en prospection ont été sondées. La première a révélé un chantier à ciel ouvert qui se poursuit par une galerie descendante souterraine qui atteint 8,3 m de profondeur. La seconde correspond à une fosse sans prolongement souterrain. Ces travaux de faible ampleur sont datés de l'Antiquité tardive. L'étude géologique a montré que les

filons exploités sont minces et que les réserves d'or sur ce secteur sont assez faibles (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 216-220). Cette configuration (ressources réduites, altitude élevée, enneigement hivernal, travaux de faible ampleur et techniquement simples) s'applique plutôt, selon B. Cauuet, à des mines exploitées saisonnièrement en complément d'une activité pastorale, par des populations qui mettaient à profit leur connaissance et fréquentation du secteur. On ne parlera pas dans ce cas d'une communauté spécialisée dans l'activité minière, même si ceux qui la pratiquaient ont pu acquérir un certain savoir-faire.

Nous n'avons pas dressé d'inventaire des formes et des dimensions des chantiers anciens car leur variabilité est forte. La morphologie de la minéralisation détermine celle des travaux. Les filons seront exploités par des chantiers étroits et allongés, qui suivent le pendage de la structure, vertical ou incliné. Les amas et gîtes stratiformes donnent lieu, en fonction de leur épaisseur, à des travaux horizontaux ou à des chambres plus vastes, pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur. Les remplissages karstiques, par nature irréguliers, engendrent des chantiers aux formes très variées. La taille des chantiers est toujours adaptée à la puissance de la minéralisation. Les structures de faible puissance seront suffisamment décaissées pour permettre le travail mais pas au-delà. Les creusements dans le stérile (galerie de jonction, d'exhaure, …) sont eux aussi limités à l'indispensable. Le gabarit moyen correspond au volume permettant à un adulte de circuler, parfois de profil, souvent courbé. L'étroitesse de certains passages semble indiquer le travail d'adolescents. Les travaux plus larges s'expliquent par des minéralisations plus puissantes ou par la nécessité de prévoir un volume pour caler des boisages par exemple. Des zones de circulation desservant plusieurs secteurs d'une mine peuvent aussi être élargies pour permettre à deux personnes de se croiser. Les solutions sont adaptées à chaque mine, à chaque secteur, et à l'investissement acceptable en fonction du produit attendu (stérile, minerai riche ou pauvre en petite ou grande quantité). La pratique des mineurs leur permet de mesurer les efforts nécessaires au creusement des différents secteurs et la bonne compréhension du gisement permet d'évaluer la pertinence des travaux à mener.

Plusieurs degrés d'investissement peuvent exister vis-à-vis de la pratique de l'activité minière. La question a été traitée au sujet des mines de l'âge du Bronze, en soulignant le rapport entre la production de métal et la production alimentaire, sujet plus sensible pour les sociétés peu hiérarchisées connues jusqu'au Bronze Final. Plusieurs conditions doivent être réunies pour qu'une spécialisation réelle soit possible, spécialisation qui devient une nécessité quand certains seuils sont atteints. Ces conditions sont indissociables du contexte économique et social dans lequel se déroule l'activité (Stöllner 2003, pp. 422-429 ; O'Brien 2015, pp. 245-253)[19]. Mais la première d'entre elles reste l'installation d'une communauté à proximité des gisements. Plus l'exploitation sera intensive et durable, plus cette installation sera ancrée dans le périmètre des mines. Les mineurs seront alors identifiés comme tels au sein de leur communauté et les groupes qui font le choix de s'investir dans l'obtention des

[19] Ces aspects seront discutés plus loin (dans ce chapitre, point I. B, p. 47).

métaux auront aussi une place particulière, voire une certaine considération, vis-à-vis des consommateurs de cette matière première.

I. A. 3. La structuration du territoire minier

a. L'emprise au sol : des surfaces occupées sans partage par la mine

L'emprise au sol de l'activité minière ne se limite pas à l'espace du chantier. Les stériles, stockés autour des travaux, forment des amas plus ou moins étendus selon l'ampleur de l'extraction. D'autre part, diverses installations liées à la mine se trouvent souvent dans ses environs proches comme les aires de préparation du minerai, les ateliers métallurgiques, ou encore les habitats pour les mineurs. Cela augmente d'autant la surface occupée de fait par l'activité minière.

Les haldes, ou dépôts de déchets miniers, sont constituées par les blocs de roche stérile, les parties de la gangue et de l'encaissant séparées du minerai, et éventuellement des résidus de minerai à trop faible teneur pour être traités. Tous ces débris ont des tailles plutôt régulières et relativement réduites dans le cas de chantiers anciens. L'exploitation manuelle provoque une sorte de calibrage des éclats rocheux dans la mesure où la taille des blocs détachés des parois est de fait limitée et el fruit d'un travail régulier. Lors de la préparation du minerai, le concassage se fait jusqu'à une taille réduite et régulière pour que le tri entre gangue et minerai soit le plus efficace possible. Les résidus qui en découlent sont de plus petite taille que ceux des haldes et d'un gabarit régulier.

Au démarrage d'une exploitation, tous les éléments rocheux inutiles pour le mineur sont sortis et stockés à proximité. Lorsque les travaux sont plus avancés et que des secteurs vides ne sont plus exploités, une partie des déblais stériles peut être laissée sous terre. Mais ce n'est possible que si la configuration du chantier le permet. Si les secteurs sont bien individualisés, avec des accès indépendants, on peut remblayer ceux qui ne sont plus travaillés. Si l'accès aux nouvelles zones de travail oblige à passer par les plus anciennes, le remblaiement ne pourra être que partiel. Le cas des chantiers verticaux ou subverticaux peut même empêcher toute utilisation du chantier comme zone de stockage, et certaines mines restent ainsi vides après leur utilisation, comme aux Barrencs (Beyrie *et al.* 2011, p. 47). En effet, quand l'exploitation se fait du haut vers le bas, le fond du chantier est toujours la zone d'activité. Ce type de chantier ne peut donc être utilisé comme aire de stockage de stériles que lorsqu'il est abandonné, avec la ferme intention de ne pas y retourner[20]. Il en va de même pour les exploitations en fosse à ciel ouvert. Lorsque plusieurs fosses ou chantiers verticaux sont travaillés successivement à faible distance, le long d'un faisceau de filons par exemple, les déblais peuvent être déposés au fur et à mesure dans le

[20] Les exemples de mines remblayées sont trop nombreux pour en dresser ici l'inventaire. S'il était besoin de s'en persuader, les synthèses déjà évoquées en donnent des exemples variés. On signalera tout de même que pour certains travaux, des raisons non fonctionnelles sont invoquées pour expliquer le remblaiement. C'est le cas à Ai Bunar (Bulgarie), au IV^{e} millénaire, où le remblaiement particulièrement soigneux des chantiers pourrait montrer une volonté d'expier l'acte d'extraire les minerais du sol (Chernykh 1978).

chantier précédent. Le dernier chantier restera ouvert plus longtemps et pourra servir de décharge, mais plus forcément pour des déblais de mine. Certains chantiers sont parfois remblayés longtemps après la fin de leur exploitation, lorsque le terrain est réoccupé pour d'autres activités (agriculture, élevage ou habitat).

Au-delà des haldes, l'aire minière est occupée en surface par des ateliers de traitement du minerai. Cette phase d'activité génère elle aussi une importante proportion de stériles qui sera moins gênante dans l'entourage déjà altéré des mines. Ces aires de traitement se trouvent souvent sur le carreau de la mine, c'est-à-dire juste à côté des entrées au chantier. Fins éclats de roche, tables de broyage, meules, pilons sont les éléments que l'on retrouve dans ces espaces. Quand une phase de concentration gravimétrique à l'eau est nécessaire, on peut trouver diverses installations dédiées : canaux, cuves et bassins. Les aires de grillage sont matérialisées par des zones rubéfiées au sol, des fragments d'argile rougie, ou encore des petits éclats de minerai grillé. De nombreux sites ont livré ce genre de vestiges, depuis la préhistoire jusqu'à des périodes plus récentes. C'est le cas pour les mines de cuivre les plus anciennes[21] connues en Europe, à Rudna Glava (Serbie), autour desquelles des plates-formes aménagées sur les pentes ont servi d'aires de concassage (O'Brien 2015, pp. 45-47). A Monte Loreto (Italie), les fouilles des haldes ont montré des sols intercalés entre les couches de stérile[22], riches en fragments de gangue. Datés du IV^{e} millénaire, ils sont interprétés comme des aires temporaires de tri de minerai et de grillage à basse température (Maggi & Pearce 2005, pp. 70-71). Les mines de cuivre de Ross Island et Mount Gabriel (Irlande), respectivement de la fin du III^{e} millénaire et du début du II^{e}, ont livré, en plus des aires de traitement de minerai, des vestiges liés à la fabrication et à la réparation des outils pour les mineurs, en bois, os et pierre (O'Brien 2007, p. 24). Pour l'âge du Fer, on retiendra les installations liées aux mines d'or du Limousin. Des aires de grillage et de concentration à l'eau du III^{e} s. av. n. è. ont été mises au jour dans un rayon de moins de 50 m autour des fosses d'extraction, sur les sites de Cros-Gallet Nord (Le Chalard, Haute-Vienne) et des Fouilloux (Cauuet 1999, pp. 56-57).

Les ateliers de métallurgie primaire peuvent aussi se trouver dans les environs immédiats des mines, tout comme les habitats de mineurs. Dans le cas d'exploitation saisonnière en particulier, des habitats sont installés près des mines pour la durée de l'exploitation, sous forme de campement, comme cela a été reconnue près des mines de cuivre de Ross Island en Irlande ou La Loma de la Tejería en Espagne, pour l'âge du Bronze (O'Brien 2007 ; Montero Ruiz & Rodríguez de la Esperanza 2008). Le métal est alors produit sur place dans des petits ateliers, qui ne laissent parfois que peu de traces. Des installations pérennes sont identifiées quand l'activité est continue. Là encore, le site de Cros-Gallet Nord nous donne un exemple du III^{e} s. av. n. è. avec un fond de cabane identifié près des travaux[23] (Cauuet

[21] Fin du VI^{e} et début du V^{e} millénaire.

[22] On notera au passage que le volume des stériles oblige à recouvrir des espaces de travail avec les haldes.

[23] L'opération se déroulant dans un cadre préventif, une seule structure de ce type a pu être fouillée mais d'autres habitations avaient été repérées autour, formant un village de mineurs.

1999, pp. 60-63). Pour l'Antiquité, on signalera l'exemple du village de mineurs de La Loba (Espagne). Les vestiges identifiés indiquent également la présence sur place d'un atelier de métallurgie primaire, qui traitait du plomb et du cuivre, tous deux argentifères. L'exploitation, de courte durée (une trentaine d'années au plus), s'est déroulée dans les premières décennies du I^{er} s. av. n. è. (Domergue & Sillières 2002, p. 383). Des installations durables sont connues dès l'âge du Bronze. A proximité des mines, on a l'exemple du site d'extraction de cassitérite, le Cerro de San Cristóbal (Espagne), daté entre les IX^{e} et VII^{e} s. av. n. è. où les activités de préparation du minerai et de réduction se déroulaient dans les habitations situées entre les travaux (Rodríguez Díaz *et al.* 2014, pp. 179-183).

Les espaces utilisés par les mines et les installations annexes ne peuvent pas être partagés avec d'autres activités, à moins de rester à un stade embryonnaire. Dans les zones de montagne, les mineurs peuvent se retrouver en conflit avec les éleveurs ; dans les zones de plaine, avec les agriculteurs. En plus de l'espace, ce sont aussi des ressources en bois et en eau qui peuvent être absorbées par la mine et le traitement du minerai. D'autre part, il faut garder à l'esprit que les aires minières sont condamnées pour longtemps pour les autres activités : les chantiers et leurs haldes deviennent des zones minérales peu accueillantes qui marquent le paysage en profondeur et recouvrent les sols labourables de matériaux caillouteux, souvent trop volumineux pour être déplacés. Des conflits nous sont rapportés par Strabon (*Géographie*, IV, 6, 7) à propos de l'utilisation de l'eau faite par les Salasses pour exploiter leurs mines d'or, dans le Piémont italien. En dérivant en amont une rivière, les mineurs privaient les populations en aval de moyen d'irrigation. Les mineurs ont finalement eu gain de cause, ce qui montre l'importance attribuée à la production de métal. Ces conflits n'ont laissé que peu de traces aux périodes les plus anciennes et il est difficile d'évaluer leur fréquence. Le fait est que nous trouvons aujourd'hui les vestiges des chantiers qui ont réussi à dépasser les oppositions éventuelles et à imposer l'extraction minière face à d'autres types d'activités. Les relations entre les centres miniers et les zones de productions agro-pastorales s'organisent alors en fonction des possibilités de chaque territoire, et des surfaces laissées libres par la mine.

b. Les schémas de répartition de l'activité : regroupement ou dispersion

Les mines anciennes avec leurs haldes et les aires de traitement minéralurgique sont normalement regroupées dans le même périmètre. Les ateliers de métallurgie primaire et les habitats ne sont quant à eux pas toujours tout près des chantiers. Et ils ne fonctionnent pas forcément non plus systématiquement ensemble. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces choix. Le premier est celui de la localisation géographique de la mine. Le second, qui est en partie subordonné au premier, est celui de la fertilité du milieu. Le troisième est celui de l'organisation de l'activité, qui peut découler des contraintes naturelles mais aussi répondre à des choix de gestion plus arbitraires.

La localisation géographique d'un gisement va conditionner tout d'abord son accessibilité dans le temps. En effet, les zones au climat tempéré sont plus propices à une occupation

continue sur l'année. Les zones aux climats plus rudes comme la haute montagne pourront voir leur accès limité une partie de l'année. Si l'activité minière est saisonnière, des installations de type campement sont implantées près des mines pour fournir un abri aux mineurs le temps de l'exploitation. Des ateliers métallurgiques sont installés eux aussi à chaque saison sur place. D'autre part, le type de relief sur lequel est implantée l'aire minière aura un impact dans la mesure où des pentes abruptes ne laissent que peu d'espace pour des installations autour des mines. Les diverses installations pourront alors être un peu plus dispersées. Au contraire, les reliefs doux de piémont ou de plaine offriront facilement la surface nécessaire à l'implantation d'habitat et d'ateliers.

La fertilité du milieu autour des mines implique tout d'abord la présence d'eau, indispensable pour les habitats et souvent nécessaire pour les ateliers. L'existence de forêts est aussi un élément important car le bois, utilisé dans les constructions et sous forme de charbon, est essentiel à la métallurgie et pour les habitats. Mais une grande consommation de bois est aussi générée dans le cas de l'ouverture au feu. Avec un climat favorable, la croissance des arbres pourra être rapide et assurer un fort renouvellement sylvicole, autorisant une exploitation minière intensive et longue avec une gestion de la forêt. Cet aspect a été mis en avant au sujet de l'exploitation du cuivre sur l'île de Chypre (Stöllner 2003, p. 423 ; O'Brien 2015, p. 65). Enfin, la fertilité s'exprime aussi dans le potentiel agricole des terroirs proches des mines. L'implantation d'un habitat pérenne près des chantiers en est tributaire, mais une organisation qui associe aires de production minière et aires agricoles peut permettre de pallier les déficits locaux.

Sur le site minier de l'âge du Bronze d'El Áramo (Asturies, Espagne), qui combine une exploitation en altitude (1160 m) probablement saisonnière et un relief peu accueillant, les aires de traitement minéralurgique et les ateliers de métallurgie primaire se trouvent à quelques centaines de mètres de la mine. L'espace a été aménagé par des petites terrasses étroites et est occupé par des structures domestiques et d'autres dédiées à la concentration du minerai et à la production de métal (De Blas Cortina *et al.* 2013, pp. 173-179). Les habitats permanents se trouvent plus bas dans les vallées. Les difficultés d'accès au site ont aussi conduit à une utilisation prolongée des outils lithiques, faits de galets collectés dans les vallées à plusieurs km. Ils sont marqués par une très forte usure (de Blas Cortina 2014). Un exemple de dispersion plus accentuée est donné par la mine de cuivre de l'âge du Bronze ancien de St-Véran (Hautes-Alpes), située à plus de 2500 m d'altitude, qui cumule les facteurs d'une localisation géographique peu favorable et d'une fertilité réduite. Elle a pourtant été le siège d'une production intense de métal, estimée à 1400 tonnes de cuivre entre 2400 et 2000 av. n. è, probablement en exploitation saisonnière. Un abri sous roche a servi d'habitat lors de plusieurs campagnes d'extraction. Seuls deux ateliers sont connus à ce jour dans les environs de cette mine. Ils sont tous les deux situés un peu plus bas sur les versants sud et nord, à une distance respective de 350 m et près de 2 km, mais à des altitudes tout de même proches des 2300 m. Ces deux ateliers ont fonctionné sur des petites périodes (une saison) et selon les auteurs, de très nombreux autres sites doivent exister à

moyenne distance, voire au-delà, montrant un éclatement de la production métallurgique, dans le temps et dans l'espace (Bourgarit *et al.* 2010).

Outre les contraintes naturelles, les choix des sociétés qui pratiquent l'exploitation minière peuvent aussi conduire à une certaine répartition de l'activité. Ainsi, le caractère saisonnier de la mine ne s'explique pas que par les conditions climatiques. C'est un schéma souvent proposé pour les communautés pour lesquelles la mine n'est pas l'activité principale. Les exploitations de l'âge du Bronze de l'Irlande et de la Grande-Bretagne sont ainsi supposées fonctionner lorsque les travaux agricoles demandent moins de main-d'œuvre, c'est-à-dire plutôt l'hiver, même si les chantiers sont accessibles toute l'année. Des campements de mineurs sont connus auprès des travaux, mais les habitats pérennes de cette période sont très mal connus (O'Brien 2007, pp. 21-25).

Lorsque la mine devient l'activité principale d'un groupe autonome sur toute la chaîne de la mine au métal, la tendance est au regroupement de la triade mine-atelier-habitat. C'est bien sûr le cas lorsque le contexte naturel s'y prête. Nous avons cité plus haut l'exemple de la mine de Cros-Gallet Nord qui regroupe au III^{e} s. av. n. è. mine, atelier et habitat. Cela peut aussi être fait en dépit de conditions défavorables. Ainsi, le village minier de l'âge du Bronze de Gorny (Russie), après une première phase d'occupation saisonnière, connaît une phase d'activité pérenne. Ce village est implanté au milieu de chantiers miniers cuprifères du district de Kargaly, au sud de l'Oural, dans une zone de steppes. Les conditions climatiques ne sont pas favorables, les forêts se trouvaient à au moins 200 km, et il n'y a pas de ressources en eau sur les hauteurs occupées. Pourtant, l'activité minière intense a conduit peu à peu à la fixation de populations sur plusieurs siècles, entre 2400 et 2000 av. n. è. La métallurgie extractive était pratiquée sur place dans une certaine mesure ; des moules pour fabriquer des objets et notamment des pics de mineurs y ont également été retrouvés. Cependant, une partie du minerai de cuivre était exporté, les ressources boisées ne permettant pas une métallurgie intensive sur place (Chernykh 1998, pp. 73-74). Le passage d'une extraction saisonnière à une extraction continue dans ce contexte n'est possible que si les mineurs-métallurgistes sont intégrés à un système plus vaste établissant les relations entre producteurs et consommateurs de métal, ces derniers fournissant les ressources nécessaires à l'activité minière.

Des schémas de segmentation de l'activité entre mine et métallurgie primaire sont également observés en réponse à des critères de gestion de l'activité. La volonté de contrôler la production de métal est alors le facteur prédominant. Une première configuration correspond à des ateliers métallurgiques qui sont éloignés des mines et intégrés à un habitat auquel les mineurs peuvent également être rattachés. On peut alors se demander si le métal a une valeur élevée pour ce groupe, car la métallurgie extractive n'est pas une activité propre et discrète. Elle demande la mise à disposition de charbon, de fours, de foyers, elle génère des scories, dégage des fumées. Ce choix d'une installation au sein d'un habitat, alors qu'il existe la possibilité de le faire près des mines dans un environnement déjà altéré, n'est pas anodin. Cela a été identifié sur le site de Peñalosa (Baños de la Encina,

Espagne), de l'âge du Bronze. Du minerai était transporté dans cet habitat depuis les mines environnantes, concentré sur place et réduit pour obtenir du cuivre. Les activités métallurgiques étaient là intégrées aux autres travaux à vocation domestique ou alimentaire (Moreno Onorato *et al.* 2012). Un autre exemple de la fin du 2nd âge du Fer est celui de l'habitat fortifié d'Outeiro Lesenho (Boticas, Portugal). Une intervention archéologique ponctuelle a montré, par la présence de scories associées à une structure de combustion, le traitement local de la cassitérite (Martins *et al.* 2010, pp. 56-57). Les mines connues les plus proches sont situées à quelques kilomètres de l'habitat. Les études menées sur ces deux exemples ne permettent pas pour l'heure d'affirmer si plusieurs mines étaient exploitées simultanément ou si les chantiers environnants ont été travaillés l'un après l'autre. Ce type d'organisation a aussi été mis en évidence à l'échelle d'un territoire minier dans la Sierra Menera (Espagne). Il s'agit d'un district sidérurgique exploité entre le IIe s. av. n. è. et le IIe s. de n. è. avec des reprises aux périodes islamique et moderne. Les sites miniers sont situés sur les reliefs de la Sierra et 32 ateliers anciens sont associés à des habitats dans les vallées. Comme à Peñalosa, la production de métal était une des activités des communautés qui exploitaient ainsi l'ensemble des ressources de leur territoire (Fabre *et al.* 2012b, pp. 54-57).

Une autre configuration segmentée traduit la centralisation de la production de métal, dans un district où plusieurs mines sont exploitées simultanément. L'atelier central ne sera pas forcément au même endroit que l'habitat principal. Dans cette configuration, l'atelier sera bien sûr implanté dans un endroit favorable, avec un accès à des ressources boisées. La proximité de voies de circulation peut être un critère supplémentaire du choix de l'emplacement, dans l'optique de la diffusion du métal. Ce type d'atelier central contribue à une gestion des ressources et de la production dans laquelle les critères de rentabilité seront *a priori* plus présents que dans d'autres schémas. Cela suppose aussi une activité soutenue qui s'accompagne d'une production importante qu'il faut écouler. Cela favorise enfin un contrôle externe sur la chaîne opératoire de la mine au métal, d'autant plus intéressant dans le cas de production de métaux précieux, le produit final étant disponible à un seul endroit (tout comme dans le cas de figure précédent). On rencontre ce système en particulier à partir de la période romaine, dans des districts où l'activité minière connaît un essor particulier. Cela a été mis en évidence dans le Sud-Est de la péninsule Ibérique, dans le district minier à plomb argentifère de Carthagène, entre la fin du IIe s. av. n. è. et le Ier s. av. n. è. Les mines sont exploitées par des petites sociétés qui se chargent aussi de la concentration du minerai autour des chantiers. Les ateliers de métallurgie primaire sont quant à eux répartis différemment. Des crassiers antiques, largement ré-exploités à la période Moderne mais inventoriés par les ingénieurs miniers, indiquent que le traitement du minerai se faisait à distance des mines. Le volume des scories identifiées (plusieurs milliers de tonnes) montre une concentration de la production de métal (Rico 2010, pp. 403-404). Un schéma similaire est proposé pour l'atelier sidérurgique du domaine des Forges (Les Martys, Aude), qui semble avoir centralisé le traitement du minerai de plusieurs gisements des environs (Domergue 1993, p. 39).

Dans ces deux dernières configurations (atelier délocalisé dans l'habitat et atelier centralisé), la séparation entre mine et atelier métallurgique peut traduire une perte d'autonomie des différents acteurs de la chaîne. Les mineurs se trouvent en effet coupés de la production du métal, dont la valeur est bien supérieure à celle du minerai brut. Même s'il est vrai que l'atelier ne pourra pas fonctionner sans minerai, l'avantage semble tout de même du côté des métallurgistes. Mais on peut aussi imaginer qu'une communauté intégrant mineurs et métallurgistes décide de s'organiser pour exploiter plusieurs gisements et ne gérer qu'un atelier, ou encore choisisse de produire le métal au sein d'un habitat pour protéger la production. Sans inscription, texte, ou fouille étendue des différents lieux de l'activité, il est impossible de trancher sur la seule base de la répartition spatiale de l'activité. Cela apporte tout de même quelques indices qui peuvent aider à délimiter les possibilités.

Les schémas présentés ici sont nécessairement réducteurs. Tout d'abord au sujet de l'habitat, il faut bien avoir à l'esprit que dès que les mines (ou l'atelier) se trouvent à une distance qui ne permet pas de faire l'aller-retour dans la journée, en plus du temps de travail, une solution de logement doit exister sur place. Il peut alors s'agir d'installations sommaires dans lesquelles les mineurs passeront des périodes assez courtes (de quelques jours à quelques semaines), le véritable habitat étant situé plus loin. D'autre part, des situations intermédiaires ou mixtes ont pu exister, sans que l'on puisse toujours en cerner les raisons précises. Ainsi, en prenant de nouveau l'exemple de Peñalosa, la métallurgie primaire n'a pas été pratiquée exclusivement dans le village. Les fouilles récentes près de la mine de José Martín Palacios – Doña Eva, située à 3 km du village, le montrent. Des vestiges d'une activité de réduction contemporains de l'habitat ont été mis au jour au pied des travaux, alors que le minerai issu de ce chantier semble bien avoir alimenté également une partie des ateliers du village (Arboledas Martínez *et al.* 2014, p. 121). La capacité d'adaptation des communautés minières ne se limite donc pas aux techniques employées dans les chantiers mais concerne aussi l'organisation spatiale et fonctionnelle de l'activité.

c. Les grands districts miniers : un territoire voué à la mine

À partir d'un certain seuil d'activité, et si les minéralisations sont suffisamment étendues, l'exploitation requiert des ressources telles que tout un territoire peut être tourné vers la mine, qui en devient l'activité la plus caractéristique. La place occupée par les chantiers, leurs stériles et les installations connexes verrouille de larges espaces et le paysage s'en retrouve durablement marqué à une large échelle (Orejas Saco del Valle 1996, pp. 8-9 ; Stöllner 2003, p. 430). L'emploi pour les activités minières et métallurgiques d'une main-d'œuvre à temps complet implique une organisation qui permette de subvenir aux besoins de cette main-d'œuvre. La répartition entre productions vivrière et métallurgique dépend en grande partie des conditions naturelles dans lesquelles prend place l'activité : disponibilité des ressources boisées, fertilité des sols, contexte géographique.

Un premier exemple de district intensément exploité est celui de Las Médulas, ayant exploité l'or alluvial par la force hydraulique, principalement aux I^{er} et II^{e} s. de n. è. Ce district

se situe au cœur d'une vaste région aurifère (pour les premières études globales voir Domergue 1986, 1990) et a fait l'objet d'une étude plus approfondie du territoire sur une zone de 12 000 ha (Sánchez-Palencia *et al.* 2000, pp. 196-197). Le poids de l'activité minière y est très élevé. Les vestiges de chantiers miniers occupent plus de 500 ha, les stériles presque 600, et le réseau hydraulique mis en place pour l'exploitation cumule plus de 100 km. Cependant, la mine n'était pas une activité exclusive mais partagée avec les productions agricoles (Orejas Saco del Valle 1996, pp. 10-12). La répartition de l'habitat montre ainsi une utilisation dense des terroirs en parallèle avec l'extraction, qui permet de nourrir les populations importantes qui résident sur place. D'autres installations sont liées à l'entretien du réseau hydraulique. Le site d'Orellán, toujours dans ce district, est quant à lui un habitat qui a la particularité d'être tourné vers l'extraction et la métallurgie du fer pour fournir les outils nécessaires aussi bien à la mine qu'à l'agriculture. L'implantation des habitats a été planifiée, pour la mise en exploitation des gisements, par l'administration romaine. La structuration des voies de communication et la hiérarchisation du territoire découlent également de cette planification (Sánchez-Palencia *et al.* 2000, pp. 199-200 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, pp. 268-269).

La période romaine n'a pas le monopole des exploitations intensives. Le district cuprifère de Mitterberg (Autriche) est ainsi l'un des centres de production majeurs de l'Est alpin à l'âge du Bronze moyen à final (Stöllner 2003, pp. 434-435). Le relief élevé (autour de 1200 m) et escarpé de ce secteur n'est pas favorable à une installation pérenne. De fait, avant le démarrage de l'exploitation, au XVI^{e} s. av. n. è., il n'y a pas de traces d'occupation réelle de ce secteur. La mise en exploitation se traduit par une colonisation assez rapide du milieu, mise en lumière par les très nombreux ateliers autour des mines et par l'établissement de plusieurs habitats pérennes près des vallées, dans un espace de 20 km nord-sud pour 16 km est-ouest. L'ensemble du territoire est ainsi intégré dans le processus minier, avec une occupation du sol adaptée aux différents besoins : aires minières, aires métallurgiques, gestion du bois. La relation avec des zones agricoles plus favorables à quelque distance est mise en évidence pour le début de l'exploitation (fin du Bronze Ancien à Bronze Moyen) par l'importation de bétail sur pied et de céréales (Shennan 1995, pp. 284-285 ; Stöllner 2010, p. 306). Lorsque l'exploitation devient plus intensive, à partir du XIV^{e} s., une partie au moins de la production agricole provient des habitats des vallées proches des mines, sans que l'on puisse trancher pour l'heure si cela mit un terme aux relations précédentes. Cette phase intensive s'est accompagnée d'avancées techniques dans la maîtrise de la mine profonde et dans les processus métallurgiques, permettant une meilleure rentabilité de la production, à partir de sulfures de cuivre (Stöllner 2010, pp. 297-298).

Ces deux exemples ne sont pas uniques ; des exploitations intensives sont connues à plusieurs périodes et dans plusieurs régions. On peut citer pour le second âge du Fer le district aurifère de St-Yrieix-la-Perche dans le Limousin (Cauuet 1999, 2004b), pour l'âge du Bronze puis la période romaine celui de la Sierra Morena et ses gisements polymétalliques à

cuivre, plomb et argent (Arboledas Martínez *et al.* 2014). À partir du II^{e} s. av. n. è. la Sierra de Carthagène est particulièrement active pour l'extraction de plomb-argent (Rico *et al.* 2009), de même, l'île de Chypre est une grande productrice de cuivre depuis l'âge du Bronze (Kassianidou 2014), ou encore le Laurion (Grèce), qui a connu une phase d'exploitation intensive aux V^{e} et IV^{e} s. av. n. è. (Rosenthal *et al.* 2013). Et cette liste est loin d'être exhaustive ! Cependant, ces districts n'ont pas tous fait l'objet d'études globales qui permettent de bien saisir l'articulation des différents sites en lien avec le territoire minier.

Des constantes peuvent toutefois être identifiées dans ces exploitations intensives. D'une part, elles s'accompagnent de la mise en place d'une hiérarchisation vis-à-vis d'une entité qui organise et contrôle la production et sa diffusion et gère les relations entre mineurs, métallurgistes, agriculteurs et autres fournisseurs de biens (outillage, équipement) ou de ressources (bois) nécessaires à l'exploitation. D'autre part, elles sont hautement dépendantes du maintien de la demande en métal, qui justifie leur activité. Enfin, ces phases intensives marquent définitivement le paysage de leur empreinte et conditionnent l'usage de ces territoires après l'arrêt des exploitations. Ce sont ces aspects que nous allons aborder dans les points suivants.

I. B. Une activité insérée dans un contexte socio-économique

Les liens indéniables entre les mines et leur territoire ne représentent qu'une partie des pré-requis et des implications de l'activité minière. Les grands districts miniers montrent clairement que le contexte économique et social ne peut pas en être dissocié. C'est aussi le cas pour les exploitations de moindre envergure. En effet, tous les gisements métallifères exploitables ne sont pas pour autant mis en activité. Il faut tout d'abord qu'il existe une demande pour le métal. Ensuite, même si toutes les contraintes géographiques et techniques peuvent être dépassées, une exploitation ne sera lancée que si elle peut être rentable, économiquement mais aussi socialement (O'Brien 2015, p. 13). Une fois l'exploitation lancée, la diffusion du métal dépend des réseaux de distribution auxquels la communauté minière aura accès. De cette diffusion vont découler des bénéfices, plus ou moins importants, qui auront des répercussions économiques et sociales, confirmant la viabilité de l'exploitation et alimentant de la sorte la poursuite des travaux, si les conditions d'exploitabilité sont toujours réunies. Ce cycle perdure tant que les conditions se maintiennent (Fig. 6).

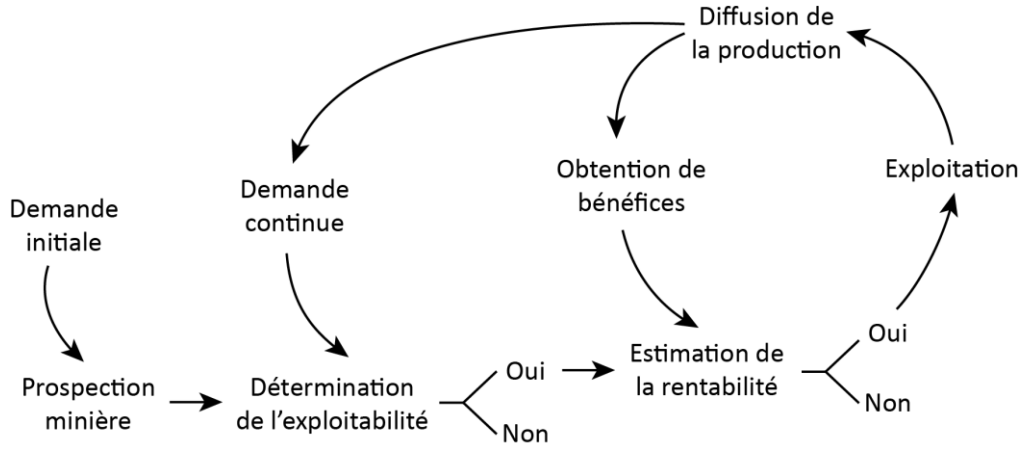


Fig. 6 : Cycle de validation du maintien d'une exploitation minière.

I. B. 1. Préalables à l'exploitation et intensité de l'activité

Le seuil de rentabilité d'une exploitation minière ancienne, qui détermine le démarrage ou non d'un chantier, dépend de la valeur intrinsèque du métal extrait mais surtout de la demande qui existe pour ce métal, en comparaison avec les efforts nécessaires à son extraction et production (Shennan 1999, pp. 360-361). Cette activité va être pratiquée plus ou moins intensément, selon l'ampleur de la demande mais aussi selon le contexte socio-économique et politique dans lequel elle prend place. Tous ces aspects sont indissociables les uns des autres et sont pris en compte de façon conjointe dans les décisions relatives à l'exploitation d'un gisement. Néanmoins, il faut les aborder séparément pour comprendre leur implication dans le processus.

a. Différents aspects de la demande en métal

La demande en métal n'est pas quelque chose de constant. Une des premières causes de variation est la répartition géographique inégale des ressources minérales. Les régions dépourvues de minéralisations seront demandeuses ; les autres pourront produire suffisamment pour répondre aux besoins locaux ou même exporter du métal. Lorsque plusieurs minéralisations sont présentes dans une même région, elles ne le sont pas toutes dans les mêmes proportions. C'est le cas des ressources en or et en étain du Nord-Ouest ibérique, localement accompagnées par des gisements de cuivre (Comendador Rey 1998, pp. 160-166). Ces derniers ont une faible envergure et ils n'ont pu être exploités que pour les besoins locaux, complétés par des importations de cuivre depuis le Sud de la péninsule (Ruiz-Gálvez Priego 1986, p. 27). À l'inverse, la production d'étain et d'or a pu alimenter des réseaux d'échanges à longue distance, dès l'âge du Bronze final, puis au cours du Haut-Empire romain (Fernández-Miranda *et al.* 1995, pp. 66-67 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, pp. 267-28). Chaque région pourra donc être simultanément déficitaire, auto-suffisante ou exportatrice selon les métaux considérés.

La demande peut aussi varier dans le temps pour une même région. Une zone productrice peut devenir demandeuse si un gisement est épuisé ou si les conditions techniques de l'exploitation deviennent trop complexes. À l'inverse, lorsque les seuils d'exploitabilité sont franchis, certaines communautés demandeuses peuvent devenir autosuffisantes ou exportatrices. De même, lorsqu'une zone exportatrice ne peut plus fournir les réseaux auxquels elle était liée, la demande se déplace vers d'autres pôles producteurs. C'est ce qui s'est passé à la fin du II^{e} millénaire, dans l'Est méditerranéen. Les perturbations dans les routes maritimes de cette région autour du XII^{e} s. ont vraisemblablement coupé les producteurs de cuivre chypriotes des réseaux préexistants. La demande régionale n'ayant pas disparu pour autant, des mines du Levant ont connu alors une phase de production intensive, notamment à Faynan (Jordanie) et Timna (Israël). La production chypriote est quant à elle insérée à partir de cette période dans des routes commerciales dirigées vers l'ouest, et atteignant des points aussi éloignés que la Sardaigne (Kassianidou 2014, p. 267).

D'un autre côté, les évolutions technologiques dans l'utilisation des métaux ont aussi eu des conséquences sur les substances recherchées. Le cas du cuivre est là encore significatif. Ce métal est ductile, ce qui signifie qu'il se déforme facilement à froid. Pour en faire des outils avec une dureté suffisante, ses qualités ont été améliorées tout d'abord par martelage, puis par l'utilisation de cuivre contenant des impuretés en arsenic, mais aussi en antimoine et en nickel, et enfin par alliage avec de l'étain pour former du bronze. Les gisements de cuivre contenant naturellement ces impuretés ont donc été privilégiés aux IV^{e} et III^{e} millénaires (Merkl *et al.* 2013, pp. 178-182), puis ont perdu une partie de leur intérêt lorsque le bronze a fait son apparition. Ce changement est illustré par les productions de l'Irlande et du Pays de Galles. La mine de Ross Island (Irlande), active entre 2400 et 1900 av. n. è., produit du cuivre arsénié (O'Brien 2011). À partir de 2100/2000, la recherche d'étain conduit à des prospections dans l'Ouest du Pays de Galles, qui visent également les

gisements cuprifères. L'étain étant très mal réparti, sa présence au sud de la Grande Bretagne suscite la mise en place d'une activité minière importante, qui inclut alors également les gisements de cuivre locaux (Cwmystwyth, Parys Mountain, Great Orme, …), auparavant délaissés au profit des productions d'Irlande (Timberlake 2003a ; O'Brien 2015, pp. 286-287). Le cuivre irlandais n'est pas abandonné mais l'organisation de l'activité change totalement. Les exploitations saisonnières superficielles ou à faible profondeur des mines de Mount Gabriel entre 1800 et 1400 av. n. è. illustrent ce changement (O'Brien 2011, pp. 348-349). Des changements similaires s'observent lorsque le cuivre, quel que soit son minerai d'origine, doit faire face à la concurrence du fer, qui le supplantera pour l'outillage.

b. Le seuil de rentabilité : entre valeur du métal et technicité de l'exploitation

Évaluer la valeur du métal pour les sociétés anciennes est assez difficile en l'absence de textes, d'autant qu'elle a varié au fil du temps et des régions. L'or a toujours été un métal précieux, tout comme l'argent ; le fer a pu l'être au moment de son apparition et est devenu plus commun par la suite[24]. Disposer sur un territoire de mines d'or ou de fer n'aura donc pas les mêmes conséquences sur la mise en valeur de ce dernier, cet aspect pouvant varier dans le temps. La taille des gisements joue cependant un rôle important dans le potentiel économique d'un district. Ainsi, le petit champ filonien du plateau de l'Assaladou, tout aurifère qu'il soit (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 207-209), est loin d'avoir suscité une activité comparable aux ressources ferrifères du proche massif du Canigou (Mut 2001, pp. 145-147 ; Kotarba *et al.* 2007, p. 114).

La valeur économique du métal est par ailleurs augmentée par sa valeur symbolique, donc sociale. Les métaux répondent en effet à des besoins matériels à travers leur utilisation fonctionnelle (outillages divers, armes) mais aussi à des besoins sociaux à travers leur utilisation comme marqueur de statut (Pydyn 2000, pp. 229-231 ; Merkl *et al.* 2013, pp. 176-178). Cette valeur symbolique est prégnante pour les périodes préhistoriques, mais ne disparaît pas pour autant par la suite. On peut prendre l'exemple des services antiques de vaisselle en bronze qui se démarquent de ceux en céramique. Le fait que la vaisselle céramique puisse être produite en série et en plus grande quantité que le métal joue aussi sur la valeur du produit.

La qualité supérieure du métal produit dans certaines régions peut aussi faire augmenter sa valeur par rapport à celui produit dans d'autres zones. Pour l'Antiquité, Pline nous renseigne sur la valeur relative des différents métaux, sur les méthodes pour tester leur qualité et sur les sources d'approvisionnement les plus prisées de son époque, au I^{er} s. de n. è. (Pline l'Ancien, *Hist. Nat.*, XXXIII et XXXIV). Ainsi, le cuivre « marien », de la région de Cordoue, est à son époque le plus réputé, après l'épuisement des mines de cuivre « livien » et « sallustien », provenant respectivement de Gaule et des Alpes selon les mots de l'auteur. Le cuivre de Chypre est alors considéré d'une qualité moindre (*Hist. Nat.*, XXXIV, 2). Pour le

[24] Des textes assyriens anciens datés de la seconde moitié du II^{e} millénaire font état d'une valeur du fer 35 à 40 fois supérieure à celle de l'argent (Sherratt 2000, pp. 88-89).

fer, il nous indique que le meilleur est fourni par les Sères[25], et que celui des Parthes vient juste après. Dans les territoires de l'Empire, le fer du Norique leur est comparable en qualité (*Hist. Nat.*, XXXIV, 41). Ces préférences reflètent également des considérations plus subjectives dans la mesure où les origines variées des métaux permettent de souligner l'étendue de l'Empire.

Si la valeur du métal a une influence sur la quantité à produire pour que l'exploitation soit rentable, cet aspect quantitatif est contrebalancé par le degré de technicité nécessaire à l'extraction et au traitement métallurgique qui en découle. Ainsi, des gisements d'or ou d'argent peuvent être rentables même avec des minéralisations peu étendues, alors que des mines de fer ou de cuivre pourraient ne pas l'être à quantité de minerai égale. Cependant, des gisements en surface ou à faible profondeur, ou qui fournissent un minerai facile à réduire, pourront être intéressants même si la production espérée est limitée. La technicité faible contribue alors à abaisser le seuil de rentabilité, ce qui a généré de nombreux chantiers de surface aux périodes anciennes. Des exemples de ce type sont signalés dans la première moitié du II^{e} millénaire sur les mines irlandaises du type Mount Gabriel et dans le Nord du Portugal pour l'âge du Fer (Martins 2010b, p. 109 ; O'Brien 2015, p. 135). Le volume de la production, si l'activité reste limitée à ces parties superficielles des gisements, restera toutefois réduit.

L'adoption de techniques d'extraction plus sophistiquées permet à l'inverse de mieux tirer profit d'un gisement donné. En effet, si le développement de la minéralisation le permet, approfondir l'exploitation d'une mine déjà ouverte permet de continuer à utiliser toute l'infrastructure mise en place pour les parties supérieures, qui a demandé un certain investissement. Installations pour les mineurs à proximité, mise en place d'ateliers minéralurgiques et métallurgiques, creusements en partie dans le stérile pour les accès ou l'aérage, ou boisages éventuels qui maintiennent la solidité du chantier sont autant d'éléments qui peuvent être perdus si l'extraction doit se poursuivre sur un autre gisement. Les progrès dans les techniques d'exhaure par exemple ont permis d'approfondir des chantiers et de prolonger ainsi l'exploitation sans avoir à passer par la phase peu rentable de l'ouverture d'une nouvelle mine. À l'inverse, on trouve des mines abandonnées lorsqu'elles atteignent la nappe phréatique, comme à Mount Gabriel (O'Brien 2015, p. 214) ou encore pour les mines les plus anciennes du Limousin comme celle de Cros-Gallet Nord au Chalard (Cauuet 2004b, p. 29). Si les minéralisations ne sont pas épuisées, cela constitue des réserves pour les éventuels futurs exploitants qui décideront d'investir dans l'exhaure.

Au niveau de la métallurgie primaire, certaines innovations permettant d'augmenter la productivité des opérations ont facilité le développement de grands centres miniers. C'est le cas pour les mines de cuivre de St-Véran et de l'Est alpin (entre autres Mitterberg, Upper-Styria et le sud du Tyrol), grosses productrices de cuivre de l'âge du Bronze ancien et moyen. Leur phase de production intensive est liée à l'adoption d'un procédé métallurgique

[25] Les Sères sont un peuple asiatique mal identifié, qui exportait, outre le fer, des étoffes de soie (Commentaire 145-2 du texte de Pline, par H. Gallet de Santerre et H. le Bonniec, p. 305 de l'édition de 1953).

scorifiant qui montre la maîtrise de la réaction. Il est restitué en une seule étape à St-Véran (Bourgarit *et al.* 2010, p. 276) et en plusieurs étapes sur les sites un peu plus tardifs de l'Est alpin (Stöllner 2010, p. 305). Le développement de la production et des exportations de cuivre de l'île de Chypre au cours du II^{e} millénaire serait aussi lié à l'amélioration des techniques métallurgiques, et en particulier à l'utilisation d'une ventilation forcée avec soufflets (Kassianidou 2011).

Dans le cas du fer, le passage des bas fourneaux à scories piégées à celui des bas fourneaux à scories écoulées a aussi constitué une avancée importante. Ce progrès ne se mesure pas tellement en termes d'efficience de la réaction, mais par les économies de main-d'œuvre et de temps nécessaires à la construction des fourneaux, qui sont désormais réutilisables. La possibilité de traiter de plus grandes quantités de minerai en une seule opération, combinée avec la mise en place de tuyères permettant une ventilation naturelle qui libère également la main-d'œuvre, facilite une augmentation de l'échelle de production (Fabre 2016c, p. 131).

Ces innovations ne correspondent pas à des seuils d'exploitabilité : les minerais concernés (sulfures de cuivre, oxydes de fer) étaient déjà utilisés précédemment. Elles marquent bien un seuil de rentabilité, en contribuant à une augmentation de l'échelle de production. Cela permet aux communautés qui les mettent en œuvre de faire face à une demande beaucoup plus large, pouvant fournir les réseaux d'échanges à longue distance. Dans le cas de petits centres de production, l'augmentation du rendement des opérations aura aussi son intérêt, sans que cela ne se traduise nécessairement par un saut majeur dans les volumes traités.

La mise en place ou non des innovations techniques, qui peuvent augmenter la rentabilité d'une exploitation, mais qui requièrent également la présence de spécialistes chaque fois plus pointus et/ou des investissements spécifiques, est en partie influencée par la demande en métal. Si les procédés simples suffisent à fournir la quantité de métal nécessaire, ils pourront être maintenus sur de longues périodes. Le cas des foyers simples de La Capitelle du Broum (Péret, Hérault), utilisés tout au long du III^{e} millénaire, en est un exemple. Ces foyers permettaient un traitement en une étape de minerais sulfurés de type cuivre gris, sans formation de scorie, mais qui induisait d'importantes pertes de métal et s'appliquait à des quantités réduites à chaque opération (Ambert *et al.* 2013, p. 72). Les auteurs font le parallèle avec les sites levantins, qui, dès le IV^{e} millénaire, face à des besoins en cuivre en augmentation, ont vu le développement de procédés scorifiants liés à l'utilisation de véritables fours. Malgré ses limites, le mode opératoire de La Capitelle du Broum satisfaisait les besoins et n'a pas connu cette évolution.

c. Les conditions d'une exploitation intensive

La première condition pour augmenter l'intensité de l'activité minière est, bien sûr, l'existence d'une demande forte pour le produit métallique. Rappelons également que la taille du gisement impose les limites de ce qui pourra être produit. Ensuite, il faut que le contexte socio-économique se prête à la mise en place d'une infrastructure adaptée.

Tout d'abord, l'affectation d'une main-d'œuvre dédiée à la mine et nécessaire à une exploitation d'envergure, n'est possible que si les biens de subsistance peuvent être fournis par d'autres membres de la communauté ou par d'autres groupes consommateurs de métal qui contribuent ainsi indirectement à la production (Shennan 2010). Les relations fortes développées entre mineurs et agriculteurs, ainsi que la nécessaire vitalité de l'économie dans l'arrière-pays agricole des zones minières, ont été mises en évidence précisément pour les mines de sel de Dürnnberg en Autriche, exploitées intensivement à partir du VI^{e} s. av. n. è. (Stöllner *et al.* 2003, pp. 147 et 182). Cela a également été mis en avant à propos des exploitations aurifères et stannifères du Nord-Ouest ibérique des I^{er} et II^{e} s. av. n. è., parmi d'autres secteurs de production intensive étudiés globalement (Lemos & Martins 2012, pp. 97-98 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2012, pp. 163-164). Ces relations ne sont pas spécifiques qu'aux exploitations permanentes et ont aussi été identifiées autour de la mine de Ross Island en Irlande. Ces travaux ont été menés par une communauté de mineurs-fermiers sur la base d'une exploitation saisonnière. Le matériel faunique exhumé autour des cabanes du campement de mineurs est constitué d'os de porc et de bovins, mettant en évidence une activité agropastorale soutenue, en relation avec la mine, dont l'activité s'est étalée sur cinq siècles (O'Brien 2015, pp. 128-130).

Cette interdépendance entre mineurs et agriculteurs doit être gérée, que ce soit par des relations diplomatiques lorsque deux communautés indépendantes en sont en charge ou par l'existence d'une autorité supérieure capable de mobiliser la main-d'œuvre pour l'une ou l'autre des activités. La diplomatie trouve toute sa place lorsque les mineurs ont besoin de denrées alimentaires et les agriculteurs de métal. Lorsque ces besoins ne sont pas équilibrés, la diplomatie peut être accompagnée d'une certaine dose de coercition, l'un des deux groupes prenant l'ascendant sur l'autre. Dans le cas du contrôle de l'activité par une autorité centrale, la gestion de l'attribution de la main-d'œuvre à une activité ou à une autre s'accompagne de l'arbitrage des éventuels conflits dans l'utilisation des ressources. N'oublions pas que de la mine à la métallurgie, les besoins en bois sont élevés (et peuvent requérir une main-d'œuvre spécialisée) et que l'eau peut aussi devenir une ressource stratégique. La redistribution (au moins partielle) des bénéfices de l'exploitation au sein de la communauté peut constituer un moyen de rendre perceptible, par tous, la rentabilité de l'opération. Dans d'autres cas, et quand la distance hiérarchique est plus grande entre les tenants de l'autorité et les producteurs, la participation aux différentes activités peut être imposée sans contrepartie majeure, allant jusqu'à l'emploi d'esclaves.

La mobilisation de la main-d'œuvre et l'investissement dans les infrastructures nécessaires à la mine peut aussi être faite par la mise à disposition de capitaux financiers importants. Ce cas de figure est observé en particulier dans le cadre de la domination romaine. Des sociétés privées investissent massivement dans les mines ibériques à partir du II^{e} s. av. n. è. et des exemples similaires sont connus dans le Sud de la Gaule à partir de la fin de ce siècle (Gourdiole & Landes 1998, p. 64 ; Domergue 2008, pp. 193-196 ; Rico 2010, pp. 395-396). Ces investisseurs d'origine italienne n'ont pas d'ancrage local direct,

contrairement à ce qui se passe lorsque des élites indigènes prennent en main l'exploitation. Les relations avec les populations locales jouent donc un rôle dans l'identification des sites à exploiter et dans la captation d'une main-d'œuvre. Cela a été mis en évidence à propos de l'exploitation du site de La Loba, à travers l'étude monétaire en particulier (Chaves Tristán & Otero Morán 2002, p. 208). Les auteurs proposent une relation privilégiée avec la ville de Castulo, dont les élites seraient ainsi intéressées d'une certaine manière à l'exploitation. De tradition minière, cette ville peut fournir de la main-d'œuvre expérimentée pour ce travail. Elle émet aussi sa propre monnaie, reconnue par les ouvriers embauchés sur le site pour leur salaire. Cette relation permet une production qui vise d'emblée une échelle intensive, pour que les investissements massifs soient rapidement profitables.

Lorsque l'exploitation est intensive, les relations entre producteurs et consommateurs de métal ne sont pas forcément directes, et peuvent même être très lointaines. L'accès aux réseaux d'échanges est donc primordial pour assurer la diffusion de la production en métaux bruts, et pouvoir en obtenir des bénéfices. Le contrôle et l'organisation de ces voies commerciales deviennent alors tout aussi importants que l'exploitation elle-même.

I. B. 2. A l'interface de la société et de l'économie : les réseaux d'échanges

Les débouchés possibles de l'exploitation sont déterminés par l'existence de réseaux de distribution qui peuvent être locaux, régionaux, ou à grande distance (Stöllner 2015a, p. 69). Ces réseaux ne sont pas spécifiques au méta, mais partagés avec d'autres éléments échangeables, comme des matières premières variées, des denrées alimentaires ou encore des productions artisanales. Y avoir accès est un enjeu, et en ce sens, la localisation géographique des exploitations peut être un avantage ou un handicap selon qu'elles seront proches ou non de voies de communication naturelles (cours d'eaux et leur vallée, cols en montagne, …). Ces dernières constituent en effet des axes de circulation privilégiés qui ont toujours favorisé les échanges.

Outre les biens, les idées et savoir-faire sont aussi diffusés le long de ces axes (Huth 2000, p. 176). L'adoption des innovations dans la métallurgie en particulier, mais aussi la mise en œuvre de techniques minières particulières, doivent beaucoup à ces réseaux, sans que cela n'occulte les développements régionaux autonomes. La bibliographie est abondante sur cette question de la diffusion des techniques mais ouvre des débats qui dépassent le cadre de notre travail. On relèvera à titre d'exemple les réflexions sur la transmission de l'expertise minière vers les îles Britanniques par les réseaux atlantiques campaniformes (O'Brien 2011, pp. 343-345), sur l'apparition du traitement métallurgique scorifiant pour les sulfures de cuivre dans le domaine alpin, entre St-Véran et Mitterberg (Bourgarit *et al.* 2010, pp. 278-280 ; Stöllner 2010, p. 305), ou encore sur l'introduction au II^{e} s. av. n. è. en Limousin d'appareils d'exhaure en bois telle la vis d'Archimède, dans le cadre de contacts avec le domaine méditerranéen qui auraient pu être initiés dès l'âge du Bronze (Cauuet 1999, pp. 54-55 ; Cauuet *et al.* 2018, pp. 38-39).

Après avoir fait le point sur les éléments qui permettent d'identifier les circuits de distribution des métaux, les questions concernant leur fonctionnement seront abordées, en mettant l'accent sur la place des intermédiaires dans les réseaux à longue distance.

a. La mise en évidence des réseaux d'échanges

Nous allons nous intéresser ici aux éléments en lien avec la circulation du métal brut sous forme de lingot, ce terme étant entendu dans le sens large d'une masse de métal n'ayant subi qu'une mise en forme sommaire visant à en faciliter le transport et l'échange. Ce transport pourra être très court et ses modalités simples lorsque les ateliers de transformation sont situés près des mines, ou lorsque le même groupe pratique l'extraction minière et la fabrication d'objets. Lorsque l'exploitation répond à une demande régionale ou au-delà, la diffusion du métal devient dépendante d'un réseau plus élaboré.

Les traces de ces échanges se trouvent rarement de manière directe, du moins pour les réseaux terrestres. Pour les réseaux maritimes et plus rarement fluviaux, les épaves de navires chargés de métal constituent les preuves les plus tangibles de ce commerce. Les recherches sur ce sujet dans l'Occident méditerranéen ces dernières années ont d'ailleurs permis de progresser dans la connaissance de ces réseaux pour la période romaine en particulier (Rico & Domergue 2016). Les principales zones d'approvisionnement sont ainsi la péninsule Ibérique pour le cuivre, le plomb et l'étain, les Îles britanniques pour l'étain et le plomb, le Sud de la Gaule pour le fer et la Germanie pour le plomb. Leurs destinations principales étaient le Sud de la Gaule, l'Italie ou encore les provinces germaniques par le Rhône (Fig. 7).

Le commerce maritime à longue distance n'a pas démarré à la période romaine. Des épaves chargées de lingots sont connues dès l'âge du Bronze sur les côtes britanniques (Muckelroy 1981) mais aussi, et de plus grande envergure, en Méditerranée orientale. Un exemple emblématique est celui d'Uluburun, au large de la Turquie. Cette épave, datée de l'extrême fin du XIV^{e} s. av. n. è., a pu être fouillée (Pulak 1994, p. 235). On sait ainsi qu'elle a transporté dix tonnes de cuivre et une tonne d'étain, en plus d'autres produits manufacturés. Les relations avec l'Occident sont supposées pour la provenance de l'étain, par l'intermédiaire de la Sardaigne, grâce à la présence d'une arme dont la typologie correspond à ce secteur (Pulak 1994 ; Hauptmann *et al.* 2002). Ces routes maritimes ont eu une importance majeure dans le développement de l'exploitation du cuivre de Chypre.

Fig. 7 : Carte des principales routes de commerce des métaux entre le I^er^ s. av. n. è. et le II^e^ s. de n. è. (source : Rico & Domergue 2016, fig 2).
Flèches bleues : routes maritimes. Flèches vertes : routes maritimes et terrestres.

Quand il s'agit d'identifier les voies terrestres, point d'épaves routières pour jalonner les chemins suivis par les lingots. La présence sur les sites de production de mobilier exogène est un indice des relations qu'ils entretiennent avec le reste du monde. Si du mobilier peut arriver sur un site minier, du métal peut en repartir dans la même direction. Il faut cependant rester prudent : si des objets proviennent de loin, avant de supposer que le métal est exporté à longue distance, il faut s'assurer que les caractéristiques du district soient compatibles avec une exploitation intensive. Les études de provenance basées sur l'analyse isotopique contribuent à délimiter les aires de production potentielles d'objets ou de lingots métalliques, et ainsi à retracer les itinéraires suivis par le métal. Cette méthode fonctionne par comparaison entre les signatures isotopiques des minerais et celles du métal, et dépend donc de l'existence de référentiels de minerais exploités aux périodes anciennes. Ces référentiels sont cependant loin d'être exhaustifs ce qui constitue, ajouté à la variabilité des signatures pour certains minerais, des limites à cette technique. Mais même si la provenance exacte du métal ne peut pas toujours être assurée par ce biais, cela permet de circonscrire des origines possibles et d'écarter certaines zones, ce qui représente toujours un apport à la réflexion (Stos-Gale 2000).

b. Contrôle et gestion des réseaux d'échange

Le contrôle des réseaux d'échange devait s'effectuer au niveau des accès aux sites et aux routes commerciales ou le long du parcours. Ce contrôle pouvait être plus strict à des points

de passages obligés pour accéder aux voies de communication. Ainsi, les productions des mines situées dans des secteurs reculés devaient être tributaires du franchissement de cols ou de la traversée de vallées pour atteindre des zones plus ouvertes. Le contexte social et politique devait peser fortement dans la mesure où des bonnes relations entre mineurs et occupants des territoires environnants devaient faciliter la circulation, alors que des relations tendues pouvaient obliger à des paiements de sortes de droits de péage, voire poser des problèmes pour la sécurité du transport. Lorsque les transports se faisaient sur des distances importantes, il fallait également prévoir l'alimentation et l'hébergement des hommes et des bêtes de somme qui prenaient part au transport à chaque étape. Le poids d'une telle gestion est bien mis en évidence par A. Salač, dans le cas de l'importation du sel en Bohême à la période de La Tène finale (Salač 2013, pp. 505-510). L'organisation du réseau de transport ne pouvait pas être laissée au hasard et impliquait la présence de lieux d'étapes définis, l'élevage de troupeaux suffisamment importants si le portage animal était utilisé, et très probablement l'entretien régulier des voies. En ce sens, l'intégration de la communauté minière dans un territoire plus vaste était presque indispensable pour les exploitations d'une certaine envergure. L'autorité qui contrôlait cet espace percevait logiquement une partie des bénéfices de l'exploitation et avait les moyens d'en assurer la diffusion.

Le transport terrestre des métaux bruts profite des infrastructures viaires existantes, qui peuvent être renforcées pour faciliter la communication avec les zones minières. L'étude de l'évolution du territoire de la cité d'*Aquae Flaviae* (Chaves, Nord-Est du Portugal) entre le 2nd âge du Fer et l'Antiquité a permis la mise en évidence de l'intégration des mines dans un réseau complexe et planifié de voies secondaires qui maillent ce secteur. Cette cité est traversée par deux voies majeures qui relient *Bracara Augusta* (Braga) et *Asturica Augusta* (Astorga), facilitant ainsi les débouchés à longue distance pour la production minière du territoire (or et étain), à partir de la période romaine (Lemos & Martins 2012, pp. 84-90). L'entretien de ces voies par l'implication de l'administration romaine dans la région a été profitable à l'ensemble de l'économie et à la circulation des personnes. Cela a également contribué à assurer la continuité de la diffusion des productions minières. Des remarques similaires ont été faites à propos du réseau routier asturien. Si l'objectif premier de la construction de ces voies était de faciliter les communications militaires, une série de voies secondaires dessert les zones minières de la province et les met en relation avec *Lucus Augusti* (Lugo) et *Lucus Asturum* (Lugo de Llanera), capitales de *conventus*. L'intensification de l'exploitation minière régionale a bénéficié de ces réseaux (Argüelles Álvarez 2015).

Dans le cas de diffusion maritime, les ports représentent les moyens d'accès incontournables aux réseaux de distribution. La maîtrise de la navigation est également un pré-requis pour ce type de réseau. Cette situation est particulièrement explicite sur l'île de Chypre, où la production dépassait largement les besoins locaux. Ainsi, au I^{er} millénaire, les petits royaumes qui se partagent l'île ont, pour certains, un accès direct aux mines et à un port, pour d'autres, un accès soit aux mines soit à un port. Certains sont donc indépendants dans l'exploitation de leurs ressources et l'accès à un marché pour les écouler, d'autres

doivent s'entendre (ou s'imposer) pour capter le cuivre ou écouler leur production. C'est le cas du royaume de Salamis, qui ne dispose pas de mine sur son territoire mais est cependant l'un des plus riches de l'île. Cette richesse est basée notamment sur un contrôle des voies d'approvisionnement en cuivre depuis l'intérieur, et sur la sécurisation du territoire pour assurer la continuité du transport, hérité vraisemblablement des pratiques du royaume de l'âge du Bronze d'Enkomi, auquel il a succédé. La captation dans ce port de marchandises en provenance de l'extérieur, en particulier de l'étain, a également contribué à asseoir sa position dominante. A l'inverse, le royaume de Tamassos, à l'intérieur de l'île, et qui a livré des vestiges attestant d'une exploitation intensive pour la période, était dépendant d'une cité portuaire, peut-être justement Salamis (Kassianidou 2013a, pp. 60-63).

Le contrôle des voies de circulation est une question stratégique pour de nombreuses raisons. Quand on applique la réflexion au contrôle de la diffusion et de l'approvisionnement en métal, cela se double de la valeur symbolique du métal, associée au pouvoir. Les relations particulières entre producteurs, consommateurs, et les éventuels transporteurs intermédiaires sont donc éminemment politiques et sociales, en plus d'être économiques (Gorgues 2016, p. 193).

c. Le rôle des intermédiaires dans les accès aux réseaux

Dès que l'on passe à des réseaux de distribution à moyenne, voire à longue distance, les structures d'échanges deviennent plus complexes et intègrent un ou plusieurs intermédiaires, mettant une distance supplémentaire entre les producteurs de métal et les consommateurs. Ces acteurs se trouvent dans une position avantageuse lorsqu'il s'agit de capter les bénéfices de ces échanges, car les producteurs n'ont de raison de maintenir une activité intensive que s'ils peuvent en écouler le produit, et les consommateurs de métal ont besoin d'eux pour accéder aux matières premières souhaitées. Cela ne signifie pas que les producteurs de métal ne tirent pas de bénéfices de leur travail, mais qu'une partie de ceux-ci leur échappent au profit des groupes ou individus qui contrôlent des nœuds sur les réseaux d'échange complexes. Ces nœuds peuvent être de différents types, les plus fréquents se situant sur les points de rupture de charge, tels les lieux de débarquement sur les cours d'eaux pour le transport fluvial ou les ports pour les voies maritimes. Des passages obligés, tels que des cols, peuvent aussi donner lieu à un contrôle plus strict de la circulation. Les agglomérations situées au carrefour de plusieurs voies sont aussi des nœuds importants.

Un centre nodal est souvent repérable par sa vitalité économique et, pour les contextes antérieurs à la période romaine, correspond à un lieu où les relations hiérarchiques (sociales et politiques) s'expriment souvent plus nettement qu'ailleurs, dans des contextes chronologiques équivalents. Plusieurs exemples illustrent cet aspect. Nous citerons le cas du Centre du Portugal, impliqué au VIII^{e} s. av. n. è. dans le commerce des métaux, de par sa situation stratégique entre les zones productrices d'étain au nord et de cuivre au sud, et les grandes voies de communications atlantiques et terrestres. Ce secteur est connu pour sa richesse en objets importés, qui indiquent des relations régulières avec l'Ouest français et la

Sardaigne. Si des minerais sont bien présents sur son territoire, ils ne sont pas aussi abondants que dans les secteurs voisins. Les facilités de communication offertes par les ports de l'embouchure du Tage et sa vallée lui donnent un avantage, en tant qu'interface entre les régions productrices (Ruiz-Gálvez Priego 1986, pp. 27-29 ; 2000, p. 272).

À partir de la période romaine, le contrôle se fait à une autre échelle suite à l'implication de l'administration romaine sur de larges territoires. Les schémas de hiérarchisation précédents sont modifiés selon les intérêts de Rome. Il y aura toujours à cette période des intermédiaires entre producteurs et consommateurs, mais tous se retrouvent soumis aux règles édictées par Rome, qui exerce son contrôle plus fermement à partir de la période impériale, ce qui limite les marges de manœuvre des différents acteurs des réseaux.

Le rôle des intermédiaires est aussi d'assurer un équilibre dans les échanges, et de certifier d'une certaine manière la valeur des biens, en particulier dans le contexte des échanges à très longue distance[26]. Dans ce contexte, les systèmes de références de valeurs ont d'autant plus de risques d'être différents entre les producteurs de métal et les consommateurs (Gorgues 2016, p. 194). Les séries de poids retrouvés dans la cargaison de l'épave d'Uluburun sont ainsi présentées comme des outils personnels des marchands pour transposer dans leur système habituel les valeurs de ce qu'on leur propose (Pulak 2000, pp. 262-264). En ce qui concerne le métal brut, ce sont son poids et sa qualité qui vont en déterminer la valeur. Fondre le métal sous forme de lingots, surtout s'ils sont de morphologie et de taille standardisées, facilite les transactions. Dès l'âge du Bronze, les lingots de cuivre ont ainsi un poids moyen aux alentours de 30 kg (Kassianidou & Knapp 2005, pp. 237-238). On pourrait croire que cette standardisation se serait accentuée et généralisée à partir de la période romaine, mais ce n'est pas si évident. Les nombreux lingots issus d'épaves du grand commerce maritime des métaux évoqué plus haut (au point I.B.2.a, p. 54) ne montrent pas une uniformisation généralisée des poids. Pour le cuivre et l'étain, les variations peuvent aller du simple au triple dans une même cargaison (Domergue & Liou 1997, p. 12). L'homogénéité métrologique rare du lot de 11 lingots de cuivre de l'épave *Plage de la Corniche 6* (Sète) serait ainsi le signe, confirmé par l'épigraphie, d'une production dans un même atelier (Jézégou *et al.* 2011, pp. 60-62). Au sujet du plomb, sans en arriver à une métrologie identique, une convergence des poids autour de la valeur de 100 livres romaines (soit 32,745 kg) a été constatée et pourrait s'expliquer par des contraintes fiscales prenant cette valeur comme base de calcul des taxes sur les transports de marchandises (Domergue & Liou 1997, p. 20). La multiplication des acteurs dans ce commerce, illustrée par les nombreuses marques retrouvées sur les lingots de plomb de la Sierra Morena, ou même d'étain, dans l'épave de *Port-Vendres 2* (Rico & Domergue 2016, pp. 599-600), ne pouvait être compatible avec le respect des règles édictées par Rome que grâce au déploiement d'une administration performante.

[26] La connaissance des langues des interlocuteurs des différentes régions devait aussi faire partie du bagage des intermédiaires sur ces réseaux. A ce titre, l'ibère a pu servir de langue véhiculaire ou de « langue de contact » pour les transactions commerciales entre différents peuples de la Péninsule Ibérique et du Sud de la Gaule, au second âge du Fer (de Hoz 2011, p. 56 ; Ruiz Darasse 2013, p. 415).

Les intermédiaires dans les réseaux d'échange contribuent à créer une déconnexion entre ceux qui ont accès, par leurs relations et leur position sociale, aux voies de diffusion du métal et ceux qui le produisent. La gestion de ces déconnexions et de la différenciation sociale qu'elles engendrent donne lieu à différentes pratiques, qui vont de la redistribution des bénéfices de l'activité à l'imposition du travail dans l'exploitation minière pour le compte d'une certaine élite. Ces différentes options ont des répercussions sur la façon dont l'activité est perçue.

I. B. 3. La mise en valeur sociale de la mine

L'activité minière a souvent une connotation négative dans la société actuelle, du fait des dures conditions de travail qui y règnent et des conséquences néfastes sur l'environnement. La mine est vue comme le lieu d'un travail fastidieux, dans un milieu confiné et obscur, où les accidents plus qu'ailleurs peuvent se solder par des décès. Cette vision est en bonne partie héritée du XIX^{e} siècle, et un auteur comme Émile Zola avec *Germinal* n'est sans doute pas étranger à la perception que l'on en a aujourd'hui. Mais cela ne recouvre qu'une partie de la réalité et n'est pas nécessairement transposable aux périodes anciennes. Des considérations d'ordre moral ou religieux ont pourtant bien été associées à l'extraction minière depuis la préhistoire. Le creusement des mines a pu être vu comme une violation de la Terre et a donné lieu à des pratiques rituelles dont on retrouve ponctuellement les traces (par exemple de Blas Cortina 2014, pp. 74-76). Cette vision des choses est encore présente à la période romaine, comme le rappelle Pline au début de son exposé sur l'or (*Hist. Nat.* XXXIII, 1-3). Cependant, les besoins en métal ont fait primer le pragmatisme et les exploitations de grande envergure qui jalonnent les quatre derniers millénaires – et le territoire de l'empire romain – illustrent bien la capacité immémoriale de l'être humain à trouver les arrangements idoines vis-à-vis de sa morale. Il n'est pas non plus exclu que pour certains peuples, l'exploitation du sous-sol n'était pas plus répréhensible que le travail en surface.

L'exploitation des mines est une activité qui se pratique éminemment en groupe. Le travail d'équipe nécessaire à sa bonne marche donne une cohésion à ceux qui s'y consacrent, ce qui contribue à sa valorisation sociale. Même les mines les plus petites ou les exploitations saisonnières et de faible envergure se prêtent à exprimer cette mise en valeur, dans la façon dont les travaux sont conduits. On peut ainsi reconnaître dans l'agencement de la mine le souci de se ménager des conditions de travail moins pénibles. Quand la taille des galeries permet de circuler debout, quand la largeur n'oblige pas à avancer de profil ou quand on retrouve des installations en bois pour faciliter le transport et la circulation, cela montre une certaine prise en compte des conditions de travail des mineurs. Un autre exemple de la considération montrée pour les mineurs est celui des thermes collectifs présents sur certains sites romains de production primaire, notamment à Aljustrel (Domergue 1983) et aux Martys (Domergue 1993, pp. 197-198). L'accès à ces installations typiques du confort et de l'hygiène à la romaine montre que les mineurs (et métallurgistes)

n'étaient pas forcément en marge de la société. Les aménagements pour le confort de travail n'étaient pas rentables économiquement puisqu'ils obligeaient à attaquer le stérile dans les mines, et constituaient des dépenses non productives dans le cas des thermes. Ces investissements pouvaient néanmoins être socialement rentables, en permettant la reconnaissance des travailleurs, alors plus enclins à se consacrer à ces travaux pénibles. D'autre part, lorsque l'activité minière est menée sur une base saisonnière, la participation des mineurs aux activités « hors-saison » de la communauté rend peu probable une différenciation importante entre eux et le reste de la population.

Le mobilier identifié en contexte minier permet également d'apprécier le niveau de vie des mineurs. Il faut pour cela prendre en compte le contexte minier élargi aux habitats et nécropoles. Par exemple, aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è., la présence récurrente et surtout massive d'amphores vinaires italiques (Dressel 1) sur les lieux d'exploitation du Sud de la Gaule et de l'Espagne est soulignée dans les publications archéologiques (Tchernia 1986, pp. 92-93 ; Domergue 1991). Il est maintenant reconnu que le vin était bu par les mineurs et métallurgistes, et non pas réservé à une élite sur ces sites (Benquet & Olmer 2002 ; Benquet 2016, p. 231). Le mobilier céramique utilisé par les mineurs exprime généralement un mode de vie similaire à celui du reste de la population. Au-delà des contextes antiques, cela a été observé notamment sur le village minier de Cros-Gallet nord, dont l'occupation principale date du VI^{e} – V^{e} s. av. n. è. (Cauuet 2004b, pp. 83-86).

Dans le village minier de La Loba (premier tiers du I^{er} s. av. n. è.), outre l'utilisation généralisée de céramiques importées et non d'imitations locales (Passelac 2002a), la présence de nombreuses monnaies ibériques a été interprétée comme une indication de l'emploi d'ouvriers salariés, originaires de la péninsule, qui, sans être riches, avaient tout de même une petite capacité d'épargne (Chaves Tristán & Otero Morán 2002, pp. 208-209). Dans le district sidérurgique pyrénéen des Hautes Baronnies (I^{er} s. de n. è.), la taille réduite des exploitations est mise en relation avec une gestion par des investisseurs privés, qui auraient plus vraisemblablement employé une main-d'œuvre libre (Beyrie *et al.* 2000, p. 52). Enfin, au II^{e} s. de n. è., on dispose des trois seuls exemples épigraphiques connus à ce jour dans tout l'empire romain attestant du paiement d'un salaire pour des mineurs, en Dacie, dans la province d'*Alburnus Maior* (Roşia Montană). Les contrats indiquent la somme totale que les employés vont toucher pour leur travail, sur plusieurs mois : entre 80 et 105 deniers. Cela donne une somme de 5 à 7 asses par jour pour les deux contrats dont l'indication de durée est conservée (Mrozek 1989 ; Hoffmann 2002, pp. 75-76). Ces exemples illustrent la remise en cause de l'emploi systématique d'esclaves dans les mines romaines (Domergue 1986, pp. 43-45 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, p. 281). Sans bien sûr nier l'existence d'une main-d'œuvre servile dans ces exploitations, attestée à la période républicaine dans le Sud-Est hispanique (García Romero 2010) ou encore au II^{e} s. de n. è. à Chypre (Kassianidou 2013a, p. 58), il faut reconnaître que d'autres formes de mobilisation de la force de travail ont existé (Stöllner 2012, p. 438). Ainsi dans le Nord-Ouest ibérique, l'exploitation des mines d'or à partir de la période augustéenne reflétait bien une dépendance sociale des

populations minières, pourtant libres, mais soumises à des paiements de tributs qui pouvaient se faire sous la forme d'une participation à l'extraction, dans le contexte complexe de réorganisation des relations sociales qui font suite à la conquête (Orejas *et al.* 1999, pp. 280-281).

La façon de mener l'exploitation est une manière d'affirmer au sein de la communauté le statut des mineurs. Vis-à-vis de l'extérieur, l'identité des communautés minières a été beaucoup plus rarement mise en scène. À partir de la période romaine, quelques cas de représentations épigraphiques et de rares monnaies nous sont parvenues (Simić & Vasić 1977 ; Domergue 2008, pp. 24-25 ; Stöllner 2012, p. 434). Cela n'a pas empêché la reconnaissance de certains peuples pour leur expertise dans le domaine minier. Les textes antiques nous offrent ainsi quelques références, entre autres celle de César (*B.G.*, III, 21) qui loue l'expertise des Aquitains, que l'on retrouve plus tard dans les mines ibériques (Domergue 2010, p. 418).

La reconnaissance de spécialistes n'apparaît que faiblement dans les textes anciens, mais elle est patente quand on est en mesure de constater la venue sur certains sites de mineurs d'autres régions. Si l'on prend la peine de les faire venir de loin, c'est que leurs compétences étaient reconnues et jugées nécessaires. Le cas du village minier de La Loba illustre également cet aspect, notamment avec l'étude numismatique. En effet, plusieurs monnaies celtibères indiquent que certains des mineurs sont venus du Nord-Est de la péninsule, où des exploitations minières préromaines sont connues (par exemple en Sierra Menera). La captation d'une main-d'œuvre déjà formée était un gage de réussite pour les investisseurs (Chaves Tristán & Otero Morán 2002, p. 208 ; Domergue & Sillières 2002, p. 394). Pour les périodes plus anciennes, ce genre de mouvement de spécialistes est difficile à mettre en évidence, mais les transmissions de techniques entre différentes régions et l'homogénéité observée, par exemple, dans l'outillage et les galeries d'exploitation des mines autrichiennes de l'âge du Bronze indiquent, selon toute vraisemblance, la circulation de spécialistes dont les connaissances étaient recherchées (Stöllner 2003, pp. 427-429).

Les retombées de l'exploitation minière pour les populations impliquées dans sa mise en œuvre sont très variables en fonction du contexte sociopolitique dans lequel cette activité prend place. On doit tout d'abord distinguer les communautés peu hiérarchisées dans lesquelles les mineurs ont accès au métal produit, et donc selon toute probabilité aux bénéfices de l'exploitation, qu'ils soient matériels (utilisation du métal) ou sociaux (appartenance à un groupe dont l'activité est reconnue). Lorsque cette activité est pratiquée par des communautés plus stratifiées, les mineurs ne recevront pas nécessairement de bénéfices matériels directs de leur travail. Cela dépend du type de relations établies entre le ou les personnages dominants et le reste de la communauté, qui peut impliquer une redistribution plus ou moins importante des richesses parmi ses membres. La valorisation sociale peut être conservée si l'activité minière jouit d'une reconnaissance pour les bénéfices qu'elle procure, et compenser ainsi le déséquilibre matériel. A partir du moment où les communautés de mineurs passent à une échelle de production élevée, qui implique une

hiérarchisation plus forte et des relations avec des intermédiaires sur les réseaux d'échange du métal, les mineurs sont de plus en plus éloignés des bénéfices matériels de l'exploitation, à l'exception peut-être des « chefs-mineurs » ou autres ingénieurs. En effet, la technicité des grands chantiers miniers ne peut être gérée que par des mineurs expérimentés, sur lesquels les élites sociales doivent se reposer pour faire fonctionner l'exploitation. Ils peuvent à ce titre obtenir des avantages et se démarquer de leurs collègues, ce qui est reflété par certaines tombes au mobilier plus riche dans les districts miniers autrichiens de la fin de l'âge du Bronze par exemple (Stöllner 2012, pp. 443-444). Devenir partie prenante des réseaux d'échanges devait également donner une place majeure dans l'accès potentiel aux bénéfices de l'exploitation. Les communautés productrices en marge des grands réseaux de distribution se voient privées d'une partie de la plus-value obtenue pour le métal au profit d'intermédiaires qui contrôlent les accès à ces réseaux. Le cas de l'Ouest ibérique au VIII^{e} s. av. n. è. est significatif (Ruiz-Gálvez Priego 1986). La culture matérielle des populations du Centre du Portugal montre une richesse partagée avec d'autres centres de redistribution (Ouest français, Sardaigne), mais absente des zones de production primaire au nord (or et étain) et au sud (cuivre). L'évolution vers une stratification plus marquée de la société à partir de la fin de l'âge du Fer, et encore plus à la période romaine, conduit dans certains cas à une exclusion presque totale des mineurs des bénéfices de l'activité. Le recours à l'esclavage pour faire fonctionner les mines en est la manifestation extrême. L'obligation pour les populations du Nord-Ouest ibérique de s'impliquer dans les exploitations aurifères, dont les bénéfices étaient captés par l'empereur, n'a profité qu'aux élites locales qui organisaient l'exploitation pour le compte de Rome. Peut-être les mineurs salariés de certaines exploitations antiques étaient-ils ceux qui s'en sortaient le mieux : leur salaire leur procurait un bénéfice économique, même modeste, et leur culture matérielle semble refléter une intégration sociale avantageuse. On retiendra surtout la variabilité des manifestations socio-économiques liées aux mines.

I. B. 4. Maintien de l'activité ou déclin : quelques éléments de compréhension

La figure 6 fournie plus haut (p. 47) présentait de manière simplifiée les conditions qui permettent le maintien de l'activité minière. Les caractéristiques géologiques du gisement correspondent, quelles que soient les circonstances, à des valeurs couperet vis-à-vis des possibilités d'exploitation. Si les teneurs diminuent, si la nature de la minéralisation change, ou encore si la morphologie du gisement ou de l'encaissant rendent l'exploitation trop dangereuse, la poursuite de l'extraction ne sera plus possible.

Le deuxième élément indispensable au maintien de l'activité est la continuité de la demande. Maintenir de bonnes relations diplomatiques entre producteurs et consommateurs de métal avait ainsi son importance, mais ne faisait pas tout. Des évolutions technologiques comme le développement de la métallurgie du fer face à celle du bronze ont entraîné des modifications dans les exploitations minières, et dans ce cas une baisse

d'activité des mines de cuivre, que des bonnes relations commerciales ne pouvaient pas compenser.

Entretenir des réseaux de distribution actifs était indispensable à double titre. D'une part, pour répondre à la demande, sous peine de voir des producteurs concurrents s'emparer du marché, et d'autre part pour obtenir les bénéfices issus de la diffusion du métal. Sans bénéfice, pas de rentabilité, et pas de mine non plus. En effet, la possibilité de mobiliser les ressources nécessaires à l'activité (main-d'œuvre, matières premières telles que le bois, outillage, ressources alimentaires) dépend de la capacité d'investissement, qui est alimentée par les bénéfices obtenus de l'exploitation minière. Dans des contextes hiérarchisés, la légitimité des élites peut reposer en partie sur leur capacité à faire fructifier le produit de la mine, et à en faire profiter le reste de leur communauté (Shennan 1995, pp. 302-304). Des perturbations dans les réseaux de distribution ou dans la demande peuvent ainsi avoir des répercussions qui vont au-delà du strict domaine minier.

Les perturbations peuvent provenir de l'intérieur de ce schéma mais aussi être dues à des causes externes, indépendantes de la volonté des acteurs engagés. C'est par exemple le cas des changements majeurs subis par les populations gauloises de la fin de l'âge du Fer suite à la conquête césarienne, qui ont perturbé les équilibres locaux antérieurs et imposé progressivement un contrôle extérieur, de Rome en l'occurrence, sur la production des métaux, et pas seulement sur les réseaux de communication. Outre les éléments sociopolitiques, des circonstances « naturelles » pouvaient s'inviter dans le déroulement des opérations. Des aléas climatiques peuvent ainsi être à l'origine de l'ennoyage de chantiers et en empêcher la poursuite ou en ralentir l'activité. Une lettre d'un roi d'Alashiya (identifié à Chypre) destinée au pharaon d'Égypte au milieu du XIV^{e} s. av. n. è. fait aussi état d'une probable épidémie qui aurait décimé les producteurs de cuivre de son royaume (Kassianidou 2013b, p. 137). Même si ce problème fut ponctuel, les excuses présentées dans la lettre pour la faible quantité de cuivre fournie montrent que n'importe quelle perturbation pouvait avoir des conséquences.

Les grands districts sont aussi plus sensibles aux troubles du contexte économique, du fait des dépendances multiples entre producteurs miniers, consommateurs, intermédiaires sur les réseaux d'échanges et producteurs de surplus alimentaire. Comme l'indique T. Stöllner, « *flourishing and intensive phases of exploitation may ultimately also be the reason for their later abandonment and decline* »[27] (Stöllner 2003, p. 436). Outre les relations d'interdépendance structurelle entre les différents acteurs, les exploitations intensives induisent des impacts sévères sur leur environnement, qui peuvent conduire à l'arrêt des exploitations (dans le cas de déboisements abusifs par exemple).

Autant le maintien de l'exploitation s'explique facilement par la préservation des conditions favorables à sa mise en place, autant les causes de son déclin sont multiples et

[27] Des phases d'exploitation florissantes et intensives peuvent aussi au bout du compte être la cause de leur futur abandon et déclin.

difficiles à identifier précisément. Les nombreuses reprises que l'on constate lors de l'étude des mines montrent que l'épuisement des gisements n'est pas forcément la raison de l'arrêt de l'activité. Disposer de données suffisantes sur le contexte pour identifier les différentes causes des fermetures de mines et mesurer leur poids respectif est néanmoins très rare pour les périodes anciennes. On gardera à l'esprit que les relations étroites entre contexte socio-économique et activité minière sont telles que le maintien aussi bien que l'arrêt de l'extraction a des conséquences profondes sur un territoire et son exploitation.

I. C. Une activité qui impacte l'environnement

Les relations entre les mines et leur environnement sont de plusieurs natures. D'une part, l'extraction minière et la métallurgie utilisent des ressources naturelles : le minerai en premier lieu mais aussi le bois et l'eau, auxquels on doit ajouter leur emprise au sol, aspect traité plus haut. D'autre part, ces activités « rendent » à leur environnement ces éléments sous une forme différente : haldes, fumées, métaux lourds, terres incultes. Enfin, des impacts indirects affectent également l'environnement suite au bûcheronnage et à l'installation de communautés aux abords des mines. T. Stöllner parle de « phase d'impression » de l'activité, qui synthétise les changements sociaux et environnementaux dus à l'activité minière (« *imprinting phase* ») lorsqu'elle devient intensive (Stöllner 2003, p. 430). L'empreinte laissée sur le paysage est la plus facilement visible. Plus ou moins profonde et plus ou moins durable, ses caractéristiques participent à la compréhension des activités passées.

I. C. 1. Les impacts visibles à long terme

Les impacts miniers visibles à long terme sur l'environnement sont liés aux caractéristiques physiques de cette activité qui consiste à creuser d'une part et à stocker des déchets de l'autre. Les volumes de matière déplacée laissent des cicatrices dans le paysage et les aménagements de l'espace près des mines peuvent modifier le relief (mise en place de terrasses, stockage des déblais). La métallurgie primaire, à partir du moment où elle utilise des procédés scorifiants, produit elle aussi des déchets abondants qui encombrent l'espace. Ces empreintes physiques sont autant d'indices pour le prospecteur, géologue à la recherche de gîtes exploitables ou archéologue qui étudie l'extraction ancienne. Elles restent visibles sur le long terme car les processus naturels de sédimentation ou d'érosion arrivent rarement à les effacer totalement, dès lors que l'on dépasse le stade du petit grattage de surface ou du petit atelier isolé. Elles peuvent toutefois être masquées par la végétation et des actions anthropiques peuvent provoquer leur effacement. Des rebouchages volontaires de chantiers à ciel ouvert ou l'étalement des haldes rendent ainsi certains travaux presqu'imperceptibles. Dans le cas des crassiers, les scories anciennes ont pu être réexploitées au cours du XX^{e} s. pour le métal qu'elles contenaient encore et disparaître à tout jamais des radars archéologiques (Domergue 1993, pp. 21-22). Dans ce cas, seuls les documents d'archives apportent des données sur les emplacements et la nature des vestiges disparus.

a. Les évidences en creux et en relief, impacts de l'extraction

Les mines à ciel ouvert sont celles qui sont les plus visibles dans le paysage. Dans le cas d'exploitation de gisements en roche, elles se présentent sous la forme de tranchées ou de fosses, allongées ou circulaires selon que la minéralisation ait une morphologie de filon simple ou de multiples branches. Leurs dimensions sont très variables et peuvent aller de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres de longueur. Leur profondeur réelle est masquée par des comblements plus ou moins importants ; il ne reste parfois que de légères

dépressions dans le terrain. Leur largeur dépend de la puissance de la minéralisation, mais aussi de la profondeur atteinte par le chantier. Pour la stabilité des parois, il faut en effet maintenir une pente peu abrupte selon la nature de la roche ou aménager des gradins latéraux. Lorsque l'élargissement devient trop important, les travaux se poursuivent en souterrain. Ce schéma a été bien étudié pour les mines d'or gauloises à ciel ouvert du Limousin, alors appelées des aurières (Cauuet 2004b, p. 43-44). Tous les métaux peuvent donner lieu à ce genre de chantiers si le contexte géologique s'y prête. Il ne s'agit quelquefois que de l'ouverture de l'exploitation, qui passe rapidement en souterrain.

Lorsque les chantiers à ciel ouvert exploitent des gisements détritiques consolidés, les travaux sont encore plus impressionnants (Fig. 8). Ces exploitations consistent à éroder artificiellement le terrain minéralisé à l'aide de courants d'eau maîtrisés, provoquant le démantèlement de pans entiers du relief. Leur taille ne permet pas de les étudier au sol, et le recours à la photographie aérienne est indispensable. Différentes typologies existent, selon la façon dont ils ont été conduits : chantiers peignes, chantiers ravins ou chantiers cirques, accompagnés de leurs réseaux de canaux et de leurs bassins respectifs en amont de la mine proprement dite. Des mines d'or de ce type ont été étudiées dans plusieurs districts, dont le Nord-Ouest de l'Espagne ou encore le Pays Basque (Hérail & Pérez García 1989 ; Domergue & Hérail 1999 ; Cauuet 2001a, p. 32-40 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, p. 266-271). Des chantiers similaires sont connus pour l'étain (Cauuet *et al.* 2006).

Fig. 8 : Mine d'or antique sur gisement détritique consolidé de Las Médulas (Espagne). Cirque formé par l'exploitation, aujourd'hui recolonisé par la végétation.

Les vides laissés par une exploitation principalement souterraine sont les moins visibles en surface. Ils peuvent être limités à des entrées de galeries ou à des têtes de puits, dont les dimensions sont bien plus réduites et permettent parfois tout juste le passage. Ces sont les vestiges miniers les plus faciles à faire disparaître : un glissement de terrain même de faible ampleur peut facilement boucher une entrée (Fig. 9). Dans ce cas, une petite désobstruction

peut permettre d'avoir accès à toute la suite du réseau, ce qui n'est pas le cas avec les mines en roche à ciel ouvert, qui demandent des moyens bien supérieurs pour leur dégagement.

Fig. 9 : Galerie d'accès à la mine des Atiels (Ariège) partiellement comblée en pied de versant.

b. Les évidences en relief, impacts de la production

La gestion des déblais est la première cause de modification en relief des abords des mines. Les mines en roche à ciel ouvert ne peuvent que difficilement servir à stocker des stériles durant leur période d'activité : l'espace doit rester dégagé pour permettre la circulation des mineurs. Des cavaliers de haldes sont ainsi formés sur les bords de l'excavation, rehaussant ses contours. Dans le cas des mines sur gisements secondaires, les importants déblais issus du démantèlement des dépôts minéralisés se retrouvent en aval de la zone d'exploitation et recouvrent des surfaces importantes.

Les mines souterraines voient plus facilement une partie de leur réseau réutilisé pour stocker le stérile. Les secteurs déjà exploités peuvent être remblayés en totalité ou partiellement selon qu'ils donnent accès à la suite du réseau ou non. Mais tous les stériles ne peuvent pas être stockés sous terre et une partie est remontée au jour. Les haldes forment donc également des monticules autour des mines souterraines, sans commune mesure cependant avec les mines à ciel ouvert. Dans le cas de mines ouvertes à flanc de versant, les haldes peuvent dessiner des plates-formes. Souvent mal consolidées, l'érosion entraîne leur étalement sur les pentes. La situation à flanc de versant facilite aussi le creusement de travers-bancs étagés qui permettent de sortir plus facilement les produits et les déchets à différents niveaux de l'exploitation.

Les exploitations à flanc de versant justement sont souvent accompagnées d'aménagements du relief pour faciliter le travail. Des terrasses peuvent marquer les entrées de mines et les aires de minéralurgie, ou l'emplacement des habitats ou des abris de mineurs. Le traitement du minerai est par ailleurs une autre étape productrice de déchets volumineux. Le concassage du minerai remonté de la mine et la séparation de sa gangue produisent des stériles calibrés qui peuvent être très fins et sont stockés en surface. La

fouille des haldes permet de différencier par leur granulométrie les déblais issus de la préparation du minerai.

La métallurgie primaire produit également d'abondantes scories, la production de fer en étant la plus prolifique. Lorsque les processus comportent plusieurs étapes, différents types de scories viennent composer les crassiers. Les fragments de parois de four ou de soles de foyers sont aussi des débris que l'on retrouve autour des sites métallurgiques, ainsi que les tuyères ou encore les creusets pour le traitement des non-ferreux.

Toutes ces accumulations de déchets ont un impact sur la végétation. La concentration de blocs de roche et les scories ne constituent pas des bases de sols très fertiles. Les crassiers et les haldes forment donc même après plusieurs siècles des îlots plus ou moins stériles dans leur environnement. Quelques plantes plus résistantes aux métaux lourds peuvent coloniser ce type de sites. C. Domergue indique pour les mines de la Sierra Morena la présence de *Rumex bucephalophorus*, plante basse qui recouvre les haldes d'un manteau rouge lors de sa floraison, du printemps à la fin de l'été (Domergue 2008, p. 44). Il s'agit d'un indice de plus pour le prospecteur à la recherche de vieux travaux.

I. C. 2. Les impacts visibles à moyen terme

Les impacts de la mine sur la végétation ne se limitent pas à la réduction de la fertilité des sols par la production et l'étalement des déchets. L'utilisation des ressources boisées pour la mine et la métallurgie représente une attaque directe sur l'environnement. Les modifications du couvert forestier auront à leur tour des conséquences sur la stabilité des sols, plus sensibles à l'érosion s'ils sont dénudés (Silva-Sánchez *et al.* 2014, p. 721). Ces impacts directs et indirects ne sont pas à proprement parler réversibles, mais ils se retrouvent masqués ou atténués naturellement après plusieurs dizaines d'années suite à l'arrêt de l'activité minière. La recolonisation végétale et de nouveaux processus sédimentaires peuvent faire oublier que l'on se trouve face à un environnement altéré. Le temps de récupération va bien sûr dépendre du contexte géographique et climatique, et de l'intensité de l'exploitation qui a causé les impacts. Les milieux des zones à climat humide se régénèrent facilement mais les conséquences seront plus durables en contexte aride. Cette récupération ne sera pas forcément totale : des espèces surexploitées pourront disparaître définitivement ou au moins fortement diminuer et céder la place à d'autres lors de la reconquête forestière (Jouffroy-Bapicot *et al.* 2007, p. 257 ; Mighall *et al.* 2017, pp. 622-623).

L'impact minier sur les ressources boisées n'est cependant pas toujours très marqué. A moins de passer à une exploitation réellement intensive, il peut même être négligeable. Dans le cas des mines préhistoriques, qui ont fonctionné sur de longues périodes et probablement sur une base saisonnière, le signal pollinique ne laisse pas apparaître de déboisement notable. C'est le cas des mines de Mount Gabriel et Cwmystwyth, qui utilisaient pourtant l'ouverture au feu, mais elles n'ont eu qu'un impact très local et ponctuel (Mighall & Timberlake 2010, p. 64 ; Mighall *et al.* 2017, p. 621). Sur le site d'El Áramo, le bois utilisé aussi bien pour l'éclairage que pour l'ouverture au feu est

exclusivement l'if, présent en bosquets à proximité de la mine. Il a été estimé que pour l'ensemble des travaux, 4100 ifs auraient été nécessaires pour creuser les travaux anciens. Répartis sur la durée de l'activité (globalement entre 2500 et 1500 av. n. è.), cela donne un peu plus de quatre arbres par an, ce qui est tout à fait insignifiant en termes d'impact environnemental (de Blas Cortina 2014, pp. 53-58)[28]. Il faut bien sûr ajouter à cela les besoins pour la métallurgie, mais la production ne semble pas avoir connu une intensité susceptible de générer d'importants dommages sur le couvert forestier.

Une étude menée sur les charbons utilisés dans des bas fourneaux du début du Moyen Âge (700-1200 AD) à Vitoria-Gasteiz (Pays Basque espagnol) a montré le choix des métallurgistes pour un type de combustible particulier, lié à un environnement fortement anthropisé (Ruiz-Alonso *et al.* 2012, p. 231). Il s'agit de l'utilisation dominante à 70% de bois d'arbres de la famille des rosaceae, qui rassemble pour cette région deux groupes d'espèces : les pomoideae d'un côté (pommiers, poiriers, ou aubépine) et le genre *prunus* de l'autre (cerisiers, pruniers, pêchers, ...). Le fort pouvoir calorifique de ce type de bois était apprécié pour alimenter les fours (métallurgiques mais aussi à pain ou de potier). Les auteurs proposent que le bois utilisé pour la métallurgie puisse provenir de l'entretien des arbres fruitiers cultivés (taille ou récupération de branches tombées) ou de l'exploitation de populations sauvages ou semi-sauvages d'épineux, une combinaison des deux options n'étant pas exclue (Ruiz-Alonso *et al.* 2012, p. 233). L'usage préférentiel de cette famille d'arbre pour la métallurgie du fer semble être une particularité de ce site, qui s'explique, outre les capacités calorifiques idoines de ces bois, par la disponibilité locale de ce type de ressource en particulier (Ruiz-Alonso *et al.* 2012, p. 234). Dans ces conditions, l'impact environnemental de la métallurgie était fortement lié à l'ensemble des activités humaines pratiquées sur ce site.

En effet, les activités agro-pastorales peuvent elles aussi conduire à des défrichements importants. Faire la part des différentes activités à partir des données polliniques ou anthracologiques seules n'est pas possible et plusieurs sources de données doivent être corrélées. L'étude des paléo-pollutions aux métaux lourds permet de préciser les choses (Breitenlechner *et al.* 2010, p. 69). Mais malgré cela, attribuer un déboisement à une cause doit se faire avec prudence (Galop 2005, p. 325 ; Harris 2011, pp. 117-121 ; Lavoie 2011, p. 28). Les travaux pluridisciplinaires menés dans la haute vallée de la Durance ont montré que les impacts sur la forêt sont partagés entre une activité minière importante surtout au Moyen Âge pour le district de l'Argentière et des activités agropastorales attestées depuis la fin du Néolithique (Py *et al.* 2014, pp. 92-94). Ces activités ne sont pas constantes à travers le temps ; la phase la plus active se situe aux XII^{e} et XIII^{e} siècles aussi bien pour la mine que pour l'élevage. Une gestion des forêts a pu être mise en évidence pour cette période avec l'exploitation préférentielle du mélèze et le déplacement des zones de bûcheronnage pour

[28] L'auteur base son calcul sur l'utilisation d'ifs de 0,6 m de diamètre à 1,3 m du sol, qui fournissent 3,6 m^3 de bois chacun. Il faut toutefois prendre en compte le fait que l'activité n'a pas forcément été répartie uniformément sur un millénaire et que cette moyenne de 4,1 arbres par an peut cacher des périodes d'utilisation plus intensives et d'autres d'arrêt de l'activité.

permettre la reconstitution des ressources boisées. Une plus forte pression agropastorale semble à l'origine d'un impact plus sévère au XIII^{e} siècle conduisant à la raréfaction du mélèze au profit du pin.

Des exemples d'impacts plus marqués sur la végétation liés à l'activité minière et métallurgique sont connus surtout pour l'Antiquité (Galop *et al.* 2001, p. 12 ; Galop 2005, p. 324 ; Lavoie 2011, p. 24). L'augmentation de l'échelle de l'exploitation minière à cette période s'est indubitablement accompagnée d'une plus forte pression sur les ressources boisées. Cependant, nous avons vu plus haut qu'une mine ne fonctionne pas seule. Elle agrège un noyau de peuplement qui comporte la production de ressources alimentaires, donc une activité agro-pastorale. Dans les grands centres miniers et métallurgiques, cette production devait être excédentaire pour nourrir les travailleurs de la mine et du métal, les bûcherons et les charbonniers qui ne pouvaient se dédier à la production de leurs propres ressources alimentaires. On se retrouve donc face au problème illustré par l'exemple de la haute Vallée de la Durance qui consiste à différencier la part du bois coupé pour la mine et la métallurgie de celle coupée pour les besoins de l'agriculture et de l'élevage qui accompagnaient la mine (et cela sans prendre en compte le bois de construction, de chauffage, de cuisine, …).

Le district sidérurgique antique de la Montagne Noire, un des principaux centres producteurs de l'Antiquité, pour lequel des quantifications de production métallurgique ont pu être estimées, peut illustrer cet aspect. Le centre de production principal est celui des Martys, qui a fonctionné entre le milieu du I^{er} s. av. n. è. et le milieu du III^{e} s. de n. è. D'autres ateliers de dimensions plus réduites ont pu fonctionner en même temps au I^{er} s. av. n. è. puis la production se concentre dans des ateliers importants, celui des Martys et de Laprade Basse (Decombeix *et al.* 2000, p. 33 ; Rico 2016, pp. 271-272). Dans l'ensemble de ce district, au moins 500 000 t de charbon auraient été consommées sur trois siècles pour produire près de 110 000 t de fer, ce qui donne environ 1 600 t de charbon par an (Domergue 2008, p. 45). Les données expérimentales indiquent une efficacité de charbonnage permettant de produire du charbon représentant 20% du poids de bois utilisé (Fabre 2016b, p. 429). Il fallait donc 8000 t de bois pour produire les 1 600 t de charbon. La densité moyenne des bois durs utilisés par les métallurgistes antiques (chêne et hêtre) se situe entre 700 et 750 kg/m^3. Le volume de bois utilisé chaque année pour produire cette quantité de charbon aurait été compris entre 10 665 et 11430 m^3. Pour la région de la Montagne Noire, les données actuelles indiquent une valeur moyenne de 100 à 160 m^3 de bois par hectare de forêt[29]. Cela conduirait à restituer des coupes à blanc sur 67 à 114 ha par an pour les besoins de la métallurgie, soit des surfaces carrées ayant entre 800 m et 1 km de côté. Cela n'est pas très important à l'échelle de la Montagne Noire. Cependant, l'utilisation du bois de taillis était préférée pour la production de charbon plutôt que la coupe à blanc d'arbres plus vieux, ce qui limitait le travail de débitage des troncs. Pour une production de fer installée dans la durée comme c'est le cas ici, on peut supposer qu'une rotation de l'approvisionnement sur

[29] Données du ministère de l'agriculture : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gab13p072-079.pdf

différentes parcelles coupées tous les 15 à 20 ans ai pu se mettre en place, comme cela a été documenté pour la période Moderne (Bonhôte & Fruhauf 1990, p. 174 ; Cantelaube 2009, p. 36). Dans ce cas, la productivité moyenne diminue : elle a été évaluée à 40 stères par hectare pour l'est des Pyrénées (Cantelaube 2009, p. 36). Cela aurait donné une surface exploitée annuelle de 266 à 285 ha, soit des surfaces carrées de 1,6 à 1,7 km de côté. Si l'on tient compte d'un rythme de rotation de coupe de 18 ans, les espaces dédiés à l'approvisionnement des ateliers représenteraient des surfaces carrées de 6 à 7 km de côté, ce qui reste modeste à l'échelle de la Montagne Noire.

Un autre site de sidérurgie antique, daté du III^{e} s. de n. è. est connu à Lercoul en Ariège (Dubois 2000 ; Dubois & Métailié 2001). Sa production était bien plus modeste que celle des Martys, comme le montrent les quantifications de métal obtenu, 140 t de fer, et 400 t de scories produites (Dubois 2000, pp. 61-62). Les expérimentations menées sur ce site ont permis de proposer une production de 17 kg de scorie par opération. La durée de l'activité est ainsi estimée entre 134 et 156 ans sur la base de 6 à 7 mois de travail par an[30]. La quantification du charbon utilisé pour toute la période, ici à base de bois de hêtre, aurait été de 800 t, soit la moitié du poids consommé en une seule année aux Martys. Si le chiffre de 90000 hêtres de taillis pour toute la durée de l'exploitation fourni par l'auteur peut impressionner, il doit d'une part être rapporté à la durée de l'activité, ce qui donnerait environ 670 arbres par an pour la durée la plus courte. D'autre part, si l'on veut comparer les surfaces exploitées par an, il faut revenir au volume de bois utilisé pour produire ces 800 t de charbon soit 7200 m^3 selon les expérimentations. Cela donne 54 m^3 par an pour la durée restituée la plus courte. Pour l'est des Pyrénées, le volume de bois produit à l'hectare se situe entre 120 et 200 stères pour les meilleures parcelles. Le volume peut tomber à 32 stères dans certains cas (Bonhôte & Fruhauf 1990, p. 172). La surface de forêt exploitée tous les ans pour les besoins de l'atelier antique de Lercoul se situerait donc entre 0,27 et 1,7 ha (des parcelles carrées de 52 à 130 m de côté). L'impact sur la forêt pour les besoins directs de la métallurgie était donc réduit dans ce secteur, qui bénéficiait par ailleurs de conditions climatiques favorables au renouvellement forestier. D'autre part, on peut signaler que des études pédo-anthracologiques récentes effectuées sur des charbonnières environnantes ont montré que le site était à l'origine une sapinière dense, où les hêtres ne deviennent dominants qu'au Moyen Âge. La faible surface nécessaire pour fournir les hêtres utilisés pour la sidérurgie a pu correspondre à des prélèvements choisis de hêtres dans une hêtraie-sapinière.

Il ressort de ces exemples que si l'activité minière s'accompagnait de déboisements, dans des zones géographiquement propices à la croissance sylvicole, c'était sans doute à cause des multiples activités consommatrices de bois qui se déroulaient dans ses environs. C'était le cas des mines pour l'abattage au feu (si pratiqué) et le soutènement (non systématique), des ateliers pour le traitement thermique du minerai, mais aussi et surtout des activités

[30] L'auteur précise que les métallurgistes expérimentés auraient pu produire ces quantités en moins de temps.

agro-pastorales qui se devaient de l'accompagner pour nourrir les mineurs, métallurgistes, et même les bûcherons dans le cadre d'activités intensives. La surface dédiée à l'agriculture et à l'élevage n'était plus disponible pour les forêts. Il faudrait pouvoir comparer ces données avec d'autres exemples issus de zones moins favorables à la croissance forestière, certainement plus fortement affectées par des prélèvements répétés et nombreux sur le couvert arboré. Mais les déboisements de l'Antiquité ont tout de même été globalement suivis d'une récupération forestière après la fin de l'Empire Romain et l'arrêt des activités minières et métallurgiques intensives. Les niveaux de peuplement forestiers préromains n'ont cependant pas toujours été récupérés, d'après les diagrammes polliniques. La composition des forêts s'est aussi retrouvée définitivement modifiée dans certains secteurs, comme le Morvan ou les alentours du Mont Lozère (Jouffroy-Bapicot *et al.* 2007, pp. 253-254). Sans en arriver à une déforestation, l'impact des exploitations intensives n'était donc pas nul.

Des modes de gestion forestière ont dû se mettre en place dans ces contextes pour assurer un approvisionnement durable, pour la mine mais aussi pour les autres activités contemporaines. L'exploitation du cuivre sur l'île de Chypre, intensive et sur la longue durée, peut en être un bon exemple. Les conditions naturelles y sont favorables à un renouvellement rapide des forêts mais des documents de l'âge du Fer (début du I^{er} millénaire av. n. è.) montrent que l'entretien et l'exploitation des forêts étaient sous le contrôle strict des Rois de l'île (Kassianidou & Knapp 2005, p. 234). Au II^{e} s. de n. è., les tables de *Vipasca* (Aljustrel, Portugal) font aussi état d'un contrôle du fisc sur l'approvisionnement en bois dans le contexte particulier d'une agglomération minière, dans un paragraphe relatif au chauffage des thermes (Vip I.3.9 - Domergue 1983, p. 85). D'autre part, les Anciens savaient que les forêts devaient être coupées suivant certaines règles pour en assurer un renouvellement (Harris 2011, p. 139). Tout cela indique qu'il faut rester prudent dans l'attribution à des activités anciennes des impacts sur le couvert forestier.

Si l'arrêt des exploitations permet une reconstitution des ressources forestières qui masque assez rapidement les conséquences de l'exploitation et de l'occupation du territoire environnant, d'autres formes d'atteintes à l'environnement, pour moins visibles, n'en sont pas moins durables même plusieurs siècles après la fin de l'activité.

I. C. 3. Les impacts invisibles mais néanmoins durables

La pollution par les métaux est une des atteintes principales de l'activité minière sur l'environnement. L'extraction libère des métaux et métalloïdes (Pb, Cu, As, …) dans la nature par le biais des eaux de mines qui se chargent au contact des minéralisations exposées. Les haldes, qui contiennent majoritairement des stériles, ne sont pas pour autant vierges de substances métalliques. Leur accumulation à la surface les expose aux lessivages des pluies et des eaux de ruissellement, qui vont également contribuer à la diffusion des éléments chimiques dans l'environnement. Ces substances polluantes restent dans les sols une fois libérées et les siècles d'inactivité des mines ne permettent pas leur disparition, même si les

traces de l'activité minière ont pu, elles, être effacées par l'érosion et la recolonisation forestière (Jouffroy-Bapicot *et al.* 2007, p. 257). Ce cas de figure ressort particulièrement dans l'étude menée par Estelle Camizuli dans le cadre de sa thèse (Camizuli *et al.* 2014). Ses deux zones d'étude, le parc naturel du Morvan et celui des Cévennes, sont aujourd'hui considérées comme des secteurs écologiquement préservés. Les activités minières et métallurgiques anciennes ont conduit à l'accumulation d'éléments métalliques en traces dans les sols, qui affectent aujourd'hui encore la faune sauvage (mulots et truites fario).

Les opérations les plus polluantes sont les étapes de minéralurgie et de métallurgie primaire car elles provoquent des concentrations de minéraux métalliques. Lors du concassage du minerai, de la poussière minéralisée est produite et elle va se déposer à proximité du site ou plus loin selon les vents dominants. Les étapes de grillage et de réduction sont celles qui diffusent le plus loin ces pollutions, par le biais des fumées. Des traces des phases d'activités métallurgiques anciennes ont ainsi été identifiées jusque dans les glaces du Groenland (Hong *et al.* 1994, 1996). Les teneurs en plomb montrent des pics entre le IV^{e} s. av. n. è. et le III^{e} s. de n. è., qui ne sont ensuite égalés qu'à partir de la période médiévale et dépassés (nettement) à partir de la révolution industrielle.

Les analyses géochimiques de carottes prises dans des tourbières permettent de mesurer cette pollution localement, et de la mettre en relation avec des phases d'activités minières locales ou régionales. Les exemples sont nombreux et tous les citer ici n'aurait pas de sens[31]. Le plomb a été le plus souvent mesuré. On retiendra l'augmentation généralisée en Europe de la pollution métallique lors de la période romaine, qui fait suite à des situations beaucoup plus variables pour la préhistoire, selon les périodes d'exploitation des ressources locales (De Vleeschouwer *et al.* 2010).

Les teneurs en plomb relevées dans les tourbières ne sont cependant pas entièrement issues de l'activité métallurgique et peuvent être un signal naturel d'un environnement géologiquement riche en plomb. Le croisement de plusieurs facteurs et la composition isotopique du plomb permettent de différencier les apports naturels des apports anthropiques (Jouffroy-Bapicot *et al.* 2007, p. 251). La prise en compte des données archéologiques est également indispensable pour valider les interprétations (Galop *et al.* 2001, p. 5 ; Kylander *et al.* 2005 ; Harris 2011, p. 107 ; Küttner *et al.* 2014, p. 9). Les pics de pollutions qui ne correspondent pas à des phases connues d'activité minière locale permettent alors seulement de proposer l'existence d'étapes supplémentaires d'activité.

[31] A titre d'exemple, on peut citer pour le Sud-Est de l'Espagne García-Alix *et al*. 2010, pour le Nord-Ouest de la Péninsule López-Merino *et al.* 2014, pour la France Jouffroy-Bapicot *et al.* 2007, dans les Pyrénées Basques Galop *et al.* 2001, et enfin pour l'Ecosse Küttner *et al.* 2014.

I. D. L'exploitation minière : proposition de modélisation

Les implications d'une exploitation minière[32] sont nombreuses et recouvrent des aspects variés, qui peuvent être regroupés dans trois grands domaines : environnemental, socio-économique et technique. Dans le domaine de l'environnement, on rassemble les caractéristiques géologiques du gisement et celles de son contexte géographique. Les questions socio-économiques ont trait à l'organisation de la société et à ses choix en matière de stratégies de subsistance. Enfin, le domaine technique concerne tous les aspects pratiques de l'exploitation minière. L'ensemble de ces éléments est soumis à la sphère culturelle du groupe qui va pratiquer l'exploitation minière. Cela peut impliquer des interdits dans certaines formes d'occupation du territoire ou d'utilisation des ressources, ou encore orienter les choix dans les investissements acceptables pour lancer l'exploitation ou dans la façon de redistribuer les bénéfices. La participation des différents membres du groupe à cette activité (notamment entre les hommes, femmes et enfants) est également soumise à des facteurs culturels (Stöllner 2015b, p. 69). Il s'agit donc d'un fond qui impose sa coloration dans les trois grands domaines définis et qui agit de manière indirecte sur l'exploitation minière. Celle-ci se traduira à son tour par une intégration dans la sphère culturelle, toutefois difficile à percevoir pour les archéologues. Les parades organisées par les groupes de mineurs dans certaines régions d'Europe Centrale (Saxe ou Autriche par exemple) sont des exemples de l'intégration culturelle de l'activité minière (Stöllner 2012, p. 434).

L'ordre de prise en compte des facteurs environnemental, socio-économique puis technique n'est pas anodin. En effet, chacun d'eux correspond à l'une des trois conditions minimales indispensables au démarrage de l'activité, qui ne peuvent se mettre en place que l'une après l'autre (Fig. 10, au centre). Si les conditions géologiques ne sont pas réunies, aucun gisement n'est disponible. S'il n'y a pas de demande, le gisement ne sera pas considéré comme une ressource. Enfin, si la technique ne permet pas d'extraire le minerai puis de le transformer en métal, la ressource ne sera pas exploitée. Ces trois critères doivent être validés pour le démarrage de l'activité et se maintenir au fil de l'exploitation. Ils peuvent également influer les uns sur les autres. À partir du moment où la minéralisation existe, cela peut pousser à lui trouver une utilité et à développer des techniques adaptées. Chercher à satisfaire la demande pourra déboucher sur la recherche de nouveaux gisements et sur l'amélioration des techniques. Au fil du déroulement de l'activité, sa mise en œuvre peut également faire évoluer la demande et rendre disponibles de nouvelles ressources.

Une fois l'exploitation lancée, on peut distinguer dans chaque grand domaine les déterminismes qui s'appliquent à l'exploitation et les conséquences induites par son développement (Fig. 10, extérieur). Les facteurs qui influencent la mise en œuvre de l'activité sont nombreux, et ont été présentés dans les parties précédentes. Chaque élément

[32] L'exploitation minière est entendue ici comme l'ensemble de la chaîne opératoire permettant de produire du métal brut, soit la succession de l'extraction minière, de la minéralurgie et de la métallurgie primaire (comme présenté dans le schéma 1).

peut y être favorable ou défavorable et ils se pondèrent mutuellement. On peut considérer que chaque facteur représente une force de poussée qui va faire avancer l'exploitation, légèrement ou plus fortement. En réaction, les trois domaines intègrent des impacts, positifs ou négatifs, issus de l'activité minière. Ces impacts peuvent à leur tour influencer les paramètres qui pèsent sur l'exploitation, comme cela a été montré au sujet de la rentabilité de la mine avec la figure 6. L'équilibre entre tous ces facteurs est fragile et valable à une période donnée. Des changements dans l'un des domaines vont avoir des répercussions sur l'ensemble du système, qui impliqueront des adaptations.

Trois aspects liés à l'exploitation minière se trouvent aux interfaces entre les différents domaines, témoignant de leurs interactions mutuelles. La spécificité des techniques mises en œuvre dépend du contexte naturel particulier à chaque mine. Par exemple, la nature du minerai impose des procédés minéralurgiques et métallurgiques précis et adaptés. L'organisation socio-économique d'un groupe et les caractéristiques environnementales des chantiers miniers vont être à l'origine du schéma d'occupation du territoire adopté dans un district ou un autre (temporaire, permanent, regroupé, dispersé). Enfin, l'agencement observable au sein des travaux miniers est un bon exemple de l'influence du statut social des mineurs sur les procédés techniques en parallèle avec les exigences économiques. Ainsi, lorsque les galeries permettent une circulation debout grâce à un surcreusement du stérile, une certaine considération pour le confort des mineurs pourrait avoir primé sur les aspects strictement économiques[33].

Enfin, il faut garder à l'esprit que la mine, qui ne permet pas d'alimenter directement ses travailleurs, ne fonctionne jamais seule (Fig. 10, cercle central). Une exploitation minière est ainsi un complexe au cœur duquel se trouve bien évidemment la mine elle-même, mais toujours accompagnée d'ateliers (il faut produire le métal), d'un habitat (centre de gestion des moyens de subsistance), de réseaux d'échanges (écoulement du métal produit) et d'un territoire qui permet l'approvisionnement en ressources naturelles indispensables (eau, bois, argile). Si l'on veut comprendre l'activité dans sa globalité, il faut prendre en compte tous ces aspects, qui varient dans le temps. C'est là qu'intervient l'archéologue minier, en ajoutant la dimension chronologique à ce schéma global.

[33] La hauteur des galeries peut aussi être en relation avec les modes de portage des produits de l'abattage à dos d'homme, dans des hottes.

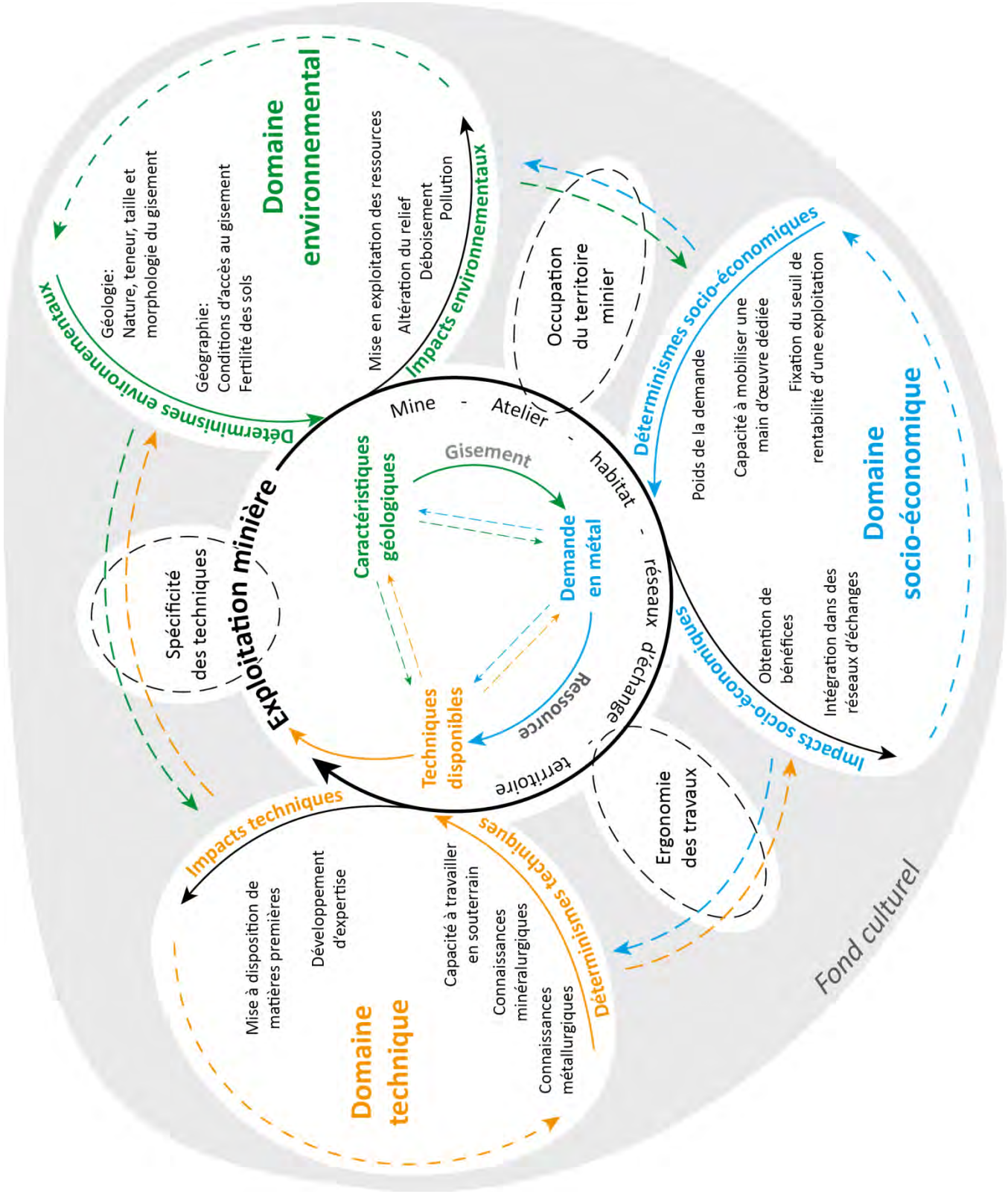


Fig. 10 : Modélisation de l'activité minière.

Au centre, les pré-requis au démarrage de l'exploitation. Autour, les déterminismes et impacts dans les domaines environnemental, socio-économique et technique, le tout étant en relation permanente avec le fond culturel du groupe concerné.

II. L'archéologie minière : une spécialité à un carrefour disciplinaire

La figure 10 montre la diversité des éléments en lien avec les mines. Ces différents aspects font nécessairement appel à plusieurs disciplines (archéologie, histoire, sciences de la Terre, sciences de l'Environnement) qu'il faut réussir à articuler pour une compréhension globale du phénomène. Cette complexité, si elle a pu être perçue assez tôt, n'a pas tout de suite été intégrée dans les études concernant les mines. La définition du champ d'investigation de l'archéologie minière s'est faite progressivement. Des méthodes spécifiques ont été mises en place pour aborder ce domaine, particulier à plusieurs titres. Les données apportées depuis les années 2000 ont conduit à faire évoluer les problématiques de l'archéologie minière, avec une meilleure intégration des multiples dimensions de cette activité et de son caractère diachronique.

II. A. La lente affirmation d'une spécialité

L'objectif ici n'est pas de passer en revue de façon exhaustive les études concernant les mines depuis leurs origines. Des bilans historiographiques ont été faits sur des thématiques particulières ou de façon plus globale à plusieurs reprises (par exemple Pailler 1982 ; Bailly-Maître 1997c ; Orejas *et al.* 1999 ; Domergue & Leroy 2000 ; Cauuet 2005 ; Fabre & Coustures 2005 ; Rico 2005 ; Domergue *et al.* 2006). Ils montrent l'évolution des connaissances dans ce domaine et les différentes façons dont les mines anciennes ont été approchées par les chercheurs. Les angles d'attaque choisis pour aborder ce sujet ont donné une certaine coloration aux premières étapes de la recherche, dont on peut encore déceler les reflets aujourd'hui.

II. A. 1. La construction d'un objet d'étude archéologique

Les premières mentions de travaux miniers anciens nous sont parvenues principalement par la voix des minéralogistes humanistes du XVIII^{e} s. (par exemple Hellot 1764 ; Gobet 1779 ; Dietrich 1786), suivis par les premiers géologues et ingénieurs des Mines du XIX^{e} s. Les mines sont en effet des espaces occultés, sous terre ou par des remblais, qui ne présentent pas d'attraits aussi évidents pour les archéologues de ces époques que de belles ruines ou des objets dignes de collection. En ajoutant à cela les dangers (et surtout les peurs) du souterrain, on comprend que ceux qui ont eu le plus d'opportunités de s'y frotter ont été les ingénieurs miniers lors des nombreuses reprises au XIX^{e} s. et au début du XX^{e} s. La documentation produite alors est parfois tout ce qu'il reste de chantiers anciens complètement détruits par les travaux d'envergure menés ensuite, quand l'option d'une exploitation à ciel ouvert a été choisie (Domergue 2008, p. 41 ; Arboledas Martínez *et al.* 2011, p. 212 ; O'Brien 2015, p. 17). Les plans plus ou moins schématiques, les descriptions plus ou moins précises ou encore les notices concernant des objets hors contexte et parfois perdus depuis ont alors servi de base à des interprétations que l'on ne peut pas toujours accepter aujourd'hui. L'absence de données chronologiques fiables a conduit à l'attribution de ces travaux anciens aux « ancêtres à la mode » selon les régions : Romains ou Phéniciens

en Europe méditerranéenne, Celtes ou Danois plus au nord (O'Brien 2015, pp. 16-17). Ils représentent pourtant une somme d'informations non négligeable sur les chantiers anciens, si l'on s'en tient aux données brutes qu'ils renferment. Une étude archéologique sur des mines démarre souvent par la consultation des archives minières et l'on y découvre habituellement un ingénieur des mines ou un géologue (Domergue 2008, pp. 33-37) soucieux d'enregistrer les traces des travaux anciens, dans une tradition humaniste qui s'est amenuisée au fil du XX^{e} siècle, à mesure que les connaissances géologiques et techniques progressèrent.

Cette période de mise au jour de chantiers anciens, souvent suivie de leur destruction, au moins partielle, par la reprise de l'exploitation, a aussi été l'occasion de découvertes exceptionnelles, qui ont attiré l'attention des lettrés sur le monde de la mine. Les tables de *Vipasca* en sont un exemple : leur découverte remonte à 1876 pour la première et 1906 pour la seconde. La rareté extrême de ce type de document leur confère un statut de référence sur l'organisation des mines romaines (Domergue 1983). Elles le partagent avec les tablettes cirées trouvées entre 1786 et 1855 en Roumanie dans les mines d'or de Dacie, dont deux ou peut-être trois (CIL III, *cer*. IX, X, et peut-être XI) mentionnent des contrats de travail de mineurs au II^{e} s. de n. è. (Mrozek 1989, p. 166 ; Hoffmann 2002, pp. 65 et 75-76). Dans le domaine de l'ingénierie, des ouvrages tout aussi remarquables ont pu être mis au jour. On signalera en particulier les dispositifs d'exhaure en bois des mines antiques du sud de la péninsule Ibérique et de Roumanie : roues d'exhaure ou vis d'Archimède. Les découvertes ont eu lieu principalement dans la seconde moitié du XIX^{e} siècle et le premier tiers du XX^{e} siècle (De Launay 1889, p. 432 et pl. X ; Domergue & J.-L. 2004 ; Manzano Beltrán & Ojeda Calvo 2006, pp. 19-21 ; Cauuet 2011, p. 345 et 357)[34].

Ces éléments remarquables correspondent aux deux premiers prismes à travers lesquels les mines ont été étudiées : la technique et les sources antiques (textes, épigraphie). Cela se retrouve en particulier dans les traditions historiographiques hispanique et française dans lesquelles les mines de la période romaine ont connu un vif intérêt. A partir des années 1970, l'archéologie minière commence à prendre son véritable essor. De nombreuses publications entre cette date et les années 1990 traitent alors de la question des mines à travers les inventaires des ingénieurs et géologues, complétés par les données des premières prospections archéologiques orientées vers ce type de vestiges, et les mettent en parallèle avec les textes classiques sur le sujet (par exemple Ramin 1977 ; Healy 1978 ; Domergue 1986 ; Blázquez Martínez 1991). Données archéologiques et littéraires sont au mieux mises sur le même plan quand les textes ne conservent pas la suprématie pour des chercheurs nourris à l'étude des Lettres Classiques. A ce titre, les actes du colloque *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas* qui s'est tenu en 1985 à Madrid nous offrent aujourd'hui une image assez représentative de cette période où se

[34] Les premières découvertes de roues d'exhaure romaines depuis les années 1930 ont eu lieu à Roşia Montană dans les années 2000, lors des travaux de B. Cauuet qui a mené des fouilles d'envergure dans ces chantiers antiques (Cauuet 2008, pp. 67-69).

mêlent les traditions historiographiques classiques, le dynamisme des premiers travaux de terrain d'envergure et les premiers pas de l'archéométrie aujourd'hui très présente (Domergue 1989). En France, on assiste à la création, en 1982, d'une association des archéologues miniers et métallurgistes travaillant sur des sites de toutes époques, la Société Française d'Étude des Mines et de la Métallurgie (SAFEMM), toujours active[35]. Cependant, dès 1978, le premier laboratoire de recherche CNRS - Université, spécialisé dans l'étude des mines anciennes (Archéologie Minière et Métallurgique de l'Occident Romain - URA 997 du CNRS) était créé à Toulouse.

Car les années 1970 marquent bien la naissance de l'archéologie minière telle qu'on l'entend aujourd'hui, dans laquelle l'étude des mines sur le terrain est menée par des archéologues et n'est plus l'apanage des ingénieurs miniers ou des géologues, sans que cette collaboration ne soit reniée. La prise en main par les archéologues du terrain minier a été amorcée par des chercheurs autrichiens et britanniques, dès le dernier quart du XIX^{e} s. et au cours du XX^{e} siècle. Le district de Mitterberg (Autriche) a été l'objet d'une étude archéologique précoce et les travaux menés dans les années 1920 par des ingénieurs miniers (Karl Zschocke et Ernst Preuschen) sont exemplaires dans la mesure où ils fournissent un enregistrement détaillé du souterrain et des installations de surface, auquel est associée une étude géologique et technique des mines. À partir des années 1930, Richard Pittioni, archéologue, s'implique dans ces études. Cela a contribué à intégrer l'archéologie minière aux recherches sur la préhistoire, comme on l'observe à partir des années 1950. Dans les îles britanniques, les recherches menées en parallèle à partir des années 1930 sur les mines du Pays de Galles sous la houlette d'Oliver Davies[36] ont associé prospections systématiques et sondages. Les sites étudiés alors constituent toujours des références pour les mines de l'âge du Bronze, tout comme le district de Mitterberg (O'Brien 2015, pp. 18-19).

Le travail de terrain en archéologie minière a été intégré lentement aux recherches. Les préhistoriens, affranchis de la prépondérance des textes, y sont venus plus facilement, incluant des fouilles dans les chantiers miniers dès les années 1970 et jusqu'à aujourd'hui (Jovanovic 1989 ; Ambert 1995, pp. 499-502 ; Timberlake 2003b ; de Blas Cortina 2005 ; Bourgarit *et al.* 2010 ; O'Brien 2015, pp. 19-22). Pour les mines antiques, la prospection pour le repérage des vestiges en surface a longtemps été la forme d'approche principale de ces structures. Des sondages dans les haldes ou des fouilles dans les ateliers ou les habitats identifiés en relation avec les mines étaient plus fréquents et ont livré des données à même d'éclairer le contexte socio-économique ou technique local. La chronologie des travaux était alors déduite des résultats obtenus en surface. Pour peu que du mobilier archéologique cohérent avec ces résultats se trouvât au sommet des remblais de mine, l'affaire était close. Un exemple symptomatique est celui des mines d'El Centenillo, en Sierra Morena. Ce district

[35] http://safemm.hypotheses.org/

[36] Ce chercheur prolifique spécialisé dans les mines romaines a aussi visité et décrit les mines de Riotinto en Espagne et des mines anciennes des Balkans, de Chypre et de l'Égée (Davies 1935). Les chronologies qu'il propose ne sont pas toujours exactes, mais il n'avait pas la possibilité d'avoir recours au ^{14}C.

majeur de production de cuivre, plomb et argent de la période romaine n'avait jusqu'en 2010 fait l'objet d'aucune opération archéologique en souterrain (Arboledas Martínez *et al.* 2011, p. 214). Les données de surface étaient considérées comme suffisantes, oblitérant ainsi tout un pan des vestiges (Gutiérrez Soler 2010).

L'allocution de Claude Domergue, figure incontournable s'il en est de l'étude des mines antiques, en clôture du colloque de 1985 cité plus haut, nous révèle en quelques phrases à quel point la construction d'une véritable archéologie minière était paradoxalement loin d'être une priorité pour les spécialistes de l'Antiquité au sens large.

> *« L'importance prise dans les recherches sur les mines et la métallurgie antiques par ce qu'on appelle aujourd'hui « l'archéométrie » ne doit pas faire oublier en effet que les textes anciens et les inscriptions existent. Nous ne devons pas faire fi de ces auteurs grecs et latins qui, par la façon dont ils ont caractérisé minerais et métaux, nous fournissent de précieuses indications pour les identifier. […]*
>
> *Sachons aussi quitter, même si c'est pour mieux y revenir, nos bibliothèques et nos cabinets. Répondons à l'appel de l'aventure qui va nous entraîner, sur terre et sous terre, à la recherche de l'inconnu. Imitons ces prospecteurs qui jadis partirent à la recherche du métal. Nous en sommes à un stade où la recherche sur le terrain est, dans tous les cas, payante ; elle seule peut actuellement fournir les matériaux bruts qui nourriront notre réflexion et nous permettront d'apporter une contribution originale à l'histoire des sciences et des techniques, aujourd'hui d'actualité. »* *(Domergue 1989, t. II, pp. 196-197)*

L'archéométrie apparaît comme une nouvelle voie d'étude en plein essor dont les apports, bien qu'appréciés, sont comparés à ce qui fait office de référence incontournable pour étudier le passé : les textes et les inscriptions. Le travail de terrain est évoqué plus loin, sous la forme d'un appel à sa mise en pratique, signe flagrant que cette voie de recherche n'était pas la plus naturelle à l'époque dans certains contextes. Et si son importance pour renouveler les données disponibles est bien soulignée, l'archéologie semblerait presque ne devoir exister que pour permettre de prolonger l'étude des textes. Pourtant, Claude Domergue a eu une pratique intensive du terrain minier archéologique, qui lui a permis de fournir un impressionnant *Catalogue des mines et fonderies antiques de la péninsule Ibérique* (Domergue 1987), qui sert de base à son ouvrage de synthèse sur *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine* (1990). Ce travail est toujours une référence pour ce vaste territoire, et a notamment contribué à montrer l'intensité de l'activité dans plusieurs districts miniers, dont celui des mines d'or en alluvions du Nord-Ouest (Domergue 1990, pp. 368-369). C'est donc en connaissance de cause qu'il plaide pour l'archéologie, qui permet de s'appuyer sur « des données concrètes que seule la fouille peut désormais fournir » (Domergue 1990, p. 514).

Les archéologues qui se sont décidés à pénétrer le monde souterrain ont apporté tout d'abord des données sur les techniques employées et l'architecture des travaux. Traces d'outils ou coupoles formées par l'ouverture au feu sont facilement reconnues et signalées. Les niches à lampes dans les mines antiques le sont également, avec parfois la chance de retrouver une lampe intacte dans une galerie. Les nombreux marteaux en pierre usés autour des mines préhistoriques ont également attiré l'attention. Des aménagements à l'intérieur des travaux (plates-formes, aires de stockage des stériles, équipements en bois) sont souvent visibles, parfois sans avoir besoin de fouiller (Landes 1989, p. 225). Dans certains réseaux qui sont restés largement accessibles depuis les phases anciennes de l'exploitation, les recherches archéologiques se limitent parfois à ce stade d'exploration et de topographie des chantiers qui représente déjà une phase de travail assez longue. Encore récemment, les recherches menées au Laurion associant archéologues miniers et géologues ne comprennent pas de fouille des travaux souterrains (Morin & Photiades 2012).

Lorsque les chantiers ont été plus largement comblés, ce qui est le cas des mines à ciel ouvert en particulier, la fouille s'impose pour caractériser l'exploitation. Dans les réseaux souterrains aussi les fouilles apportent des données de valeur et permettent de connaître l'extension réelle des travaux, point de départ à toute estimation de la quantité de métal produite. Retrouver le volume complet d'une mine permet de mieux comprendre l'organisation du chantier, de mettre au jour les équipements éventuellement conservés et surtout de dater l'activité et pas uniquement son abandon. Des phases d'extraction invisibles dans le mobilier peuvent alors être mises en lumière et les fourchettes chronologiques très larges données par le mobilier minier préhistorique (marteaux en pierre) peuvent être précisées, grâce à l'apport des datations radiocarbone ou dendrochronologiques (Ambert 1995, p. 502 ; Timberlake 2003b, p. 59 ; O'Brien 2015, p. 19). Le travail de Béatrice Cauuet sur les aurières du Limousin, dans le contexte très marqué par les Lettres Classiques de la recherche toulousaine, est exemplaire à ce titre. Sur la foi de mobilier récolté en surface autour des mines et dans la partie supérieure des remblais, ces chantiers d'envergure étaient attribués aux Romains depuis le début du XX^{e} siècle (Davies 1935, p. 84). La fouille de certains d'entre eux dans les années 1990, en opérations de sauvetage, a permis de dater l'exploitation principale de ce secteur à l'âge du Fer, la période la plus active correspondant à la période de La Tène finale (Cauuet 1999, pp. 35-39). Les données chronologiques de l'exploitation ont montré des tentatives de reprise au début du Moyen Âge, mais aucune activité n'est attestée à la période romaine. Plus récemment, l'étude de la mine de cuivre des Barrencs, elle aussi considérée comme un ouvrage romain, a révélé que la majeure partie de l'exploitation était en réalité gauloise (Beyrie *et al.* 2011, pp. 50-52).

Quelle que soit la chronologie supposée des travaux, fouiller les chantiers miniers est bien une nécessité, comme pour tout autre site archéologique. La prospection reste une étape préalable indispensable, qui permet de repérer les sites miniers et les habitats et ateliers qui peuvent leur être contemporains. La fouille de ces derniers, plus simple à mettre en place que la fouille d'une mine, éclaire le contexte socio-économique de l'exploitation. Mais cela

ne suffit pas pour connaître l'ampleur des travaux miniers, les techniques employées, l'organisation de l'extraction et surtout la chronologie de l'activité. Les ateliers de métallurgie primaire et de minéralurgie à proximité des mines correspondent en principe à une phase d'exploitation, mais les mines ont souvent connu plusieurs périodes d'activité qui n'apparaissent pas forcément dans un seul site de surface. Quant aux habitats, leur proximité avec les mines n'est pas toujours un critère. Si rien dans le mobilier et les structures archéologiques qui le composent n'a de relation avec la mine, le traitement du minerai ou la métallurgie primaire, c'est qu'il ne s'agit pas d'un habitat minier, même tout près de travaux.

Ces déclarations semblent des évidences mais le fait que les archéologues miniers soient assez peu nombreux laisse de nombreux districts entre les mains de chercheurs non spécialistes qui se basent sur les données géologiques contemporaines (nous en avons défini les limites plus haut) et sur des prospections de surface pour intégrer, avec prudence ou plus allègrement, les mines et la production du métal à leurs problématiques. Un exemple révélateur est celui du traitement de l'exploitation préhistorique et antique de l'étain dans la péninsule Ibérique. Tout d'abord, les nombreux textes classiques qui évoquent ce sujet et en particulier les mythiques îles Cassitérides ont donné lieu à des débats sans fin, dans lesquels la prépondérance des textes sur les sources archéologiques est flagrante. Alors que l'archéologie commence tout juste à s'emparer de ces questions et que la composante minière est à peine effleurée pour l'instant[37], la richesse stannifère de l'Ouest ibérique a pourtant été évoquée dans de nombreuses synthèses régionales, sur des bases souvent fragiles. Le chemin à parcourir avant de pouvoir caractériser réellement l'exploitation ancienne de l'étain dans cette région est encore long (Comendador Rey *et al.* 2017, pp. 84-87). Un autre exemple est celui de la production d'argent en Catalogne en relation avec le commerce phénicien avec cette région, cité à de nombreuses reprises sans l'appui de données de terrain (Rafel *et al.* 2008c). Un projet collectif récent a permis de montrer que les minéralisations de galène locales n'étaient que très faiblement argentifères et avaient été exploitées pour le plomb (Rafel *et al.* 2008b).

Les recherches menées sur les mines depuis les années 1970 laissent de nombreuses questions en suspens, mais leurs apports sont multiples. Les différents angles d'attaque de ce sujet ont éclairé l'un ou l'autre des aspects de l'activité minière ancienne et contribué à montrer ses interactions systémiques avec les autres sphères de la société (Fig. 10). Les nombreuses prospections n'ont pas toujours apporté les précisions nécessaires quant à la chronologie des travaux et, en restant à la surface, laissé tout un pan des questions techniques de côté. Cependant, les nombreux sites repérés alors permettent de prendre la mesure de l'intensité de l'activité dans certaines zones ou, au contraire, de son échelle réduite ou de sa nature ponctuelle ailleurs. Les premiers pas dans la définition des districts

[37] On soulignera l'exception notable de l'étude du Cerro de San Cristóbal (Logrosán) initiée par Craigh Merideth (Rodríguez Díaz *et al.* 2016). D'autres travaux en cours dans le Nord du Portugal commencent à apporter quelques données (Martins 2010b).

anciens ont été faits à partir de ces prospections, normalement associées aux données des archives minières. Les travaux basés sur les textes et l'épigraphie ont livré des données sur le cadre administratif et social de l'exploitation antique. Ces sources antiques, fatalement partielles (et éventuellement partiales), ne disent pas tout. Dans le cas de l'épigraphie, elles s'appliquent à des contextes précis auxquels il faut être attentif avant une généralisation. Quand il s'agit des textes, on peut se retrouver dans la situation inverse d'une vision trop générale des choses, parfois théorique, qui ne peut refléter les adaptations locales ou temporelles dont les auteurs anciens n'ont pas eu connaissance. Ces informations, pour fragmentaires qu'elles soient, n'en conservent pas moins un grand intérêt dans la mesure où elles nous donnent accès à des éléments hors de portée de l'archéologie au sens strict. En particulier, elles nous font connaître certains magistrats ou fonctionnaires dont le titre et le rôle ne peut pas être renseigné par une fouille.

Les apports des fouilles archéologiques dans les mines anciennes ont été fondamentaux à plusieurs titres (Bailly-Maître 1997c, pp. 177-178). Tout d'abord, cela confirme que les vieux réseaux n'ont pas tous été détruits par les reprises plus récentes. Tous les chantiers n'ont pas fait l'objet de reprises importantes et, même lorsque c'est le cas, on peut souvent retrouver une partie des chantiers anciens, tant que le choix des derniers exploitants ne s'est pas porté sur de grandes excavations à ciel ouvert qui impliquent malheureusement le démontage intégral des vestiges d'exploitation. On retrouve donc les structures anciennes des travaux si l'on se donne la peine de les chercher. Elles peuvent être tronquées par les reprises d'activité, mais au même titre que n'importe quel site archéologique de surface, souvent perturbé ou partiellement détruit par des installations ultérieures. Cela fait partie du travail de l'archéologue que d'enregistrer ce qui a été conservé et de proposer des restitutions de ce qui manque. Les mines sont aussi des sites archéologiques qui peuvent livrer des vestiges rarement conservés dans les contextes de surface. L'ennoyage souvent rapide des chantiers une fois que l'exhaure n'est plus assurée permet la préservation des matières organiques et en particulier du bois, largement utilisé dans les mines (Cauuet 2000, 2008). Outre les précisions sur les techniques, ces éléments offrent la possibilité de dater précisément les chantiers par dendrochronologie mais aussi d'étudier l'environnement forestier et son mode d'utilisation. C'est aussi par la fouille que des éléments de datation sont recueillis (céramique, charbons) et que les différentes phases d'exploitation peuvent être identifiées. C'est enfin la seule source pour connaître les districts absents des textes classiques (c'est-à-dire la majorité d'entre eux), soit qu'ils n'étaient pas actifs au moment de leur rédaction ou que les auteurs anciens ne les connaissaient pas, soit qu'ils se trouvaient dans des zones au sujet desquelles aucune donnée écrite ne nous est parvenue. L'intérêt des auteurs anciens n'était pas non plus identique pour toutes les substances, les métaux précieux ayant eu plus de succès.

Il faut également retenir que les mines anciennes sont des sites archéologiques dont l'étude a toujours été l'occasion de collaborations (Fig. 11). Pour commencer, l'héritage des premières découvertes a rendu naturelle l'association des archéologues miniers et des

géologues. Les apports de la géologie sont primordiaux pour connaître les ressources disponibles, mais aussi pour comprendre les travaux miniers et distinguer, par exemple, la part de l'exploitation de celle des ouvrages d'assistance. Le contexte souterrain a aussi conduit des spéléologues à participer aux recherches, même s'ils n'apparaissent pas toujours dans les publications scientifiques. Ils permettent l'accès en toute sécurité aux réseaux souterrains nécessitant un équipement de cordes et sont parfois à l'origine de la découverte de réseaux anciens. La fréquente proximité des mines et des ateliers de métallurgie primaire et la complémentarité de ces deux grandes étapes dans le processus d'obtention du métal ont aussi amené à associer archéologies minière et métallurgique. C'est dans ce cadre que l'archéométrie s'est développée. Elle contribue d'une part à compléter la restitution des procédés métallurgiques anciens et d'autre part à déterminer l'origine du métal utilisé dans certains contextes ou à certaines périodes, en relation avec les minerais alors exploités. Ces mises en relations doivent toutefois être validées par les données archéologiques. Les découvertes d'éléments en bois bien conservés se sont accompagnées d'études xylologiques ouvrant des fenêtres sur l'environnement des mines. Les différentes sciences de l'environnement et la géographie permettent d'avoir un regard global sur les relations entre exploitation minière et territoire, en faisant la part des contraintes ou facilités naturelles offertes par certaines régions et en déterminant les conséquences de l'exploitation sur son environnement. Selon les périodes, l'Histoire et/ou l'étude des textes anciens et épigraphiques ont un rôle à jouer dans la caractérisation du contexte socio-économique de l'exploitation. L'Histoire permet aussi d'aborder dans une certaine mesure l'occupation du territoire et les caractéristiques techniques des travaux et de la production de métal. Étudier les mines anciennes, tout comme les exploiter, est un travail d'équipe.

Aujourd'hui, la nécessité d'aborder les mines depuis le terrain ne fait plus de doute, tout comme l'intérêt de prendre en compte les multiples aspects de l'activité minière (Bailly-Maître 1997a, p. 397). L'archéologie est en effet la seule à permettre de dater les vestiges et à fournir des données brutes dont le contexte de provenance est assuré. Ces données de base servent ensuite de point d'accroche aux autres éléments pour construire un discours historique solide. La mise en œuvre de projets qui intègrent toutes ces dimensions ne va pas toujours sans difficultés ; cela représente le défi majeur de l'archéologie minière aujourd'hui.

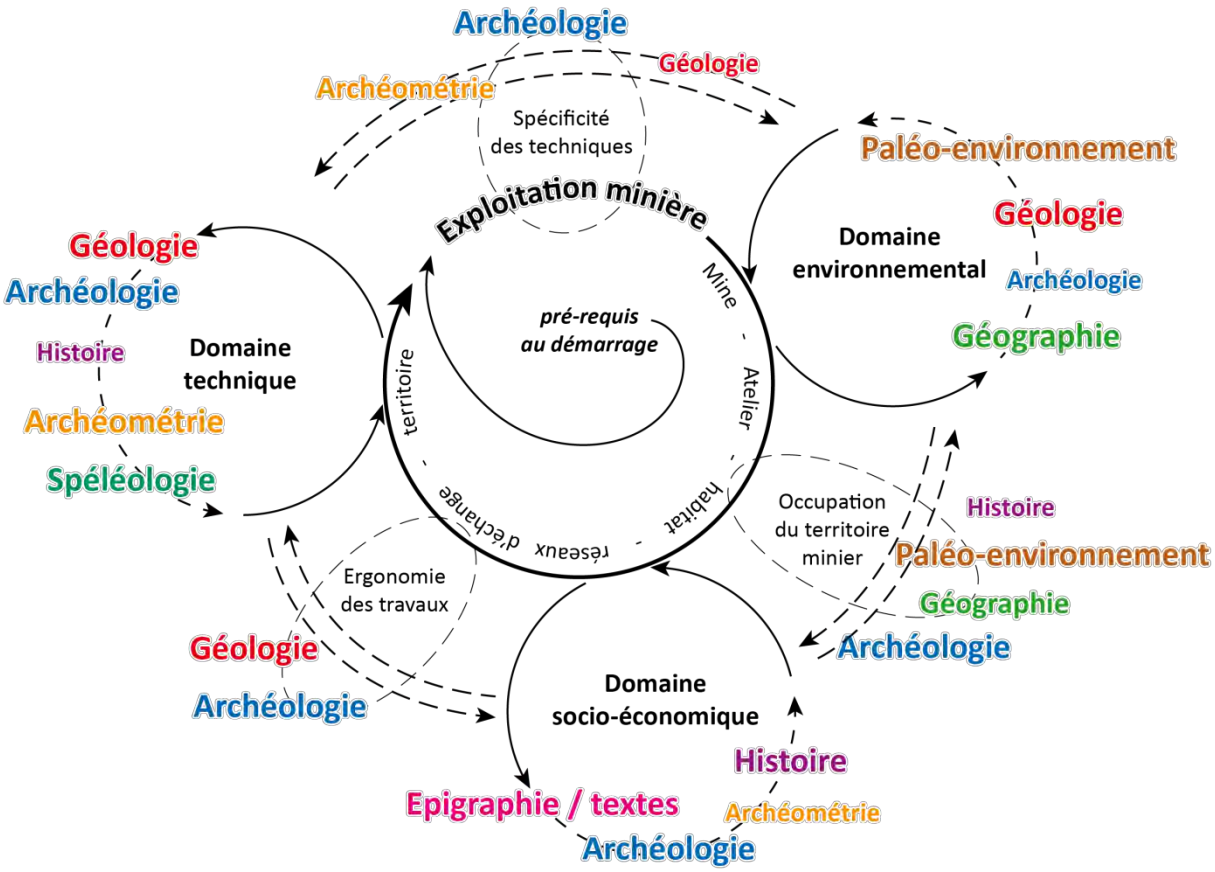


Fig. 11 : Les apports des différentes disciplines à l'étude des exploitations minières anciennes.

II. A. 2. Archéologie(s) minière(s) actuelle(s)

Les multiples relations entre une exploitation minière et son contexte en font un sujet de recherche très riche et à la fois très exigeant. Riche par les ouvertures qu'il offre sur des aspects variés des sociétés anciennes. Exigeant en termes de moyens matériels mais aussi en temps passé sur le terrain. Exigeant encore en termes de restitution des données, car les côtés techniques de ce sujet, combinés à l'image rebutante des mines (obscures, sales, dangereuses) lui font courir le risque d'être cantonné à une sphère de spécialistes, au détriment du dialogue indispensable entre les différents acteurs de l'étude des sociétés anciennes.

a. Moyens et temps : adaptation nécessaire des stratégies de fouille

Fouiller une mine de manière exhaustive est quelque chose de rarement accessible pour les archéologues, à cause de l'importance des moyens requis. Les mines à ciel ouvert ont normalement été remblayées et leur dégagement, seul moyen d'étudier le chantier, ne peut se faire dans des délais raisonnables sans l'aide d'une pelle mécanique. La question du stockage ou de l'évacuation des remblais extraits se pose également. Pour les mines souterraines, le travail manuel est souvent la seule option. La question du stockage des déblais de fouille peut également poser problème. S'il faut les ressortir à l'extérieur, il faut une équipe suffisamment nombreuse et du matériel adapté pour que leur transport ne soit

pas un obstacle. Lorsque les zones de fouilles sont éloignées de l'entrée et avec des équipes réduites, un secteur qui sera donc condamné sert de zone de stockage, comme au temps de l'exploitation. Dans les travaux exigus (ce qui est souvent le cas), une seule personne peut fouiller à la fois, ce qui limite le volume de remblais que l'on peut dégager par jour. La circulation est également ralentie dans ces conditions. L'étroitesse des travaux constitue ainsi le premier facteur de lenteur des recherches en souterrain.

Quelques mines souterraines étudiées dans le cadre de l'archéologie préventive ont pu bénéficier de moyens suffisants pour des fouilles exhaustives. Cela a été le cas par exemple à Roşia Montană[38] dans le massif de Cârnic au début des années 2000 (Cauuet *et al.* 2003, pp. 471-475). D'autres mines de ce district (Păru Carpeni, Orlea, Ţarina) ont vu leur étude démarrée dans un cadre préventif également et un dernier réseau a été abordé avec l'objectif d'en faire un musée souterrain (Cătălina Monuleşti) mais toujours avec des moyens très importants (Cauuet 2014, pp. 87-88). Des équipes de mineurs de 15 à 50 personnes étaient mises à disposition de l'équipe d'archéologues pour aider à l'évacuation des déblais et assurer la sécurité du souterrain (mise en place de boisages de soutènement, construction de structures en bois pour la circulation sur plusieurs niveaux, installations électriques pour le pompage et l'éclairage, …). La méthode de fouille mise en œuvre dans ces sites a respecté les volumes des travaux rencontrés, anciens ou modernes, permettant une éventuelle réhabilitation muséographique des anciens travaux. Une autre modalité a été mise en œuvre lors de la fouille préventive de quatre mines de fer dans la Sarthe, sur les communes de La Bazoge et Saint-Saturnin. Les archéologues de l'Afan en charge de ces fouilles sur le tracé autoroutier de l'A28 ont procédé au décapage du terrain par passes jusqu'à ouvrir la couronne des galeries, évitant ainsi les risques d'éboulement dans un encaissant peu stable. Ces galeries ont pu être fouillées à l'air libre et on dispose ainsi de paradoxales photos aériennes de souterrains miniers (Gallien & Langlois 2001, p. 13).

La rareté du mobilier archéologique dans les niveaux d'exploitation en mine oblige souvent à recourir à des datations par analyses radiocarbone ou dendrochronologiques. Des budgets pour les analyses de minerai sont aussi à prévoir si l'on veut connaître les substances exploitées et les teneurs du minerai extrait. Enfin, l'équipement des archéologues avec des casques avec éclairage intégré et parfois combinaisons spéléologiques représente aussi un investissement qui peut vite devenir lourd si l'équipe de terrain est nombreuse.

En contexte de fouille programmée, l'étude des réseaux souterrains est donc souvent centrée sur l'étude de secteurs clés pour la compréhension et la datation des travaux. Ces secteurs sont déterminés après une première étape de relevés topographiques qui permet d'appréhender le réseau dans son ensemble. Le degré de détail de l'étude qui pourra être conduite dépendra du temps et des moyens disponibles, allant de petits sondages ponctuels à la fouille de secteurs étendus et des topographies schématiques aux plans de détail de

[38] Ces fouilles ont été financées dans le cadre d'un projet de reprise minière de la compagnie Roşia Montană Gold Corporation SA.

l'ensemble du réseau. Les fouilles trop limitées, voire les explorations partielles d'une mine du fait de travaux comblés, ne permettent pas souvent d'en comprendre toute l'organisation. Par exemple, il est essentiel d'accéder à la base des travaux pour éventuellement rencontrer des dispositifs d'exhaure ou de drainage qui en disent long sur les savoir-faire des mineurs et l'organisation d'ensemble d'une mine.

b. Collaborations multiples autour de l'archéologie minière

Pour saisir pleinement les opportunités offertes par l'étude des mines, les collaborations entre chercheurs sont indispensables. Si les projets pluridisciplinaires ont vu le jour très tôt, les collaborations avec d'autres archéologues non spécialistes des mines et de la métallurgie peuvent être plus rares. Cet état de fait est commun dans la recherche française, qui privilégie souvent les études sur le volet technique de l'exploitation, incluant mine et métallurgie. Les connaissances sur les techniques minières, les datations de chantiers miniers et les données sur les techniques métallurgiques ont ainsi été produites sur de nombreux sites et constituent des bases solides pour établir des comparaisons entre les sites et proposer des modèles pour reconstituer les modes opératoires anciens. La première métallurgie du cuivre dans le Languedoc a ainsi été caractérisée par Paul Ambert et son équipe avec l'étude du district de Cabrières. Le type de minerai utilisé, les procédés employés et les relations entre ce district et d'autres zones productrices, italiennes notamment, ont pu être déterminés (Ambert *et al.* 2005 ; Ambert *et al.* 2013). Un article de synthèse sur les quinze premières années de recherche évoquait comme perspective la réalisation de fouilles sur les habitats ou les nécropoles associés aux mines. L'option de poursuivre dans la caractérisation de la production métallurgique a cependant été préférée (Ambert 1995, pp. 506-507). Les recherches de Béatrice Cauuet sur le Limousin ont été évoquées à plusieurs reprises. La précision et la variété des données obtenues sur les mines, sur les installations minéralurgiques et sur des habitats de mineurs dans l'entourage immédiat de certains sites fait figure d'exception pour les mines de cette période en Gaule. Des prospections aériennes ont permis de repérer plusieurs sites d'habitats à enclos datés, selon les éléments recueillis en prospection au sol, de La Tène finale. Les perspectives annoncées de sondages et fouilles de ces sites, qui auraient permis de préciser l'organisation du territoire minier et le contexte socio-économique des travaux de cette période, n'ont malheureusement pas encore pu être réalisées (Cauuet 1999, pp. 65-66). Un cas similaire se retrouve autour du site des Martys : les prospections, menées dans des conditions adverses (végétation, relief), ont permis d'identifier quelques vestiges dénués de scories qui marqueraient d'éventuels habitats contemporains de la phase de production romaine. Cependant, l'absence de sondage sur ces sites n'a pas permis de préciser les données (Rico 2016, p. 268). Pour la période médiévale, on trouve également des recherches de terrain centrées sur les mines et les ateliers dans les travaux de Marie-Christine Bailly-Maître, au sujet de la production d'argent à Brandes-en-Oisans notamment (Bailly-Maître 2008). C'est aussi le cas de Florian Téreygeol à Castel-Minier (Aulus-les-Bains, Ariège), qui a développé des collaborations interdisciplinaires pour des prospections spécifiques aux ateliers de

production de non-ferreux par exemple (Téreygeol *et al.* 2010) et se concentre en fouille sur les aspects techniques révélés par la mine et l'atelier métallurgique polymétallique (Téreygeol *et al.* 2016).

Plusieurs éléments peuvent aider à comprendre ce phénomène. Tout d'abord, les archéologues entre eux seront plus facilement en situation de concurrence, alors qu'avec des chercheurs d'autres champs disciplinaires, les apports spécifiques de chacun seront plus facilement identifiés. Les critères actuels d'évaluation des chercheurs contribuent à créer un environnement où la compétition l'emporte souvent sur la coopération. Les relations personnelles entre chercheurs ont donc une importance non négligeable dans le type de projets mis en place. D'un autre côté, il est vrai qu'un archéologue minier est avant tout un archéologue, en mesure d'appréhender d'autres sites que les mines, ce qui peut conduire certains chercheurs à penser qu'ils mèneront eux-mêmes une étude globale. Mais dans la pratique, cela reste très compliqué pour un seul chercheur de bien étudier à la fois les mines, les ateliers et les habitats de sa zone de recherche, ou alors il faut des projets à très long terme. Face à ces difficultés, des choix sont faits dans les sites à étudier sur le terrain. Les archéologues qui choisissent les mines auront ensuite recours aux données bibliographiques pour les replacer dans leur contexte. Or, la bibliographie disponible ne concerne pas toujours exactement les zones minières, ce qui limite parfois de fait les interprétations que l'on peut en donner. Ceux qui se penchent prioritairement sur les ateliers de métallurgie primaire pourront avoir une idée des substances extraites au moment de leur fonctionnement, mais ils devront aussi faire avec les données publiées pour établir le contexte socio-économique de l'activité. L'étude de l'habitat pourra de son côté livrer quelques données sur la préparation du minerai ou la métallurgie si ces activités n'étaient pas pratiquées dans des lieux à part, mais laissent les mines de côté. Ces études partielles éclairent une partie du contexte dans lequel s'est déroulée l'exploitation minière mais génèrent de nombreuses questions laissées en suspens.

Les problématiques spécifiques à certaines périodes ou à certains métaux entraînent aussi des choix vers l'un ou l'autre des aspects de la production des métaux anciens. Par exemple, pour l'âge du Bronze, les techniques de fabrication de cet alliage ont mobilisé les recherches, en particulier en Espagne (Gomez Ramos 1996 ; Rovira & Montero 2003 ; Rovira Llorens 2007 ; Ambert *et al.* 2009 ; Rovira & Montero Ruiz 2013). Le bronze est un alliage de cuivre et d'étain, puis de cuivre, étain et plomb pour les bronzes ternaires. Des mines de cuivre de cette période sont connues dans plusieurs régions (Timberlake 2003b ; Stöllner 2010 ; O'Brien 2011 ; Ambert & Laroche 2013 ; Kassianidou 2013b ; de Blas Cortina 2014), mais celles d'étain le sont très mal (Comendador Rey *et al.* 2017), tout comme celles de plomb. Dans le cas du fer, la métallurgie primaire est l'étape qui constitue le véritable défi technique, plus que son extraction, souvent possible près de la surface grâce aux chapeaux de fer (Fabre 2016c, p. 124-125). Les vestiges de la production sidérurgique sont aussi les plus facilement repérables, par leur volume souvent important et par la grande résistance aux affronts du temps que possèdent les scories. Les exploitations minières de surface sont

souvent mal conservées, bien qu'il soit possible de les identifier lors de simples prospections (Beyrie *et al.* 2000, p. 39-46). Les ferriers permettent aussi de calculer plus facilement les volumes de production. Les recherches ont donc été plus souvent dirigées vers la production du métal que vers son extraction (Mangin 1994 ; Leroy 1997 ; Fabre & Coustures 2005 ; Pagès 2010 ; Fabre *et al.* 2012b). L'état de conservation des vestiges reste bien sûr la première raison qui conduit à limiter les recherches. Dans certains cas, les mines ont été détruites par de grandes reprises à ciel ouvert ou des effondrements ont condamné les accès. Parfois, les ateliers ou les habitats ont pu être détruits par les labours récents ou l'urbanisation, ou être recouverts par des mètres de sédimentation, empêchant leur repérage. Ces contraintes sont communes à tous les archéologues.

Des collaborations entre archéologues autour des mines ont cependant vu le jour, en particulier dans la péninsule Ibérique. Des équipes de recherche y travaillent sur des territoires, pris dans leur globalité, qui incluent dans certains cas des mines. L'archéologie du paysage qui s'est développée là-bas depuis la fin des années 1990 favorise également cette approche d'ensemble d'un territoire. Des projets de ce type ont été menés dans plusieurs régions de la péninsule. En Sierra Morena, l'équipe dirigée par Francisco Contreras Cortés travaille principalement sur l'âge du Bronze et des travaux récents concernent l'Antiquité (Contreras Cortés *et al.* 2010 ; Arboledas Martínez *et al.* 2014). Des travaux centrés sur l'âge du Fer et l'Antiquité sont menés dans le Nord-Est du Portugal, dans la région du Trás-os-Montes Occidental, et visent à proposer des schémas interprétatifs sur l'articulation entre activité minière, occupation du territoire et évolution sociale et juridique à partir de la conquête romaine (Martins 2010a, 2014). Dans la province de León, l'exploitation de l'or de la période romaine en relation avec la réorganisation de ce territoire imposée par Rome fait l'objet de recherches intensives de la part de l'équipe madrilène menée par Francisco Javier Sánchez-Palencia et Almudena Orejas (Orejas Saco del Valle 1996 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006). En Catalogne, la zone minière et métallurgique du Priorat a fait l'objet de recherches visant également à comprendre l'organisation du territoire autour des gisements miniers et à caractériser les réseaux d'échanges dans lesquels s'intégraient les productions métalliques locales (Rafel *et al.* 2008a). L'importance des collaborations multiples entre archéologues dans cette région est soulignée par les coordinateurs du projet (Rafel *et al.* 2008c, p. 244).

Un des points forts de ces recherches est d'avoir caractérisé autant que possible les relations entre l'activité métallurgique et son contexte socio-économique en particulier. Un point faible reste la rareté des études directes sur les mines, en particulier souterraines, qui incluraient au minimum des topographies précises des travaux et des sondages dans les chantiers. La chronologie des travaux est souvent déduite des vestiges de métallurgie primaire situés à proximité des mines ou même de la caractérisation isotopique des productions. Le problème principal est que cela ne reflète pas forcément toutes les phases d'exploitation. D'autre part, la détermination technique des travaux miniers reste limitée. Quelques exceptions sont à noter, comme celle déjà citée à plusieurs reprises de la mine

asturienne d'El Áramo, ou encore les recherches menées dans le Pays Basque, dans le district polymétallique d'*Oiasso* (Irún) par exemple (Urteaga Artigas 2012, pp. 210-215).

Un exemple remarquable de projet collectif qui intègre toutes les composantes liées à l'exploitation minière, y compris les aspects techniques de l'extraction, et dans la diachronie, est le projet autrichien SFB-HiMAT[39], démarré en 2007 (Pammer 2007). Ce projet global, sous-divisé en 14 projets individuels, intègre les sciences humaines, les sciences archéologiques et les sciences naturelles et techniques. Il permet à de nombreux chercheurs (plus d'une cinquantaine) de partager leurs méthodologies et connaissances pour comprendre les mécanismes liés aux phases de développement et de déclin de l'activité minière dans la région tyrolienne et leur impact sur la société et l'environnement (Oeggl 2010). La collaboration entre des chercheurs de différentes disciplines, incluant des archéologues travaillant sur différents aspects des sociétés anciennes, permet de dépasser le stade des suppositions et propositions auquel se limitent souvent par force les recherches qui ne peuvent pas inclure tous les aspects de cette activité. La différence entre ce projet très complet et d'autres plus partiels se mesure également en termes de moyens alloués à la recherche.

[39] HiMAT : History of Mining Activities in the Tyrol and adjacent areas.

II. B. Des méthodologies spécifiques

Le contexte souterrain requiert l'adaptation de techniques archéologiques utilisées en surface. Nous présenterons celles qui sont orientées plus particulièrement vers la caractérisation des exploitations, en précisant les modalités de mise en œuvre utilisées dans ce travail. Il faut en outre souligner que le recours aux techniques spéléologiques peut être nécessaire selon la configuration des chantiers, ce qui donne lieu à des collaborations avec des spéléologues pour la sécurité des recherches. Nous ne détaillerons pas les méthodes de prospection, qui sont globalement les mêmes que pour tout site archéologique. Le recours aux cartes géologiques et leurs limites a par ailleurs déjà été mentionné précédemment.

II. B. 1. Comprendre l'espace souterrain

Les chantiers miniers anciens sont des espaces en creux formés par les négatifs de l'exploitation. Leurs formes ne correspondent pas toujours à des géométries simples ni à l'image de séries de galeries que l'on pourrait suivre tels des couloirs le long d'un plan régulier, comme cela peut être le cas pour les mines récentes. Il faut donc raisonner dans les trois dimensions pour rendre au mieux la morphologie des travaux. Ensuite, l'étude consiste à reconstituer les étapes qui ont façonné l'excavation telle qu'on la trouve. Cela concerne autant les éléments révélateurs de l'organisation du chantier que ceux qui découlent des différentes phases d'exploitation, dans un ouvrage ayant fait l'objet de reprises, comme c'est souvent le cas. Une difficulté récurrente pour comprendre l'espace souterrain est celle du remblaiement des chantiers, qui masque une partie parfois non négligeable des travaux et qui limite l'accès à certains secteurs. En l'absence de fouille, la perception que l'on pourra en avoir sera donc forcément partielle.

a. Rendre le volume

Deux échelles de travail sont prises en compte pour cette phase. Tout d'abord, celle d'une vision globale du chantier dans son extension maximale accessible, que l'on peut obtenir par une topographie générale qui ne rentrera pas dans les détails. Ensuite, à l'échelle de secteurs plus limités ou d'ouvrages particuliers, des relevés de détail vont permettre de préciser les volumes et les formes à l'aide de plans, coupes longitudinales et sections transversales qui aideront à décrire les chantiers dans tous leurs aspects. Les photographies jouent bien sûr un rôle important dans l'enregistrement de ces volumes, qu'il est parfois difficile de se représenter lorsque l'on n'a accès qu'aux relevés. Obtenir un éclairage correct des chantiers souterrains représente alors le défi principal. Pour ce qui est des relevés, les méthodes manuelles sont habituelles et éprouvées de longue date (Ancel 1997). Des adaptations ont cependant été nécessaires dans notre zone d'étude, comme cela peut être le cas dans de nombreuses mines : d'une part, du fait de l'inclinaison des travaux, et d'autre part, pour restituer des volumes complexes dont la représentation en deux dimensions n'est pas toujours parlante. Outre ces méthodes manuelles, les développements technologiques récents ont permis de développer d'autres modes d'enregistrement : scanner 3D et

photogrammétrie. Ces deux méthodes, mises en œuvre de manière systématique sur d'autres sites, par d'autres équipes, ont été ici testées ponctuellement, ce qui permet de comparer leur mise en œuvre et les résultats obtenus avec ceux des méthodes classiques.

a.i. Les techniques classiques de relevé

Les topographies générales consistent à relever un cheminement, suivant des techniques utilisées couramment en spéléologie, qui peut être complété par un relevé général des contours des travaux en plan et en coupe (Ancel 1997, pp. 196-197). Cela consiste à enregistrer de proche en proche la distance, l'orientation par rapport au nord et l'inclinaison par rapport à l'horizontale qui sépare deux points de repères, jusqu'à parcourir l'ensemble du réseau. Les points de repère sont marqués sur les parois et numérotés, ce qui permet de poursuivre le cheminement dans différentes directions en étant sûr de rester dans le même référentiel. Les mesures sont prises à l'aide d'un lasermètre, qui donne la distance et l'inclinaison. Certains lasermètre intègrent une boussole, mais si ce n'est pas le cas, une boussole de visée externe est utilisée pour avoir l'orientation. Pour le calcul des coordonnées des stations, ces mesures, notées sur un carnet de terrain, sont reportées dans un logiciel de topographie spécifique, tel Visual Topo[40], utilisé d'ailleurs couramment en spéléologie. Les représentations proposées sont simples mais permettent de visualiser l'étendue du réseau et d'en avoir un affichage en 3D et en plan (Fig. 12).

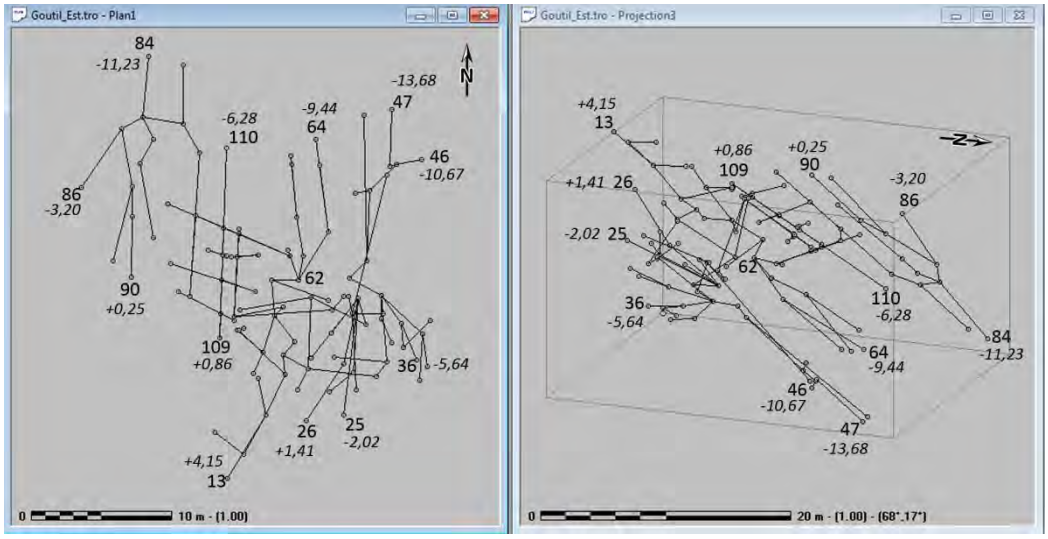


Fig. 12 : Plan et projection du cheminement du réseau du Goutil Est, obtenus grâce à Visual Topo.

Ce programme calcule également le développement du cheminement, c'est-à-dire la longueur totale parcourue et les altitudes maximales et minimales atteintes. Si les largeurs et hauteurs des galeries sont reportées à chaque point de mesure, le programme propose une restitution sous forme géométrique schématique du volume des galeries, sur la base des dimensions fournies. Dans des réseaux réguliers, ce type de représentation peut être significatif, mais pour des formes complexes, cela diminue la lisibilité et reste trop schématique. Dans notre cas, les réseaux accessibles ont une taille réduite et la topographie

[40] Ce logiciel libre est disponible en ligne : http://vtopo.free.fr/vtopo.htm

générale des réseaux complexes avait déjà été effectuée. Cette méthode de relevé n'a donc été utilisée que ponctuellement. Les relevés de détail ont par contre été réalisés dans la plupart des sites, partiellement toutefois pour les plus développés.

Pour ces relevés plus précis, on dispose des axes à l'intérieur du réseau qui servent de base aux plans, coupes et sections. Ces axes sont installés de préférence à l'horizontale, mais des verticales sont parfois nécessaires pour changer d'étages de travaux. Les amarrages des axes sont fixés dans les parois par des attaches métalliques (fiches d'amarrage ou clous mis en place dans des orifices faits à la perceuse) et restent donc bien en place. Cela permet de compléter ou prolonger les relevés entre deux campagnes de terrain sans problème de raccordement. Pour les mines ayant déjà fait l'objet de relevés en plan dans notre zone d'étude, le fait que les points n'aient pas été marqués clairement en paroi n'a pas permis de les compléter. De ce fait, il a fallu reprendre l'intégralité de la topographie pour pouvoir présenter les relevés d'ensemble et de détail, en plan et en coupe, dans un même référentiel.

Pour replacer les axes des relevés de détail les uns par rapport aux autres, on ne peut pas utiliser de station totale comme en surface pour relever les coordonnées de leurs extrémités. En effet, les parois irrégulières et les nombreux angles, piliers ou cloisons de roche obligeraient à multiplier les stations, ce qui ralentirait trop le travail. Et cela sans compter les passages trop petits pour faire circuler la station et son trépied… On utilise donc les mêmes principes que pour les relèvements de cheminement des topographies générales. La longueur et l'orientation de chaque axe sont enregistrées. Pour relier les différents axes entre eux, plusieurs solutions sont envisageables selon la configuration du chantier. Dans le cas de galeries qui se développent en longueur et sans variation majeure de niveau, les axes peuvent être fixés les uns à la suite des autres, la fin du premier correspondant au démarrage du suivant. Dans le cas de chantiers aux formes plus larges, avec des variations de hauteur ou encore au niveau de carrefours de galeries, on place les axes de telle sorte qu'ils se croisent, chacun à la cote la plus adaptée à ce que l'on souhaite relever. On repère ensuite à l'aide d'un fil à plomb le point de croisement entre les deux axes (distance à l'origine sur chacun d'entre eux) et on mesure la différence de cote entre les deux (Fig. 13). Cela permet de replacer tous les axes dans un même référentiel en plan et en altimétrie. Si on dispose des coordonnées géoréférencées du premier point à l'entrée de la mine, tout le réseau peut ainsi être recalé. A défaut de géoréférencement, on définit un Point Zéro origine du système qui permet une représentation selon des coordonnées locales.

Fig. 13 : Prise des mesures du croisement de deux axes de relevé.

Lorsque les chantiers sont très inclinés, il n'est pas possible d'utiliser des axes horizontaux, ce qui a plusieurs fois été notre cas. Les axes sont disposés en suivant le pendage des travaux et leur inclinaison est prise en compte sur le dessin. Cette méthode a été utilisée à la mine de Rougé où les travaux miniers suivent une minéralisation inclinée. Les plans et coupes longitudinales de chaque étage d'exploitation ont pu être levés le long d'axes horizontaux, alors que les coupes transversales ont nécessité des axes inclinés (Fig. 14).

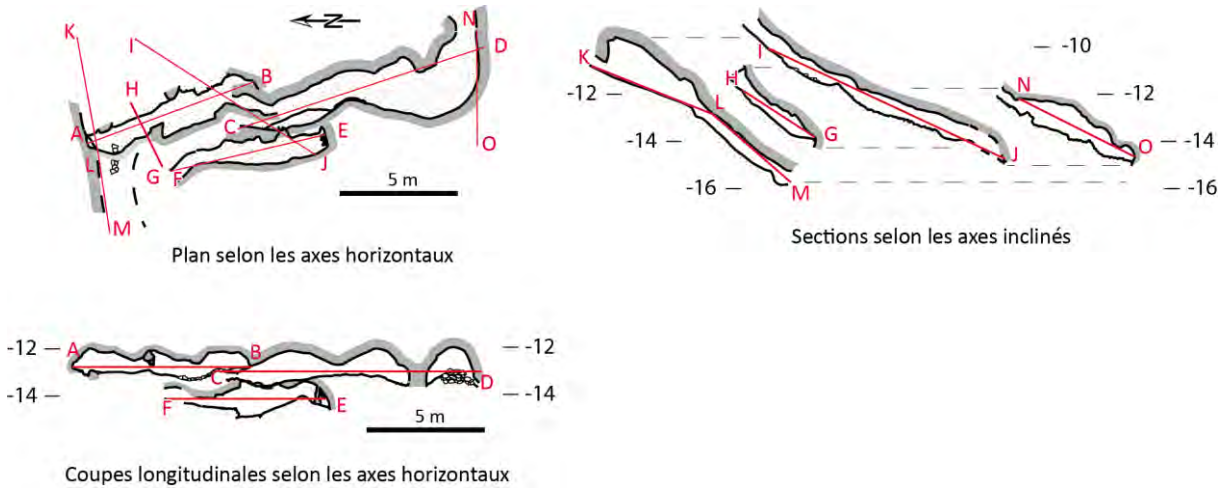


Fig. 14 : Mine de Rougé. Plans et coupes longitudinales sur axes horizontaux et sections sur axes inclinés.

Toutes ces procédures permettent d'enregistrer les formes et dimensions des réseaux. Le remontage des plans d'ensemble et le positionnement des coupes les unes par rapport aux autres se fait avec un programme de DAO. On peut ainsi présenter une vue d'ensemble du réseau aussi bien que des plans, coupes et sections de détail.

a.ii. Un mode de représentation en 3D simplifiée

Lorsque les formes sont complexes, le maintien de la lisibilité conduit à fausser les représentations. On peut s'en rendre compte avec l'exemple de Rougé sur la figure 15. Toutes les sections transversales sont représentées dans le même sens alors que les axes correspondants ne sont pas parallèles entre eux. Le cas est le même pour les coupes longitudinales, bien que les variations d'orientations soient moindres. D'autre part, la représentation en plan des différents étages d'exploitation provoque des superpositions des tracés des parois qui peuvent perturber la lecture. Pour tenter de remédier à cela et proposer des images des réseaux plus ressemblantes, les plans et coupes réalisés en 2D ont été replacés dans l'espace en 3D à l'aide de la version libre du logiciel Drafsight[41] (Fig. 15).

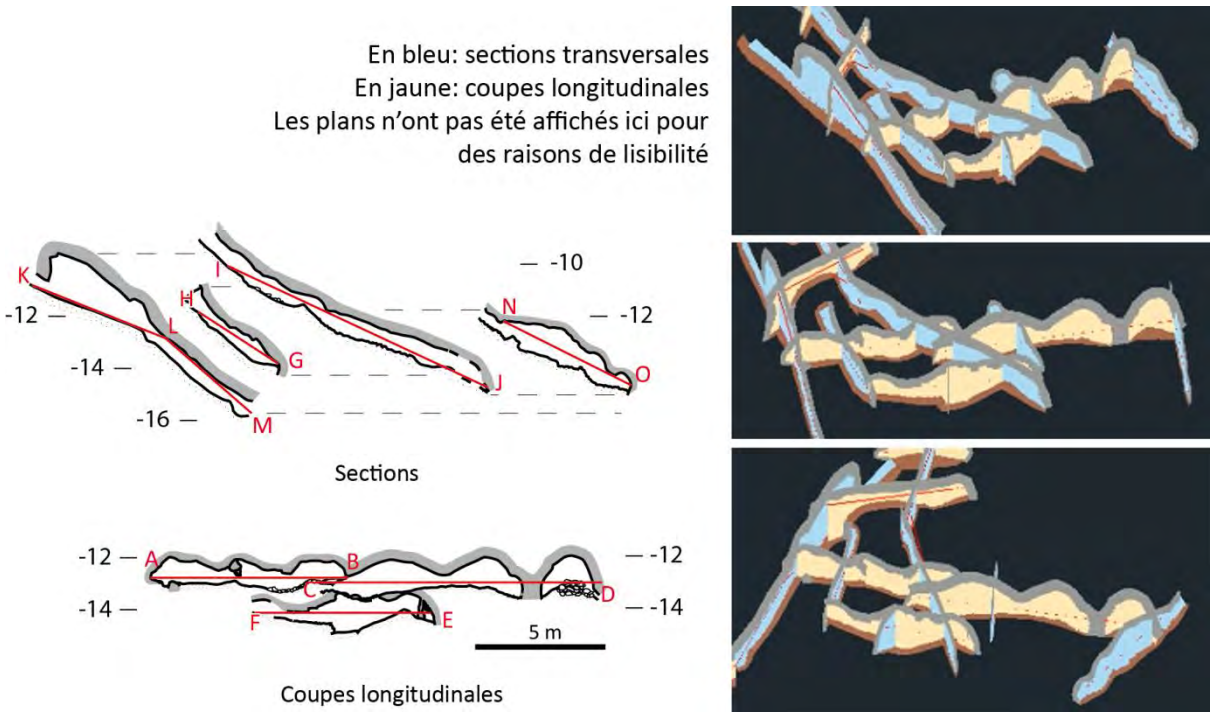


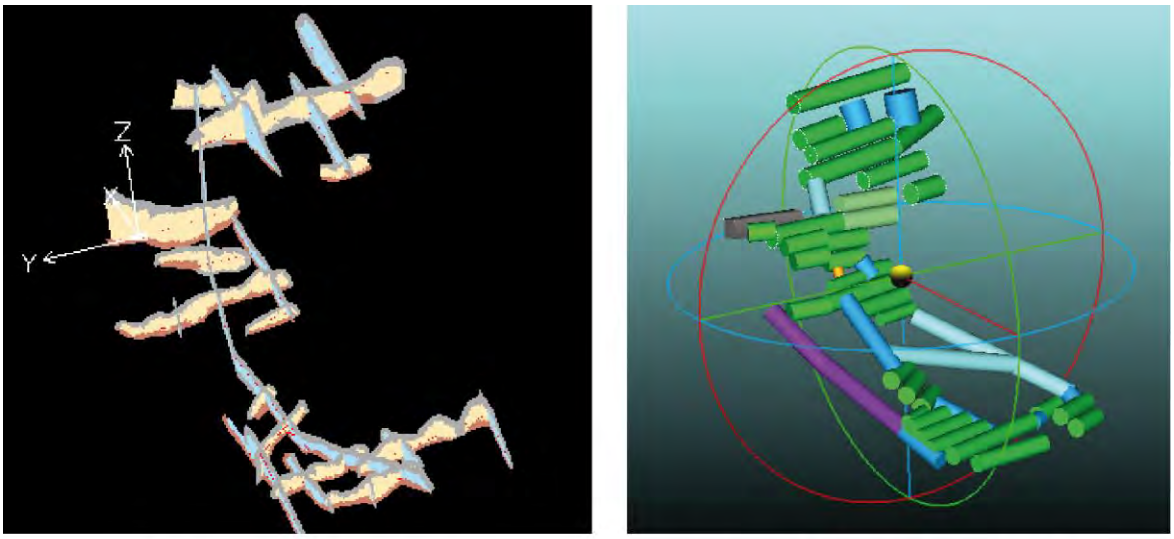
Fig. 15 : Comparaison de la DAO simple et du calage en 3D, vu sous trois angles différents.

Sur la base des coordonnées des axes de relevé, calculées grâce au logiciel Visual Topo, le squelette d'axes est redessiné sous Daftsight, en 3D. Ensuite, chaque dessin est importé individuellement depuis le logiciel de DAO par l'intermédiaire du format DXF et « accroché » à l'axe qui lui correspond, avec son orientation et son inclinaison réelles. On utilise la fonction « vue de face » ou « vue de côté » pour basculer du plan vers l'affichage qui correspond aux coupes longitudinales ou transversales. Elles sont alors elles aussi « accrochées » à leur place dans l'espace. Des animations vidéo peuvent être fournies par la suite pour faciliter la visualisation.

Ce système a l'avantage d'une mise en œuvre légère, rapide une fois que les relevés ont été passés en DAO et qui ne nécessite pas un ordinateur spécialement puissant. La précision des tracés est conservée. Ce mode de représentation ne permet cependant pas de restituer

[41] https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/draftsight-cad-software/

le volume complet des chantiers : les tracés importés n'ont pas d'épaisseur. Pour pouvoir estimer le volume des travaux, un nouveau traitement a été réalisé pour certaines mines à l'aide du logiciel libre Cloud Compare[42]. Ce programme est conçu pour gérer les nuages de points issus par exemple de scanners 3D. Il dispose cependant d'une fonction de création de volumes géométriques réguliers et simples (cylindres, parallélépipèdes, sphères, …) dont on peut choisir les dimensions et la localisation, que nous avons utilisée ici (Fig. 16).



En jaune : coupes longitudinales
En bleu : coupes transversales

En vert : étages d'exploitation horizontaux. En bleu : zones de circulation inclinées. En violet : galeries dans le stérile. En gris : zone reprise à l'explosif. En plus clair : passages supposés.

Fig. 16 : Passage de la représentation de Draftsight (gauche) à celle de Cloud Compare (droite).

Le document en 3D issu de Draftsight est importé dans Cloud Compare et sert de squelette pour la création et la disposition de ces volumes. Cela oblige à simplifier les formes : les chantiers anciens n'ont que très rarement des profils réguliers. Le volume obtenu sera donc approximatif et on perd l'exactitude de la morphologie relevée sur le terrain. Cela peut être cependant très proche de la réalité pour des chantiers modernes bien plus rectilignes. Toutefois, la même méthode appliquée à l'ensemble des mines du secteur fournit des ordres de grandeur de volumes qui permettront à terme des comparaisons entre sites. Cette représentation permet aussi, par des choix de couleurs, de distinguer les secteurs anciens et modernes des chantiers et leurs fonctions (exploitation, circulation, aérage, …). Cela facilite la restitution des dynamiques d'exploitation, aspect qui sera présenté au point II.B.1.b ci-dessous.

La création et disposition de ces volumes sur le squelette général demande du temps car il faut les créer un par un en spécifiant à chaque fois les dimensions. Le programme n'étant pas vraiment fait pour reconstituer des volumes de la sorte, le processus est un peu lourd. Cela oblige également à découper les volumes complexes relevés sur le terrain en volumes simples qu'il faut multiplier selon la morphologie des travaux et la fonction de chaque

[42] http://cloudcompare.org/

espace. Il est aussi préférable de disposer d'un ordinateur suffisamment puissant pour éviter d'allonger outre mesure le temps de traitement. Malgré tout il s'agit de la solution la plus simple et facile à mettre en œuvre, sans long apprentissage, qui permette de restituer ces volumes.

a.iii. Le scanner 3D

Le scanner 3D (ou lidar Terrestre) fait partie des outils qui permettent un enregistrement en 3D de tout type de volume, même irrégulier. Son fonctionnement consiste à mesurer la surface d'un sujet en faisant l'acquisition de millions de points de manière précise dans un référentiel 3D. Un essai a pu être réalisé dans un chantier d'exploitation du réseau du Goutil Ouest[43]. Ce chantier été choisi car ses dimensions et formes rendaient très compliquée la réalisation de relevés classiques. Le scanner utilisé est le modèle Faro Focus, un scanner actif sans contact. Il est composé d'un laser infrarouge, d'un scanner et d'un miroir rotatif qui permettent, suite à l'émission de l'onde, de mesurer son retour après réflexion sur le sujet. C'est l'orientation du faisceau laser et le temps de retour de l'onde dans le scanner qui définissent la position angulaire et la distance du point acquis. Ces données sont transformées en coordonnées 3D – X, Y, Z par le scanner 3D. Suivant le paramétrage de l'acquisition, l'appareil peut mesurer jusqu'a 1 000 000 de points par seconde avec une précision théorique d'environ 2 mm à une distance de 10 m.

La première étape consiste à placer des cibles dans la zone à scanner, cibles qui vont permettre l'assemblage postérieur des différents nuages de points (Fig. 17). Les irrégularités du chantier ne permettent en effet pas de tout voir d'un seul endroit. Pour assembler deux nuages de points, il faut qu'ils contiennent trois cibles en commun. Deux types de cibles ont été utilisés : des petites sphères blanches sur trépied et des damiers noir et blanc imprimés sur un support cartonné. Deux cibles cartonnées ont été laissées sur place, fixées à la paroi, pour permettre le recalage de ce levé dans le système général de la mine. Une fois les cibles en place, le scanner est mis en station et le balayage démarre pour une durée de quelques minutes. Dans ce cas, huit stations ont été nécessaires pour relever l'ensemble du chantier. Le plus long dans ce processus reste la mise en place stratégique des cibles et le déplacement du scanner de station en station. Il faut aussi prévoir un endroit où l'opérateur pourra se trouver hors de portée du scanner pour ne pas apparaître sur le relevé. Pour la mise en place des cibles en particulier, il est bon que deux ou trois personnes soient sur place pour vérifier que le contact visuel se fasse bien avec la station, en particulier dans un chantier aux formes aussi complexes que celui-ci.

[43] Scanner du laboratoire TRACES. Le relevé en souterrain a été réalisé sous la direction de François Baleux, géomaticien à TRACES, avec la participation d'Eymeric Gleye, stagiaire en géomatique, Jean-Marc Fabre, archéologue à TRACES, Béatrice Cauuet et Emmanuelle Meunier.

Fig. 17 : Mise en place des cibles et vérification du contact visuel (cliché B. Cauuet).

Il faut signaler également que le scanner peut prendre une photo de la zone scannée qui est ensuite projetée sur le nuage de points pour lui donner une texture. Pour que cela soit possible en souterrain, il faudrait que tout l'espace soit suffisamment éclairé, ce qui n'était pas le cas ici. Cette fonction a donc été désactivée et permet de faire travailler le scanner dans le noir total. Le résultat obtenu est une surface restituée en niveaux de gris (Fig. 18).

Fig. 18 : Levé depuis la première station à la sortie du scanner, avant traitement.

Le traitement des données permet d'assembler les nuages de points et de nettoyer les éventuelles visées erratiques[44]. Ce processus est assez lourd et il est nécessaire de disposer d'un ordinateur assez puissant pour manipuler les fichiers contenant plusieurs millions de points. Le fabricant du scanner, Faro, propose un programme spécifique qui permet d'assembler les nuages et d'en faire un traitement basique. Le nettoyage du nuage, un travail assez long, peut se faire à l'aide du logiciel Cloud Compare. Une fois le montage terminé, le nuage de point général peut être allégé pour une manipulation sur des

[44] Ce travail a été réalisé par François Baleux. Ces mesures erratiques peuvent être dues à des faux échos du laser ou encore à des faisceaux isolés ayant atteint des parois de galeries latérales qui forment alors des excroissances non significatives. Ces points sont éliminés pour reconstruire un volume cohérent.

ordinateurs moins puissants (Fig. 19). On perd en résolution pour en extraire des images, mais c'est encore largement assez précis pour en extraire des plans ou des coupes.

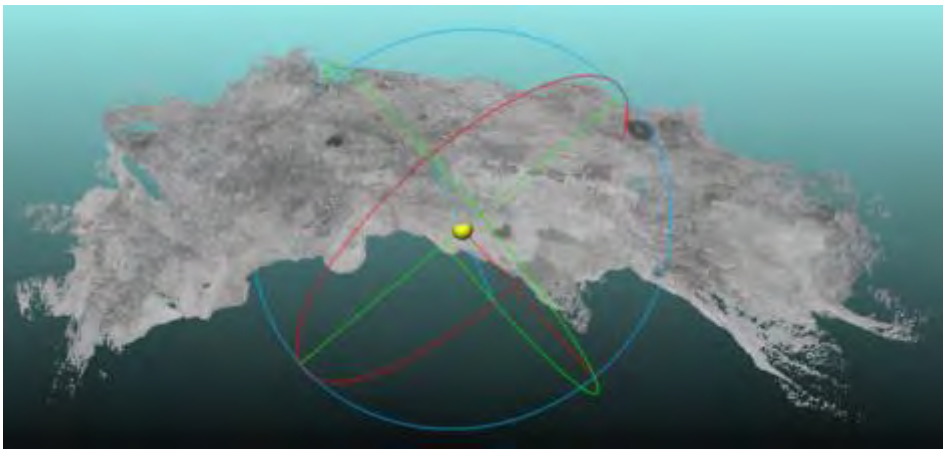


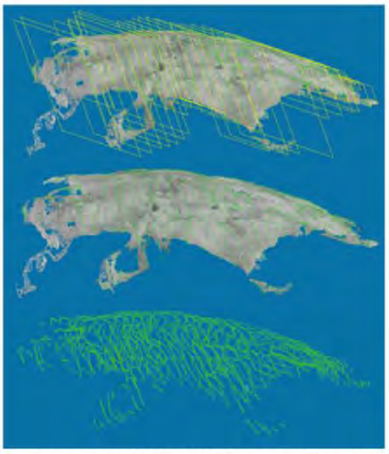
Fig. 19 : Vue d'ensemble du nuage de points après assemblage, depuis l'extérieur (traitement F. Baleux).

L'extraction de ces plans et coupes peut se faire avec Cloud Compare ou MeshLab[45]. Cloud Compare dispose d'un outil « boîte de découpe » très facile à manipuler. Cet outil permet de se positionner où on le souhaite dans le nuage et, en réduisant l'épaisseur ou la hauteur de cette boîte, de ne conserver qu'une fine « tranche » dont on peut exporter les contours. L'export se fait au format dxf, que l'on peut ouvrir pour édition sous un logiciel de DAO. Cette extraction peut se faire de façon manuelle, en choisissant un par un les emplacements des coupes, ou encore de façon semi-automatique, en choisissant d'extraire des tranches à intervalles réguliers le long des axes X, Y ou Z (Fig. 20). Sous MeshLab, il faut indiquer dans une boîte de dialogue selon quel axe on souhaite obtenir le profil, que l'on peut également exporter en dxf. L'utilisation de Cloud Compare pour obtenir ces sections est plus intuitive, mais le résultat comporte des erreurs dans le cas de formes complexes. Cela oblige à effectuer des corrections qui peuvent impliquer un retour sur le terrain. MeshLab prend mieux en compte les formes complexes sur lesquelles il ne reste plus qu'à faire un travail de présentation.

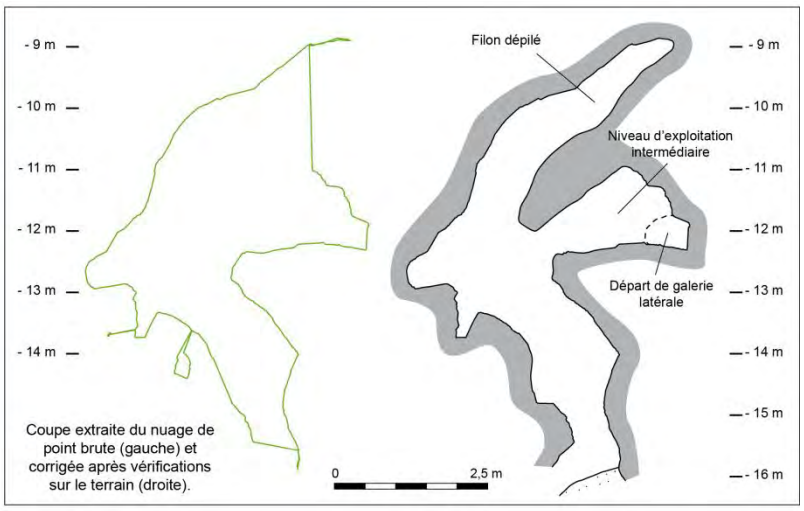
Les possibilités offertes par ce scanner dans l'enregistrement des volumes et sa relative facilité d'utilisation en font un outil intéressant pour le travail en mine lorsque le temps d'intervention sur le terrain est limité. Cependant, le long traitement des données reste pour l'instant un frein à son utilisation. La recherche de protocoles adaptés à l'extraction des plans et sections depuis le nuage de points a déjà demandé un certain temps. Le rendu en3D est soumis à des processus assez lourds et fournit des visuels qui aident à restituer les chantiers, dont la précision peut impressionner, mais qui ne sont pas interprétés. En effet, la réalisation des relevés classiques prend plus de temps sur le terrain que la réalisation d'un scan 3D et la quantité d'informations enregistrées est moindre. Cependant, ces informations

[45] MeshLab est un programme libre qui permet le traitement et l'édition de modèles numériques en 3D. http://www.meshlab.net/

sont sélectionnées pour avoir des représentations significatives. Le relevé exhaustif fourni par le scanner ne conduit qu'à reporter la phase de sélection de l'information. La représentation globale d'un chantier permet de connaître son volume avec précision, mais il faut ensuite le décomposer pour identifier les zones d'exploitation, de circulation, etc. Et la réalisation de ce travail sur un objet en 3D n'est pas des plus simples. Cette méthode doit donc encore être développée pour une utilisation courante en archéologie minière.

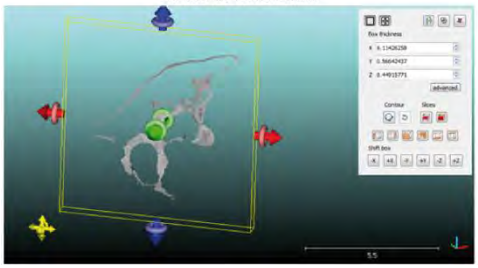


Coupes programmées tous les 50 cm suivant l'axe des Y. Traitement F. Baleux avec Cloud Compare.

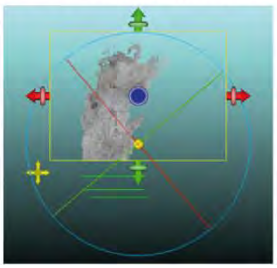


Coupe extraite du nuage de point brute (gauche) et corrigée après vérifications sur le terrain (droite).

Extraction d'une coupe transversale. Les flèches de la boîte de découpe permettent d'en ajuster la taille et les anneaux accrochés au flèches l'orientation.



Plusieurs coupes transversales extraites dans l'axe du chantier, vues de dessus (en vert).



"Tranche de points" et coupe correspondante (en vert). Les cloisons internes sont omises par le logiciel

Fig. 20 : traitement du nuage de points avec Cloud Compare.

a.iv. La photogrammétrie

La photogrammétrie a ceci de commun avec le scanner 3D qu'elle produit un nuage de points représentant fidèlement et en détail le volume du sujet relevé. Le processus n'est cependant pas le même. Les données 3D sont reconstruites à partir de photos numériques par un logiciel spécifique tel Photoscan. Il suffit donc pour le mettre en œuvre de disposer d'un appareil photo numérique, plus facilement accessible qu'un scanner 3D, et d'une licence du programme souhaité. L'utilisation de cette méthode est actuellement en plein développement en archéologie, aussi bien pour les sites de surface qu'en souterrain (Arles *et al.* 2013).

Un test a été réalisé[46] dans un petit secteur du réseau du Goutil Est, sur plusieurs fronts de taille surmontés de coupoles d'ouverture au feu. La phase de prise de photographies demande un peu de temps et d'ordre, car toutes les surfaces doivent être photographiées avec des zones de recouvrement suffisantes pour que le programme puisse les assembler. Pour la lumière, le simple flash de l'appareil photo a été utilisé, ce qui n'a pas posé de problème au vu des dimensions de la zone à relever. Le traitement mobilise par contre un ordinateur assez puissant pendant plusieurs heures. On obtient alors un nuage de points et un modèle numérique en 3D sur lequel une texture est appliquée, reproduisant la surface photographiée (Fig. 21). Cela renforce le réalisme de la représentation. Sur la base de ces données, des plans, coupes et sections peuvent être extraits aussi bien que depuis les modèles issus des scans 3D.

L'avantage principal de ce système par rapport au scanner 3D est sa facilité de mise en œuvre. Ensuite, des problèmes similaires se rencontrent avec les deux systèmes. Les données sont lourdes ici à cause du poids des photos qu'il faut accumuler pour relever un secteur. Le traitement prend un certain temps et requiert un ordinateur suffisamment puissant. Lorsque l'on veut travailler sur des réseaux étendus, il faut procéder par secteurs qui seront assemblés ensuite. Et de la même manière qu'avec le modèle 3D issu du scanner, l'interprétation du chantier reste à faire après ces traitements. Les avantages se trouvent là aussi dans la restitution précise des volumes excavés et dans la possibilité de diffuser les résultats des recherches avec des visuels attrayants. L'apport en terme de rendu général des travaux est intéressant, mais ces vues ont besoin d'être appuyées par des relevés précis en plans et en coupes pour bien comprendre l'ensemble d'un réseau.

On attirera également l'attention sur les questions qui se posent quant à la pérennité des données informatiques. Les supports d'informations actuels, CD, DVD ou disques durs ont une durée de vie limitée. Si des copies n'ont pas été faites à temps, l'information est perdue. L'évolution rapide des systèmes informatiques et des programmes pose aussi la question de la réutilisation dans quelques années des fichiers actuels devenus obsolètes. Les programmes nécessaires à leur manipulation ne sont pas des programmes libres et ils ne sont donc pas disponibles facilement. Cet aspect n'est pas anodin avec des données pour

[46] Cette opération de relevé photogrammétrique a été réalisée par Béatrice Cauuet.

lesquelles toute la richesse de l'information se trouve sur support informatique. On imagine en effet mal l'impression de listes de coordonnées de millions de points pour reconstituer les nuages en cas de perte du fichier informatique. Il en resterait alors seulement les plans, coupes et sections extraits et imprimés ou les vues choisies et mises elles aussi sur papier pour témoigner de cet enregistrement méticuleux. Soit, au final, la même chose que ce que l'on obtient par les méthodes classiques de relevé accompagnés de photos. L'intérêt de ces techniques pour les restitutions de chantiers anciens ou pour la divulgation des découvertes est cependant certain. Les évolutions rapides dans ce domaine en faciliteront peut-être l'utilisation dans les années à venir.

Fig. 21 : Vues du modèle 3D photogrammétrique d'un secteur du Goutil Est. Traitement B. Cauuet.

b. Restituer les dynamiques d'exploitation

Il s'agit ici de retrouver la façon dont les chantiers ont été menés, leur rythme et sens d'avancement et leur organisation interne. L'étude du réseau dans son ensemble permet de savoir dans quel ordre les différents secteurs ont été creusés et d'identifier les fonctions de chaque ouvrage. L'association de l'étude topographique et géologique est nécessaire pour distinguer les secteurs minéralisés des secteurs stériles. Cette première distinction permet de faire la part entre zones d'exploitation et ouvrages d'assistance (circulation, aérage, exhaure) ou de recherche (Cauuet & Tămaş 2012 ; Munteanu *et al.* 2016, pp. 177-178). Les creusements dans le stérile sont aussi un signe de l'investissement consenti dans l'activité, soit pour des phases d'exploration, soit pour créer des ouvrages d'assistance. Leur rentabilité n'est en effet pas immédiate, mais ils se révèlent indispensables pour mener l'exploitation par la suite.

Outre l'étude géologique, la fouille des réseaux est importante pour cette étape. Il est en effet difficile de comprendre intégralement un réseau quand la majeure partie des secteurs ont été rebouchés ou ne laissent qu'un passage étroit. La stratigraphie des comblements permet de savoir si un secteur a été réutilisé comme espace de circulation après avoir été exploité ou s'il a directement été scellé par le stockage des remblais. Les aménagements liés aux remblais permettent également de définir les espaces de circulation laissés libres à

certains moments, protégés par des murets par exemple. D'autre part, l'observation des minéralisations n'est pas forcément possible en couronne* et le dégagement des parois et de la sole* par la fouille offre davantage de possibilités de déterminer si l'on se trouve dans un secteur minéralisé ou stérile.

L'observation des parois, justement, a beaucoup d'importance à cette étape. Les traces d'outil tout d'abord permettent de savoir dans quel sens le creusement a été effectué, et donc depuis quelle partie de la mine les mineurs sont arrivés. On peut également observer des jonctions au niveau desquelles les traces d'outil se font face. Les reprises peuvent ainsi être mises en évidence par ces traces dont la direction ou la morphologie auraient changé. Les parois comportent aussi parfois des empreintes de boisage qui permettent de déterminer, notamment dans le cas de chantiers verticaux, l'emplacement de plates-formes de travail.

La fonction de chaque ouvrage peut varier au fil de l'exploitation. L'exemple le plus évident est la transformation des chantiers en espaces de stockage pour les stériles du chantier voisin. Certains secteurs dont l'exploitation est terminée peuvent aussi être laissés libres pour faciliter la circulation ou la ventilation au fil de l'avancée du chantier. Des galeries de jonction, creusées dans le stérile, ne prennent leur sens que lorsque le chantier a suffisamment avancé pour que de nouvelles connexions trouvent leur utilité. Ces interprétations font appel à des notions de chronologie relative des travaux et permettent de définir un sens d'avancement dans un chantier. Les reprises d'exploitation, qui peuvent surimposer une nouvelle dynamique à celle d'origine et la masquer au moins en partie, doivent être prises en compte dans ce travail. Si une nouvelle entrée est percée, par exemple un travers-banc qui recoupe les travaux en profondeur, les niveaux profonds, à l'aval de la première phase, deviennent les secteurs en amont de la seconde.

Au-delà de l'identification des fonctions de chaque ouvrage, restituer les dynamiques d'exploitation consiste aussi à retrouver l'organisation du travail. En effet, l'identification des différents secteurs accessibles potentiellement en même temps permet de supposer combien d'équipes pouvaient travailler au même moment dans la mine et par là avoir une idée de l'intensité des travaux. Le développement des zones de circulation permet aussi de savoir si les équipes étaient élargies ou réduites. L'étude des dynamiques d'exploitation des mines de *Vipasca* (Aljustrel, Portugal) et Cârnic (Roşia Montană, Roumanie) réalisée par B. Cauuet montre que l'on peut proposer des restitutions de l'organisation de l'exploitation en concessions (Cauuet *et al.* 2002 ; Cauuet 2004a, pp. 56-59). Dans le cas de *Vipasca*, cela correspond aux indications des tables de bronze qui contiennent une partie du code minier en vigueur sur ce site au II^{e} et III^{e} s. de n. è. Pour Cârnic, on ne dispose pas de document épigraphique qui préciserait l'organisation des chantiers mais la disposition des travaux autour d'axes de communications desservant plusieurs chantiers pourrait s'y apparenter.

Pour notre étude du district du Massif de l'Arize, l'impossibilité de fouiller l'ensemble des réseaux dans le cadre de cette étude limite les observations aux secteurs accessibles aujourd'hui. Les identifications géologiques ont été ponctuelles et les interprétations par là

même sujettes à caution. Cependant, des propositions sont faites pour chaque mine dans les limites des connaissances et des possibilités actuelles.

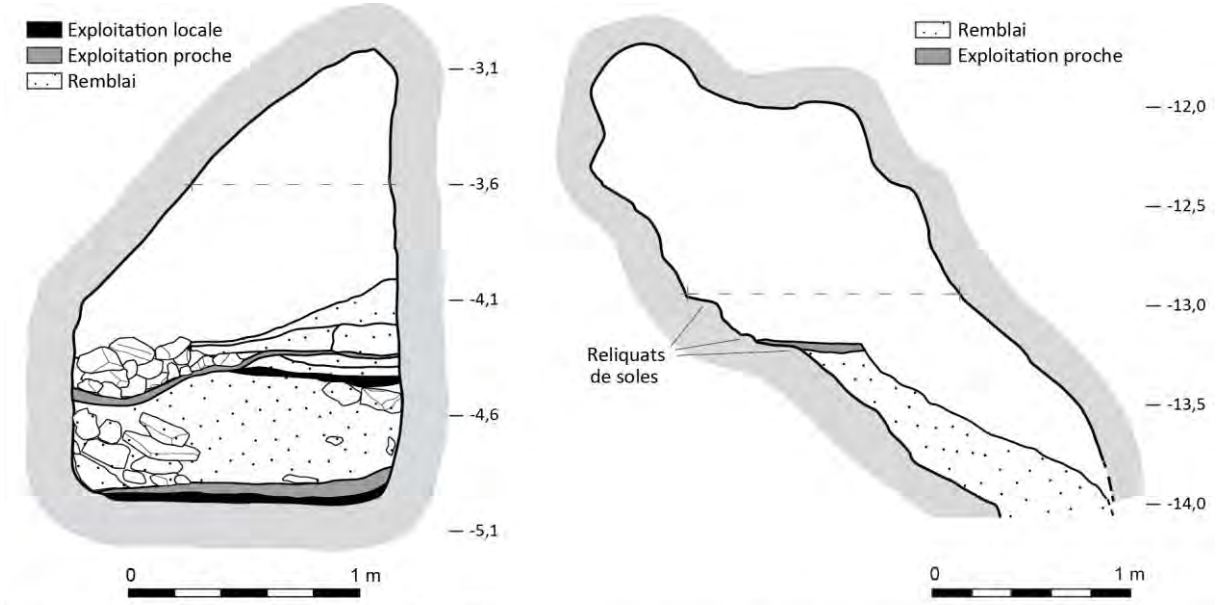
II. B. 2. Dater les mines : ouvertures, phases d'exploitation, abandons

Pendant longtemps, le mobilier récolté en surface près des mines ou au sommet des remblais dans les travaux a été jugé suffisamment significatif pour dater l'activité. Il est aujourd'hui assez clair que ce n'est pas si simple. Comme dans tout site archéologique, la stratigraphie ne peut pas être oubliée. On laissera de côté le cas des mines à ciel ouvert dont le comblement de surface correspond bien évidemment à la dernière phase de rebouchage. Pour les mines souterraines, le mobilier que l'on trouve à la surface des remblais ou à proximité de l'entrée a donc également plus de chances de correspondre au remblaiement du chantier consécutif à son abandon qu'au démarrage de l'activité. Il faut cependant rester prudent dans la mesure où les reprises d'activité peuvent conduire à des déplacements de remblais d'un secteur à l'autre de la mine et donc remobiliser des niveaux anciens lors des phases récentes (Fabre *et al.* 2018, p. 137). La fouille permet de différencier les niveaux en place des niveaux en position secondaire. Or, s'il est de fait rarement possible de fouiller une mine de manière exhaustive, surtout dans le cas des chantiers entièrement souterrains, des fouilles par secteur ou des sondages plus ponctuels dans des endroits stratégiques permettent néanmoins d'éclairer l'histoire de l'exploitation.

Le démarrage de l'activité d'une mine est le moment le plus difficile à dater. Les entrées, premières zones attaquées, sont en effet empruntées tout au long de son histoire et restent dégagées tant que le chantier est actif (et parfois même après). Il y a donc peu de chances d'y trouver une accumulation stratigraphique depuis les toutes premières phases de l'activité. Les sondages seront donc réalisés dans les secteurs préservés le plus près possible des entrées pour s'approcher de la période de l'ouverture du réseau. On peut aussi espérer trouver des indices sur le démarrage de l'activité à la base des haldes à l'extérieur des chantiers. Encore faut-il qu'elles aient été bien conservées. Le fait est qu'il est difficile de déceler la période de première exploitation d'un gisement, surtout si elle a pu se faire à ciel ouvert au départ et n'a pas été d'une grande intensité. Les phases qui ont donné lieu à une activité prolongée auront par contre laissé des traces plus en avant dans le réseau et seront repérables par des sondages.

La majeure partie des comblements présents dans les mines est issue de remblais plus ou moins massifs effectués une fois que le secteur en question ne fait plus l'objet d'une activité. Les éléments de chronologie que l'on y trouve (mobilier, charbon ou bois si l'humidité est suffisante) ne datent donc pas la période d'exploitation du secteur fouillé mais le travail dans un secteur plus ou moins proche. La phase de creusement peut être datée de deux manières. Dans le cas d'ouverture au feu, si les résidus du dernier foyer d'abattage ont été laissés en place à la sole, on aura alors une date correspondant véritablement au creusement de l'ouvrage. Dans le cas d'un chantier ouvert à l'outil, l'activité ne laisse que peu de traces datables, car les matériaux sont évacués pour permettre l'avancement. Seuls

les secteurs proches des fronts de taille* peuvent avoir conservé des éléments de la phase d'abattage. La fouille minutieuse de la zone de travail permet toutefois de dégager le niveau de circulation, qui peut être très fin, constitué de sédiments déposés immédiatement sur le rocher et compactés par le passage des mineurs. Ce niveau de circulation peut éventuellement receler des tessons de céramique, mais aussi des charbons résiduels de l'éclairage si des torches ont été utilisées. Ces charbons donneront une chronologie très proche du creusement de l'ouvrage sondé. Cette possibilité disparaît dès lors que la sole est percée pour prolonger l'exploitation vers le bas, dans le cas de chantier se développant dans un plan subvertical par exemple ou lors d'une reprise postérieure (Fig. 22, à droite).



Stratigraphie présentant plusieurs phases d'activité et de remblaiement observables en place. Le creusement, la reprise et l'abandon du chantier peuvent être datés.

Remblai massif uniforme et travaux se développant vers le bas avec percement de la sole à chaque étape. Le creusement du chantier ne peut pas être daté

Fig. 22 : Différents types de comblements de chantiers miniers.

La stratigraphie des comblements peut ne révéler qu'un énorme amas de remblais dans lequel aucun phasage ne peut être repéré. Mais on peut aussi y enregistrer des niveaux intermédiaires correspondant à des reprises d'activité après une première phase de comblement, sous la forme de niveaux de circulation compactés par exemple (Fig. 22, à gauche). Ces variations dans les comblements permettent de restituer les rythmes de l'exploitation. Dater chaque étape de reprise d'activité permet de mesurer son intensité ou de déceler des arrêts prolongés, selon que la chronologie de chaque phase sera resserrée ou dilatée. Dans notre cas, la formation de concrétions de calcite observée entre deux niveaux de remblais a permis de définir dans deux cas des périodes d'interruption prolongée de l'activité. Ces concrétions ont aussi eu l'avantage de sceller la stratigraphie inférieure, alors protégée de toute contamination.

Selon les emplacements choisis, les informations sur la chronologie seront de différents types. Près de l'entrée, on se rapprochera de l'ouverture de la mine. Au contraire, le fond du

réseau permettra d'estimer en combien de temps le chantier a été mené et, selon la différence de chronologie avec l'entrée, de repérer d'éventuelles reprises. Les parties finales du réseau donnent ainsi des *TAQ*[47] pour l'exploitation des niveaux situés en amont. De la même manière, les fouilles au pied des fronts de taille dans les parties intermédiaires de l'exploitation permettent d'évaluer le rythme de travail et donnent également un *TAQ* pour la partie antérieure de la galerie. Il faut aussi garder à l'esprit que les fonds de réseaux ne représentent pas forcément l'emplacement des datations les plus tardives. Si l'accès à ces secteurs est limité par des remblaiements importants, les reprises plus récentes n'auront pas forcément donné lieu au dégagement de chantiers éloignés et pourront se concentrer plus près des entrées.

Enfin, une manière indirecte de dater l'exploitation peut se trouver dans la fouille des installations de surface qui lui sont liées. Les aires de traitement du minerai, de métallurgie primaire ou les habitats de mineurs fournissent en effet des éléments chronologiques plus abondants et souvent plus précis que le rare mobilier qui se trouve dans les réseaux. En ce qui concerne les habitats, leur proximité avec les travaux ne suffit pas à en faire des habitats de mineurs. Il faut que des vestiges liés à l'extraction soient présents (outils ou minerai par exemple). Dans le cas d'ateliers minéralurgiques ou de métallurgie primaire, il faut qu'il y ait une exploitation contemporaine pour les fournir en matière première. Si ces sites se trouvent dans un district contenant plusieurs mines, cela ne signifie pas forcément que tout le district aura été exploité à la même période. De même, les habitats aussi bien que les ateliers peuvent être déplacés au fur et à mesure de l'exploitation. Leur datation ne concernera dans ce cas qu'une seule phase de l'activité minière. L'étude des travaux miniers et des sites de surface est complémentaire et non pas exclusive.

Dans notre travail, l'objectif principal a été de déterminer la chronologie du démarrage des exploitations, par l'implantation de sondages ponctuels dans des secteurs choisis. Certains chantiers presque vides ou mal conservés n'ont pas laissé beaucoup de choix dans les emplacements des implantations. Dans certains cas, des reprises ont aussi été identifiées non loin des entrées. Un seul site, Rougé, a pu être étudié de sorte à entamer une réflexion sur le rythme d'avancement de l'exploitation. Nous y reviendrons plus bas (CHAPITRE 2.III. C. 1.c, p. 206). L'absence de mobilier dans les niveaux liés à l'exploitation, systématique dans notre cas, rend le recours à des datations radiocarbone indispensable. Les charbons envoyés pour datation ont tous fait l'objet d'une identification pour obtenir les dates les plus proches de l'abattage de l'arbre (bois avec écorce ou brindille de quelques cernes) et éviter ainsi un vieillissement artificiel de la date par l'analyse de fragments provenant du cœur d'arbres anciens (effet « vieux bois »). Ces identifications ont été réalisées par V. Py ou R. Cunill Artigas, anthracologues du laboratoire GEODE.

[47] *Terminus Ante Quem*

II. B. 3. Quantifier la production

L'étude des mines peut permettre d'estimer la quantité de métal produite à une période donnée. Il faut pour cela associer de près archéologie minière et géologie. L'archéologie va permettre de calculer les volumes extraits à chaque période, grâce aux relevés et à la datation des travaux ; la géologie va livrer les précisions sur la nature et la teneur des minerais ainsi que sur la part de substance minéralisée par rapport à l'encaissant stérile. Cette étude doit cependant être menée en détail pour donner des résultats réalistes. En effet, le principe consiste à replacer dans chaque secteur d'exploitation les corps de minerai présents, qui doivent être caractérisés dans de nombreux endroits de la mine pour connaître les teneurs moyennes. La composition des minerais peut en effet varier de manière significative d'un secteur à l'autre. Cela permet également de mieux comprendre ce que les mineurs ont exploité et les stratégies suivies.

Ce travail détaillé a été mené dans un chantier vertical de Cârnic, dans le district à or et argent de Roşia Montană, dont les dimensions sont environ de 20 m de longueur pour 10 m de hauteur. La forme géométrique régulière du chantier a permis d'en calculer le volume simplement sur la base des relevés en plan, coupe et section. L'observation au parement des minéralisations a donné lieu à des prises d'échantillons dans une quinzaine de points précis. Les analyses fournissent les teneurs de chaque minéralisation identifiée. À partir de ces teneurs précises ponctuelles, une teneur moyenne a été calculée pour l'or et l'argent. Sur cette base, les quantités de métal minimales disponibles dans ce chantier ont été extrapolées. La production de ce chantier antique est ainsi estimée à 6 kg d'or et 12 kg d'argent (Cauuet & Tămaş 2012, pp. 239-240).

Des études aussi précises sur les chantiers anciens ne sont pas toujours possibles, d'autant plus qu'il est fréquent dans les vieux travaux que la minéralisation ait été grattée très soigneusement, ce qui ne permet pas d'échantillonner le minerai. Lorsque des reprises récentes ou des campagnes de prospection ont eu lieu à proximité dans le même contexte géologique, les teneurs moyennes des minerais alors analysés peuvent servir de base pour les calculs. Les estimations de production modernes ne peuvent cependant pas servir directement pour les périodes anciennes. Il faut prendre en compte les écarts induits par les procédés minéralurgiques et métallurgiques très différents employés aux périodes anciennes et plus récemment. La quantité de métal obtenu ne dépend pas seulement de la teneur du minerai mais aussi de l'efficacité des procédés de traitement (Shennan 1995, pp. 298-300). L'archéologie expérimentale est particulièrement éclairante sur ce point (Dubois 2000, p. 61 ; Ambert *et al.* 2013, pp. 72-73 ; Fabre *et al.* 2016, pp. 507-508).

Ces évaluations n'ont pas pu être menées pour le district de l'Arize dans le cadre de cette thèse, par manque de temps et de moyens. Quantifier les productions est tout de même un objectif qu'il faut avoir en tête si l'on veut réfléchir sur les débouchés et impacts de l'exploitation minière. Cela apporte également des données solides pour évaluer le poids de l'activité dans l'économie de la période. Sans faire le tour de toutes les mines pour lesquelles les productions ont été évaluées, on peut citer deux exemples qui illustrent les différences

d'échelles de production. D'un côté, les mines d'or gauloises du Limousin ont pu produire entre 68 et 172 tonnes d'or entre les V^{e} et I^{er} s. av. n. è., ce qui représente des quantités élevées (Cauuet 2004b, pp. 108-112). Le rythme de production n'a pas été constant au fil de cette période, mais il apparaît clairement avec ces valeurs que le métal était destiné à approvisionner des marchés suprarégionaux. Dans un contexte totalement différent, la production des mines de cuivre de l'âge du Bronze de Mount Gabriel (Irlande) a également été évaluée. Cet ensemble de travaux miniers comporte 32 vestiges miniers identifiés, exploités entre 1700 et 1400 av. n. è. Les mines ont des tailles variables, atteignant 1 à 10 m de profondeur. La production répartie sur toute la durée de l'activité correspondrait à 15 à 20 kg de métal par an, soit une quantité permettant de fabriquer de 40 à 50 haches en bronze (O'Brien 2015, pp. 131-133). La portée économique d'une telle production est donc bien plus limitée, dépassant de peu les besoins locaux.

II. B. 4. Évaluer l'impact de la mine sur son environnement

Pour cet aspect de la recherche, le rôle de l'archéologue minier est plus limité, les méthodes utilisées relevant dans l'ensemble des sciences de l'environnement ou de la géochimie. Les études sur l'impact environnemental des sites miniers sont en effet réalisées le plus souvent à partir des données enregistrées dans les tourbières. Nous avons ainsi évoqué plus haut les analyses sur les paléo-pollutions au plomb et sur les évolutions du couvert végétal par le biais de la palynologie (point I. C. 3 ci-dessus, p. 72). Dans notre cas, le contexte calcaire de la zone d'étude n'est pas propice à la formation de tourbières. Une prospection sur ce thème s'est de fait avérée négative[48].

Une étude récente menée sur la sapinière de Montbrun-Bocage (Ste-Croix-Volvestre, Ariège), mettant en œuvre une démarche pluridisciplinaire associant pédo-anthracologie, palynologie, morpho-pédologie et phytogéographie a montré l'apport de ce type d'approche pour la caractérisation des dynamiques environnementales diachroniques sur une petite échelle géographique (Cunill *et al.* 2015, p. 48 ; Métailié *et al.* 2016, p. 350). Des études similaires ont été réalisées en Allemagne et ont montré également comment l'étude des sols anciens peut aider à montrer les évolutions dans le couvert végétal et l'utilisation des sols (Bork & Lang 2003, p. 237 ; Dreibrodt *et al.* 2009, p. 496). Dans le cas de la forêt de Montbrun-Bocage, l'étude d'une coupe stratigraphique dans la terrasse alluviale d'un des ruisseaux qui drainent ce secteur, en fond de vallée, a montré son intérêt pour repérer les variations environnementales à l'échelle d'un bassin versant, comme cela avait été proposé par Dreibrodt *et al.* (2009, p. 496). Après un relevé de la succession sédimentaire, le profil a été subdivisé en niveaux de 20 cm d'épaisseur dans chacun desquels un échantillon de 5 kg de sol a été prélevé. Les charbons qui se trouvaient dans chacun de ces niveaux ont été récupérés par tamisage aux mailles de 5 mm, 2 mm et 0,8 mm, permettant de calculer l'anthracomasse spécifique de chaque niveau, soit la masse de charbons supérieurs à 0,8 mm (en mg) par kg de sol. Ensuite, cent individus par niveau, prélevés équitablement

[48] Prospection réalisée sous la direction de J.-P. Métailié en 2014.

dans chacune des classes de taille, ont fait l'objet d'une identification taxonomique. Quinze charbons ont enfin été datés par analyse radiocarbone AMS, permettant de préciser les périodes de mise en place de chacune des unités sédimentaires (Cunill *et al.* 2015, pp. 40-41 ; Métailié *et al.* 2016, p. 350). Les résultats de l'étude sont complémentaires de ceux donnés par la palynologie (pollens issus d'une tourbière à environ 600 m en aval). Dans ce cas, la période médiévale apparaît comme la phase au cours de laquelle l'impact anthropique a été le plus fort sur le couvert forestier, entraînant une forte érosion des sols en amont. Il apparaît également que la population locale de sapins trouve son origine dans le peuplement pyrénéen post-glaciaire, malgré la basse altitude de ces terrains, et non dans des plantations médiévales (Cunill *et al.* 2015, pp. 46 et 48 ; Métailié *et al.* 2016, p. 353).

La pédo-anthracologie a été définie et développée dans les années 1990 pour étudier l'évolution de la végétation depuis l'Holocène à partir des charbons de sols de montagne non perturbés par des actions humaines (Carcaillet & Thinon 1996, pp. 401-403 ; Bal *et al.* 2010, p. 1788). Son utilisation dans des contextes où les perturbations sont inévitables, comme dans le cas de la terrasse alluviale présentée ci-dessus, ou encore dans des niveaux archéologiques formés principalement par l'action humaine, comme peuvent l'être des terrasses de culture, oblige à prendre des précautions dans l'interprétation des données chronologiques (Bal *et al.* 2010, pp. 1793-1794 ; Cunill *et al.* 2015, p. 47). On ne peut en effet pas considérer *a priori* que les charbons les plus profonds soient les plus anciens, car plusieurs facteurs peuvent conduire à la migration de charbons dans le sol : la bioturbation d'origine animale ou racinaire, le piétinement du bétail, ou encore le retournement du sol lors des labours (Bal *et al.* 2010, p. 1795). Dans le cas des alluvions transportées par un cours d'eau, les phases d'érosion entraînent également le transport d'éléments plus anciens de l'amont vers l'aval, qui se déposent au même endroit que les charbons récents lorsque le courant diminue (Bork & Lang 2003, p. 232 ; Cunill *et al.* 2015, p. 47 ; Métailié *et al.* 2016, p. 351). La datation de plusieurs charbons dans chaque niveau stratigraphique est donc indispensable pour évaluer sa période de formation (Dreibrodt *et al.* 2009, p. 489).

En connaissance de ces résultats et compte tenu de la configuration des sites de la zone d'étude, la décision a été prise de mettre en œuvre ce type d'approche au niveau d'un petit bassin versant dans lequel se trouve une des mines anciennes du district étudié, celle des Atiels (La-Bastide-de-Sérou). Ce bassin versant est drainé par le Pézègues, ruisseau au débit relativement faible mais toutefois pérenne. Les berges laissaient voir une accumulation sédimentaire d'un peu plus de 2 m entre 150 et 200 m en aval des travaux miniers. Une coupe a été réalisée dans ce secteur. Un fossé de drainage ouvert récemment en amont des prés qui occupent le fond de vallon, à moins de 50 m en aval des travaux miniers, a donné lieu à la réalisation d'une seconde coupe. Les moyens limités à disposition dans le cadre de cette thèse ne permettaient pas de mener une étude complète de ces profils, l'identification taxonomique de charbons de si petite taille, nécessairement par un spécialiste expérimenté, se révélant très longue. Il s'agit donc seulement d'une approche préliminaire, qui apporte un premier éclairage sur l'impact local qu'a pu avoir l'activité minière.

La différence principale avec la méthodologie présentée pour la forêt de Montbrun réside dans le nombre de prélèvements de sédiments et de charbons identifiés, ici bien plus réduit, dans une démarche exploratoire. Un seul échantillon de 4 à 5 kg a été prélevé par couche stratigraphique, même si elles faisaient plus de 20 cm d'épaisseur. Seuls les échantillons de la première coupe (au nombre de cinq) ont été traités pour en obtenir les charbons. Le tamisage s'est fait comme pour Montbrun aux mailles de 5 mm, 2 mm et 0,8 mm. Cependant, le tri des charbons et graviers fins n'a été réalisé que pour les deux mailles supérieures, en raison de contraintes de temps. Dix individus ont été identifiés pour chaque niveau par Raquel Cunill. Un charbon a été daté pour chaque niveau, parmi ceux qui ont été identifiés. Les résultats sont présentés au chapitre suivant (point IV. A, p. 297).

Des analyses géomorphologiques complémentaires pourraient être menées sur ces sédiments, pour préciser leur mode de mise en place (transport par le cours d'eau ou glissement de terrain depuis les pentes). Il serait également intéressant d'identifier un plus grand nombre de charbons dans chacun des niveaux et d'augmenter le nombre de datations. Enfin, la localisation des mines dans différentes petites vallées orientées nord-sud qui représentent autant de bassins versants indépendants pourrait donner lieu à des comparaisons à l'intérieur du district sur l'impact qu'ont pu avoir les exploitations minières et leurs conséquences sur la formation du paysage actuel. Ces registres sédimentaires correspondent à de petits bassins versants, de moins de 100 ha, ce qui permet d'avoir une très bonne restitution des dynamiques à une échelle locale, mais ce type de recherche demanderait la mise en place d'un projet d'une autre envergure. De plus, les prospections menées sur le terrain n'ont pas encore permis de localiser un seul site pouvant permettre une analyse palynologique sur une durée d'au moins 3000 ans.

Les données concernant l'identification des charbons pourront être comparées à celles obtenues dans ce district par C. Dubois lors de ses propres travaux de recherche (Dubois 1992, p. 288-289 ; Dubois 1996, pp. 39-41). Le croisement d'approches archéologiques et anthracologiques a été mis en œuvre à plusieurs reprises depuis les prémisses des années 1980 et 1990, souvent en association avec d'autres sciences environnementales comme la palynologie ou la carpologie (Ruiz-Alonso *et al.* 2017, p. 61). Dans le cas du Massif de l'Arize, les charbons étudiés proviennent de trois chantiers miniers distincts ainsi que des sites de surface (voir le détail au chapitre suivant, point 0, p. 306). Les charbons ont été récupérés par flottation et tamisage à la maille de 5 mm. Cent charbons ont été identifiés lorsque l'échantillon le permettait (30 au minimum). Cette première étude donne un aperçu du bois utilisé pour l'abattage de la roche en mine qui peut être comparé avec les deux lots provenant de la surface. Cependant, si la chronologie des charbons issus des fosses dépotoirs est assez fiable en fonction du mobilier associé (fin II^{e} ou I^{er} s. av. n. è.), nous verrons au chapitre suivant que l'exploitation des mines ne s'est pas faite au cours d'une seule et même phase. L'absence de datation sur ces prélèvements impose donc de rester prudent sur les conclusions que l'on peut en tirer. Là encore, enrichir ces données et

développer la problématique de la relation entre mines et couvert forestier demanderait la mise en place d'un projet plus large.

II. C. L'évolution récente des problématiques

Les méthodologies maintenant éprouvées aussi bien que les données brutes déjà disponibles sur les mines permettent d'aborder l'exploitation minière sous des angles nouveaux. La prise en compte des interactions étroites entre cette activité et le paysage est une des voies les plus actives actuellement. La collaboration avec les sciences de l'environnement, mise en œuvre dans des domaines très divers de l'archéologie (notamment par son intégration régulière aux prescriptions de fouilles préventives en France par exemple), trouve ici une application particulièrement porteuse de sens. Cela fait écho aux préoccupations sociétales actuelles vis-à-vis des pollutions et du développement durable.

Les aspects analytiques développés par l'archéométrie suivent deux orientations principales : la restitution des chaînes opératoires anciennes et la traçabilité des métaux, pour relier la source du métal à son utilisation comme objet fini. Les chaînes opératoires métallurgiques anciennes sont plus ou moins bien connues selon les métaux et les périodes. Les nouvelles découvertes issues des fouilles sont autant d'occasion de compléter les données dans les domaines lacunaires. Pour la traçabilité, si le recours à l'isotopie du plomb est aujourd'hui largement répandu, la recherche s'oriente maintenant vers d'autres traceurs qui permettraient de remonter les filières du fer (Milot *et al.* 2016 ; Disser *et al.* 2017), du cuivre ou encore de l'étain (Haustein *et al.* ; Berger *et al.* 2017), pour lesquels les isotopes du plomb ne sont pas aussi bien adaptés. Les questions liées à la traçabilité intéressent particulièrement les recherches sur le commerce et les réseaux d'échanges. Si les archéologues ne se départissent pas de leur regard critique face aux interprétations des données chiffrées des analyses, ils peuvent y trouver des contributions utiles pour l'identification de connexions entre différentes régions, ce qui nourrit les réflexions sur les modalités des échanges. La connaissance des aires de diffusion du métal participe également à l'évaluation de l'importance d'un district minier pour une période donnée.

Enfin, on observe plus récemment une nouvelle tendance de la recherche qui vise à dépasser les cloisonnements entre histoire des techniques, histoire économique, reconstitution de l'environnement ou encore histoire politique et culturelle. Des ponts ont bien sûr déjà été lancés entre ces différents domaines (Bailly-Maître 1997a, p. 397). Les relations entre les contextes économiques et politiques sont souvent abordées (par exemple, récemment Orejas & Rico 2015), ainsi que celles entre les choix techniques et les contraintes et opportunités de l'environnement où prend place l'activité. Les nouvelles problématiques de recherche vont plus loin dans cette direction en réaffirmant tout d'abord les interactions permanentes entre l'exploitation minière et les domaines techniques, socio-économiques et environnementaux comme définis dans la figure 10. Sur la base de ces relations systémiques, il est ensuite proposé de partir de l'étude des mines pour éclairer les divers aspects qui lui sont liés.

Deux sessions du récent colloque de l'AIAC[49] de mai 2018 mettent justement en avant cette façon d'aborder l'activité minière. La première était centrée sur le monde romain alors que la seconde proposait un cadre plus large[50], mais les deux revendiquaient un dépassement des cadres habituels de la recherche sur les mines. Un appel est lancé à la prise en compte de l'ensemble des sites qui structurent le territoire (mines, ateliers, habitats, etc.) dans l'optique de mieux caractériser les aspects socio-économiques de l'exploitation, sur la base des données de terrain. L'accent est mis sur l'importance d'utiliser les données techniques, qui occupent traditionnellement une place importante dans les recherches sur les mines, pour aborder l'organisation du travail, l'évolution des pratiques et contribuer à déceler des transferts de technologies, potentiellement révélateurs des contacts entre différentes cultures. Enfin, l'empreinte des mines dans le paysage, aussi bien en termes d'impact sur l'environnement que de contrainte dans l'occupation du territoire, est convoquée dans les réflexions sur la pérennité ou l'arrêt des exploitations. Il faut espérer que ce dépassement des cadres techniques facilite la diffusion des résultats de l'archéologie minière vers les autres domaines de l'archéologie et de l'histoire, leur complémentarité ne pouvant qu'enrichir le discours historique.

C'est dans ce cadre épistémologique que s'insère la problématique de cette thèse. Le Sud-Ouest de la Gaule est en effet une région dans laquelle on connaît plusieurs districts miniers dont les chronologies s'étalent entre le Chalcolithique et la période médiévale, sans parler des reprises plus récentes. C'est aussi une région que l'on peut qualifier de mosaïque culturelle, avec des espaces littoraux tournés vers la Méditerranée ou l'Atlantique, des aires montagnardes individualisées entre les Pyrénées et le Sud du Massif Central, et des zones d'interface de plaine, ouvertes sur des horizons très divers. La période allant du second âge du Fer à l'Antiquité est marquée par toute une série de mutations économiques, politiques, sociales et culturelles qui s'expriment de différentes manières dans l'espace et le temps. De quelle manière l'exploitation minière de ces périodes peut-elle nous apporter des indications sur le fonctionnement des sociétés qui la mettent en pratique ? Les différents districts miniers, nécessairement circonscrits dans l'espace et dont l'activité est bornée par une chronologie d'ampleur variable, se rapportent à des domaines culturels précis, même s'il est parfois difficile de les identifier. Caractériser l'exploitation d'un district dans sa globalité revient donc à mettre en évidence des choix économiques réalisés dans des contextes donnés et leurs effets. En comparant les modes d'exploitation entre différentes périodes ou différents lieux, on peut différencier ou au contraire rapprocher les pratiques mises en œuvre et mesurer leur succès respectif. Cela amène à distinguer ou associer des modes de fonctionnement et permet d'évaluer le poids de l'activité dans les différents contextes.

[49] AIAC : Associazione Internazionale di Archeologia Classica. XIX[e] Congrès – Cologne/Bonn, 22-26 mai 2018.

[50] Session 4.1 : *Roman mining : dimensions, scale and social and territorial implications.* Organisateurs : B. X. Currás (Université de Coimbra) et O. Bonilla Santander (Université de Zaragoza). Session 4.2 : *Mining landscapes*. Organisateurs : F. Hulek (Université de Cologne) et S. Nomicos (Université de Münster). http://www.aiac2018.de/programme/sessions-panels/?lang=de#session4 [consulté le 18/09/2017].

Cependant, faire parler les mines n'est pas chose simple. La production des données qui servent de base aux interprétations postérieures demande du temps et ne peut se faire que sur un nombre limité de sites. Le choix de la zone de travail de terrain s'est donc porté volontairement sur une zone minière peu étendue, le district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize. En bordure nord des Pyrénées, ouvert sur les vallées de l'Ariège vers l'est et de la Garonne vers l'ouest, par l'intermédiaire du Salat, ce district se trouve dans une position géographique favorable aux contacts dans différentes directions. Il se trouve aussi dans la périphérie large du domaine toulousain et aux confins des domaines de la Narbonnaise et de l'Aquitaine. Cette position particulière permet d'aborder les relations entre les mines et les territoires plus larges dans lesquels elles s'inscrivent. La prise en compte de l'exploitation minière dans sa globalité reste la ligne directrice de ce travail, cependant, les données disponibles ainsi que le temps et les moyens mobilisables dans le cadre de cette thèse ont limité l'avancée des recherches. Le fait de travailler sur un district de petite taille permet de réduire le poids des inconnues et de faire des propositions de restitutions des différents aspects de l'activité, comme nous allons le voir dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 2. Le district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize

Dans ce chapitre, nous présenterons plus spécifiquement les résultats de nos travaux de terrain, en reprenant les données des recherches précédentes. Le choix a été fait d'intégrer toutes les données de base dans le corps de texte, à l'exception des données brutes des analyses de scories, reportées en annexe 3, pp. 467 à 475. Après avoir exposé le cadre géologique et géographique de la zone d'étude, qui détermine les potentialités du district, la présentation rapide des données disponibles au démarrage de notre étude et des conditions de leur production définit les bases qui ont rendu possible notre travail. La présentation des résultats site par site permet de montrer pour chacun d'eux quel est l'apport de l'étude archéologique. Ces données seront reprises et synthétisées dans le chapitre suivant, qui élargit la réflexion à l'échelle du Sud-Ouest. Les aspects environnementaux sont traités en conclusion de ce chapitre.

I. Géologie et géographie de la zone d'étude

I. A. Le Massif de l'Arize : une petite parcelle des Pyrénées

I. A. 1. Structure de la chaîne Pyrénéenne

La chaîne pyrénéenne telle que nous la connaissons aujourd'hui se découpe en plusieurs zones structurales globalement orientées est-ouest (Fig. 23). Au centre, on trouve la Haute Chaîne Primaire, constituée des matériaux les plus anciens (Protérozoïque ponctuellement et Paléozoïque[51]), qui sépare les Zones Sud-Pyrénéenne et Nord-Pyrénéenne. La Zone Sud-Pyrénéenne est composée principalement de terrains secondaires et tertiaires. Elle s'étend localement sur une largeur de plus de 50 km, jusqu'au Bassin de l'Èbre qu'elle chevauche en bordure. La Zone Nord-Pyrénéenne est plus étroite et un peu plus complexe. Tout d'abord, elle est séparée de la Haute Chaîne par la Faille Nord-Pyrénéenne (FNP), qui marque le contact entre les plaques continentales européenne et ibérique. Le long de ce contact s'est formée la Zone Interne Métamorphique, séparée de ses voisines par des failles verticales. D'autre part, la Zone Nord-Pyrénéenne renferme également des massifs primaires détachés des terrains du centre de la chaîne lors de l'orogenèse pyrénéenne (Massifs de l'Agly, de l'Arize ou Massifs basques). Vers le nord, elle chevauche elle aussi la bordure de l'ensemble suivant, le Bassin Aquitain, caractérisé par des terrains datant du Crétacé jusqu'au Tertiaire (Chiron 1996, p. 29 ; Dercourt 2002, pp. 136-169 ; Canérot 2008, pp. 19-21).

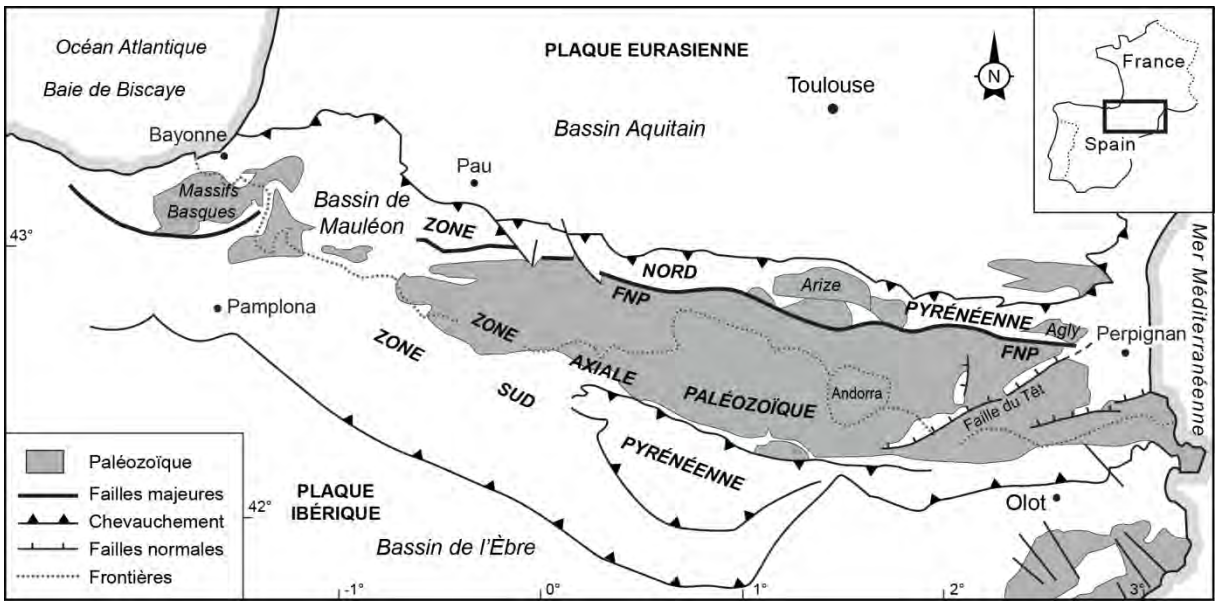


Fig. 23 : Les zones structurales des Pyrénées (d'après Munoz *et al.* 2015, fig. 1).

La chaîne des Pyrénées est une chaîne poly-orogénique mais la structuration actuelle est le résultat du cycle orogénique* alpin. La période des mouvements tectoniques principaux a eu lieu entre le Crétacé et l'Éocène supérieur, il y a 65 à 40 millions d'années (Munoz *et al.*

[51] Voir l'échelle des temps géologiques en annexe 1.

2015, p. 323). Des mouvements de directions opposées se sont succédé, se traduisant par l'ouverture puis la fermeture de l'océan gascon, entre la microplaque ibérique et l'Europe. La disparition de cet océan correspond à la collision des deux plaques, qui a entraîné le soulèvement des terrains et s'est accompagnée de fracturations, plissements et chevauchements (Fournier-Angot 1983, pp. 6 et 10 ; Dercourt 2002, p. 135 ; Canérot 2008, pp. 336-337). Les périodes suivantes (Oligocène puis Néogène) voient se poursuivre la convergence entre les deux plaques, qui se traduit par une forte fracturation des terrains, accompagnée de la formation de brèches* tout au long de la chaîne. Enfin, l'érosion et la sédimentation du Quaternaire ont fini de sculpter ou d'adoucir les reliefs que nous connaissons (Canérot 2008, pp. 417-419). Mais les terrains affectés par l'orogenèse pyrénéenne ont été formés bien avant, les plus anciens à l'affleurement pouvant être antécambriens. Le Massif de l'Arize est lui-même constitué de terrains paléozoïques et du début du Mésozoïque. De plus, d'autres épisodes orogéniques avaient déjà affecté une partie des terrains remobilisés par les mouvements pyrénéens, en particulier lors du cycle hercynien*. La géologie de ce massif varie donc fortement d'un secteur à l'autre et présente une certaine complexité.

I. A. 2. La nature des terrains pyrénéens et leur métallogénie

Les terrains précambriens, de nature métamorphique, sont assez rares, et affleurent principalement au niveau de certains massifs primaires de la Zone Nord-Pyrénéenne ou aux extrémités est et ouest de la Haute Chaîne.

Les terrains paléozoïques des Pyrénées correspondent globalement à des séries sédimentaires. Au Cambrien et à l'Ordovicien, la zone pyrénéenne se trouve dans un vaste bassin. Le Cambrien est caractérisé par une phase de distension qui ouvre des bassins rapidement comblés par une forte sédimentation. Cette distension s'accompagne de failles et de remontées de laves et de magmas. Les failles peuvent jouer le rôle de drain pour les solutions hydrothermales* chargées en minéraux et conditionner ainsi la formation de gisements métallifères. Les phénomènes de distension et de sédimentation se poursuivent au cours de l'Ordovicien et jusqu'au Silurien, avec le dépôt de séries de schistes et de pélites. La distension se termine à la fin du Silurien (Chiron 1996, pp. 31-32 ; Canérot 2008, pp. 33-34).

Au cours du Dévonien, on assiste à une transgression marine qui recouvre l'ensemble du domaine pyrénéen. La sédimentation carbonatée forme des calcaires et des dolomies qui indiquent que l'on se situe sous une mer peu profonde. Le Dévonien correspond aussi au démarrage d'une phase de compression qui provoque une première série de plissements. Les mouvements tectoniques se poursuivent avec plus d'intensité au Carbonifère qui se traduit par une compression du nord-est vers le sud-ouest, provoquant des plis couchés et l'ouverture de failles (Dercourt 2002, p. 228). Une partie des minéralisations présentes dans les terrains dévoniens, notamment ceux du Massif de l'Arize, aurait pu trouver son origine à cette période (Fournier-Angot 1983, pp. 223-224). L'identification, quand ils sont conservés,

des calcaires griottes de la fin du Dévonien comme un « toit imperméable à la minéralisation » semble cohérente avec cette option (Boisson 1975, p. 151).

Le Permien termine le processus hercynien avec des remontées de granites, plus fréquentes vers l'est de la chaîne, qui s'accompagnent de métamorphisme de contact. L'érosion des reliefs est également en cours et se reflète dans les terrains de cette période, constitués de dépôts de grès ou de conglomérats d'origine fluviatile de couleur rouge, très caractéristiques. Le Trias inférieur ne se distingue pas bien du Permien dans la majeure partie de la chaîne car ces mêmes phénomènes érosifs se poursuivent, et on parlera donc du Permo-Trias pour cette phase finale du cycle hercynien (Fournier-Angot 1983, p. 13 ; Dercourt 2002, p. 230 ; Canérot 2008, p. 53-54).

La suite du Trias correspond à une phase de transgression marine peu profonde représentée par les sédiments carbonatés du Muschelkalk, qui s'accompagne de la formation de karsts dans les terrains recouverts. S'ensuit une phase intermédiaire de régression marine qui amène quant à elle des dépôts littoraux ou lagunaires reconnaissables par des séries d'argiles colorées, le Keuper, identifiable tout au long de la chaîne lui aussi. Enfin, le Trias terminal annonce la nouvelle transgression marine du Jurassique. Des phénomènes volcaniques intenses sont également à l'œuvre vers la fin du Trias, suite à des distensions importantes des terrains. Ces distensions font aussi rejouer les accidents hercyniens. Le volcanisme se traduit par la présence dans les argiles du Keuper de roches ophitiques, entre l'ouest et le centre de la chaîne, et basaltiques vers l'est (Fournier-Angot 1983 ; Canérot 2008, p. 73-74).

Le Trias semble être la période de formation d'une autre partie des gisements cuprifères, qui se retrouvent dans les terrains paléozoïques au contact de la couverture mésozoïque, et sont liés à des fracturations. Les épisodes volcaniques du Permo-Trias ou du Trias supérieur pourraient en être la cause. Cependant, une partie des accidents minéralisés ont été attribués à la période pyrénéenne (fin du Crétacé supérieur). Ces minéralisations n'ont alors pu être mises en place que lors de cette phase plus tardive (Boisson 1975, p. 153-154).

Le Jurassique est une période de transgression marine majeure, durant laquelle des phénomènes d'érosion et de sédimentation sont à l'œuvre. Ils se poursuivent pendant le Crétacé inférieur. La fin du Jurassique et le début du Crétacé correspondent aussi à l'amorce de l'ouverture du Golfe de Gascogne (qui annonce celle de l'Atlantique Nord), avec l'écartement de la plaque ibérique. Cela provoque une distension crustale, qui se traduit par l'ouverture de fossés tectoniques, mais aussi par un volcanisme sous-marin (Fournier-Angot 1983, p. 10-11 ; Dercourt 2002, p. 148-150). À partir du Crétacé supérieur, la rotation de la plaque ibérique, poussée par l'ouverture de l'Atlantique, puis le déplacement vers le nord de la plaque africaine provoquent la surrection des Pyrénées, entraînant de nouveaux plissements orientés est-ouest, accompagnés de failles nombreuses qui reprennent les accidents hercyniens préexistants.

I. A. 3. Structure du front nord du Massif de l'Arize

Si l'on se recentre sur le district à cuivre argentifère du front nord du Massif de l'Arize, les terrains visibles à l'affleurement, hormis les dépôts quaternaires, ont des âges compris entre le Cambro-Ordovicien et la fin du Trias (Barrouquère *et al.* 1976 ; Bilotte *et al.* 1988, carte et notice p. 6). Globalement, les terrains sont de plus en plus récents en allant vers le nord : la majeure partie du massif est composée de terrains primaires, le socle, et la couverture secondaire n'est visible que sur son front nord (Fig. 24). Dans le détail, les plissements hercyniens puis pyrénéens ont un peu perturbé cette succession.

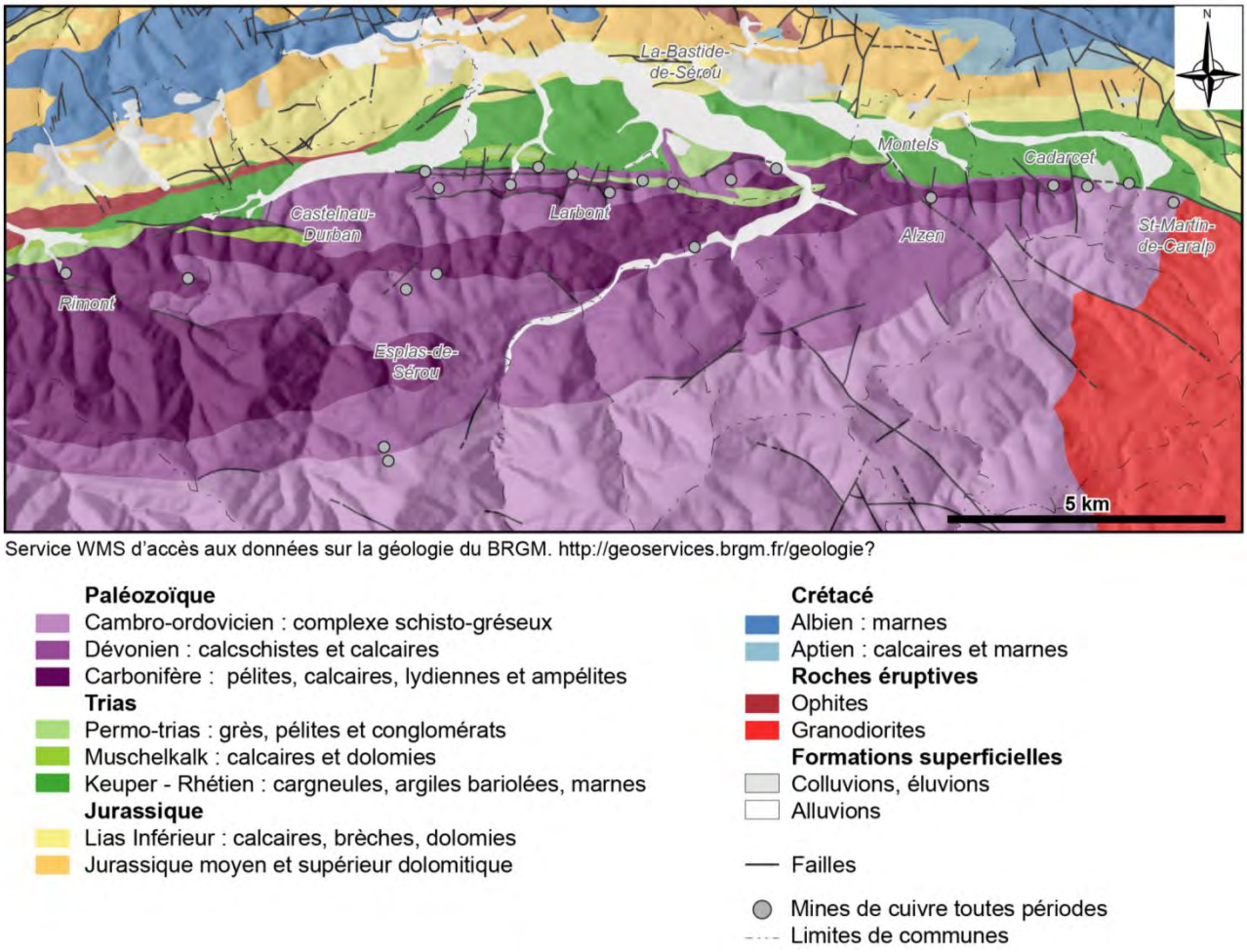


Fig. 24: Carte géologique simplifiée du front nord du Massif de l'Arize.

Tout d'abord, les mouvements hercyniens, lors de quatre phases de déformations principales, ont affecté les terrains primaires d'une série de plis anticlinaux* et synclinaux* globalement parallèles et de direction est-ouest. Ils s'accompagnent de fractures et d'une augmentation du degré de métamorphisme (Boisson 1975, p. 143 ; Fournier-Angot 1983, p. 135-140 ; Bilotte *et al.* 1988, p. 47-51). Les synclinaux ont un cœur Carbonifère schisteux (plus récent) alors que les anticlinaux ont un cœur Dévonien calcaire (plus ancien). Cette succession Dévonien-Carbonifère se répète deux fois entre la bordure sud du Massif et son front nord. La nature de ces roches laisse à penser que des chaînons calcaires barraient alors le relief, avec des plaines schisteuses intercalées (Fig. 25). Il faut signaler ici que les calcaires

du Dévonien sont ponctuellement dolomitisés, adoptant généralement une teinte rousse. Ce phénomène est observable principalement à proximité de failles et lié à la présence de minéralisations barytiques (Fournier-Angot 1983, p. 138 ; Bilotte *et al.* 1988, p. 19).

Les terrains considérés comme appartenant à la couverture mésozoïque du Massif sont le Permo-Trias, le Muschelkalk et le Keuper. Les terrains jurassiques que l'on rencontre en poursuivant vers le nord ne font plus partie du Massif de l'Arize. Ces séries n'affleurent pas aussi fréquemment les unes que les autres. Le Permo-Trias forme une bande de 400 m de largeur maximale qui se pince et disparaît entre Castelnau-Durban et Larbont. Elle est formée par une alternance de conglomérats, grès et argilites à dominante rouge qui prend place sur le Carbonifère. Cela correspond à l'érosion des reliefs calcaires dévoniens qui s'installe sur les terrains carbonifères (Fournier-Angot 1983, p. 97-102).

Le Muschelkalk est caractérisé par des terrains calcaires dolomitisés qui forment une fine bande discontinue intercalée entre le Permo-Trias et le Keuper. On observe parfois à sa base une brèche carbonatée. Par endroits, le Muschelkalk recouvre directement les calcaires dévoniens. Cela complique parfois son identification. La composition de la dolomie reflète un milieu lagunaire avec des périodes d'assèchement. Ces terrains sont fréquemment affectés par des failles nord-sud, ce qui aura un impact sur les minéralisations (Fournier-Angot 1983, p. 103-109).

Enfin, les argiles bariolées du Keuper forment les terrains les plus récents de ce massif (à l'exception des alluvions quaternaires). Ces terrains occupent une bande assez large à l'est de Rimont et se pincent voire disparaissent vers l'ouest. Les mouvements pyrénéens ont donc moins affecté ce dernier niveau, plus souple du fait de sa composition. La dolomie du Muschelkalk, le Permo-Trias ainsi que la partie supérieure des terrains dévoniens ont quant à eux été plus touchés : fracturations, plissements et chevauchements expliquent leur disposition actuelle. Les failles observées aujourd'hui correspondent aussi à la réactivation d'accidents hercyniens (Fournier-Angot 1983, p. 135 ; Bilotte *et al.* 1988).

Pour terminer, signalons quelques manifestations volcaniques au cours du Mésozoïque (Fournier-Angot 1983, pp. 121 et 124). Les plus anciennes ont eu lieu au Trias inférieur, et sont visibles près du site de Lagarde, par un affleurement basaltique ponctuel dans les conglomérats du Permo-Trias, au contact du Muschelkalk. Les plus récentes affectent les argiles du Keuper sur les bordures nord et nord-ouest du Massif, entre Lacourt, St-Girons et La-Bastide-de-Sérou. Elles sont matérialisées par une traînée d'ophites* qui forment des petites buttes sur environ 30 km et marquent la limite du Massif.

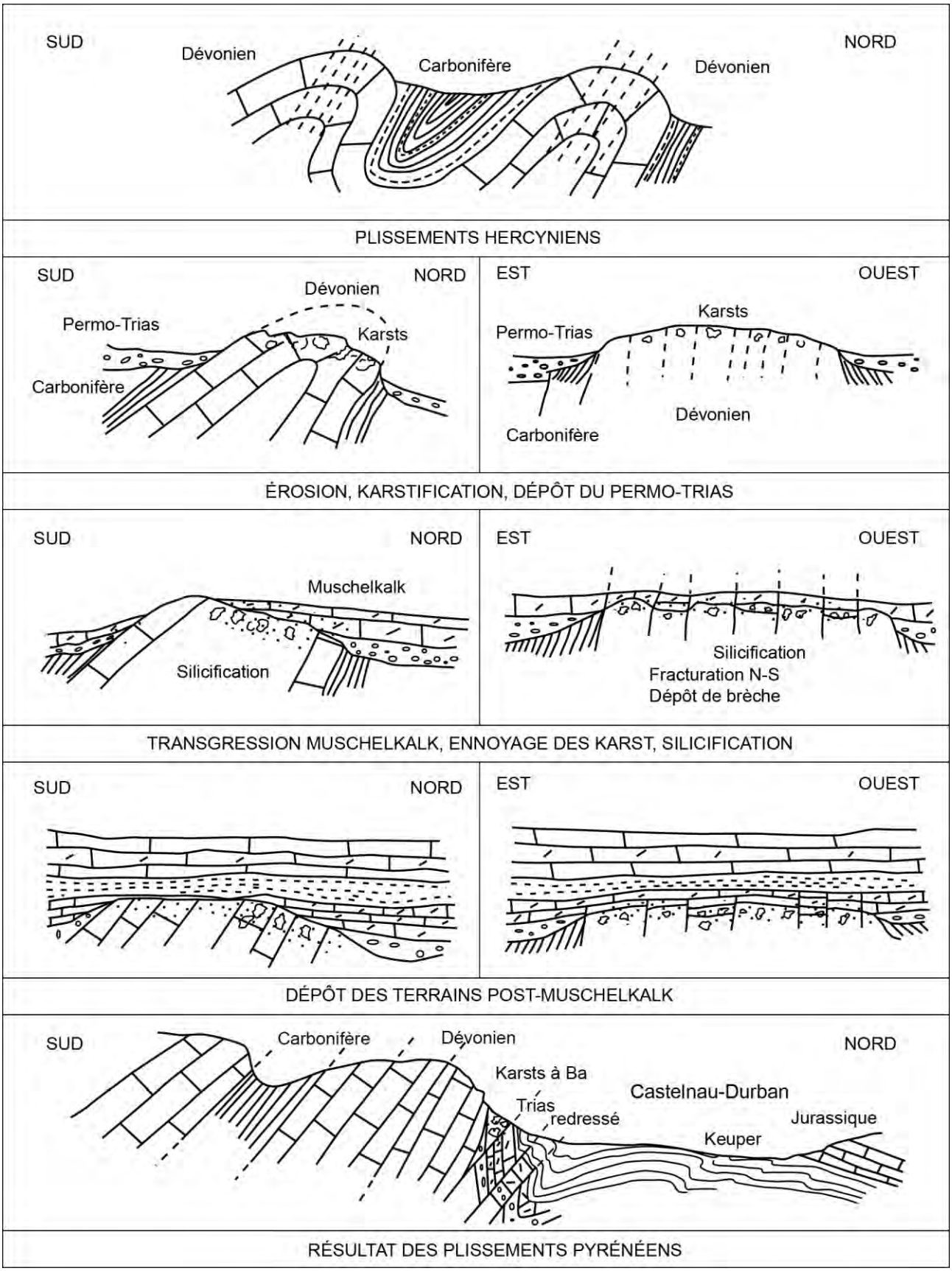


Fig. 25 : Reconstitution paléogéographique du Massif de l'Arize (Fournier-Angot, 1983, p. 139)

I. B. Les minéralisations du front nord du Massif de l'Arize

I. B. 1. Le polymétallisme à l'échelle du secteur

Les minéralisations métalliques présentes dans le Massif de l'Arize sont de différentes sortes. Une première catégorie correspond à des gîtes de fracture dans les terrains primaires du Silurien ou de l'Ordovicien, à sphalérite dominante. Cette dernière est accompagnée de galène et localement de chalcopyrite. Plusieurs exploitations récentes se sont développées sur ces gisements entre le dernier tiers du XIX^{e} siècle et la première moitié du XX^{e} siècle (Anonyme 1903 ; Ulrich 1908 ; Bertraneu 1958 ; Bertraneu & Passaqui 1959 ; Clouet 1964 ; Barrouquère *et al.* 1976 ; Bilotte *et al.* 1988, p. 67).

Le fer est également présent juste à l'ouest de notre zone d'étude en amas stratiforme entre les schistes siluriens et les calcaires dévoniens, sur la commune de Rivèrenert. Associé au manganèse, on le retrouve dans des dépôts du Permo-Trias sous forme de petites concentrations d'hématite, exploitées au cours du XX^{e} siècle comme colorant, près du gisement de cuivre de Lagarde par exemple (Barrouquère *et al.* 1976, p. 34).

Les gisements de barytine-cuivre, pour leur part, forment un ensemble spécifique au front nord du Massif de l'Arize. Ils sont situés au contact entre les terrains primaires et secondaires, encaissés dans la dolomie du Muschelkalk et/ou dans la dolomie ou les calcaires gris du Dévonien moyen ou inférieur et ont fait l'objet d'exploitations anciennes. Ils sont localisés sur une bande étroite de 20 km de long sur le front accidentel Nord du Massif de l'Arize, entre les communes de Rimont à l'ouest et Cadarcet à l'est. Il s'agit principalement de minéralisations filoniennes sur fractures minéralisées. Certains sites étaient interprétés comme des remplissages karstiques (Fournier-Angot 1983), mais des observations récentes sur le terrain ont montré qu'il s'agissait de gisements de type *Mississipi Valley*[52]. Ces gisements forment un ensemble cohérent du fait de leur localisation stratigraphique liée au contact socle-couverture et des éléments que l'on retrouve dans ces minéralisations, en particulier la barytine et les cuivres gris. Cette association de barytine et cuivre gris se retrouve dans le gisement de La Calotte, filonien, qui a donc été associé à cette catégorie, même si l'encaissant diffère : on se trouve ici dans les schistes et les quartzites du Carbonifère[53].

Le repérage de ces gîtes a été facilité par la nature de la roche encaissante et par la morphologie des minéralisations. En effet, on remarque que tous les travaux anciens que nous connaissons ont démarré depuis un affleurement. Les prospecteurs ont donc profité de la couleur blanche opaque de la barytine qui tranche sur l'encaissant, qu'il s'agisse de la

[52] Observations réalisées par M. Lopez (professeur Université de Montpellier) et E. Chanvry (post-doctorante), géologues. Voir le détail plus bas dans ce chapitre au point III. C. 3, p. 234.

[53] On suit en cela l'option retenue dans la notice de la carte géologique au 1/50 000 de St Girons. B. Fournier-Angot, dans sa thèse sur les minéralisations de la couverture secondaire des Pyrénées, ne tranche pas la question mais indique que ce gisement n'a pas forcément de relation avec la transgression triasique (Fournier-Angot, 1983, 159).

dolomie ou des calcaires gris. De même, l'oxydation de surface forme des carbonates de cuivre (azurite et malachite) bien visibles en petites taches bleues ou vertes, lorsque des sulfures de cuivre (cuivres gris ou chalcopyrite) sont exposés. La présence de sulfures non altérés (cuivres gris mais aussi galène) est aussi visible par leur couleur grise dans la masse blanche de la barytine (Fig. 26).

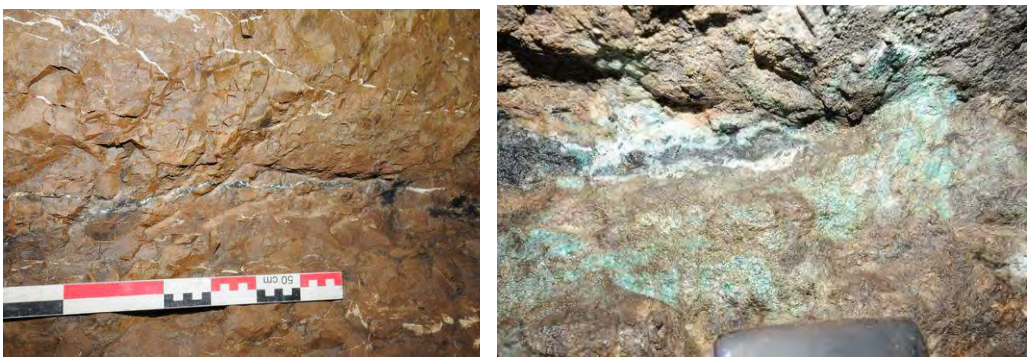


Fig. 26: Sulfures dans la barytine. Gauche : Le Goutil. Droite : Rougé (clichés C. Tămaş).

Les modifications subies par l'encaissant au contact des minéralisations sont d'autres indices que les prospecteurs ont pu suivre. Tout d'abord, la dolomie prend une couleur rousse à proximité des gisements. Ailleurs, elle est plutôt grise. Cette couleur rousse est due à deux phénomènes associés, la dédolomitisation et la ferrification. Sans rentrer dans les détails, la dédolomitisation consiste en un remplacement d'une partie de la dolomite par de la calcite. La ferrification correspond à un développement des oxydes de fer qui envahissent la roche encaissante, s'insinuant entre les cristaux qui la constituent. C'est ce qui donne cette couleur rousse. Les sulfures présents dans la minéralisation, et altérés en surface par l'action météorique, participent à cette réaction (Boisson 1975, pp. 160-165). Une autre transformation de la dolomie au contact des minéralisations peut être la silicification, rendant la roche encaissante plus dure. La gangue des filons contient dans ces cas là une part de quartz. La roche encaissante est affectée à différents degrés, allant de la présence rare de cristaux de quartz qui envahissent peu à peu la roche (prenant parfois la place des carbonates) à la formation de quartzites marbrés à uniformes selon l'avancement du processus, puis, dans son étape ultime, elle rend la dolomie sableuse, la roche se détachant sous le doigt (Boisson 1975, pp. 155-157). Ces aspects différents de la roche ont tout à fait pu être remarqués par les prospecteurs dès les périodes les plus anciennes.

Enfin, des substances non métalliques ont aussi donné lieu à des exploitations minières dans ce secteur. Il s'agit des gîtes sédimentaires des terrains primaires porteurs de phosphate ou de manganèse. Le phosphate se présente en nodules dans des couches du début du Carbonifère. Ils ont été exploités dans la vallée de l'Artillac notamment. Le manganèse se trouve quant à lui dans les calcaires du Dévonien supérieur. Une exploitation importante a eu lieu à Las Cabesses (Rivèrenert) entre 1890 et 1902 et des exploitations d'ampleur plus réduites sont connues sur la commune d'Esplas-de-Sérou (Barrouquère *et al.* 1976, p. 34).

I. B. 2. Le polymétallisme des minéralisations exploitées par les Anciens : Ba, Cu, Pb, Ag (Sb, As, Fe, Ni)

Les minéralisations exploitées par les Anciens sont dominées par l'association de la barytine et du cuivre. Ce ne sont pas pour autant les seules substances présentes. La paragenèse* de ces gisements inclut : barytine, quartz, cuivres gris (tétraédrite ou tennantite), galène et chalcopyrite. De façon plus irrégulière, on rencontre également de la sphalérite et d'autres minéraux contenant du nickel. Ces gisements ont fait l'objet d'une attention renouvelée entre la fin du XIX^{e} et le début du XX^{e} siècle pour leur teneur en argent, associé aux cuivres gris. Le gisement de Lina, le seul à avoir connu une véritable exploitation récente, a ainsi fourni 23 t d'argent pour 420 t de cuivre entre 1899 et 1905 (Bilotte *et al.* 1988, p. 68).

La composition des minéralisations détermine les substances que les métallurgistes pouvaient obtenir et leur complexité joue sur les traitements à mettre en œuvre pour produire un métal donné, comme cela a été expliqué plus haut (au chapitre précédent, point I.A.1.c, p. 22). Il est donc important de bien connaître la composition des minerais extraits pour pouvoir à terme caractériser la production d'un district. Les moyens à notre disposition dans le cadre de cette thèse n'ont pas permis de réaliser une étude minéralogique complète. Un échantillonnage ponctuel a été réalisé dans certains travaux anciens par C. Tămaş[54] en 2014. Le soin avec lequel les anciens mineurs ont gratté les minéralisations jusqu'au stérile ne laisse que de rares possibilités de prélever du minerai en place. De plus, même dans les parties souterraines des mines, les petites veines encore en place ont souvent été altérées par le ruissellement des eaux souterraines et oxydées, ce qu'il faut prendre en compte au moment de l'analyse des échantillons. Lorsqu'il n'a pas été possible d'obtenir d'échantillons dans les vieux travaux, le choix s'est porté sur les travaux modernes les plus proches du secteur ancien de la même mine, ou sur les haldes pour les chantiers comblés (Tab. 2).

Quatre échantillons ont été soumis à une analyse élémentaire quantitative globale (Tab. 3). Ces analyses permettent de connaître les éléments chimiques en présence et leur proportion, mais ne donnent pas d'information sur les minéraux eux-mêmes. En d'autres termes, on sait que l'on a du cuivre, mais on ne sait pas s'il vient sous forme de tétraédrite, chalcopyrite, covellite, ou autre. Cela ne permettait pas non plus l'identification des minéraux porteurs d'argent, le cuivre gris et la galène étant des candidats potentiels. Sept autres échantillons ont donc fait l'objet, après sciage, d'une identification préliminaire au microscope métallographique, puis d'une quantification à la microsonde des éléments constitutifs des différentes phases repérées (Tab. 4). Cette deuxième série d'analyses a été réalisée par M. Munoz[55] en 2016. L'objectif était également de préciser les teneurs en argent.

[54] Géologue, Maître de Conférences Université Babes Boliay, Cluj-Napoca, Roumanie. Membre associé à TRACES.

[55] Géologue, Chercheure CNRS, Laboratoire GET, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Nom du site	Nº échantillon	Contexte prélèvement	Type d'analyse
Rougé	4472	Travaux anciens.	Microsonde
Rougé	4480	Travaux anciens	Microsonde
Rougé	4481	Travaux anciens	Analyse élémentaire
Le Goutil Ouest	4486	Travaux anciens	Microsonde
Le Goutil Ouest	4488	Travaux anciens	Microsonde
Le Goutil Ouest	4487	Travaux anciens	Analyse élémentaire
Lagarde	4506	Haldes	Microsonde
La Coustalade	4503	Travaux récents	Microsonde
La Coustalade	4504	Travaux récents	Analyse élémentaire
Les Atiels	4497	Travaux récents	Microsonde
Les Atiels	4498	Travaux récents	Analyse élémentaire

Tab. 2: Provenance des échantillons de minerai et type d'analyses.

Substance	Ag	As	Ba	Ca	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	S	Sb	Zn
Unité	ppm	ppm	ppm	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
Rougé	1080	5920	110	8,61	3,93	1,69	29,7	206	>10000	2,31	>10000	6200
Goutil Ouest	446	82,8	1850	3,89	0,344	0,92	29,9	6,5	166	0,11	1510	317
Atiels	805	2080	50	0,85	2,55	0,67	272	758	207	2,48	>10000	5200
Coustalade	>1500	2700	60	0,87	4,79	0,78	635	18,5	5290	2,14	>10000	4930

Tab. 3 : Analyses élémentaires des minerais. Teneurs des éléments principaux.

Site	Minerai	Formule structurale	Teneur en Ag
Les Atiels	Tétraédrite	$(Cu_{9,35}\ Zn_{1,71}\ Ag_{0,23}\ Fe_{0,12}\ Hg_{0,04})$ $(Sb_{3,38}\ As_{0,68})\ S_{13}$	Entre 1,17 et 2,13%
	Pyrite	$(Fe_{0,86}\ Ni_{0,11})_{0,97}\ S_2$	/
	Galène		< LD
Goutil Ouest	Tétraédrite	$(Cu_{9,82}\ Zn_{1,61}\ Ag_{0,26}\ Fe_{0,23}\ Hg_{0,03})$ $(Sb_{3,80}\ As_{0,32})\ S_{13}$	Entre 1,10 et 3,81%
La Coustalade	Tétraédrite	$(Cu_{8,88}\ Zn_{1,07}\ Ag_{0,51}\ Fe_{0,04}\ Hg_{0,59})$ $(Sb_{3,56}\ As_{0,57}\ Bi_{0,03})\ S_{13}$	Entre 2,93 et 3,39%
	Galène	Pb S	<LD ou entre 0,08 et 0,7%
Lagarde	Tétraédrite	$(Cu_{9,32}\ Zn_{0,86}\ Ag_{0,28}\ Fe_{0,93}\ Hg_{0,05})$ $(Sb_{3,49}\ As_{0,56})\ S_{13}$	Entre 1,32 et 2,25%
	Chalcopyrite	Cu Fe S_2	/
Rougé	Tétraédrite	$(Cu_{9,24}\ Zn_{1,72}\ Ag_{0,33}\ Fe_{0,14}\ Hg_{0,01})$ $(Sb_{3,83}\ As_{0,23})\ S_{13}$	Entre 0,39 et 2,16%
	Gersdorfitte - Ullmannite	$Ni_{0,94}\ As_{0,62}\ Sb_{0,36}\ S$	/
	Chalcopyrite	Cu Fe S_2	/
	Galène	Pb S	<LD sauf un point à 0,07%

Tab. 4 : Synthèse des analyses de minerai à la microsonde (M. Munoz). LD : Limite de détection à 0,06%.

Les analyses à la microsonde montrent que les cuivres gris sont représentés par le pôle tétraédrite de la série, qui est porteuse d'argent dans tous les cas mesurés, entre 0,39 et 3,81%. La galène n'est pas argentifère sauf exception. La présence de nickel dans la pyrite des Atiels et sous forme de gersdorfitte-ullmannite à Rougé est à noter. Ces résultats montrent aussi la présence récurrente de galène. En proportion minoritaire dans les

échantillons observés, elle est toutefois signalée comme étant dominante dans certaines mines, selon les archives, à Lagarde notamment (Bertraneu & Bois 1959, p. 2). Cet élément est à prendre en compte si l'on s'intéresse aux possibilités d'exploiter l'argent contenu dans la tétraédrite. L'utilisation de plomb est en effet indispensable pour isoler ce métal précieux (CHAPITRE 1.I. A. 2.a, p. 26).

I. C. Une géographie de piémont

Situé au centre du département actuel de l'Ariège, le Massif de l'Arize se situe entre la haute montagne et la plaine dans un axe sud-nord, et entre les vallées du Salat (Couserans) et de l'Ariège (Pays de Foix) suivant un axe ouest-est. Il se distingue des principaux ensembles constitutifs de cette partie des Pyrénées tout en étant en lien avec chacun d'eux par sa position intermédiaire.

Petit massif primaire détaché de la Zone Axiale, le Massif de l'Arize se caractérise par un relief plutôt doux et relativement peu élevé : son point culminant, le Rocher de Batail, atteint 1715 m (Fig. 27). On est loin des sommets qui avoisinent les 3000 m au sud du département (Montcalm à 3078 m, Mont Rouch à 2858 m, pic de Certescans à 2840 m et Mont Valier à 2838 m). Ce massif a été très peu englacé par rapport à la vallée de l'Ariège voisine (Simonnet *et al.* 2008, p. 196). Les vallées qui en descendent sont donc plutôt étroites et encaissées.

La dépression qui le sépare du Plantaurel vers le nord, drainée par l'Arize, constitue une zone de communication vers l'est et l'ouest qui le rend facilement accessible par le nord. Cette ouverture a d'autant plus d'importance dans le cas de l'exploitation des mines de cuivre argentifère de ce district que ces dernières sont situées sur le front nord du massif (Fig. 27). Vers l'est, la vallée de l'Ariège donne accès à l'intérieur de la chaîne pyrénéenne et au col de Puymorens (1915 m), ouvrant sur la péninsule Ibérique. En descendant cette vallée, on arrive jusqu'au Toulousain, mais on peut aussi rejoindre facilement la vallée de l'Aude par Mirepoix et Limoux. Vers l'ouest, la vallée du Salat permet également de pénétrer vers la haute chaîne, mais elle donne surtout accès à la vallée de la Garonne et donc également au Toulousain et au Comminges. La vallée de la Lèze, qui conduit elle aussi vers Toulouse, est accessible à travers le Plantaurel. On se situe donc dans un district minier disposant de bonnes communications avec sa région.

En termes de climat, le Massif de l'Arize fait partie du front montagnard humide des Pyrénées centrales, c'est un « front de condensation » des flux océaniques. Le Couserans, autour de la vallée du Salat, à l'ouest, est dominé par de fortes influences océaniques accentuées par la proximité de la haute montagne (Sablayrolles 1996, pp. 36-37). Les paysages très verts et boisés témoignent d'une pluviométrie importante, entre 1000 et 1100 mm à St-Girons et dans les collines des pré-Pyrénées et jusqu'à 1600 mm à Aulus, dans la vallée du Garbet, ainsi que sur les hauts versants du massif (Le Bosc).

Par contre, la pluviométrie dans la vallée de l'Ariège est inférieure en raison du phénomène d'abri provoqué par le massif : entre 900 et 1000 mm à Foix, 770 mm à Tarascon qui bénéficie d'un assèchement spectaculaire. Pour comparaison, la moyenne est de 640 mm à Toulouse (Simonnet *et al.* 2008, pp. 203-209).

Lorsque l'on s'éloigne un peu vers le nord et qu'on sort des chaînons pré-pyrénéens, le climat s'assèche et la pluviométrie baisse aux alentours de 700 mm. La basse vallée de

l'Ariège subit également plus fortement le balayage du vent d'Autan, qui souffle depuis la Méditerranée. La sécheresse en est renforcée l'été.

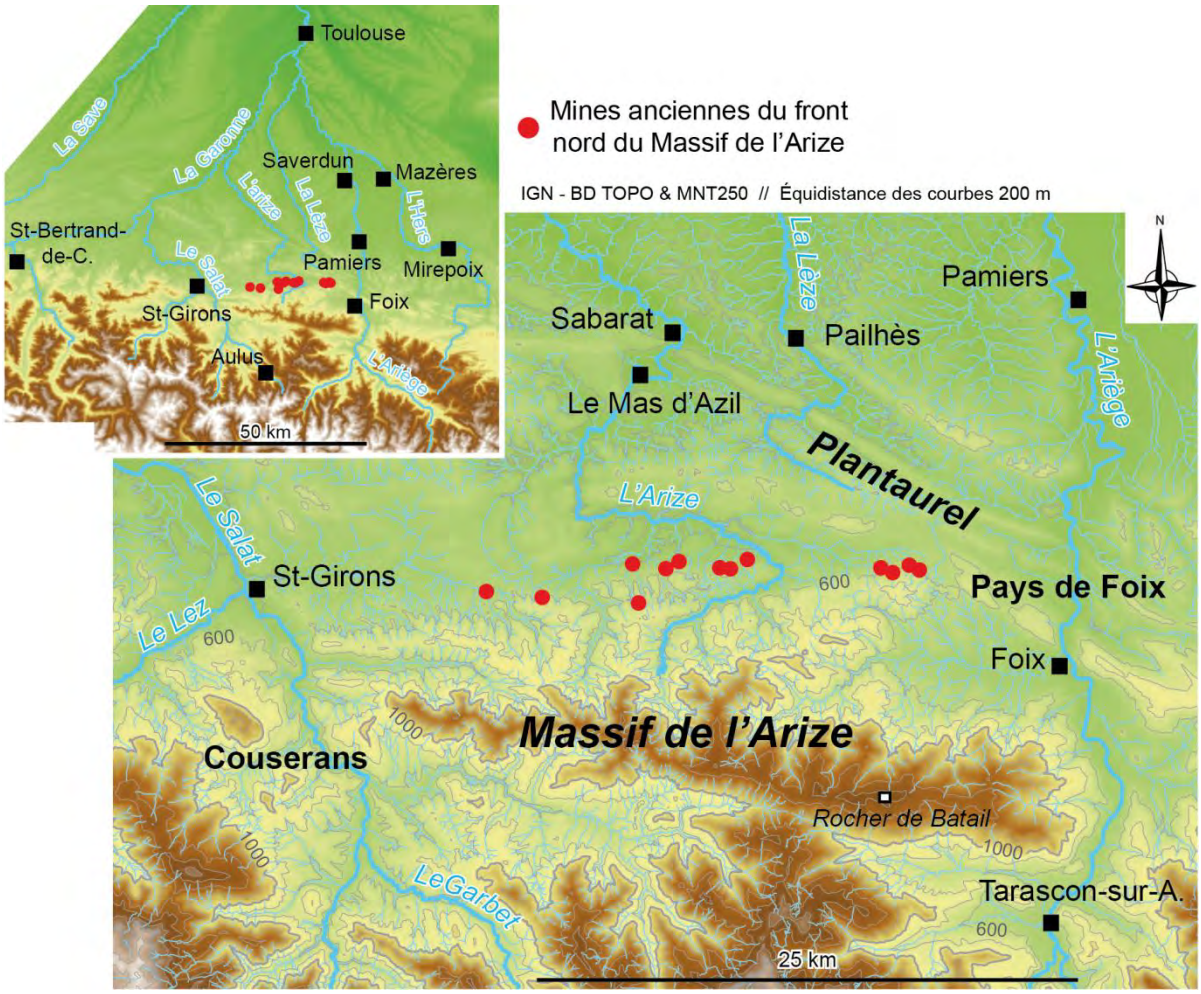


Fig. 27 : Carte physique du Massif de l'Arize et de ses environs.

Dans le massif, les variations locales du climat sont toutefois nombreuses en fonction de l'orientation des vallées ou des effets d'ombre ou d'abri créés par le relief. D'autre part, si la partie centrale du Massif de l'Arize, au-dessus de 1000 m, peut facilement être enneigée en hiver, le front nord, où se trouvent les mines anciennes, est plutôt épargné par cette contrainte : les gisements miniers ont une altitude moyenne de 500 m. Ce secteur ne subit donc pas la rudesse du climat montagnard et l'accès aux exploitations était possible plutôt facilement tout au long de l'année.

Le Massif de l'Arize est bien irrigué par un chevelu dense de cours d'eaux (Fig. 27). Le versant nord du massif en particulier est assez morcelé entre plusieurs vallées orientées principalement nord-sud. Toutefois, certains d'entre eux connaissent un étiage assez sévère, voire s'interrompent en période sèche. L'Arize ne possède pas un débit moyen très élevé. Au Mas d'Azil, il n'atteint que 4,6 m^3/s en moyenne. Pour comparaison, le Salat à sa confluence avec la Garonne atteint 43 m^3/s, l'Hers à Mazères est à 18 m^3/s et l'Ariège, cours d'eau le plus important, est à 37 m^3/s à Tarascon et 50 m^3/s à Saverdun (Simonnet *et al.* 2008, pp. 214-219). L'Arize est par contre plus active que la Lèze, dont le débit moyen est de

2 m^3/s et qui subissait un étiage drastique jusqu'à la construction d'un barrage près de sa source dans le Plantaurel. Ces faibles débits moyens s'accompagnent de crues printanières et hivernales régulières, parfois dévastatrices avec des débits dépassant les 150 à 200 m^3/s (SMIGRA[56]). Ces cours d'eau ont percé plusieurs cluses à travers les différents chaînons traversés. C'est le cas de l'Arize à Sabarat, de la Lèze à Pailhès ou encore de l'Ariège à Foix, la plus imposante de toutes. Elles facilitent aussi la circulation des hommes entre les zones basses et la montagne. D'autre part, le débit printanier de l'Arize permettait le flottage du bois.

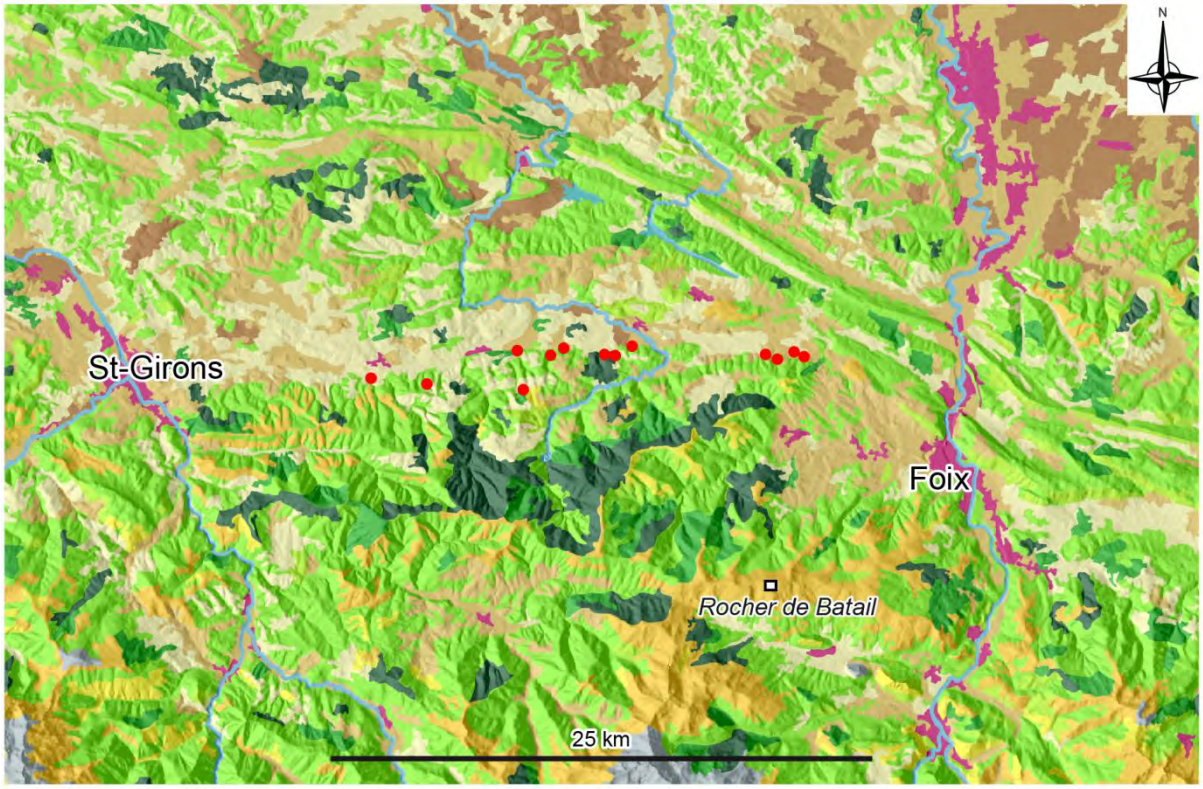
Le massif de l'Arize est une grande zone forestière, où le bois fut toujours intensément exploité et où la végétation est à l'heure actuelle très largement dominée par les feuillus et en particulier le hêtre, situation commune à la plupart des forêts du Couserans et du Val d'Ariège. Les résineux sont abondants sur les versants exposés au nord, généralement issus de plantations (Douglas, épicéas pour l'essentiel), de regarnissages en sapin, mais également d'une régénération spontanée des sapinières anciennes (Fig. 28). Dans les bas versants et surtout sur le piémont, on trouve des boisements de chênes (chêne sessile, chêne pédonculé) entremêlés de châtaigniers et de hêtres (Simonnet *et al.* 2008, p. 229). Cependant, les études historiques et paléo-écologiques ont montré qu'en Ariège le sapin était une espèce très abondante depuis les collines pré-pyrénéennes, à des altitudes aussi basses que 400-500 m (Cunill *et al.* 2015, pp. 44-46 ; Métailié *et al.* 2016, pp. 348-349) jusque vers 1900 m. Les sapinières des massifs du front montagnard ont été intensément exploitées jusqu'au XVII^{e} siècle, tant pour le charbonnage que pour le bois d'œuvre, et on retrouve dans de nombreux secteurs des vestiges de charbonnières médiévales et modernes où les charbons de sapin abondent (Davasse 2000, pp. 207-209).

La forêt atteint généralement les crêtes, qui sont peu élevées, et les landes et pelouses d'estive sont assez rares, sauf dans la zone du Consulat de Foix[57] où l'on trouve de grands vacants issus de déboisements souvent récents, de la fin Moyen Âge ou du XVII^{e} siècle (Davasse 2000, p. 208 et fig. 39).

Les zones agricoles sont actuellement concentrées dans les zones d'altitude inférieure à 500 m. Les terroirs de culture sont aujourd'hui assez rares à l'intérieur du massif à l'intérieur du massif, et limités aux prairies de fauche (Alzen, Montagagne, Esplas-de-Sérou, par ex.). Par contre, la dépression du Séronais et le bassin de la Barguilière offrent encore des paysages agro-pastoraux bien entretenus, avec des bocages et de petits boisements. C'est ce qui est classé par l'IGN et CORINE dans la catégorie des terres hétérogènes (Fig. 28).

[56] SMIGRA : Syndicat Mixte de Gestion de la Rivière Arize. https://smigra.arize-leze.fr/ [consulté le 25/06/2018].

[57] Moitié orientale du massif, dérivé du nom de l'ancienne division administrative du Comté de Foix (Davasse 2000, p. 78).



IGN - BD ALTI & BD TOPO // Union européenne – SOeS, CORINE Land Cover, 2012

Zones artificialisées
Terres agricoles: cultures
Terres agricoles: prairies
Terres agricoles hétérogènes
Forêts de feuillus
Forêts de conifères
Forêts mixtes
Pelouses et pâturages naturels
Landes et broussailles
Forêt et végétation arbustive en mutation
Roches nues ou végétation clairsemée
Plans d'eau
Mines anciennes du front nord du Massif de l'Arize

Fig. 28 : Carte de la végétation du Massif de l'Arize et de ses environs.

Sur le front nord du massif, la progression des zones boisées est bien visible lorsque l'on consulte les photos aériennes anciennes disponibles sur le site de l'IGN par exemple[58]. L'étendue encore importante des zones agricoles des années 1950, qui remontaient facilement sur les pentes jusqu'aux alentours de 700 m, a fortement diminué. Ces secteurs connaissent un reboisement important suite à l'exode rural qu'a connu le département. La dépression de l'Arize n'a pas trop évolué et comporte toujours des champs et prairies, mais les premiers contreforts du massif ont pu voir leur surface boisée doubler, comme le montre la figure 29[59]. On remarque aussi sur place la présence récurrente de buis, qui aime les terrains calcaires, autour des anciens chantiers miniers en particulier. L'environnement est globalement propice au renouvellement forestier, avec des températures plutôt tempérées et une pluviométrie suffisante.

[58] www.geoportail.gouv.fr et remonterletemps.ign.fr [consulté le 09/06/2018].

[59] http://remonterletemps.ign.fr/comparer/basic?x=1.353014&y=42.995864&z=14&layer1=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS&layer2=ORTHOIMAGERY.ORTHOPHOTOS.1950-1965&mode=doubleMap)

Fig. 29 : Progression du couvert végétal entre 2013 (g) et 1953 (d) entre Castelnau-Durban, Esplas-de-Sérou et La-Bastide-de-Sérou (remonterletemps.ign.fr).

II. Les recherches antérieures aux années 2000

Dans ce district, seules les exploitations des minéralisations renfermant du cuivre et de l'argent ont donné à lieu à des travaux aux périodes préindustrielles. Nous ne traiterons donc volontairement pas des mines concernant d'autres substances, telles le plomb et le zinc, ou encore le manganèse et le phosphate, exploitées plus tardivement et référencées dans les travaux des ingénieurs des mines et des géologues. Les travaux sur des gisements polymétalliques dont le cuivre constituait un minerai secondaire seront par contre inclus. L'objectif est ici de faire le point sur les données disponibles au moment du démarrage de notre recherche et sur les questions posées par ces premières caractérisations, qui ont guidé les premières investigations.

II. A. Les mines avant l'archéologie minière

Plusieurs inventaires des richesses minéralogiques de Pyrénées réalisés aux XVII^{e} et XVIII^{e} siècles nous sont parvenus et donnent quelques indications sur les mines en activité ou abandonnées à ces époques. Les descriptions des travaux et les indications de localisation sont assez imprécises, mais cela permet tout de même d'avoir une première idée des sites exploités à ces périodes. L'attribution des vieux travaux d'envergure aux Romains est une interprétation fréquente à ces époques, tout comme une tendance à s'enthousiasmer des richesses disponibles. Jean de Malus, qui a visité et inventorié les mines des Pyrénées en l'an 1600, à la demande de François I^{er}, considère par exemple que les mines d'Aulus sont « au moins aussi riches que le Potosi » et que ce secteur peut être considéré comme les « Indes Françaises », après avoir été celles des Romains (Malus 1601, pp. 78-80). Les mines du district de l'Arize ne sont cependant pas très connues si l'on s'en tient à ces documents (Fig. 30).

Les premières mentions correspondent à une mine de cuivre récemment[60] découverte à Méras, sur la commune actuelle de Nescus (Hellot 1764, p. 42). Une vingtaine d'années plus tard, ce sont deux autres mines qui sont citées par le baron de Dietrich : la première près du hameau des Atiels et la seconde près de la métairie de Sourre. Concernant celle des Atiels[61], il s'agit, selon l'auteur, de travaux abandonnés depuis au moins vingt ans qui auraient été menés, d'après les habitants du village, par des étrangers. Les dires des riverains attribuent ces travaux, « immenses et dont on ne voit pas la fin », aux Romains, qui en tiraient de l'or. Dietrich met en doute cette version. Ces travaux sont majoritairement comblés lors de sa visite, mais un passage étroit lui permet d'en visiter un secteur, « assez vaste », dont il trouve tout de même la fin. La morphologie du réseau visité correspondrait à l'exploitation d'amas. Le chantier se prolongerait suivant un filon à l'extrémité du secteur accessible, mais l'espace ainsi laissé vide, « assez profond », n'a pas été visité. Des traces de bleu et de vert

[60] Les adjectifs anciens et récents se rapportent à la période de rédaction des documents.

[61] Ce hameau de la commune de La-Bastide-de-Sérou existe toujours et deux mines sont situées à proximité : celle du Goutil et celle des Atiels. On peut trancher sans hésiter pour celle des Atiels par la mention du ruisseau *Pésegues*, correspondant au Pézègues actuel.

indiquent la présence de cuivre (Dietrich 1786, pp. 213-214). Pour le site de Sourre[62], il indique l'existence un filon affleurant non exploité, « dirigé sur cinq heures quatre huitièmes », et plusieurs chantiers abandonnés sur d'autres veines « les uns dirigés sur une heure, les autres sur douze heures, & inclinés au couchant » (Dietrich 1786, p. 212). On apprend aussi que les travaux de Méras cités par Hellot sont désormais abandonnés et noyés (Dietrich 1786, p. 213).

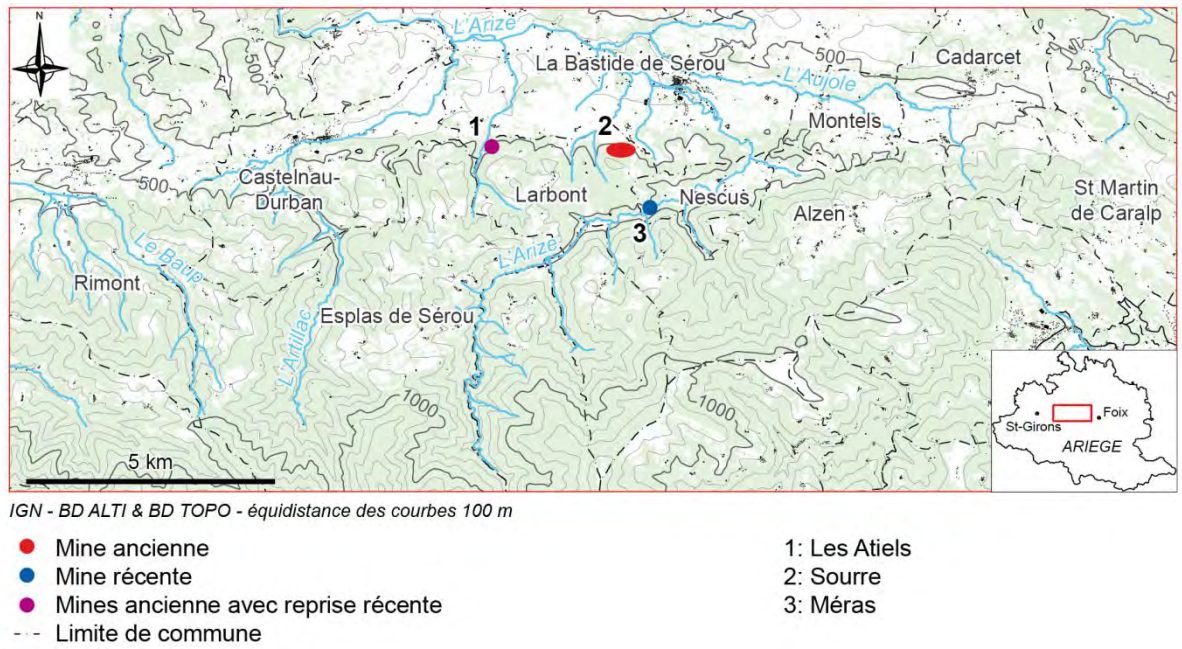


Fig. 30 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XVIII[e] siècle.

Il faut attendre les travaux des premiers géologues au XIX[e] siècle pour avoir des informations un peu plus nombreuses sur les mines de ce secteur. L'ingénieur des mines Mussy, dans son texte explicatif de la carte géologique de l'Ariège, passe en revue les gisements connus et les exploitations, actives ou abandonnées, qui s'y trouvent (Mussy 1870). Ses informations sont reprises par A. Daubrée dans ses publications concernant les mines métalliques de la Gaule (Daubrée 1868, 1881). Un autre ingénieur des mines, M. Mettrier, a publié une description des gîtes minéraux du haut bassin de la Garonne, qui comprend les gîtes ariégeois (Mettrier 1893). L'attribution des anciens travaux aux Romains est une constante, et les descriptions des travaux ne sont pas plus précises.

Le secteur oriental du district est cité pour ses travaux importants sur les sites de Gayet, Moutou, le Coffre et Matet (communes de Cadarcet et St-Martin-de-Caralp actuelles). Les haldes (« des vieux tas de déblais ») sont nombreuses et des « débris de poteries » sont signalés (Mussy 1870, pp. 86-87). Mettrier rapporte des tentatives de reprises en 1873 dans ce secteur, qui n'ont eu que peu d'ampleur (Mettrier 1893, p. 317). En dehors de ce secteur, on connaît la mine de Lagarde (La-Bastide-de-Sérou), dans laquelle des reprises récentes sont signalées, en plus des ouvrages anciens (Mussy 1870, p. 256). Ces travaux de la fin du

[62] Ce site correspond à ceux de La Tuilerie et Hautech, à proximité du hameau actuel de Sourre.

XIX^{e} siècle ont permis de connaître la teneur en métaux précieux de ce gisement, qui aurait atteint pour l'argent 120 g/t et pour l'or 760 g/t (Mettrier 1893, p. 317). Le doute est permis quant à ces valeurs, Mettrier se prémunissant d'un « paraît-il » à leur sujet. Cet auteur est également le seul à évoquer les travaux d'Hautech et ceux de Martinat-Dessus (limite entre Larbont et La-Bastide-de-Sérou), percés entre 1872 et 1877 (Mettrier 1893, p. 317). La pauvreté des gisements est à l'origine de l'arrêt rapide des travaux. La mine des Atiels est la seule qui est considérée comme ayant été « vraiment riche », mais elle est déjà complètement vidée à cette époque (Mussy 1870, pp. 87 et 256 ; Mettrier 1893, p. 317). L'amplitude des travaux est reconnue par ces deux ingénieurs, Mettrier précisant qu'ils atteignent 200 m de hauteur, plusieurs kilomètres de longueur, et que les galeries et dépilages sont étroits. Seules les galeries du haut de la mine sont encore accessibles à cette période. L'ampleur des travaux indiquée ici redonne un peu de crédit à l'opinion des habitants locaux de la fin du XVIII^{e} siècle, rejetée par de Dietrich. Il n'est, par contre, plus fait mention des travaux menés sur ce site au cours du XVIII^{e} siècle. Enfin, des recherches, menées elles aussi entre 1872 et 1877, sur la mine de La Coustalade (Castelnau-Durban) ont recoupé les anciens travaux, caractérisés par une largeur de 0,5 à 0,8 m. Si un filon croiseur de plomb argentifère a été rencontré en dépassant les travaux anciens, le cuivre argentifère était bien la substance exploitée par le petit chantier recoupé. Les analyses réalisées à l'époque donnent des teneurs moyennes de 12% de cuivre et 4,8 kg d'argent à la tonne (Mettrier 1893, p. 318). Un compte-rendu de visite daté de 1890 consulté aux archives du BRGM signale cependant que les analyses ont été réalisées sur des morceaux choisis et ne donnent pas une image fidèle de l'ensemble du gisement (Anonyme 1873, 1890).

Tous ces éléments sont loin de permettre une caractérisation des chantiers indiqués. Les données concernant les reprises ou nouvelles exploitations de ces périodes sont toutefois intéressantes. Les sites de Martinat-Dessus et Méras apparaissent ainsi comme des travaux postérieurs au XVIII^{e} siècle. Ceux des Atiels, de la Coustalade et de Lagarde ont connu des reprises de faible ampleur au XVIII^{e} ou XIX^{e} siècle. Pour les mines à l'est du secteur, des reprises très ponctuelles ont eu lieu au XIX^{e} siècle. La barytine, qui constitue souvent la gangue des minéralisations, a également fait l'objet d'extractions en carrière à la fin du XIX^{e} siècle, à Moutou, aux Atiels et à Lagarde (Mussy 1870, p. 265).

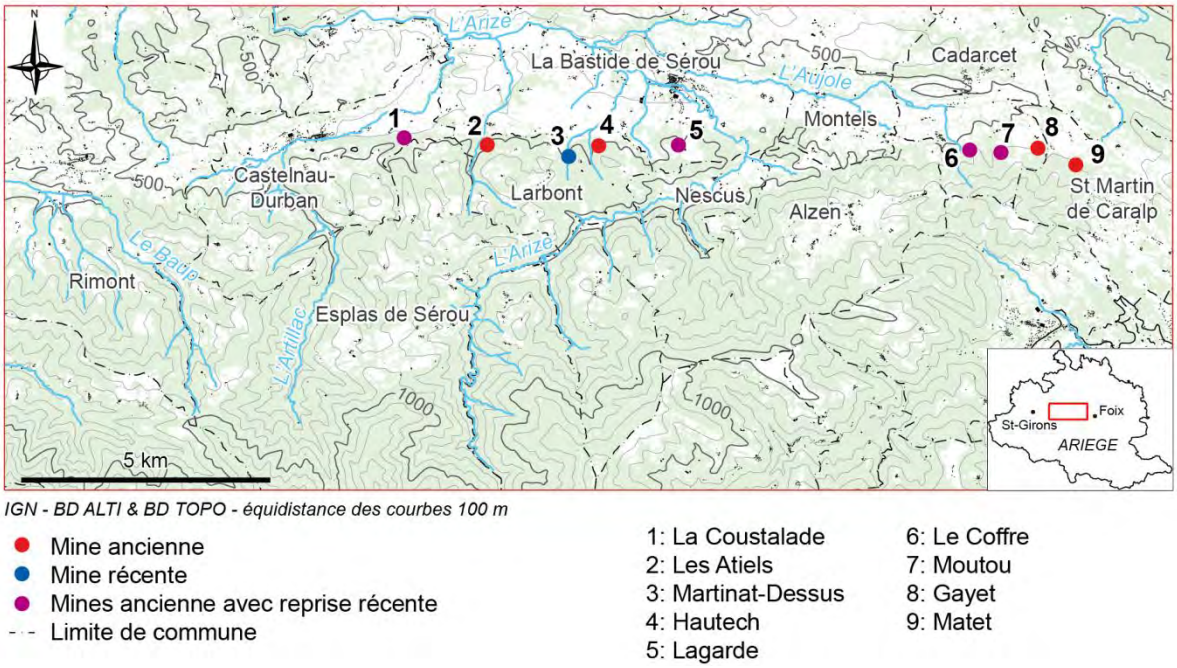


Fig. 31 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XIX^{e} siècle.

Les recherches minières menées durant les toutes dernières années du XIX^{e} siècle se poursuivent et s'étendent au début du XX^{e} siècle. Cette activité souvent de courte durée conduit à recouper les anciens travaux et en condamne certains, à côté d'ouvertures nouvelles. Les notices des cartes géologiques au 50 000^{e} éditées par le BRGM pour cette zone font état rapidement de quelques-uns de ces travaux récents (Barrouquère *et al.* 1976, pp. 32-33 ; Bilotte *et al.* 1988, p. 68). Les archives géologiques et minières permettent de compléter ces données (Anonyme 1903, 1907a ; Ulrich 1908 ; Bertraneu 1958 ; Clouet 1964 ; Robert 1982). De nombreux travaux récents se sont limités à des recherches car les gisements, discontinus et de faible ampleur, ne répondaient que difficilement aux critères de rentabilité des entrepreneurs d'alors (Bertraneu 1958, 6).

Des recherches très ponctuelles sont signalées sur les vieux travaux de Rougé dans les premières années du XX^{e} siècle, en parallèle avec les travaux menés au Fagnou où zinc, plomb et cuivre sont associés (BRGM 1963, 1977). Les travaux anciens de Rougé, toujours attribués aux Romains, sont reconnus sur leurs 40 m de développement vertical, mais ne conservent pas suffisamment de minerai pour mériter une reprise. La concession de Montcoustand, qui regroupe les travaux de la commune de Cadarcet, a exploité une minéralisation dominée par le plomb (avec argent, cuivre et fer) au sud des vieux travaux de Moutou. Les vieux travaux qui ont exploité du cuivre sont signalés mais n'ont fait l'objet que de recherches ponctuelles, sur les mines du Coffre et de Matet (Clouet 1964, pp. 3, 10 et 21).

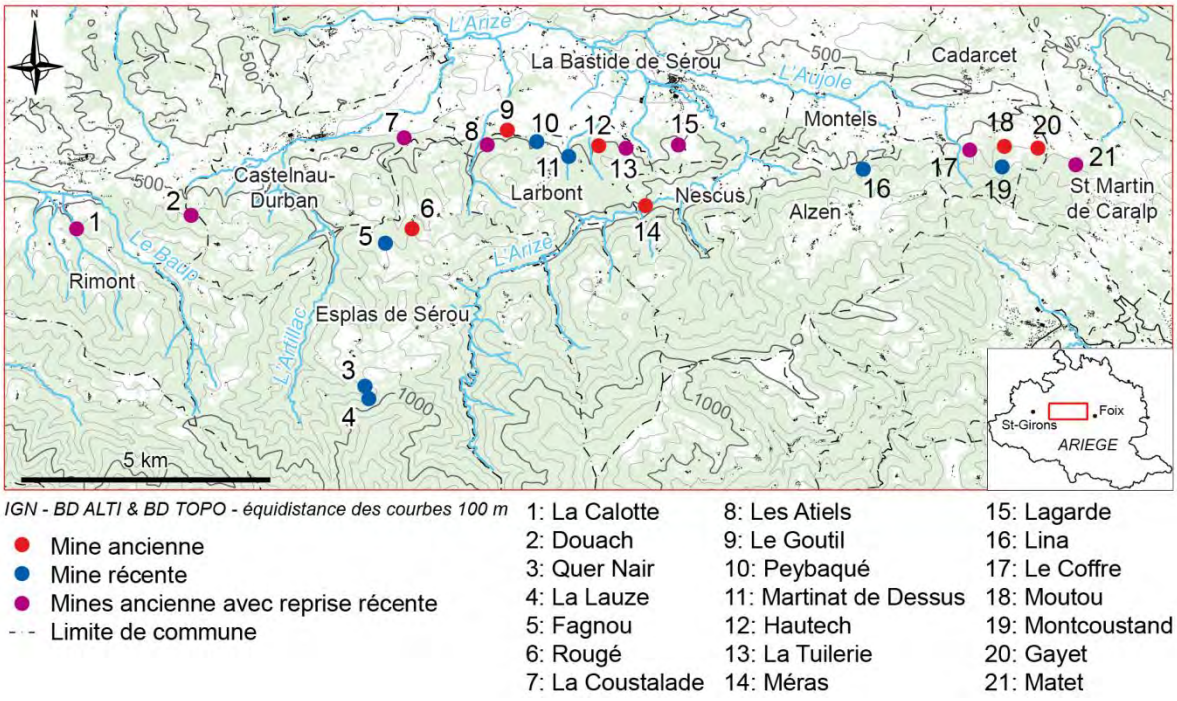


Fig. 32 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XX^{e} siècle par les géologues.

Une mine connue depuis le milieu du XIX^{e} siècle a donné lieu à ce qui est référencé comme la seule véritable exploitation récente, qui dura de 1898 à 1905 : celle de Lina, sur la commune d'Alzen (Bilotte *et al.* 1988, 68 ; Gol 2016, pp. 6-12). La production s'est élevée à 420 t de cuivre et 23 t d'argent, pour 35 000 t de tout-venant. Les minéralisations cuprifères n'affleuraient pas sur ce site et n'ont donc pas été repérées par les Anciens. Elles donnent une idée du potentiel des gisements exploités dans les autres mines, où les travaux anciens n'ont laissé que très peu de minerai en place pour identifier les substances disponibles et leur teneur. Les deux notices des cartes géologiques au 1/50 000 de la zone signalent la relative pauvreté de l'ensemble des gisements et le caractère discontinu de la minéralisation, compensé par la présence d'argent, qui a motivé les reprises d'exploitation ou les ouvertures de nouvelles mines (Barrouquère *et al.* 1976, p. 33 ; Bilotte *et al.* 1988, p. 68).

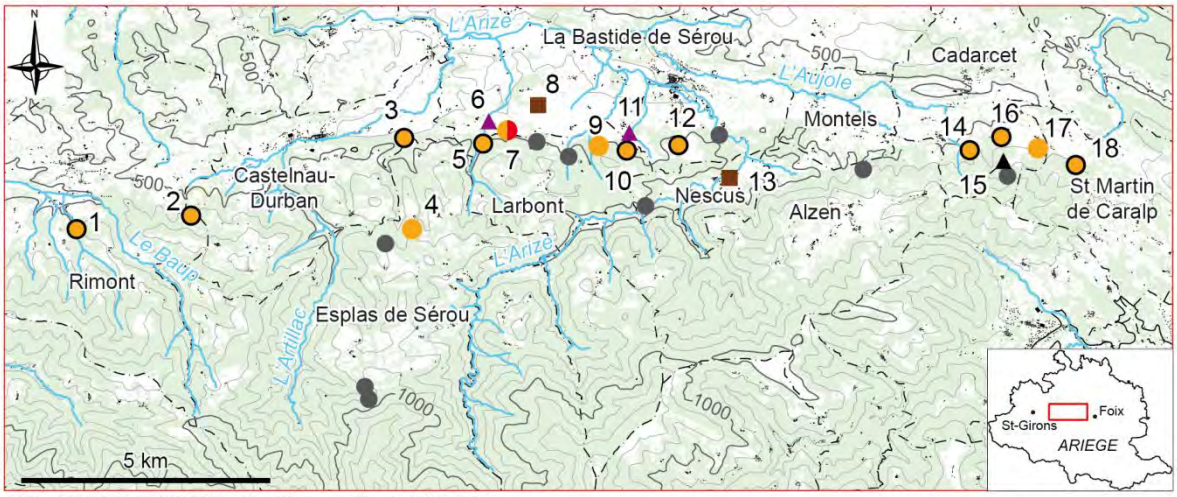
II. B. Les premières caractérisations archéologiques de l'exploitation

Les premières recherches archéologiques dans ce district ont eu lieu au tout début des années 1980, avec les travaux de Jean-Emmanuel Guilbaut et Claude Dubois. Les premiers résultats font l'objet d'un article de synthèse présentant les sites anciens identifiés ainsi que de deux publications spécifiques sur les sites du Goutil et de Rougé (Guilbaut 1981 ; Dubois & Guilbaut 1982, 1989). C. Dubois reprend ensuite les recherches avec un premier projet triennal conduit entre 1988 et 1990, qui associe archéologie et anthracologie et intègre d'autres secteurs miniers anciens de l'Ariège (Dubois 1990). Ce projet trouve une suite dans le PCR intitulé « Mines, métallurgie et forêt dans les Pyrénées Ariégeoises de l'Antiquité au Moyen Âge », codirigé avec Jean-Paul Métailié (Dubois & Métailié 1991, 1992). L'anthracologie y est de nouveau associée à l'archéologie, ainsi que des recherches sur l'histoire des forêts. La zone d'étude inclut, avec différents métaux concernés, les secteurs du Séronais (cuivre argentifère), d'Aulus-les-Bains (plomb argentifère), de Lercoul (fer), de Rivèrenert (fer et plomb argentifère) et d'Aston (fer). Suite à cela, la seule opération correspond à une mission d'inventaire des sites miniers et métallurgiques de la région Midi-Pyrénées, confiée à Philippe Abraham, qui a traité les sites ariégeois en 2005 et 2006. Ce retour sur le terrain plus de dix ans après les dernières opérations a permis de mettre à jour les données concernant l'état des sites, photographies à l'appui. Les archives disponibles, souvent issues du BRGM, ont également été rassemblées. Toutefois, la documentation concernant les mines anciennes du Massif de l'Arize est assez restreinte dans un ensemble qui inclut les nombreuses concessions minières récentes (Abraham 2006, 2009).

Après un travail de dépouillement systématique des archives, les opérations menées sur le terrain entre la fin des années 1970 et les années 1990 ont consisté principalement en des prospections thématiques, qui ont permis la localisation des mines et leur exploration quand les travaux étaient accessibles. Ces explorations ont été accompagnées de relevés en plan, plus rarement en sections, et de descriptions du contexte géologique. Des sondages ont également été réalisés en surface à proximité des travaux de Gayet, Rougé, Hautech, Le Goutil et les Atiels, ainsi que sur deux ateliers métallurgiques (Sourre et Les Atiels) et un site d'habitat (Nescus)[63]. Il n'y a pas eu de fouille dans les réseaux miniers. Plusieurs prélèvements de charbons pour les études anthracologiques ont toutefois été réalisés dans les mines du Goutil et d'Hautech, dans des niveaux résiduels de l'abattage au feu et dans des fosses dépotoirs identifiées lors des sondages en surface au Goutil et à Nescus (Dubois 1996, pp. 39-41). Un des charbons provenant du Goutil a donné lieu à une datation radiocarbone (Dubois 1996, p. 39). La phase d'abattage au feu correspondante s'est avérée médiévale (XIV^{e} ou première moitié du XV^{e} siècle). Enfin, une expérimentation d'ouverture au feu sur filon stérile affleurant a été conduite au Goutil (Dubois 1996, pp. 42-44). A la suite de ces opérations, treize mines, deux ateliers et deux habitats antiques sont recensés, ainsi qu'un atelier non daté (Fig. 33). La mine du Goutil est la seule à révéler une reprise médiévale

[63] Le détail de ces opérations est donné lors de la présentation individuelle des différents sites dans la suite du texte.

avant les travaux signalés dans le secteur au XVIII[e] siècle. Cette mine a également été classée aux Monuments Historiques en 1982.



IGN - BD ALTI & BD TOPO - *équidistance des courbes 100 m*

- Mine antique
- Mine médiévale
- Mine moderne
- Reprise moderne
- Atelier antique
- Atelier non daté
- Habitat antique
- Limite de commune

1: La Calotte
2: Douach
3: La Coustalade
4: Rougé
5: Les Atiels - mine
6: Les Atiels - atelier
7: Le Goutil
8: Bugnas
9: Hautech
10: La Tuilerie
11: Sourre
12: Lagarde
13: Nescus
14: Le Coffre
15: Moutou - atelier
16: Moutou - mine
17: Gayet
18: Matet

Fig. 33 : Bilan des connaissances sur le district à cuivre argentifère de l'Arize en 2006.

La chronologie antique de ces sites a été établie en fonction du mobilier, recueilli majoritairement en prospection et dans les quelques sondages réalisés en surface (Tab. 5). Sur l'ensemble du district, cette phase d'activité est comprise entre la fin du II[e] s. av. n. è. pour les éléments les plus anciens et la période augustéenne d'après le mobilier le plus récent. Le faible nombre de fouilles, et donc d'éléments de datation associés à une stratigraphie, représente le principal problème vis-à-vis de ces résultats. Pour les mines, l'absence de sondage dans les travaux constitue un biais méthodologique qui, s'il était habituel au moment de ces recherches, conduit aujourd'hui nécessairement à s'interroger sur la validité des chronologies de l'exploitation. Les prélèvements anthracologiques, s'ils ont bien été réalisés dans des niveaux résiduels d'abattage au feu, facilement reconnaissables, n'avaient pas pour objectif la datation des travaux. Le seul qui a donné lieu à une analyse ^{14}C, sur la mine du Goutil, provient d'une galerie située au fond du réseau, dont le profil différait du reste des travaux. Cette particularité pouvait faire penser à une phase de reprise d'exploitation, corroborée par la datation médiévale, bien éloignée des amphores italiques.

Type de site	Nom	Critères de datation	Bibliographie
Mine	La Calotte	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Métailié 1991, p. 66)
	Douach	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 114)
	La Coustalade	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Métailié 1991, p. 65)
	Rougé	Mobilier mis au jour en sondage en surface	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 365)
	Les Atiels	Mobilier recueilli en prospection (sondage stérile en surface)	(Dubois & Métailié 1991, pp. 46-48)
	Le Goutil	Mobilier mis au jour en sondage en surface et datation ^{14}C de résidus de l'activité dans le réseau	(Dubois & Métailié 1992, p. 35 ; Dubois *et al.* 1997, p. 205)
	Hautech	Mobilier mis au jour en sondage en surface	(Dubois & Métailié 1991, pp. 39-44 ; Dubois *et al.* 1997, p. 206)
	La Tuilerie	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 111)
	Lagarde	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 104)
	Le Coffre	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Guilbaut 1982, pp. 105-106)
	Moutou	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois *et al.* 1997, p. 206)
	Gayet	Mobilier mis au jour en sondage en surface	(Dubois & Métailié 1991, pp. 59-62)
	Matet	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 112)
Atelier	Les Atiels	Mobilier mis au jour en sondage	(Guilbaut 1981, p. 180 ; Dubois *et al.* 1997, p. 208)
	Sourre	Mobilier mis au jour en sondage	(Dubois *et al.* 1997, p. 207)
	Moutou	Prospection – non daté	(Dubois *et al.* 1997, p. 209)
Habitat	Bugnas	Mobilier recueilli en prospection	(Dubois *et al.* 1997, p. 209)
	Nescus	Mobilier mis au jour en sondage	

Tab. 5 : Critères de datation des sites anciens inventoriés avant les années 2000.

Il faut toutefois rester conscient des difficultés du terrain. Parmi les mines antiques identifiées, six d'entre elles (La Calotte, Douach, Le Coffre, Moutou, Gayet et Matet) ne présentaient plus d'accès possible aux travaux anciens (Fig. 34). Sur ces sites, des tranchées ou fosses comblées et souvent recouvertes de végétation témoignent d'une activité qui pourrait être antérieure au XVII^{e} siècle, période de l'introduction de la poudre pour l'abattage minier, mais ces vestiges ne peuvent pas être datés par eux-mêmes. Le fait de ne pas pouvoir observer les parements des travaux empêche également toute caractérisation technique de ces derniers. Les galeries alors visitables sur les sites de Douach et Le Coffre, peu étendues, ne permettent d'observer que les traces de l'activité moderne (Dubois & Guilbaut 1982, pp. 105 et 114). Parmi les travaux accessibles, il faut aussi signaler que ceux de Lagarde, peu étendus, ne conservent que des lambeaux de parois présentant des traces d'outil (Dubois & Guilbaut 1982, p. 104). Un sondage dans cet environnement n'aurait laissé que peu de possibilités de retrouver des niveaux d'exploitation anciens. À La Tuilerie, la

fraction ancienne se limite à une coupole d'ouverture au feu au niveau de l'entrée de travaux immédiatement comblés de blocs stériles (Dubois & Guilbaut 1982, p. 111). Le travail de déblaiement aurait été là aussi particulièrement fastidieux avant d'atteindre des soles anciennes.

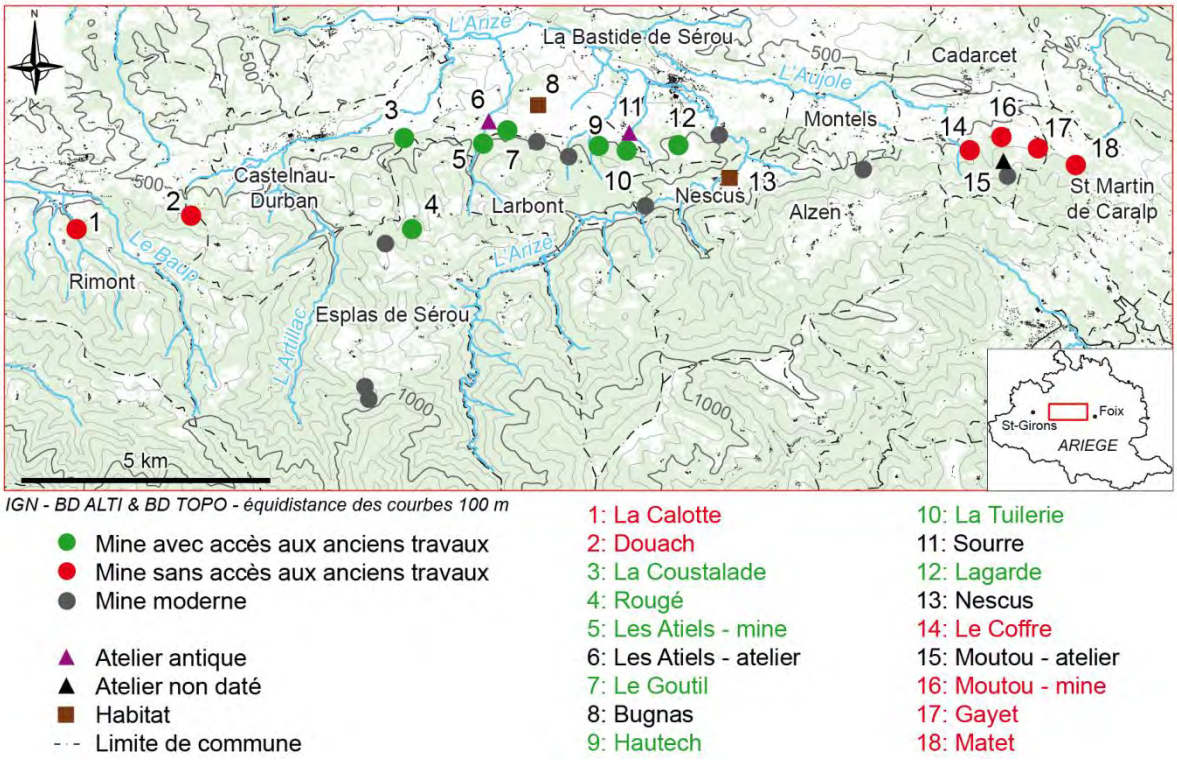


Fig. 34 : Mines du district de l'Arize dont les vieux travaux sont accessibles avant les années 2000.

En ce qui concerne les deux ateliers sondés, ils se trouvaient à l'emplacement des hameaux actuels de Sourre et des Atiels : seules les parcelles des jardins ont donc pu conserver une partie des vestiges (Dubois *et al.* 1997, pp. 207-208). D'autre part, le recouvrement sédimentaire était dans les deux cas assez faible et les niveaux archéologiques, conservés contre le rocher, étaient arasés. Enfin, leur position sur des replats naturels près de ruptures de pente limitait de fait l'extension des sites. Les possibilités d'étendre les recherches pour localiser les fours ou foyers ayant servi aux opérations métallurgiques, non localisés dans les sondages effectués, sont au final très limitées. Quant à l'atelier non daté de Moutou, l'opposition du propriétaire du terrain à toute intervention n'a pas permis de dépasser le stade du ramassage de scories, en prospection discrète et rapide (Dubois *et al.* 1997, p. 210). En termes de chronologie, aussi bien l'atelier des Atiels que celui de Sourre correspondent à la période augustéenne (amphores Pascual 1 et Dressel 20). Il s'agit des éléments parmi les plus tardifs reconnus sur le district pour la période antique. L'atelier des Atiels est un site de réduction du fer (Guilbaut 1981, pp. 179-180 ; Dubois *et al.* 1997, pp. 208-209), alors que ceux de Sourre et de Moutou ont traité des minerais sulfurés non-ferreux. La production de cuivre peut être confirmée à Sourre (Dubois *et al.* 1997, p. 208). Pour les scories de Moutou, l'association de cuivre et de plomb dans le seul échantillon analysé ne permet que de signaler une

métallurgie complexe des non-ferreux (Dubois *et al.* 1997, p. 210). La question du traitement de l'argent est soulevée par les auteurs sans être résolue par ces analyses. Nous y reviendrons plus bas dans ce chapitre, au point III. D, p. 280.

Le potentiel est plus important sur les sites d'habitats. Celui de Nescus a été localisé par une concentration de tessons d'amphores qui couvre près d'un hectare et demi dans des parcelles labourées. Sur les six sondages réalisés, pour une surface cumulée de 25 m^2, deux sont restés stériles. Trois autres ont livré du mobilier hors stratigraphie et un seul a conduit à mettre au jour des structures fossoyées, sans niveau de sol associé (Dubois & Métailié 1992, pp. 72-75). Il est possible que les niveaux mieux structurés se trouvent plus vers l'ouest. Le mobilier identifié (voir au chap. suivant point II. C. 4, p. 407) conduit à dater une phase d'occupation de ce site de la première moitié du I^{er} s. av. n. è., mais la nature de celle-ci n'est pas bien définie (type d'habitat et extension, durée de l'occupation, relation avec les mines contemporaines). Une nécropole à incinération a été signalée au XIX^{e} siècle sur cette commune (Dubois & Métailié 1992, p. 71). Les recherches récentes n'ont pas permis de confirmer sa présence ni d'obtenir de nouveaux éléments concernant ce type de vestiges.

Le site de Bugnas est lui aussi très mal connu. Le mobilier identifié dans les labours au sommet de la colline et signalé par les propriétaires dans quelques jardins correspond au I^{er} s. av. n. è. Une tour partiellement ruinée révèle également une occupation médiévale. Le mobilier hors contexte (amphores Dr 1, Dr 2-4 et Pascual 1) recueilli au niveau de l'emplacement de l'un des poteaux électriques sur le versant sud ne permet pas de préciser les connaissances sur ce site, si ce n'est que l'on peut supposer une prolongation de l'occupation au début du I^{er} s. de n. è. (Dubois *et al.* 1997, p. 209).

Enfin, en ce qui concerne les sondages effectués autour des mines, l'objectif était de repérer d'éventuelles structures annexes, comme peuvent l'être des ateliers de traitement minéralurgiques ou métallurgiques, ou encore des habitats des mineurs. Ces recherches n'ont pas donné les résultats escomptés, mais du mobilier a cependant été identifié dans des niveaux de haldes, que l'on peut donc associer à une phase de fonctionnement des mines à Hautech, Gayet et Le Goutil (Dubois & Métailié 1991, pp. 39-44, 49 et 58-62 ; Dubois & Métailié 1992, pp. 35-39). Quelques scories isolées ont également été recueillies au pied de la mine du Goutil, sans qu'un atelier puisse être localisé précisément. Les différentes scories se rapportent à des activités de forge, de réduction de fer et de traitement d'un minerai cuivreux (Dubois *et al.* 1997, p. 205). Enfin, une fosse dépotoir contenant du mobilier domestique identifiée sous un niveau de haldes au Goutil témoigne de l'implantation sur place d'un habitat, sans qu'il puisse être localisé précisément.

En termes de techniques minières, les travaux anciens sont principalement ouverts au feu, mais des traces de coups de pointerolles sont également visibles, soit ponctuellement en complément de l'abattage au feu, soit de façon exclusive dans d'autres secteurs. La partie ancienne de la mine des Atiels est la seule à ne montrer que des traces d'outils. La relation étroite entre morphologie des minéralisations et morphologie des travaux a été illustrée dans un article (Dubois & Guilbaut 1988, pp. 83-91). Cependant, les relevés fournis montrent

les espaces souterrains sans décomposer les différents volumes qui le constituent. Les plans reprennent les codes des relevés destinés à favoriser la progression spéléologique : ils permettent de visualiser l'extension du réseau souterrain et l'itinéraire pour le parcourir, mais pas d'interpréter la façon dont l'espace minier a été creusé (Guilbaut 1981, fig. 6 ; Dubois & Guilbaut 1989, fig. 4 ; Dubois 1996, fig. 2). Les volumes semblent uniformes et on ne peut pas restituer les dynamiques d'exploitation. Les descriptions font cependant état d'agrandissement des chantiers, notamment dans les réseaux du Goutil. Les auteurs signalent l'existence d'étages d'exploitation superposés, avec percement des soles anciennes, ainsi que des ouvertures au travers des cloisons de roche stérile (Guilbaut 1981, p. 173 ; Dubois & Métailié 1992, p. 34 ; Dubois 1996, photo 2). Ces indices d'un phasage plus complexe des travaux attirent de nouveau l'attention sur la chronologie des exploitations.

La période allant de la fin du II^{e} s. av. n. è. au début du I^{er} s. de n. è. est donc présentée par C. Dubois et J.-E. Guilbaut comme la phase majeure de mise en valeur des ressources minières de ce district (Dubois & Guilbaut 1982, p. 116 ; Dubois 1993, p. 37 ; Dubois *et al.* 1997, p. 294). Cette activité qualifiée d'intensive est reliée au contexte de la prise de pouvoir progressive de Rome sur le Sud de la Gaule (Guilbaut 1981, p. 179). Un démarrage de l'exploitation antérieur à cette période n'est pas pour autant exclu, mais l'absence de mobilier plus ancien que les amphores gréco-italiques et Dr 1 les conduit à minimiser cette phase d'exploitation « préromaine » (Dubois & Guilbaut 1982, p. 115). La datation médiévale obtenue au Goutil lors de la dernière campagne de terrain, en 1992, indique au moment de l'arrêt des recherches que des reprises ont eu lieu avant le XVIII^{e} siècle.

De nombreuses questions restent encore en suspens après ces premières investigations, comme l'indiquent eux-mêmes les auteurs. La chronologie du démarrage des exploitations en fait partie, même s'ils sont assez pessimistes sur les possibilités de la déterminer (Dubois & Guilbaut 1982, p. 115). Le projet de 1991-1992 souligne cependant la nécessité de mieux dater les travaux (Dubois & Métailié 1991, p. 162). La métallurgie pratiquée par les Anciens sur ces minerais argentifères reste méconnue. Ont-ils pu tirer parti de l'argent contenu dans les cuivres gris ou se sont-ils limités à en extraire le cuivre ? Les données trop ponctuelles ne permettent pas de trancher (Dubois *et al.* 1997, p. 212). L'identité des mineurs et de ceux qui ont le contrôle des mines reste une inconnue. Dans le rôle des commanditaires, le choix serait à faire entre les Tectosages d'une part et Rome de l'autre, par l'intermédiaire des nombreux Italiens arrivés en Transalpine dans la seconde moitié du II^{e} s. av. n. è. (Dubois 1993, pp. 46-47). La nécessité d'étudier les habitats, qui seraient plus à même de livrer des données sur l'identité des mineurs, est ainsi soulignée dans les derniers projets et rapports de recherche (Dubois & Métailié 1992, p. 102).

Nous reprenons à notre compte ces interrogations, en particulier celles concernant la chronologie du démarrage des exploitations et l'identité de ceux qui les contrôlent. La question du contrôle des mines entraîne celle des moyens techniques mis en œuvre et des ressources économiques et humaines mobilisées pour ces travaux. La période d'activité identifiée par ces recherches, entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le début du I^{er} s. de n. è.,

correspond pour cette partie du Sud-Ouest de la Gaule à la transition entre la fin du monde gaulois de l'âge du Fer et le début de la période gallo-romaine. Les conditions d'exploitation des ressources minières dans ce cadre chronologique ouvrent également des perspectives pour appréhender les rythmes et les modalités de cette transition. La nature des métaux obtenus, cuivre seul ou cuivre et argent (ce qui implique d'y ajouter le plomb), a naturellement une importance non négligeable sur les débouchés potentiels de cette production et sur son impact économique. Cet aspect doit également être pris en compte pour comprendre dans quels circuits s'insèrent ces exploitations. Enfin, les prélèvements anthracologiques effectués dans les chantiers avaient permis de brosser un premier tableau de l'environnement des mines et de proposer un modèle de l'évolution de la composition des forêts environnantes (Dubois 1996, pp. 40-41). Les résultats des campagnes récentes appellent quelques commentaires sur ce sujet.

III. Les données renouvelées

Le retour sur le terrain était la seule possibilité de dépasser les premiers résultats et d'élargir les perspectives de recherche. Cela a été fait par le biais de campagnes de prospections thématiques assorties de sondages, autorisées et soutenues financièrement par la Direction Générales de Affaires Culturelles Midi-Pyrénées (puis Occitanie) du Ministère de la Culture et de la Communication. Ces campagnes se sont déroulées entre 2014 et 2017[64]. À côté des opérations archéologiques au sens strict, deux prospections géophysiques (résistivité électrique et susceptibilité magnétique) ont été menées sur des terrains pouvant héberger des ateliers métallurgiques. Ces prospections ont été réalisées dans le cadre d'un stage de Master encadré par Muriel Llubes[65]. Des analyses de minerai ont également été réalisées par Călin Tămaş et Marguerite Munoz[66] sur des échantillons prélevés sur le terrain. Enfin, des prélèvements de sédiments sont venus apporter quelques éléments complémentaires ponctuels concernant l'impact des mines sur leur environnement, comme indiqué au point II.B.4. du chapitre 1.

La carte générale du district à l'issue de ces nouvelles opérations (Fig. 35) varie peu par rapport à celle qui a pu être présentée précédemment. En effet, les sites miniers traités étaient tous déjà référencés depuis les travaux de C. Dubois et J.-E. Guilbaut. Les données ont cependant été précisées et enrichies par ces opérations centrées sur les mines. Deux nouveaux ateliers de métallurgie primaire ont également été mis au jour durant ces campagnes (Les Atiels et Berni, points 6 et 15 de la Fig. 35). Ils n'ont cependant fait l'objet que de sondages ponctuels. Enfin, les habitats n'ont pas été traités au-delà du stade de la prospection. Toutes les questions soulevées sont donc loin d'avoir trouvé des réponses définitives, mais les éléments obtenus permettent tout de même de préciser, nuancer ou renouveler les interprétations sur un certain nombre de points, comme nous allons le voir.

[64] Opérations sous la responsabilité d'Emmanuelle Meunier :

2014 : prospection thématique 187/2014, sondage Le Goutil 427/2014.

2015 : prospection thématique 142/2015, sondage La Coustalade 370/2015, sondage mine des Atiels 371/2015, sondage Rougé 351/2015.

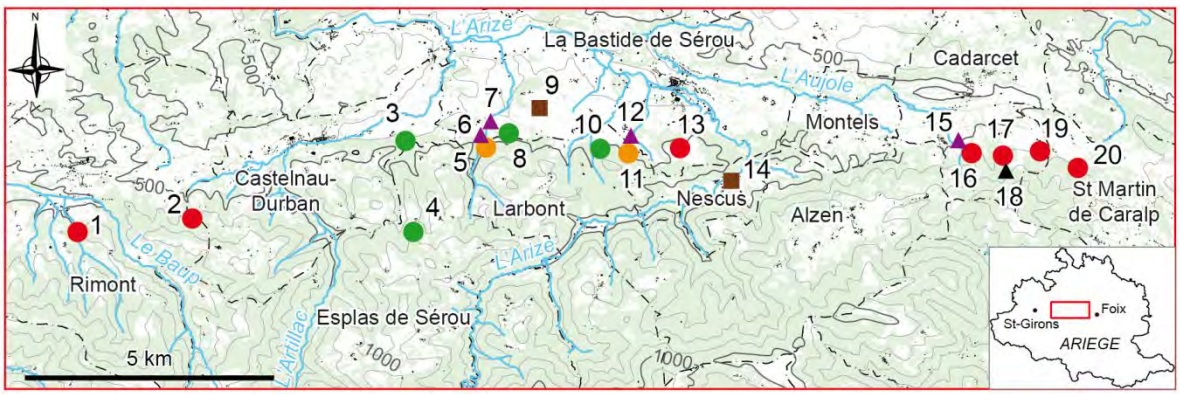
2016 : prospection thématique 223/2016, sondage La Coustalade 349/2016, sondage Rougé 348/2016, sondage Hautech 371/2016.

2017 : prospection thématique 200/2017, sondage Berni 121/2017

Un sondage a été réalisé sous la direction de Béatrice Cauuet sur l'atelier métallurgique pour non-ferreux des Atiels en 2014.

[65] Maître de Conférences en géophysique, Université Paul Sabatier, Toulouse.

[66] C. Tamaş : géologue, Univ,. Babes Boliay, Cluj-Napoca, Roumanie. M. Munoz: géologue CR, laboratoire GET, Toulouse.



IGN - BD ALTI & BD TOPO - équidistance des courbes 100 m

- Mine avec travaux anciens bien préservés
- Mine avec travaux anciens très altérés
- Mine sans accès aux travaux anciens
- Atelier antique
- Atelier non daté
- Habitat
- Limite de commune

1: La Calotte
2: Douach
3: La Coustalade
4: Rougé
5: Les Atiels - mine
6: Les Atiels - atelier cuivre
7: Les Atiels - atelier fer
8: Le Goutil
9: Bugnas
10: Hautech
11: La Tuilerie
12: Sourre
13: Lagarde
14: Nescus
15: Berni
16: Le Coffre
17: Moutou - mine
18: Moutou - atelier
19: Gayet
20: Matet

Fig. 35 : Carte des sites archéologiques du district de l'Arize abordés entre 2014 et 2017.

Les mines seront présentées individuellement en fonction de l'état de préservation des travaux anciens. Les ateliers, qui demeurent mal connus, feront l'objet d'une brève synthèse faisant le point sur les données disponibles et les éléments de réponse concernant les procédés mis en œuvre. Ce chapitre se terminera par un bilan sur les données paléo-environnementales.

III. A. Les réseaux anciens inaccessibles

Une partie des réseaux n'était déjà plus accessible lors des recherches menées par C. Dubois et J.-E. Guilbaut. Les choses n'ont pas changé pour ceux-ci, mais il faut leur ajouter le site de Lagarde, dont l'accès déjà limité aux travaux souterrains a été condamné par un glissement de terrain. L'inaccessibilité des réseaux anciens peut être due à deux facteurs[67], parfois conjugués. Le premier est le comblement des travaux, naturellement ou volontairement suite à leur abandon. Les chantiers à ciel ouvert ont été particulièrement concernés par ces rebouchages, suivis de la reprise de la végétation. Dans le cas de chantiers souterrains, il est possible que seule l'entrée soit bouchée et que l'intérieur du réseau soit ensuite dégagé. Il n'était cependant pas envisageable dans le cadre de cette thèse de se lancer dans des opérations de désobstruction. Le second facteur est la reprise d'exploitation à l'explosif de certains gisements, qui a entraîné la destruction des ouvrages précédents dans des proportions variables. Le fait qu'aucune reprise moderne de grande ampleur n'ait eu lieu dans les mines de cuivre limite toutefois leur portée, bien que certains sites soient fortement touchés.

Pour cette première série de mines, sans accès aux réseaux miniers, les données disponibles se limiteront donc aux éléments visibles en surface (départs de travaux, anomalies topographiques, mobilier) et aux éventuelles données d'archives. Ce sont néanmoins des informations significatives pour définir l'extension des exploitations dans ce district.

III. A. 1. Mine de La Calotte (Rimont)

Les travaux de La Calotte étant inaccessibles, les données dont nous disposons à leur sujet proviennent des archives minières, qui décrivent les travaux de recherche entrepris par Gaston Lacroix dans la première décennie du XX^{e} siècle. Il s'agit de la mine la plus à l'ouest du district, qui est également la seule à être encaissée dans les schistes viséens. La minéralisation renferme des cuivres gris argentifères dans lesquels l'arsenic est plus fréquent que l'antimoine, ce qui correspond au pôle de la tennantite (Ulrich 1908, p. 4). La minéralisation est constituée de deux filons principaux parallèles orientés globalement nord-est / sud-ouest et séparés de 6 à 7 mètres. Ils sont recoupés par de nombreux filons croiseurs orientés nord/sud ou encore est/ouest. Des imprégnations en petites veines sont visibles dans les schistes au toit et au mur du filon (Anonyme 1907b). Les filons principaux ont une puissance irrégulière variant de 0,6 à 1,5 m. Des pincements multiples leur donnent une structure de colonne en chapelet. Des boules d'ophite avec des inclusions de cuivres gris sont également signalées (Ulrich 1908, pp. 2 et 4).

[67] Les mises en sécurité récentes de chantiers miniers abandonnés sont un autre facteur de perte d'accès aux réseaux anciens, rarement pris en compte par les autorités chargées de la gestion de l'après-mine (Abraham 2009, pp. 57-61 et 64). Cependant, nous avons la chance qu'aucune opération de ce type n'ait été menée sur les sites qui nous intéressent ici.

Les recherches menées sur ce site ont recoupé des vieux travaux à plusieurs niveaux (Fig. 36). Ces derniers ont été reconnus sur une extension maximale de 150 m de longueur pour 90 m de hauteur, et le fond des travaux n'a pas été atteint (Anonyme 1907a). Les recherches récentes sont descendues jusqu'à 53 m de profondeur sous l'étage 0, qui correspond à l'étage de l'entrée, proche du niveau du ruisseau (Ulrich 1908, p. 3). Les problèmes d'exhaure rencontrés lors de ces recherches, avec une source dont le débit atteignait 200 L/s à l'étage -25, posent la question des moyens utilisés dans les travaux plus anciens pour s'en prémunir. C. Dubois a pu relever dans d'autres archives qu'un fragment de seau en bronze avait été trouvé lors des recherches minières du début du XX^{e} siècle, ce qui pourrait être mis en relation avec un système d'exhaure (Dubois & Métailié 1991, pp. 66-67). Aucun travers-banc dédié à cette fin n'a été identifié, le relief ne s'y prêtant d'ailleurs pas.

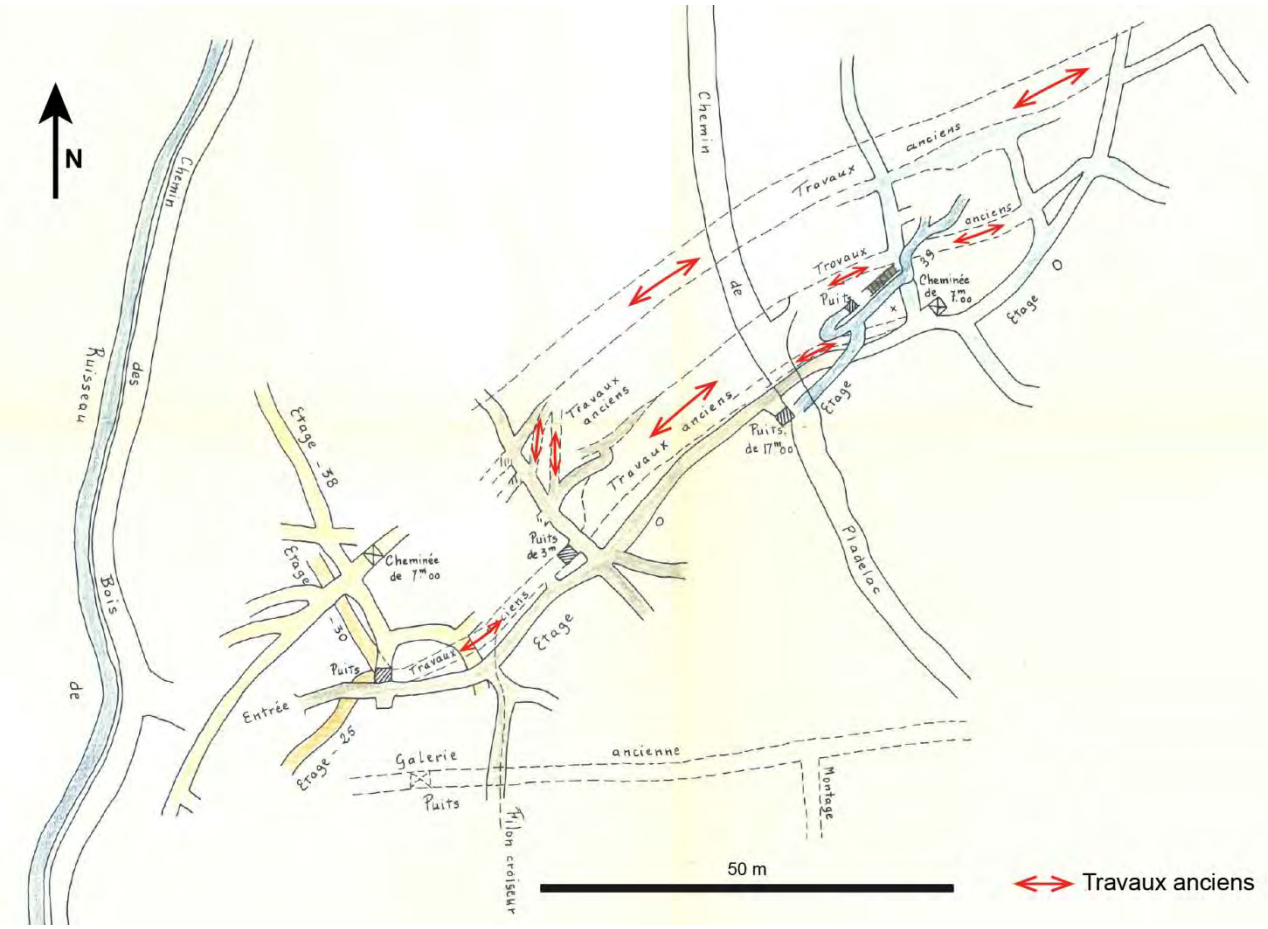


Fig. 36 : Plan de la mine de la Calotte en 1909 (Anonyme 1909).

Les autres indications concernant les vieux travaux indiquent qu'ils ont été creusés à la pointerolle et qu'ils ont suivi de près la minéralisation, se resserrant ou s'élargissant selon les variations de sa puissance. Les filons croiseurs ont été exploités de la même manière, donnant lieu à des ouvrages plus étroits. Une partie des vieux travaux était vide mais certains secteurs avaient été remblayés. Dans un des secteurs profonds, les recherches récentes ont pu montrer que les vieux travaux s'étaient arrêtés sur un étranglement de la minéralisation sans chercher à la retrouver au-delà par une galerie à travers le stérile.

L'ingénieur des mines, rédacteur anonyme de ce rapport, en conclut que les Anciens n'avaient pas complètement perçu la nature en chapelet discontinu de la minéralisation (Anonyme 1907b ; Ulrich 1908, pp. 3-4).

Actuellement, ces ouvrages ne sont plus décelables que par deux départs de travaux comblés et par les haldes étalées sur le versant, que l'on perçoit au sol malgré la végétation envahissante (Fig. 37). Près du ruisseau, une tranchée donnant accès à une ancienne entrée bouchée (CAL1) correspond vraisemblablement à l'entrée de l'étage 0 des recherches du début du XX^{e} siècle. La tête de puits effondrée (CAL2 - Fig. 37, photo) pourrait correspondre à la cheminée de 7 m indiquée sur le plan d'archive à l'est du chemin de Pladelac. Une buse placée en bordure de la route actuelle (CAL3), plus haut sur le versant, correspondrait également selon les riverains à un ancien accès condamné à la mine.

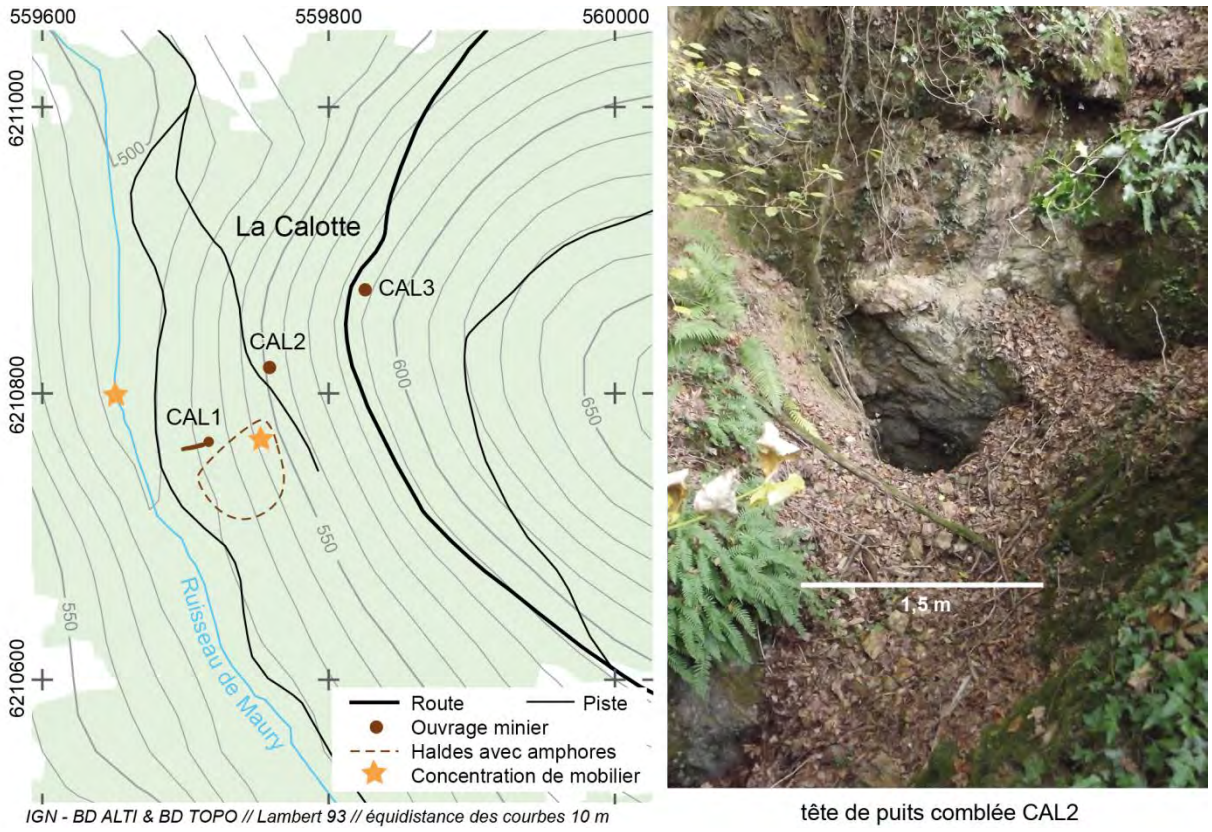


Fig. 37 : Vestiges associés à la mine de La Calotte (Rimont).

Toute la zone où s'étalent les haldes est parsemée de tessons d'amphores italiques, visibles malgré la végétation. Le talus partiellement effondré d'une ancienne piste qui traverse cette zone nous a permis d'identifier une petite concentration de mobilier (Fig. 38), dont une panse d'amphore Dr 1C complète, brisée à la base du col et au départ du pied. Deux petites scories se trouvaient avec ce mobilier, le tout étant mêlé à une couche cendreuse visible par intermittence dans l'épaisseur du talus, visiblement affectée par un glissement de terrain ancien.

Le mobilier mis au jour est composé de plusieurs types d'amphores (Tab. 6)[68]. Tout d'abord, nous avons des fragments de panses d'amphore italique de type Dressel 1. Une lèvre provenait d'une Dr 1A et une autre d'une amphore de transition entre les gréco-italiques et Dr 1A (Fig. 38). Une quarantaine de fragments appartiennent à des amphores à huile de Brindes et cinq autres pourraient se rattacher à la forme Lamboglia 2. Ces derniers éléments nous situent plutôt au I^er^ s. av. n. è., voire dans la deuxième moitié de ce siècle, alors que le type de transition entre gréco-italique et Dr 1A serait plutôt antérieur. Les tessons de panses de céramique commune et de céramique à pâte claire qui les accompagnaient ne permettent pas de préciser la chronologie.

Niveau cendreux avec la concentration de mobilier dans le talus de l'ancienne piste

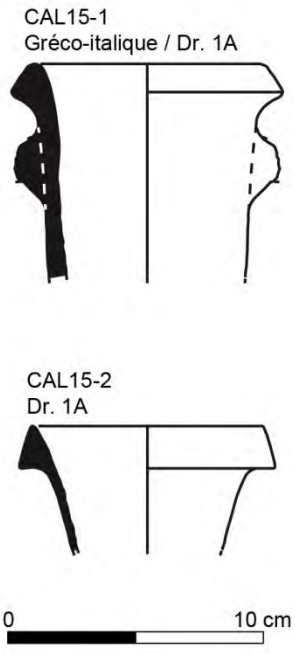


Fig. 38 : Mobilier de La Calotte : localisation sur le terrain et dessins.

C. Dubois avait signalé des tessons d'amphores dans le lit du Maury en contrebas des travaux. Ils étaient associés avec des haldes formant un ilot dans le ruisseau (Dubois & Métailié 1991, p. 66). L'ensemble du mobilier ainsi identifié autour des travaux de La Calotte permet de proposer au moins une phase d'activité au cours du I^er^ s. av. n. è., peut-être dès la fin du II^e^ siècle. D'autre part, la présence de deux petites scories et la nature cendreuse de la couche associée semblent indiquer qu'un atelier se trouvait à proximité. Nos prospections n'ont toutefois pas permis de localiser l'origine de cette couche, ni d'identifier dans les environs une zone propice à ce genre d'installation (replat dans le versant par exemple). La végétation dense ne facilitait pas les explorations.

[68] L'identification des tessons a été réalisée par Laurence Benquet (Inrap).

Catégorie	Type	Élément	NR	Commentaires
Amphore	Transition Gréco-italique / Dressel 1A	Lèvre	1	Dessin - CAL15-1, Fig. 38
Amphore	Dressel 1A	Lèvre	1	Dessin - CAL15-2, Fig. 38
Amphore	Dressel 1C	Panse	1	
Commune	Cuisson réductrice	Panse	7	Surface très érodée, possibilité d'un décor peigné.
Commune	Non tournée	Panse	1	
Amphore	Dressel 1	Panse	15	
Amphore	Brindes	Panse	42	
Amphore	Lamboglia 2	Col	5	
Importation méditerranéenne	Pâte claire récente	Panse	3	
Métal	Scorie		2	
Amphore	Italique	-	-	(Dubois & Métailié 1991, p. 66)

Tab. 6 : Inventaire du mobilier de La Calotte.

L'ampleur des travaux anciens reconnus lors des recherches du début du XX^{e} siècle est particulièrement importante : 150 m de longueur pour 90 m de hauteur, dont au moins 40 m sous le niveau du ruisseau. Les descriptions sommaires de l'allure des travaux, à la pointerolle et suivant de près la minéralisation, ne constituent aucunement une indication chronologique. Il est possible que plusieurs phases d'activité se soient succédé pour former des chantiers de cette ampleur. Dans ce cas, le I^{er} s. av. n. è. constituerait l'une d'entre elles, sans que d'autres éléments sur le terrain nous permettent de préciser à quel moment se seraient déroulées la ou les autres phases.

III. A. 2. Mines de Douach (Rimont)

Ce groupe de travaux, situé sur la commune de Rimont, était signalé par C. Dubois et J.-E. Guilbaut pour les tessons d'amphores à pâte orangée (panses, épaulement et une anse ovoïde) identifiés autour des travaux (Dubois & Guilbaut 1982, p. 114). Il s'agit d'un ensemble de vestiges miniers répartis sur 150 m est-ouest entre les cotes 585 et 615 m (Fig. 39 – relevés GPS). La minéralisation, filonienne, contient de la chalcopyrite et des cuivres gris, ainsi que de la galène, dans une gangue barytique. Ce gisement serait lié au contact entre les calcaires griottes rouges du Dévonien au sud et les calcaires cristallins du Viséen au nord (Anonyme 1903, p. 4 ; Dubois & Guilbaut 1982, p. 114).

Les travaux les plus à l'est, DCH1, correspondent à une galerie de recherche moderne qui s'ouvre dans le creux du vallon. Une autre entrée d'un réseau moderne se trouve au point DCH2 (Fig. 39, a). Ce réseau peut se parcourir sur quelques dizaines de mètres tout au plus, avant d'atteindre des secteurs comblés. Un puits noyé témoigne de la poursuite des travaux en profondeur. En remontant le versant vers le sud-est, on observe des entrées comblées à la base de l'affleurement rocheux, DCH3 (Fig. 39, b). Il est possible que celles-ci soient plus anciennes et aient constitué les premières attaques sur l'affleurement, avant la reprise par une galerie plus bas. Enfin, 50 m plus au sud-est, on trouve trois tranchées comblées, DCH4 à

6, de 10 à 25 m de long pour une largeur de 2 à 3 m (Fig. 39, c). Il pourrait là aussi s'agir de travaux plus anciens, sans certitude.

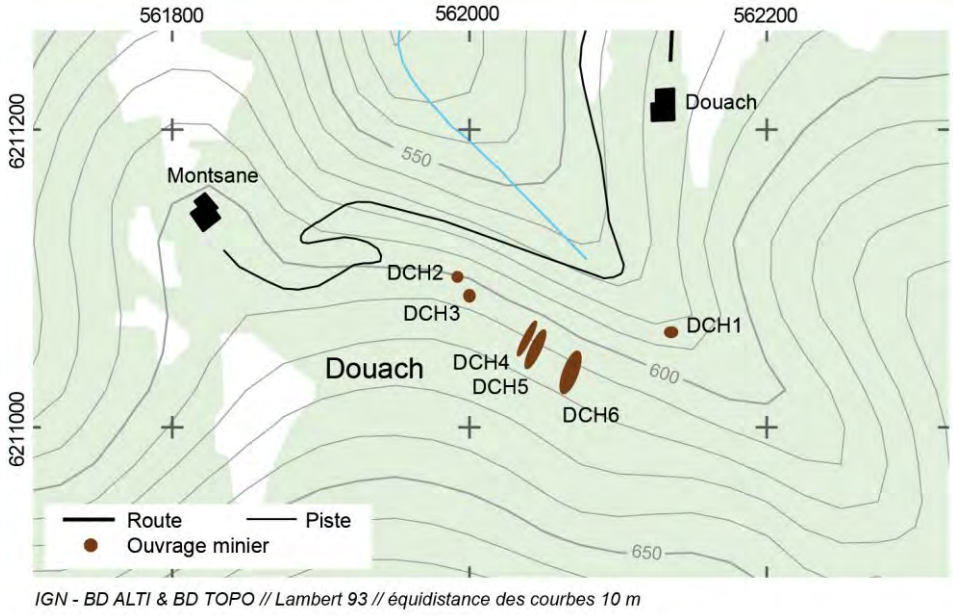


Fig. 39 : Le site minier de Douach (Rimont).

Les réseaux accessibles présentent tous des traces d'exploitations récentes (trous de fleurets observés par endroits) et aucun vestige d'une phase antérieure n'a pu être observé. Les archives minières font état de recherches sur ce site (alors identifié sous le nom de Coumetorte) dans les premières années du XX^{e} siècle. Les recherches ont été entreprises à partir de l'exploration de vieux travaux dans lesquels du cuivre gris et de la galène avaient été identifiés (Anonyme 1904). L'exploitation ancienne semble avoir délaissé la galène et s'être concentrée sur le cuivre, dont un filon de 0,8 m de large avait été dépilé. Des « haldes anciennes abondantes » sont également signalées à proximité de ces travaux (Anonyme 1903, pp. 3-4).

Aucun mobilier archéologique n'a été repéré sur ce site lors de notre prospection. Les tessons d'amphore italique signalés par C. Dubois et J.-E. Guilbaut sont les seuls indices chronologiques concernant ces travaux anciens. Les tranchées DCH4, 5 et 6 et les entrées bouchées DCH3 sont les seuls éléments qui pourraient correspondre à des vestiges cohérents avec une exploitation antique. Leur comblement et la végétation empêchent d'en observer les parois pour confirmer l'utilisation de techniques anciennes. La prospection des alentours n'a pas non plus permis d'identifier de vestiges liés à un habitat ou à un atelier.

Fig. 40 : Vue des ouvrages DCH2 (a) DCH3 (b) et DCH6 (c).

III. A. 3. Mine de Lagarde (La-Bastide-de-Sérou)

La colline de Lagarde renferme deux types de minéralisations : d'une part une minéralisation barytique à galène, cuivre gris et chalcopyrite et d'autre part du minium, un oxyde de plomb (Pb_3O_4). Ce dernier a fait l'objet d'exploitations récentes (XX^{e} siècle) sous forme de fosses à ciel ouvert localisées sur les versants ouest et sud-est de la colline. Les travaux anciens ont concerné la minéralisation barytique à sulfures de plomb et de cuivre, située sur le versant nord-est, entre les cotes 480 et 520 (Fig. 41). Cette minéralisation affleure sous la forme d'un gros amas barytique et se retrouve en souterrain encaissée dans la dolomie dévonienne (Dubois & Guilbaut 1982, p. 104). Des recherches minières ont été menées sur ce site, concluant au manque d'intérêt économique des minéralisations, mais signalant des grattages et deux galeries anciennes (Bertraneu & Bois 1959, p. 2).

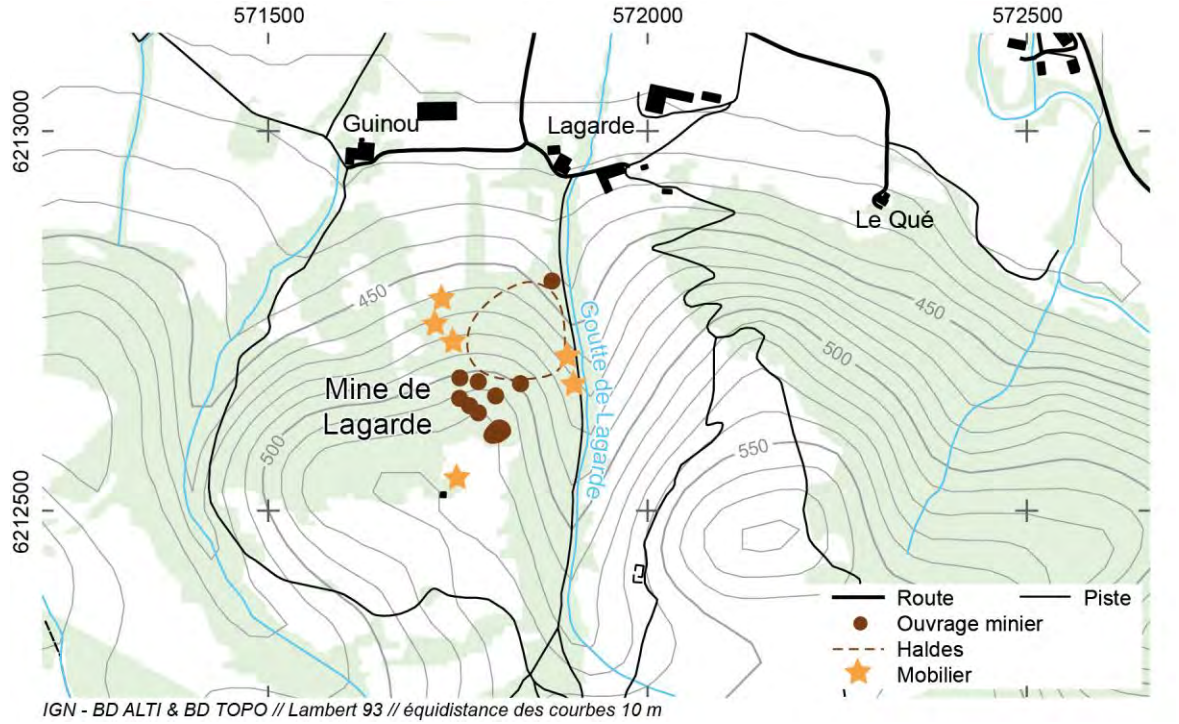


Fig. 41 : Localisation des vestiges de la mine de Lagarde (La-Bastide-de-Sérou).

Actuellement, ces travaux sont masqués par un bois de feuillus dense. L'accès qui existait encore dans les années 1980 à un petit chantier souterrain est désormais condamné par un glissement de terrain. On peut tout de même observer en surface plusieurs fosses de petites dimensions (2 à 3 m de diamètre), comblées, et les grattages sur l'affleurement barytique (Fig. 42). Un puits d'environ 8 m de profondeur pour une largeur maximale de 1,2 m à l'ouverture pourrait permettre d'atteindre la partie souterraine, mais l'instabilité du terrain à proximité rend tout accès très dangereux. D'autre part, il s'agit d'un puits creusé lors des recherches menées au cours du XX^{e} siècle sur ce site et il n'est pas sûr qu'il recoupe les travaux anciens. Les haldes très instables s'étendent en contrebas des vestiges miniers jusqu'au bas du versant, rendant la progression délicate.

La partie du réseau explorée par C. Dubois et J.-E. Guilbaut avait livré des panses d'amphores italiques (Dubois & Guilbaut 1982, p. 104). Ces auteurs y signalent également une galerie d'un mètre de large ouverte à l'outil, qui pourrait correspondre à la phase antique de l'exploitation. Des travaux d'entretien de la piste qui longe la Goutte de Lagarde et l'ouverture d'une autre piste au nord des travaux entre 2014 et 2015 nous ont par ailleurs permis de récolter quelques lèvres d'amphores italiques, en mauvais état (Tab. 7 et Fig. 43). Les coupes fraîches des talus n'ont pas permis d'identifier de niveaux en place qui pourraient être à l'origine de ces tessons. Les niveaux superficiels semblent avoir été fortement remaniés lors des travaux récents. La chronologie de l'exploitation, selon les éléments disponibles actuellement, comporte deux phases : une première au I^{er} s. av. n. è. et une seconde au XX^{e} siècle.

Fig. 42 : L'affleurement barytique de Lagarde objet de grattages, précédé d'une tranchée.

Catégorie	Type	Élément	NR	Commentaires
Amphore	Italique	Panse	3	
Amphore	Dressel 1	Lèvre	1	Dessin - LAG14-1, Fig. 43
Amphore	Dressel 1	Lèvre	1	Dessin - LAG14-2, Fig. 43
Amphore	Italique	Panse	4	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 104)

Tab. 7 : Inventaire du mobilier de Lagarde.

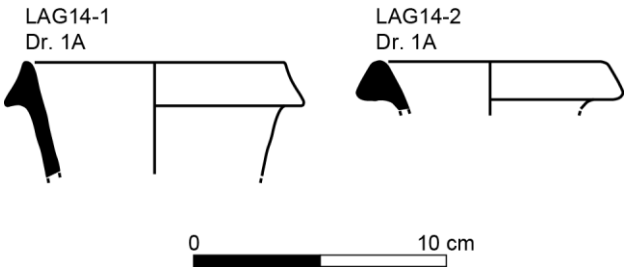


Fig. 43 : Dessin du mobilier de Lagarde.

III. A. 4. Mine du Coffre (Cadarcet)

Les vestiges miniers de ce site sont en grande partie occultés par la végétation et le comblement des travaux. On distingue seulement des reliefs artificiels dans le terrain, notamment des petits ravins prononcés et étroits sous les arbres, en rupture avec la pente naturelle du versant (Fig. 44). Il est presque impossible de reconnaître les trois entrées de galerie décrites par C. Dubois et J.-E. Guilbaut et signalées dans les archives minières (Dubois & Guilbaut 1982, p. 105 ; Anonyme non daté). Des recherches minières récentes menées à

partir de vieux travaux entre 1899 et 1900 ont donné lieu à une petite exploitation d'une minéralisation de pyrite et cuivre gris (Clouet 1964, p. 10). C. Dubois précise que les deux galeries les plus à l'est étaient encaissées dans les calcschistes du Dévonien et que la troisième s'ouvrait dans le calcaire, également du Dévonien (Dubois & Guilbaut 1982, p. 105). Les deux premières galeries étaient déjà bouchées jusqu'à la couronne lors des premières prospections. La troisième, qui devrait correspondre au travers-banc de l'exploitation du début du XX^{e} siècle, était effondrée à moins de 3 m de l'entrée.

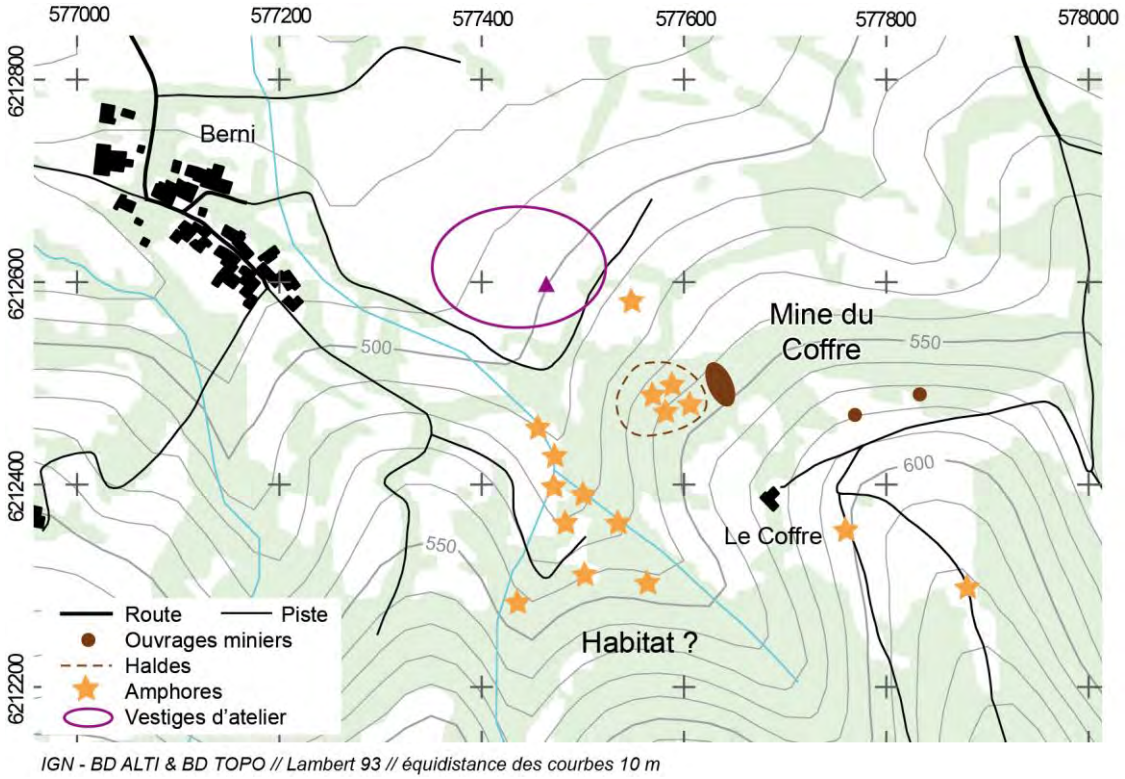


Fig. 44 : Plan des vestiges du secteur du Coffre – Berni (Cadarcet).

En contrebas des vestiges les plus à l'ouest, une halde s'étale sur le versant. Elle renferme de nombreux tessons d'amphores de grande taille remontés à la surface autour des terriers de blaireaux. Les plus représentatifs ont été collectés (Tab. 8). De fait, le mobilier archéologique est abondant tout autour des vestiges miniers. Les riverains du site confirment que des amphores et autres pots en céramique, pas toujours conservés, ont été trouvés régulièrement[69]. Ceci est d'autant plus remarquable que l'environnement se prête peu à la prospection : hormis quelques parcelles labourées au nord du site, le reste de l'espace est constitué de bois et de prés. Le lit des ruisseaux livre aussi des tessons de panses d'amphores en nombre. C. Dubois et J.-E Guilbaut avaient eux aussi pu recueillir du mobilier varié : amphores de type Dr. 1A, coupe campanienne A de type Lamb. 33 et une scorie cuivreuse. Une lampe en campanienne A de type Ricci E leur avait également été montrée par l'un des riverains (Dubois & Guilbaut 1982, pp. 105-106).

[69] Nous remercions M. Fontan qui nous a permis d'observer le mobilier en sa possession, notamment des amphores italiques et tarraconaises, dont une presque entière.

Un atelier a de plus été identifié en contrebas de la mine, dans la zone labourée (Fig. 44, en violet). Au mobilier céramique et amphorique s'ajoutaient en effet à cet endroit des scories et parois de four ou foyer. Une prospection géophysique et un sondage ont été réalisés sur cette parcelle ; nous y reviendrons plus bas dans ce chapitre (point III. D. 1, p. 281). L'extension reconnue des vestiges (travaux miniers et mobilier) atteint près de 15 ha, ce qui, étant donné le contexte peu favorable à la prospection, laisse à penser à une occupation stable regroupant mine, atelier et habitat. L'habitat se situait probablement au sud-ouest des travaux, d'où les cours d'eau peuvent drainer les tessons observés. La scorie signalée par C. Dubois et J.-E. Guilbaut près du ruisseau, en amont des labours, peut être isolée ou indiquer qu'un deuxième secteur d'atelier se trouvait plus au sud. Les prospections ne permettent pas d'aller au-delà de ces suppositions.

La chronologie donnée par le mobilier s'étend sur le I^{er} s. av. n. è. avec une possibilité d'un démarrage de l'occupation dès la fin du II^{e} siècle. Le fait que les travaux miniers soient inaccessibles ne permet pas de confirmer qu'il s'agit de la seule phase d'exploitation, mais les tessons mêlés aux haldes, tout comme l'atelier en contrebas des travaux, confirment une activité à cette période.

Catégorie	**Type**	**Élément**	**NR**	**Commentaire**
Amphore	Indéterminé	Panse	3	
Amphore	Indéterminé	Anse	1	Section ovale
Commune	Cuisson oxydante	Panse	1	
Amphore	Dressel 1B	Panse	1	
Amphore	Dressel 1B	Anse	1	
Amphore	Dressel 1A	Lèvre	1	Dessiné - CFR15-1, Fig. 45
Amphore	Dressel 1B	Lèvre	1	Dessiné - CFR15-2, Fig. 45
Amphore	Tarraconaise	Panse	2	
Amphores	Dressel 1A	Lèvre	-	(Dubois & Guilbaut 1982, pp. 105-106)
Campanienne A	Lamb. 33	Bord	1	
Campanienne A	Lampe Ricci E		1	

Tab. 8 : Inventaire du mobilier du Coffre.

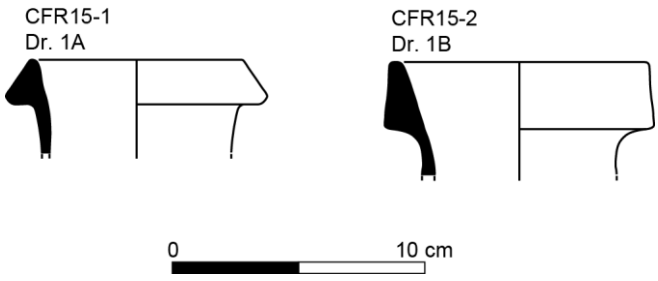


Fig. 45 : Dessin du mobilier de la mine du Coffre.

III. A. 5. Mine de Moutou (Cadarcet)

La mine de Moutou fait partie de la concession moderne de Montcoustand qui a connu plusieurs phases d'activité récentes. Un filon de plomb-zinc découvert au milieu du XIX^{e} siècle est à l'origine des recherches et plusieurs chantiers ont été menés au début du XX^{e} siècle sur d'autres filons similaires à proximité, jusqu'aux dernières phases de recherche dans les années 1960 et 1970 (Clouet 1964, pp. 4-7). Ces minéralisations n'avaient pas fait l'objet de travaux antérieurs. Par contre, d'importants vestiges miniers anciens sont signalés un peu plus bas sur le versant depuis le XIX^{e} siècle. Ces documents indiquent une exploitation de cuivre (chalcopyrite et cuivre gris dans une gangue de quartz et ponctuellement barytine), mais l'encaissant, attribué au Dévonien, n'est pas décrit (Clouet 1964, p. 3 ; Dubois & Guilbaut 1982, p. 107). Le polymétallisme à l'échelle du Massif est bien illustré par la proximité de ces différentes minéralisations.

Les vestiges actuellement visibles se situent dans un bois et juste en lisière de celui-ci. Comme le laissaient entendre les documents anciens et les archives (Mussy 1870, p. 256), ces chantiers ont une extension assez importante. Ils sont répartis en deux groupes correspondant à deux corps minéralisés différents. Le premier, à l'ouest, a généré des travaux visibles sur une longueur d'environ 120 m, orientés est-ouest, noyés au milieu des houx. Le second, à l'est, s'étend sur 80 m nord-sud pour 60 m est-ouest (Fig. 46).

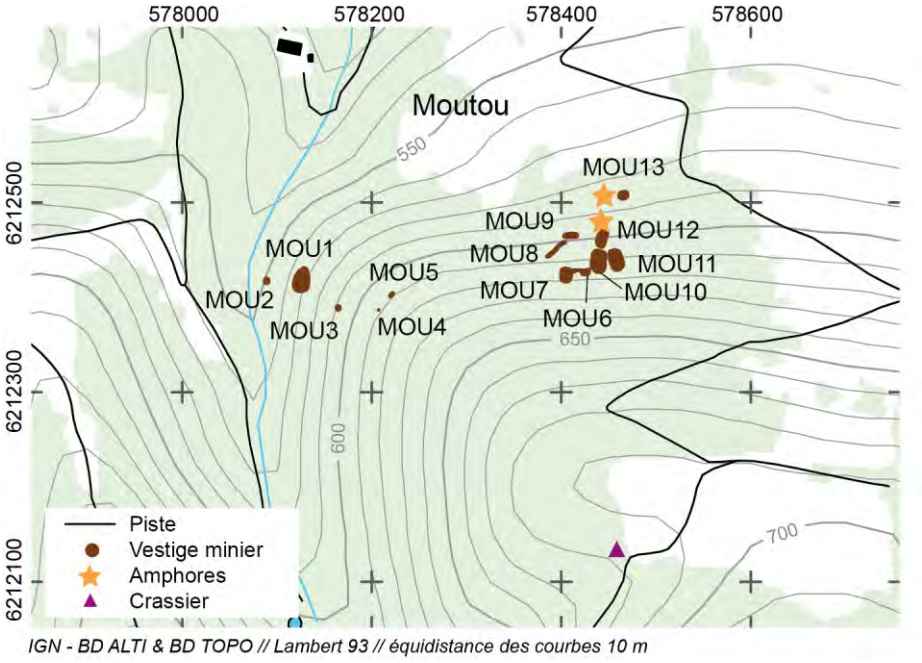


Fig. 46 : Plan des travaux de Moutou (Cadarcet).

Le groupe occidental, MOU1 à 5, est constitué d'entrées effondrées, de fosses comblées et d'une tête de puits (comblée à 5 m de profondeur), le tout environné de haldes. Des petits fragments d'azurite dans les haldes indiquent la présence de cuivre dans la minéralisation exploitée. Ces travaux sont étagés entre 550 et 620 m d'altitude. Des tessons d'amphores italiques récoltés dans le ruisseau en contrebas indiqueraient une phase d'activité entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è. (Dubois & Métailié 1991, p. 63).

Le second groupe (MOU 6 à 13) présente des vestiges de plus grande envergure, entre 580 et 620 m d'altitude. De grandes fosses grossièrement circulaires (MOU10, 11 et 12, 15 à 20 m de L.) et une tranchée (MOU8, 3 de large)[70] côtoient deux affleurements massifs qui ont fait l'objet de grattages multiples (MOU6 et 7). Deux fosses plus petites (MOU9 et 13, 5 m de diam.) complètent l'ensemble (Fig. 47). Ces fosses sont bien évidemment comblées, tout comme la tranchée. On ne peut pas dire en l'état si les travaux se développaient en souterrain ou s'il s'agissait de petites exploitations à ciel ouvert. Les haldes sont rares ou totalement masquées par la végétation. Quelques tessons d'amphores italiques et tarraconaises ont cependant été identifiés autour de ces fosses (Tab. 9). La chronologie correspondrait donc au I^{er} s. av. n. è., comme l'indiquaient les tessons d'amphore Dressel 1A signalés par C. Dubois le long de la piste menant aux travaux (Dubois *et al.* 1997, p. 206).

Affleurement MOU6 depuis le nord-est

Fosse MOU13 depuis le sud-ouest

Fig. 47 : Vue des vestiges miniers MOU 6 et MOU13.

Outre les vestiges miniers, il faut signaler vers le sud un crassier lié à la métallurgie des non-ferreux qui s'étend sur environ 200 m^2 au milieu des arbres (Dubois *et al.* 1997, p. 210). Aucun mobilier autre que les scories n'a été recueilli dans ce crassier, qui reste donc non daté malgré les diverses campagnes de prospection. L'opposition du propriétaire à la réalisation d'un sondage ne permet pas de résoudre cette question. Une scorie prélevée par C. Dubois lors de ses prospections a tout de même été analysée par F. Tollon (Dubois *et al.* 1997, p. 210). Nous y reviendrons plus bas dans ce chapitre au point concernant la métallurgie (III. D, p. 280).

Catégorie	**Type**	**Élément**	**NR**	**Commentaire**
Amphore	Italique	Panse	2	
Amphore	Tarraconaise	Panse	1	
Amphore	Dressel 1A	-	-	(Dubois *et al.* 1997, p. 206)

Tab. 9 : Inventaire du mobilier de Moutou.

[70] Les fosses comme la tranchée sont très larges et encombrées de bois morts enchevêtrés parmi les arbres encore sur pied, ce qui ne permet malheureusement pas de les photographier.

III. A. 6. Mine de Gayet (Cadarcet)

Les archives géologiques indiquent que cette mine est encaissée dans les calcaires dolomitiques du Dévonien et que la minéralisation de cuivre gris se trouve dans une gangue barytique (Dubois & Guilbaut 1982, p. 106). Les reconnaissances menées sur ce site en 1878 ont mis au jour de très vieux travaux avec une galerie de près de 10 m sur des filons et un chapeau de fer contenant du cuivre (Clouet 1964, p. 19). Ces travaux se présentent actuellement sous la forme d'une grande fosse creusée dans le versant, où la végétation a repris ses droits (houx et feuillus). D'autres anomalies topographiques, situées entre 50 et 80 m au nord, pourraient correspondre à des vestiges miniers difficilement caractérisables ou à des haldes remaniées (Fig. 48). La galerie indiquée dans les archives n'est plus visible sur le terrain. Peut-être démarrait-elle depuis le fond de la fosse.

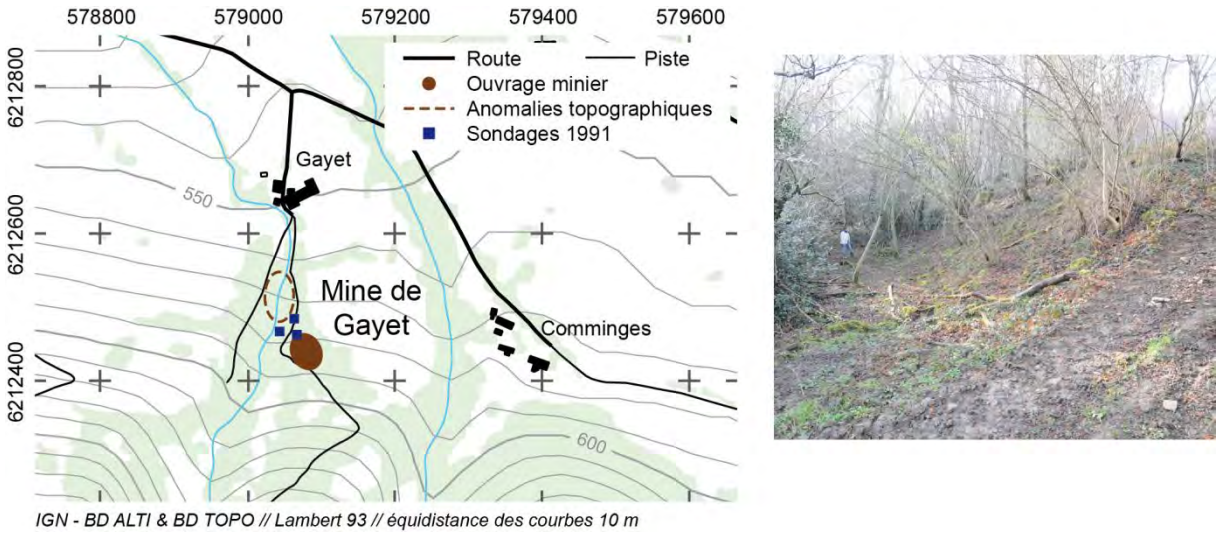


Fig. 48 : Plan des travaux de Gayet (Cadarcet) et vue de la moitié ouest de la fosse (cliché C. Tămaş).

Nous avons réalisé un levé topographique de la fosse en 2014 (Fig. 49). Globalement circulaire, elle s'ouvre vers le nord et présente une excroissance vers le sud. Son diamètre maximal est de 42,5 m dans le sens est-ouest et 46 m dans le sens nord-sud. Un ressaut rocheux central (largeur moyenne de 3 m), également orienté nord-sud, sépare la fosse en une zone orientale plus étroite (12 m en moyenne) et longue (63 m avec l'excroissance au sud) et une zone occidentale plus large (30 m en moyenne) et inscrite dans le plan circulaire principal. Cette barre rocheuse a été laissée en place car elle était stérile en cuivre. Il s'agit en effet d'un affleurement barytique massif. La profondeur actuelle de la fosse est de 5 m dans la partie est et 7 m vers l'ouest. L'excroissance au sud correspond à une prolongation de l'exploitation depuis la zone circulaire principale.

Aucun élément antique n'est actuellement visible en surface près de ces travaux. Dans la partie est, le fond de la fosse est tapissé de petits blocs à peine recouverts de végétation, ce qui indique des activités plutôt récentes. Cependant, trois sondages avaient été réalisés par C. Dubois à proximité de la grande fosse, vers le nord. Si deux d'entre eux n'ont rencontré que des haldes, du mobilier antique et un échantillon de minerai de cuivre ont été mis au

jour dans le troisième (Dubois & Métailié 1991, pp. 57-62). La proximité des maisons de Gayet et l'utilisation de ces dépressions comme dépotoir jusqu'à une période récente ont sans doute contribué à détruire une bonne partie des installations liées à l'activité minière.

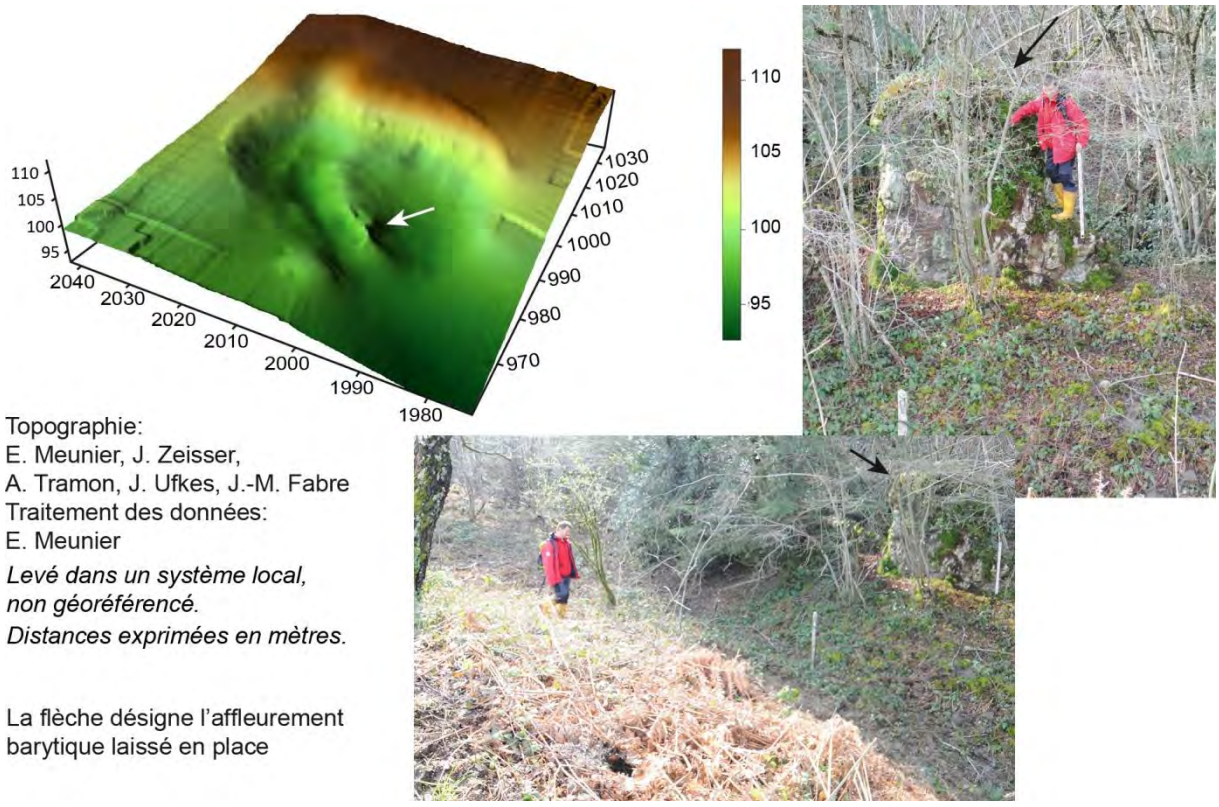


Fig. 49 : Restitution topographique de la fosse et vue de la moitié est avec détail de l'affleurement barytique.

III. A. 7. Mine de Matet (St-Martin-de-Caralp)

Le site de Matet est référencé pour l'exploitation du cuivre, du plomb et du fer, et la roche encaissante de ces minéralisations est une dolomie dévonienne (Clouet 1964, p. 21 ; Dubois & Guilbaut 1982, p. 112). Les travaux n'étaient déjà plus accessibles lors des premières prospections. Seules deux entrées immédiatement comblées avec une halde et deux tranchées récentes avaient alors pu être repérées. Lors de nos prospections (Fig. 50), nous avons pu retrouver ces tranchées, orientées est-ouest, à 605 m d'altitude (MAT1 et MAT2). Larges d'un peu plus d'un mètre, elles sont envahies de végétation et on ne connaît pas leur profondeur. Outre ces tranchées, des travaux bouchés sur affleurement ont été identifiés une centaine de mètres plus à l'ouest (MAT3). Une petite paroi rocheuse verticale d'un peu plus de 2 m de haut située à la cote 570 a fait l'objet de grattages, qui se poursuivaient probablement en souterrain. Enfin, une galerie de recherche ouverte à l'explosif (MAT4), située à mi-distance des tranchées et de l'affleurement, témoigne là encore des tentatives de reprises minières récentes avérées dans tout le secteur. Elle est

accessible sur une quinzaine de mètres et se termine sur un front de taille sans autre développement.

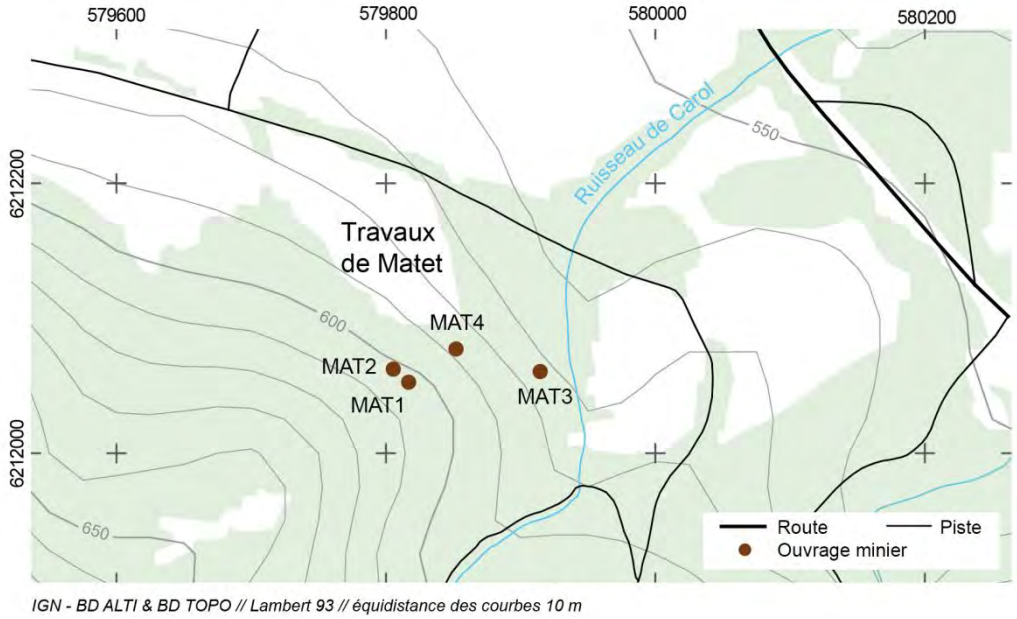


Fig. 50 : Plan des travaux de Matet (St-Martin-de-Caralp).

Aucun mobilier archéologique n'a été observé lors de nos prospections. Cependant, Mussy signale des « débris de poteries » et C. Dubois et J.-E. Guilbaut ont pu identifier trois petits tessons d'amphore italique dans les haldes. Les tranchées, récentes selon ces auteurs, pourraient également avoir repris d'anciens travaux. Enfin, les grattages d'ampleur modeste et irréguliers observés sur l'affleurement MAT3 pourraient correspondre à la phase d'exploitation antique signalée par les tessons d'amphores. L'activité décelée autour des mines du Coffre, de Moutou et de Gayet au I^{er} s. av. n. è. semble bien s'être étendue jusqu'au gisement de Matet.

Fig. 51 : Vue de l'affleurement MAT3 et de la tranchée MAT1.

III. B. Les réseaux anciens accessibles sur un petit périmètre

III. B. 1. Mine des Atiels (La-Bastide-de-Sérou et Larbont)

Les vestiges miniers des Atiels sont situés au sud-ouest du hameau du même nom, en rive droite du Pézègues (Fig. 52). Ils font partie d'un ensemble plus large comprenant un atelier de traitement du minerai de cuivre, au pied de la mine, et un atelier de réduction du fer, dans le hameau. Un habitat se situe très certainement plus haut sur le versant et les travaux miniers du Goutil sont également très proches, à 500 m à vol d'oiseau de la mine des Atiels, vers le nord-est.

Cette mine fait partie de celles qui sont connues depuis le XVIII^{e} siècle, comme nous l'avons vu plus haut. L'ampleur des travaux, attribués aux Romains, est considérable selon les sources, qui évoquent des travaux sur plus de 200 m de hauteur pour plusieurs kilomètres de réseau (Mettrier 1893, p. 317). Les reprises récentes de cette mine, qui datent du début du XX^{e} siècle, ont en effet recoupé les travaux anciens. S'ils ne sont pas décrits précisément, on sait tout de même que le fond des travaux n'était toujours pas atteint à 90 m de profondeur (Anonyme 1907a). Il est donc certain qu'ils se sont enfoncés largement sous le niveau du ruisseau. Pourtant, aucun ouvrage d'exhaure n'a été identifié lors de ces reprises.

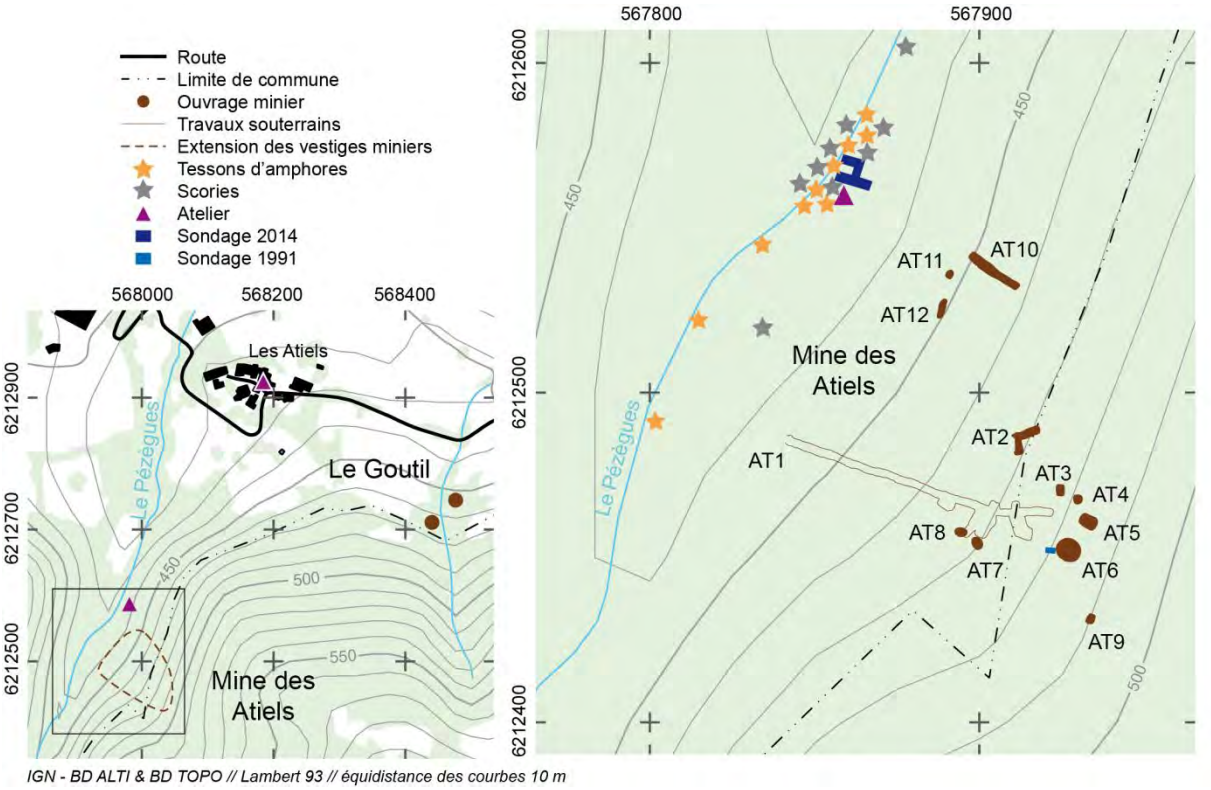


Fig. 52 : Travaux des Atiels (La-Bastide-de-Sérou et Larbont) : plan de localisation général et détail des travaux miniers.

En ce qui concerne la géologie, la partie accessible des travaux est encaissée dans un calcaire dolomitique du Dévonien moyen. La minéralisation, filonienne, se trouve dans une

gangue de quartz, de barytine ou de calcite selon les filons. De la chalcopyrite et des cuivres gris y sont signalés en mouches (Dubois & Guilbaut 1982, p. 98). Les archives signalent également la présence d'argent dans de la chalcopyrite nickélifère laissée par les Anciens dans les zones pauvres (Anonyme 1907a).

On peut atteindre la portion accessible du réseau ancien par le travers-banc du début du XX^{e} siècle, AT1. Les autres indices d'ouvrages miniers, AT2 à AT12, ne sont visibles qu'en surface ou ne correspondent qu'aux reprises modernes. Le cas des ateliers sera traité plus loin dans ce chapitre, au point III.D. La présence de tessons d'amphores dans le lit du ruisseau est également à signaler et va dans le sens des affirmations des riverains qui attribuaient cette mine aux Romains dès le XVIII^{e} siècle. Les prospections de C. Dubois et J.-E. Guilbaut n'avaient cependant pas livré de mobilier à proximité des travaux (Dubois & Guilbaut 1982, p. 101). Cela s'explique en bonne partie car la plupart du mobilier amphorique, tout comme les scories signalées sur le plan ci-dessus, proviennent d'un glissement de terrain causé par une crue relativement récente (une dizaine d'années selon les riverains). La prospection du versant n'a livré aucun vestige mobilier supplémentaire.

a. Les travaux sans accès au souterrain

Les indices de surface, cartographiés en 2014, sont répartis sur une zone de 110 m nord-sud et 50 m est-ouest, entre les cotes 450 et 490, à l'est de l'entrée du réseau principal AT1, plus haut sur le versant. Parmi les indices repérés, on relève deux tranchées (AT2, AT10), sept fosses (AT3, AT4, AT5, AT6, AT8, AT11, AT12) et deux entrées de souterrain rapidement comblées (AT7, AT9). Les deux tranchées ont uniquement en commun le fait d'être comblées et recolonisées par la végétation. La première, AT2, est une tranchée double dont le plan dessine un V à la pointe duquel on trouve une petite plates-forme (Fig. 53, à gauche). Les deux branches de la tranchée ont un profil évasé et doux. Leur profondeur tourne autour de 0,8 m pour une largeur au fond de la tranchée de 0,7 m. La seconde tranchée, AT10, est beaucoup plus imposante (Fig. 53, à droite). D'une largeur dépassant les 2 m, sa longueur est proche de 20 m. Orientée sud-est/nord-ouest, elle a un profil plutôt arrondi vers le nord-ouest et un peu plus quadrangulaire vers le sud-est. La végétation habituelle que l'on retrouve dans les bois du secteur, à savoir buis denses et autres feuillus, a ici bénéficié de l'action assidue des mousses et lichens pour parfaire le recouvrement des affleurements rocheux, ce qui ne facilite pas leur observation.

Parmi les fosses, trois d'entre elles (AT3, AT4, AT5) sont clairement quadrangulaires, avec des angles marqués légèrement arrondis. Elles sont proches les unes des autres, creusées au pied du même affleurement sur moins de 20 m de distance. La fosse AT5 (3 x 2 m) est la plus profonde (1 m max.), impression renforcée par le surplomb de l'affleurement, ici de plus de 3 m. Une ouverture dans l'angle nord de la fosse devait permettre de sortir le produit minier plus facilement (Fig. 54, à gauche). Les fosses AT3 (Fig. 54, à droite) et AT4 sont moins profondes (0,5 m max.). Vers l'est, elles sont également adossées à l'affleurement, mais les

surplombs ainsi créés ne dépassent pas 2 m. Le caractère très géométrique de ces fosses ne correspond pas aux travaux anciens reconnus jusqu'alors dans le secteur.

Fig. 53 : Les tranchées AT2 (à gauche, vue vers l'est) et AT10 (à droite, vue vers le sud-est).

Fig. 54 : Fosses AT5 (à gauche, vue de dessus, vers le NO) et AT3 (à droite, vue vers le nord).

La fosse AT11, circulaire, et la fosse AT12, ovale, sont complètement envahies d'arbres morts recouverts de rideaux de mousse, ce qui empêche toute photographie utile et limite la vision que l'on peut en avoir. La fosse AT8, de petite taille (diamètre inférieur à 2 m), est située à 2 m au nord-ouest du départ de souterrain AT7. Il est cependant difficile de dire s'il existe une relation directe entre ces deux éléments, la descenderie AT7 s'enfonçant en direction opposée.

La fosse AT6 est la plus imposante : avec un diamètre à l'ouverture de près de 6 m et une profondeur de 4 m, elle dépasse largement les proportions de ses voisines. Les parois sont

relativement abruptes et le diamètre au fond est proche des 2 m. Une ouverture est ménagée dans la partie supérieure de la fosse, donnant vers le nord-ouest. C. Dubois avait réalisé un sondage devant cette ouverture, à l'extérieur de la fosse, en 1991. Le sondage s'est malheureusement avéré stérile (Dubois & Métailié 1991, pp. 46-47). Cette fosse a tout l'air de correspondre à une tête de puits comblée. Les parois rocheuses que l'on distingue à la base du cratère comportent quelques traces millimétriques de malachite. Le fait que cette fosse soit encore assez profonde, avec des contours bien marqués, et surtout son diamètre imposant nous incitent à y voir un ouvrage récent. Les arbres nombreux et sa morphologie empêchent malheureusement de prendre le recul nécessaire pour la photographier.

Enfin, les points AT7 et AT9 correspondent à des départs de travaux souterrains. AT7 est une descenderie d'une largeur de 0,8 à 1 m qui s'ouvre au fond d'une fosse circulaire (Fig. 55, à gauche). On peut s'y avancer sur 5 m avant qu'elle ne soit totalement obstruée par des blocs stériles. On distingue juste à la surface des remblais, sur la paroi ouest, un petit ressaut qui pourrait marquer le départ d'une galerie, totalement comblée, au fond de la partie accessible. Il s'agit indubitablement d'une descenderie récente. Il en va de même pour la galerie AT9, ouvrage le plus haut sur le versant et le plus au sud. Elle est totalement obstruée et un bloc s'est détaché de la couronne, très fissurée à l'entrée (Fig. 55, à droite).

Fig. 55 : Galeries récentes AT7 (à gauche, vue vers le sud) et AT9 (à droite, vue vers l'est).

b. Le réseau souterrain AT1

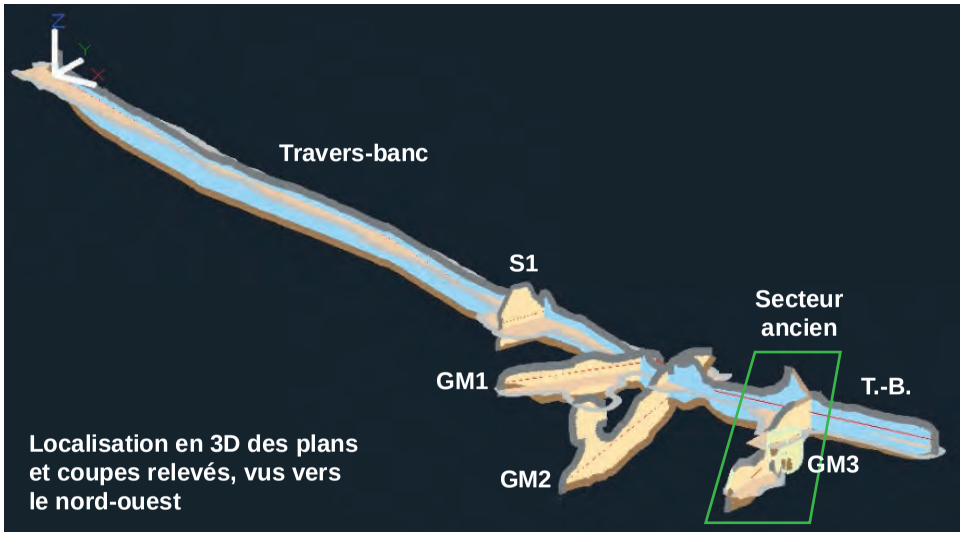
Ce réseau correspond dans sa grande majorité aux travaux effectués au début du XX^{e} siècle. Il est composé d'un travers-banc, long de 83,6 m, de trois galeries modernes, GM1 à GM3 et d'une salle S1 (Fig. 56 et 57). Les travaux anciens sont recoupés à 70 m du jour. On les distingue parfaitement des creusements plus récents par la technique utilisée – l'outil d'un côté et l'explosif de l'autre – et par leur gabarit – 0,75 m de largeur moyenne contre 1,25 m. Ils sont toutefois assez mal conservés : l'élargissement des travaux au XXe siècle a entaillé les galeries plus anciennes, dont il ne reste parfois plus que des lambeaux de parois, et le remblaiement massif des ouvrages limite la zone accessible à un espace de 8,3 m nord-sud pour 5,4 m est-ouest.

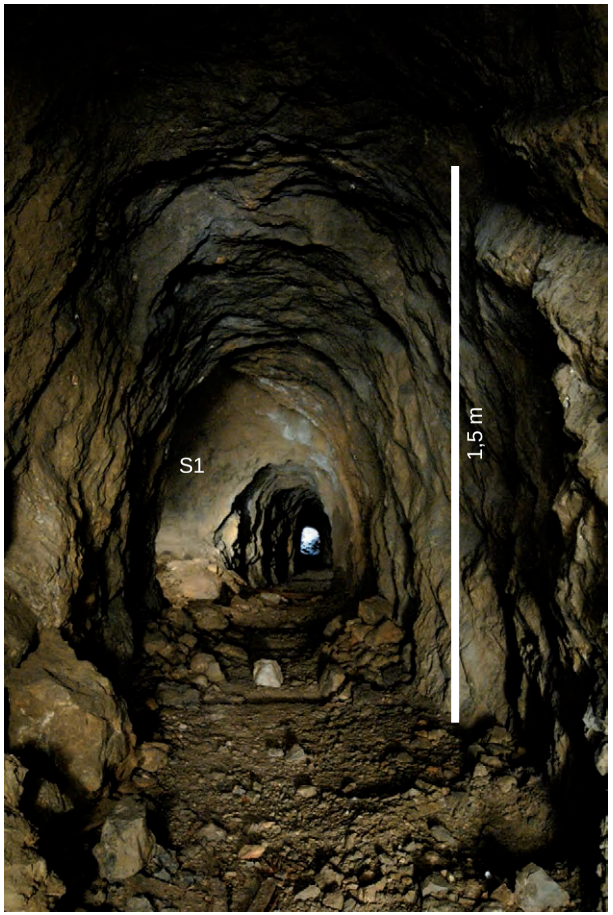
Nous ne nous étendrons pas sur la partie moderne de ce réseau, mais en relèverons les caractéristiques principales. Le travers-banc est orienté N109 jusqu'au premier filon puis N88 jusqu'au front de taille terminal. Son gabarit est régulier avec une hauteur de 1,65 à 2 m sur remblai et une largeur de 1,25 m. Des traverses en bois ou leurs empreintes témoignent de l'installation de rails pour faciliter l'évacuation des produits de la mine. La salle S1 correspond à un élargissement vers le sud suivant des petits filons peu développés. La galerie GM2 est une descenderie pour l'exploitation d'un premier filon à gangue barytique, comblée à la cote -5. La galerie GM1 est un ouvrage d'assistance qui dessert un puits surplombant GM2. Un système de levage devait y être installé. Enfin, la galerie GM3 est une autre descenderie qui suit un deuxième filon à gangue là encore barytique. L'exploitation se poursuivait à cet endroit par un chantier descendant incliné vers l'ouest, suivant le pendage du filon, aujourd'hui comblé à la cote -4,34. C'est ce chantier qui a suivi et élargi une partie des travaux anciens. Enfin, un puits dont le comblement est totalement calcifié est visible en couronne du travers-banc au niveau du départ de GM3 (Fig. 57, coupe GM3).

La partie ancienne du réseau (Fig. 58 et 59) est constituée de plusieurs galeries étagées (GA1 à GA6) destinées à l'exploitation de la structure filonienne recoupée par la galerie GM3. Les travaux anciens, actuellement accessibles entre les cotes +2,22 et -3,90, se poursuivent vers le haut et vers le bas mais ils sont comblés. Les galeries GA3, GA4 et GA5 se trouvent dans l'allongement du filon principal. GA3 et GA4 ne sont plus décelables que par des lambeaux de parois recouverts de traces d'outil (Fig. 60, a et b). GA5 n'est visible que dans sa partie haute, qui se trouve à environ 1,5 m sous la sole actuelle du travers-banc, encombrée ici de déblais. Des alvéoles creusées à l'outil dans la paroi orientale correspondent à des élargissements ponctuels pour obtenir plus de minerai (Fig. 60, c). La galerie GA1 a suivi un petit filon secondaire sur deux niveaux, comme le montre le front de taille conservé partiellement dans la partie haute (Fig. 61, a). La galerie GA2, par contre, est creusée dans le stérile et sert uniquement de jonction entre la galerie GA1 et la partie supérieure du chantier, à l'ouest. Enfin, la galerie GA6 est identifiée par un front de taille suspendu conservé à la jonction entre le travers-banc et GM3 (Fig. 61, c). Les concrétions sur le parement masquent les traces d'outil, visibles uniquement près de la couronne. Deux encoches peuvent avoir servi à maintenir un boisage en relation avec le puits qui s'ouvre en couronne. Un autre puits se trouve dans la partie sud de GM3, au-dessus de GA3 (Fig. 61, a). Le remblai est là aussi totalement calcifié et des encoches de boisage y ont été creusées (du bois en mauvais état s'y trouve encore). Ce puits est probablement antérieur à la reprise du XX^{e} siècle, mais il ne semble pas non plus avoir fonctionné avec les galeries étagées.

Parois modernes
Parois anciennes
Parois du niveau inférieur
Traverses pour les rails
Remblais

Topographie:
E. Meunier
J. Ufkes
F. De Pinho





Vue du travers-banc vers l'entrée. On distingue le départ de lasalle S1 sur la gauche (cliché J.-M. Fabre).

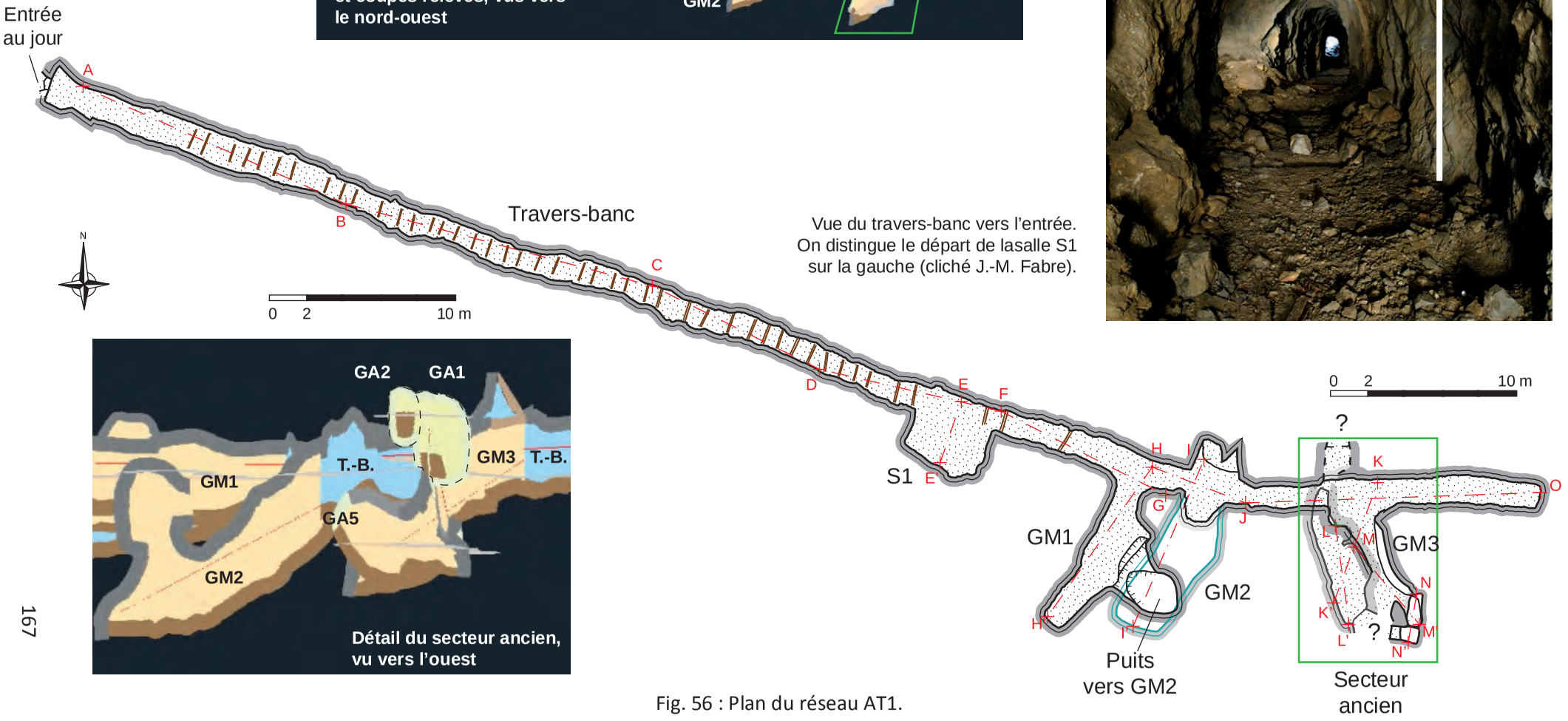
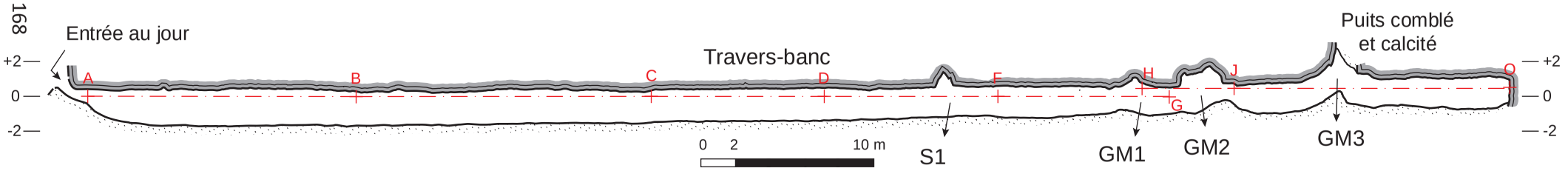
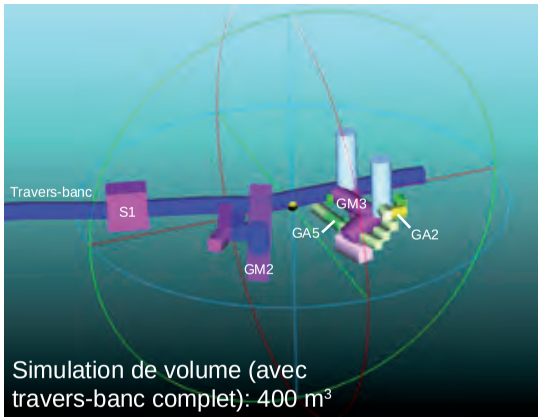
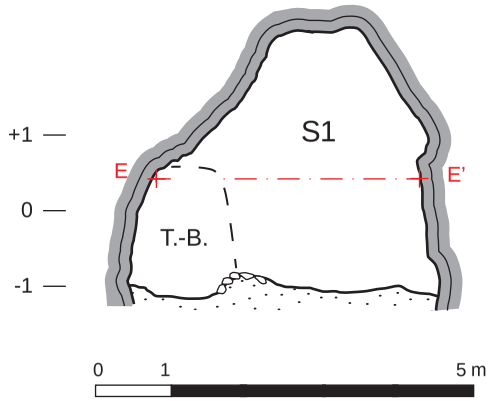
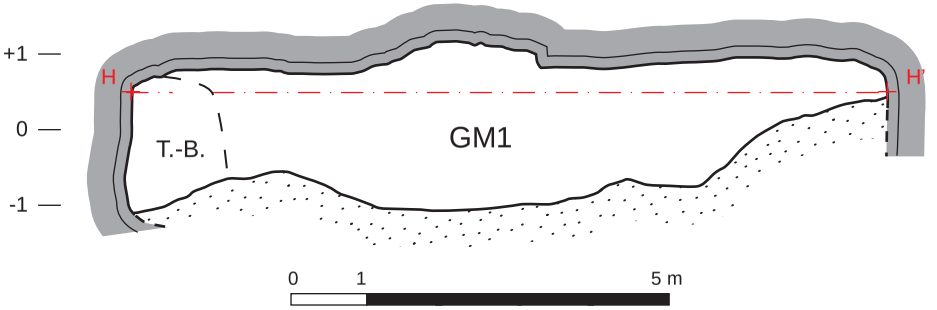


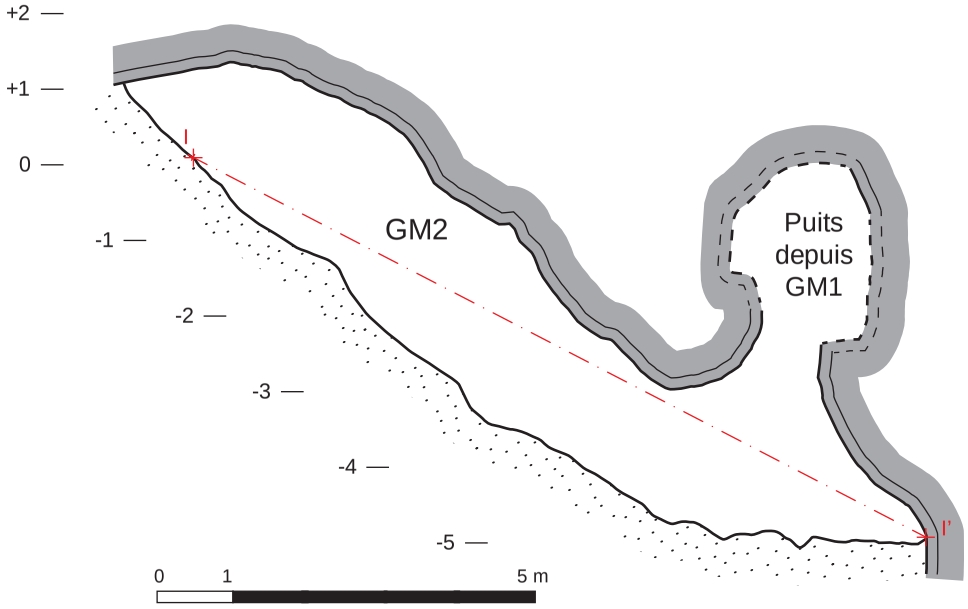
Fig. 56 : Plan du réseau AT1.











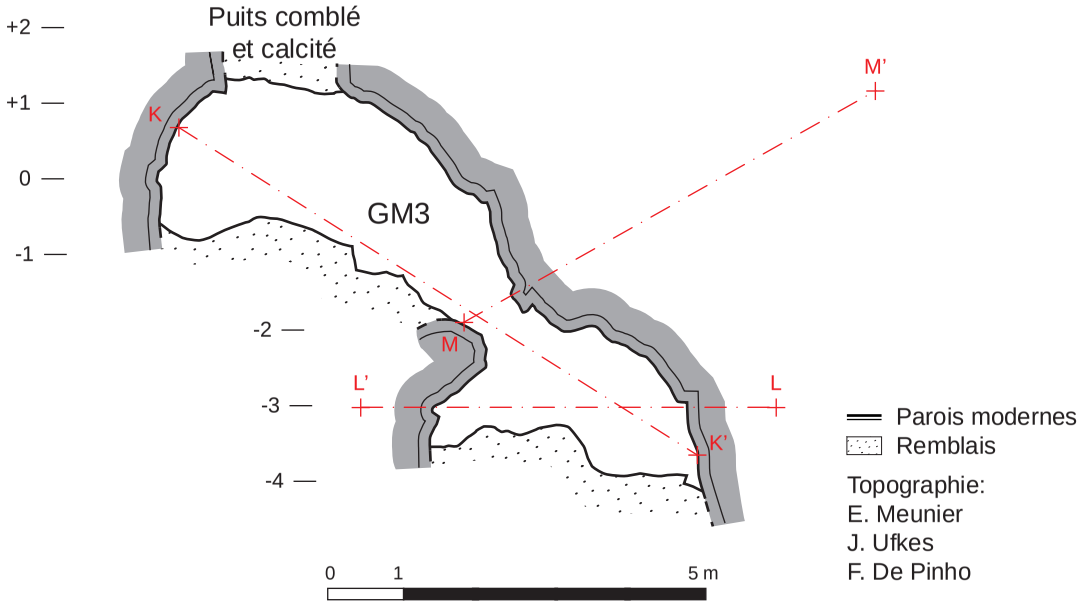
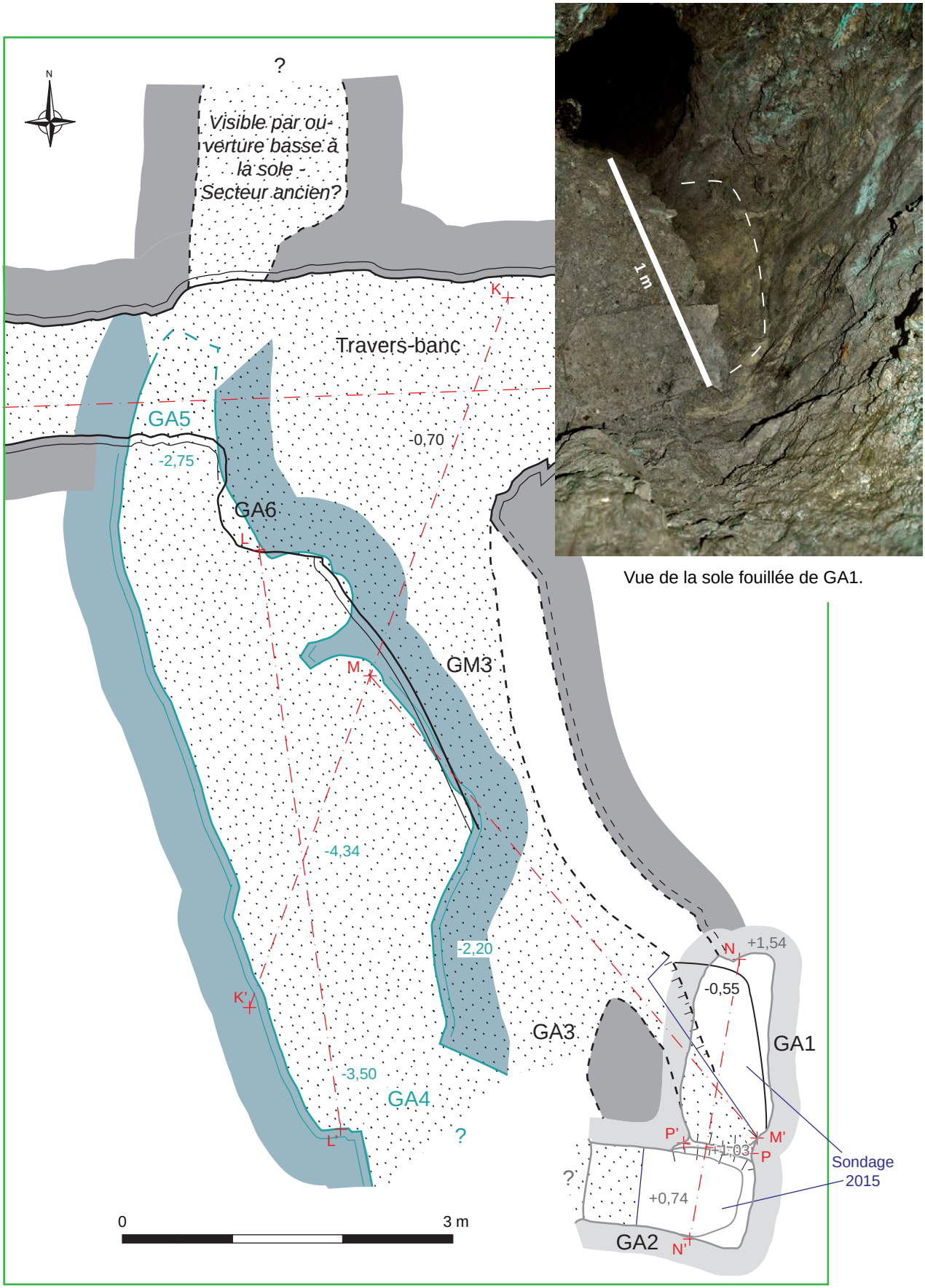


Fig. 57 : Coupes des secteurs modernes du réseau AT1.



Vue de la sole fouillée de GA1.

Fig. 58 : Plan de détail du secteur ancien du réseau AT1.

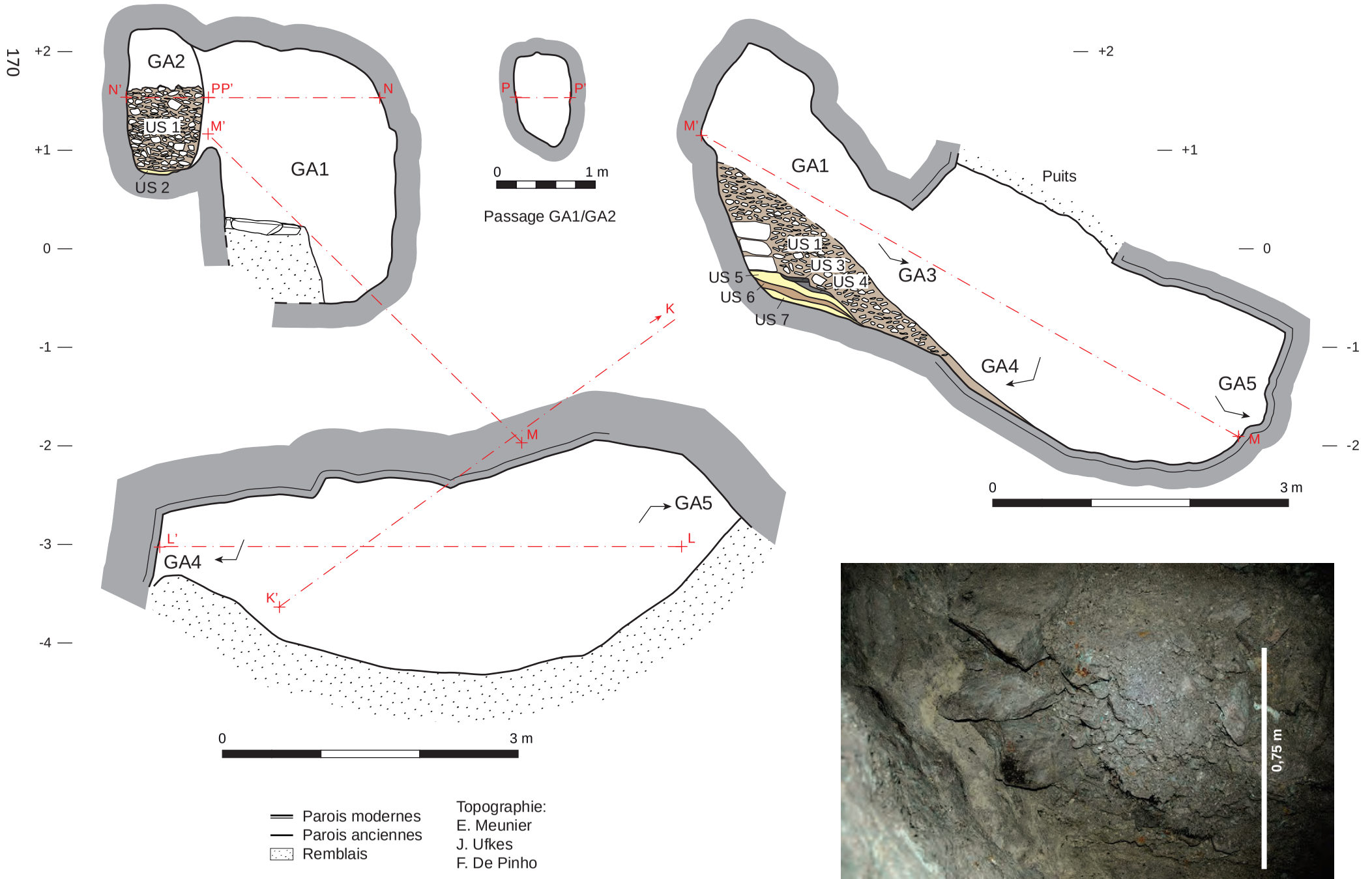
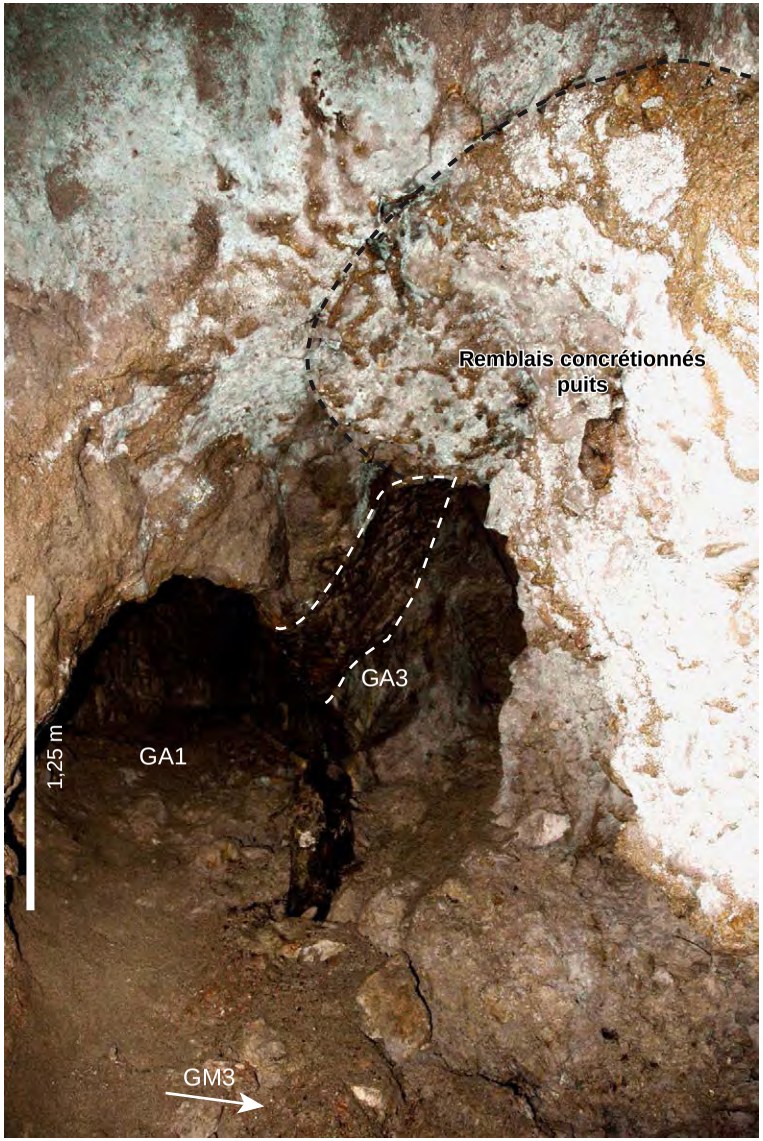
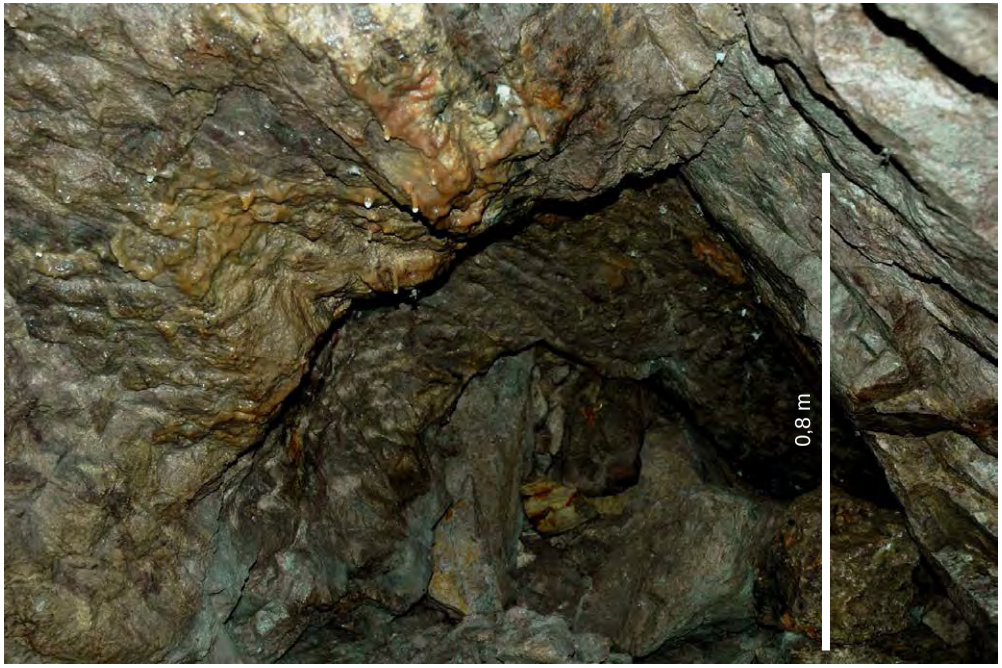


Fig. 59 : Coupes du secteur ancien du réseau AT1.

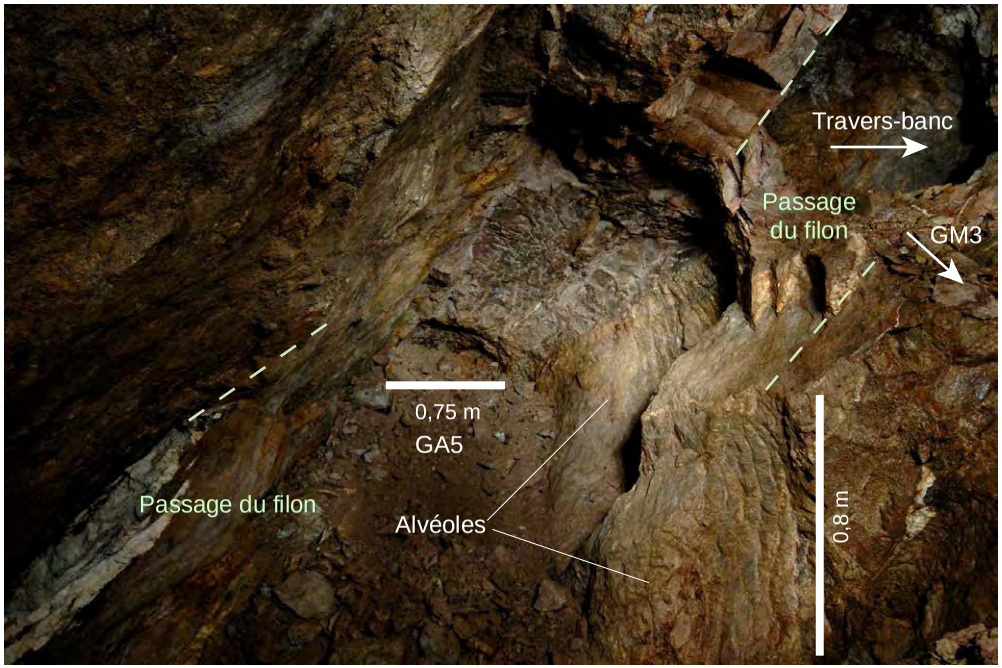
Stratigraphie dans la galerie GA1.



a. GA1 et GA3 depuis le chantier incliné GM3, vers le sud.

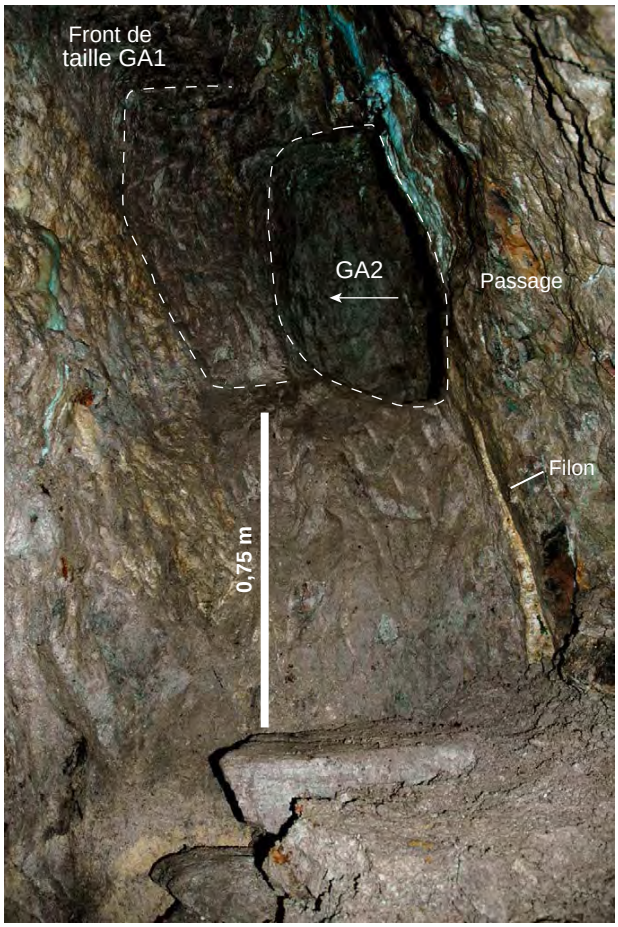


b. GA4 vue depuis le nord.



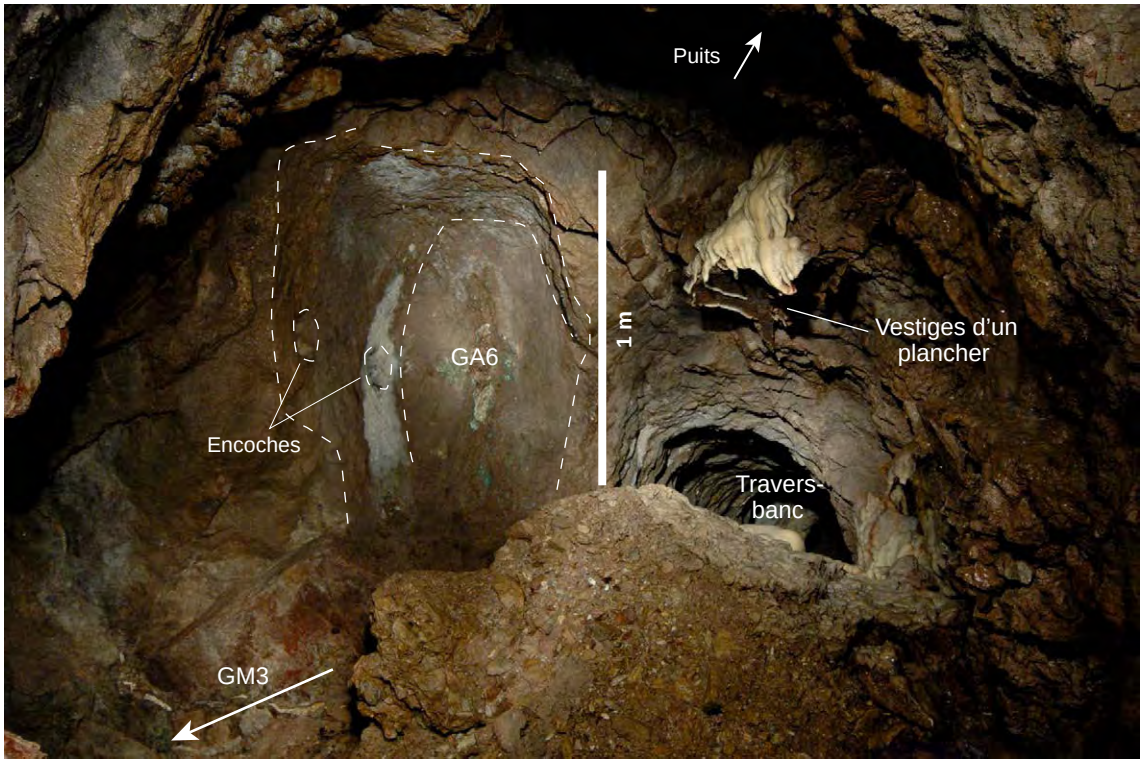
c. GA5 et alvéoles à l'outil en paroi est, vue vers le nord (cliché J.-M. Fabre).

Fig. 60 : Vues des galeries GA3, GA4 et GA5 du réseau AT1.



a. Vue du passage entre GA1 et GA2 vers le sud. Les traces d'outil nombreuses sont bien visibles, ainsi qu'un filon contre la paroi ouest.

b. Stratigraphie et profil de la galerie GA2. On observe les traces d'outil formant des lignes plus claires sur le haut de la paroi.



c. Front de taille GA6 conservé à la jonction entre GM3 et le travers-banc. (cliché J.-M. Fabre)

Fig. 61 : Vues des galeries GA1, GA2 et GA6 du réseau AT1.

Malgré la faible étendue de réseau ancien conservé, quelques conclusions peuvent en être tirées. La première chose que l'on remarque est l'utilisation exclusive de l'ouverture à l'outil. Les galeries suffisamment bien conservées montrent que le module de base est quadrangulaire aux angles arrondis, avec un élargissement central. On le voit avec le front de taille en haut de GA1 (Fig. 61, a), avec le profil complet de GA2 (Fig. 59) et au niveau du front de taille de GA6 (Fig. 61, c). La partie haute de GA5 correspond à ce schéma, bien que le pendage du filon ait conduit à creuser suivant la même inclinaison (Fig. 60, c). La galerie GA2, creusée dans le stérile, a une hauteur de 1,5 m pour 0,74 m de largeur maximale. On peut supposer qu'il s'agit là du gabarit minimal des ouvrages de cette phase d'activité. L'effort consenti pour le percement de cette galerie d'assistance permet d'y circuler debout en se baissant un peu. Il serait difficile d'avoir à y croiser quelqu'un, mais sa longueur réduite, 1,51 m entre le front de taille à l'est et le chantier comblé à l'ouest, permettait sans doute de limiter ce dernier inconvénient. La taille de l'ouverture entre GA1 et GA2, avec une largeur de 0,57 m et 0,95 m de hauteur maximale, peut indiquer qu'il ne s'agissait pas d'un passage emprunté en permanence (Fig. 59, axe PP').

L'état de conservation de ce secteur ancien ne permet pas d'apporter beaucoup de précisions sur la façon de travailler. On signalera en complément que les archives mentionnent des piliers suspendus dans les vieux travaux recoupés au début du XX^{e} siècle (Anonyme 1907a). Ce mode de soutènement est utilisé couramment dans les mines du district et permettait également de faciliter la progression verticale. Au moins deux phases d'activité sont identifiables dans ce réseau : la plus ancienne regroupe les galeries creusées à l'outil et la plus récente celle des recherches du début du XX^{e} siècle, avec l'utilisation de l'explosif. Les documents anciens signalaient une phase d'activité au cours du XVIII^{e} siècle (Dietrich 1786, pp. 113-114). Le puits au remblai calcifié qui semble recouper les galeries à l'outil pourrait correspondre à cette phase intermédiaire. On peut supposer qu'à plus d'un siècle de distance, les concrétions aient paru assez solides aux mineurs pour y caler des boisages, qui, d'après leur emplacement, servaient peut-être à protéger le chantier qui démarre en GM3 d'éboulements venant du réseau ancien non repris. Ceci restera pour le moment une simple hypothèse. Le sondage réalisé dans les galeries GA1 et GA2 permet tout de même de préciser la chronologie de la phase de travaux à l'outil.

c. Sondage et chronologie des travaux

Le sondage a été implanté dans les galeries GA1 et GA2 (Fig. 58). L'extrémité orientale de la galerie GA2 a été vidée (Fig. 61, b et Fig. 59, axe NN') et une coupe longitudinale a été effectuée dans GA1 (Fig. 59, axe MM' et photo). Le profil complet de GA1 a pu être dégagé sur sa moitié nord, ce qui permet de conclure que cette galerie atteignait 2,55 m. La sole de la galerie GA2 est plus basse de 30 cm que la base de l'ouverture entre les deux galeries, ce qui forme un ressaut étroit peu pratique à franchir (cote +0,74 contre +1,03) et renforce l'idée que ce passage ne servait que ponctuellement à la circulation des mineurs.

Les deux coupes ne sont pas directement connectées mais la fouille a permis de constater que le niveau supérieur du comblement de chaque galerie correspond au même remblai massif. La numérotation des US est donc continue entre les deux galeries.

US 1 : Couche de remblai supérieur, uniforme, qui constitue le comblement principal de GA2 et scelle la stratigraphie de GA1. Ce remblai est composé majoritairement de fragments de roche de petite taille (5 cm de côté en moyenne), plutôt calibrés, qui s'apparentent donc à des déchets d'abattage. Quelques blocs de plus grande taille sont présents ponctuellement. Le tout est pris dans une matrice terreuse friable de couleur grise qui renferme de nombreux fragments de charbons de petite taille (5 mm). Des blocs plus larges (30 cm de côté) se retrouvent disposés contre la paroi sud de GA1, pris dans cette même matrice. Ils pourraient avoir été disposés volontairement à cet endroit pour former une marche aidant à atteindre l'ouverture entre GA1 et GA2. Cependant, aucun niveau de circulation ni changement significatif dans la composition du remblai au-dessus de ces blocs ne permet de l'assurer formellement. Un tesson de panse d'amphore italique reposait sur le dessus de cette US.

US 2 : Fine couche jaune clair d'un gravier fin formé par des petits éclats de 3 à 5 mm de côté aux arêtes vives qui repose sur la sole de GA2. Un peu plus épaisse contre la paroi est (4 cm), elle s'affine vers l'intérieur de la galerie et disparaît presque à la base de la coupe. Cette US est directement recouverte par le remblai US 1.

US 3 : Poche uniforme de charbons écrasés. Cette US est très localisée, et a été fouillée en plan sur quelques cm^2. Elle apparaît bien dans la coupe et s'apparente à un rejet ponctuel, recouvert par le remblai US 1.

US 4 : Couche de terre argileuse grise compactée renfermant des petits graviers et des charbons, plus nombreux en surface. Cette US a été fouillée en plan et correspond à un niveau de circulation (Fig. 62). Son profil montre un léger effondrement de la couche. Des charbons ont été prélevés pour datation.

US 5 : Niveau de gravier fin similaire à l'US 2, mais situé cette fois-ci à la base de la stratigraphie de GA1. On y observe de plus de rares charbons très fins, provenant peut-être du niveau supérieur, US 4. Épaisseur max. 5 cm.

US 6 : Couche d'argile de 4 à 5 cm d'épaisseur située sous l'US 5. De couleur brune, elle est uniforme et renferme très peu d'inclusions, qui se limitent à quelques graviers millimétriques.

US 7 : De nouveau, couche de gravier fin similaire aux US 2 et 5. L'US 7 repose directement sur la sole de GA1.

Cette stratigraphie nous permet de distinguer 4 phases dans la galerie GA1 et une phase dans la galerie GA2 avant le comblement définitif par l'US 1. La première phase correspond au creusement de la galerie GA1 et à une première phase d'exploitation, identifiée par les résidus d'abattage à l'outil de l'US 7, reposant directement sur la sole. L'US 6 marque une deuxième phase où cette galerie ne connait pas d'activité et où la sédimentation argileuse peut se former. La reprise de l'exploitation de la galerie GA1, soit la phase 3, est marquée par le deuxième niveau de résidus d'abattage, US 5. Ensuite, la phase 4 consiste en une utilisation de GA1 comme un espace de circulation : l'US 4, niveau compact de terre argileuse avec graviers fins et charbons, est caractéristique de ce type d'activité. Le rejet de charbons de l'US 3 est à rattacher à la fin de cette même phase. C'est pendant la phase 4

que la galerie GA2 a dû être creusée. Cette exploitation a donné les résidus formant l'US 2, directement en contact avec la sole de GA2.

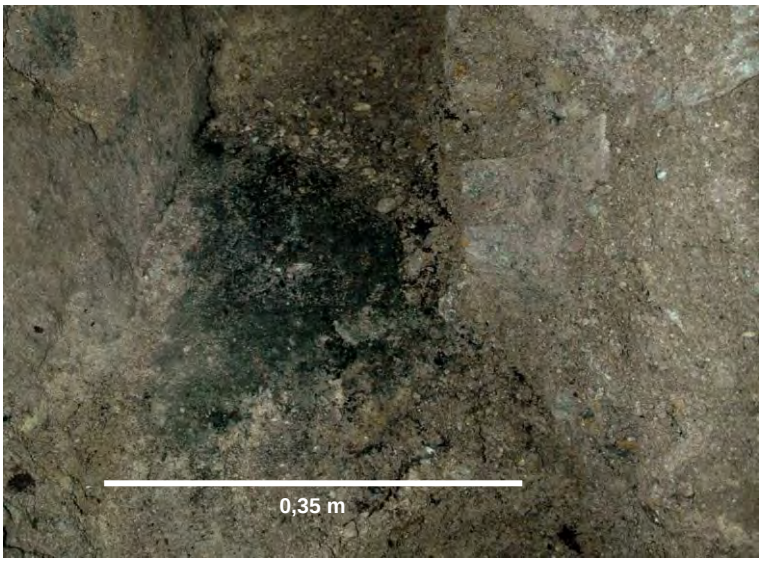


Fig. 62 : Fouille de la galerie GA1, détail de l'US 4.

La phase 5 est la dernière des phases anciennes, et correspond à l'abandon de ce secteur d'exploitation, qui est donc remblayé et devient un secteur de stockage. L'US 1 recouvre uniformément la stratigraphie des deux galeries et comble GA2 jusqu'à son sommet. Elle est directement en contact avec les résidus d'abattage de l'US 2, ce qui indique que la mise en place de l'US 1 s'est faite très rapidement après le creusement de GA2, raison pour laquelle son creusement est placé en phase 4 et non avant. L'uniformité de l'US 1 ne peut s'expliquer que par un comblement rapide de ce secteur et non par une sédimentation lente. Les blocs plus gros concentrés au sud de GA1 ne permettent pas d'identifier une phase intermédiaire.

Les reprises plus récentes qui recoupent ces ouvrages conformeraient la phase 6, qu'il faudrait peut-être subdiviser si le puits au remblai concrétionné s'avérait correspondre aux reprises du XVIII^{e} siècle.

La datation[71] obtenue sur les charbons de l'US 4 correspond aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è. (202-37 BC à 93,5% de probabilités). Ce large intervalle est en partie cohérent avec les tessons d'amphores italiques découverts dans le ruisseau et avec celui qui se trouvait à la surface de l'US 1, bien que le mobilier des niveaux de remblais miniers doive être considéré avec précautions. Le début de l'intervalle calibré est cependant antérieur à la chronologie donnée par les amphores et on ne peut l'exclure du raisonnement. D'autre part, il faut être conscient que la partie accessible des travaux anciens est à environ 30 m à la verticale de la surface. Cette profondeur sous-entend que la mine était déjà active depuis un certain temps au moment où les mineurs ont circulé dans la galerie GA1. L'exploitation de cette mine a donc pu démarrer au II^{e} s. av. n. è. si l'on considère que l'activité dans GA1 est contemporaine des amphores italiques. Si l'on place l'activité dans cette galerie dans la

[71] Datation Poz-84531 : 2090 ±35 BP, soit 202-37 cal BC, 30-21 cal BC et 11-2 cal BC.

première moitié de l'intervalle de dates calibré, l'exploitation aurait très bien pu démarrer dès le III^{e} s. av. n. è. Le mobilier associé à l'atelier de traitement du cuivre identifié sur la berge du Pézègues montre que le site était toujours fréquenté dans le troisième quart du I^{er} s. av. n. è. Nous y reviendrons plus bas (point III. D. 2, p. 288).

d. Conclusions

Les galeries GA1 et GA2 sont conservées sur leur profil complet. La sole de GA6 a été percée par les reprises modernes et on ne connaît pas sa hauteur originelle, supérieure à 1 m. La restitution de trois autres galeries anciennes (GA3, GA4 et GA5) est proposée sur la base de différents lambeaux de paroi taillés à l'outil identifiés à plusieurs niveaux. Dans ces trois cas, la paroi orientale et / ou la couronne sont conservés. Leur disposition évoque un espace antique assez largement ouvert, exploitant en gradins et à l'outil la minéralisation inclinée.

Les deux galeries conservées, GA1 et GA2, ont une largeur similaire comprise entre 0,7 et 0,75 m. Les lambeaux de parois couverts de traces d'outils de la partie inférieure du réseau ancien ainsi que le front de taille GA6 sont cohérents avec ce module. Il n'est pas possible en l'état de proposer une hauteur de galerie type. GA2 est la seule conservée en entier sur un seul niveau de travail (1,5 m). La hauteur de la galerie GA1, avec 2,55 m, est trop importante pour correspondre à un étage de travail unique. Le petit front de taille partiel conservé dans sa partie haute donne une hauteur de 1 m, inférieure à celle de GA2, mais pas forcément représentative dans la mesure où il s'agit d'une extension de l'exploitation vers le haut sur la base d'une galerie déjà ouverte. Les travaux anciens sont globalement trop mal conservés pour restituer la dynamique d'exploitation.

Pour terminer, on constate sur le plan général des ouvrage miniers que la fosse AT8 et la descenderie AT7 se trouvent à l'aplomb des galeries modernes GM1 et GM2, une trentaine de mètres plus haut (Fig. 52). Il n'est cependant pas possible de les mettre en relation directe : les deux galeries modernes ne présentent aucune ouverture à la couronne[72].

III. B. 2. Mine de la Tuilerie (Larbont)

La mine de la Tuilerie a exploité une minéralisation cuivreuse encaissée dans la dolomie dévonienne, à gangue de barytine et de quartz (Dubois & Guilbaut 1982, p. 111). Les vestiges de travaux sont alignés suivant un axe nord-sud sur près de 150 m (Fig. 63), entre 530 et 570 m d'altitude. Des tranchées de recherche ont été réalisées sur ce site entre 1981 et 1982 pour la barytine (Robert 1982, pp. 2-3). Le premier vestige minier au nord correspond à une tranchée comblée profonde d'environ 1 m. En continuant vers le sud, une fosse comblée de 5 à 6 m de diamètre (TUI1) interrompt la topographie naturelle. On rencontre ensuite une petite salle voûtée qui s'ouvre au jour, TUI2, puis une tranchée envahie par la végétation

[72] La localisation des indices de surface n'est pas aussi précise que le relevé souterrain du fait des marges d'erreur des GPS en contexte boisé (précision théorique de 4 m au moment de la mesure). AT7 et AT8 sont probablement un peu décalées par rapport au chantier souterrain.

TUI3. Les haldes ne sont plus visibles, mais des petites buttes en bordure des ouvrages peuvent correspondre à des déblais recouverts de végétation.

À l'ouest de ces vestiges, une zone perturbée correspond probablement à un autre secteur d'exploitation. Le terrain a été remanié lors des plantations de pins qui se trouvent au sud et à l'ouest et on ne peut observer correctement ces vestiges. On constate tout de même la présence d'affleurements rocheux qui ont au moins fait l'objet de grattages. Des blocs peuvent correspondre à des haldes étalées. La végétation assez dense contribue à limiter les observations.

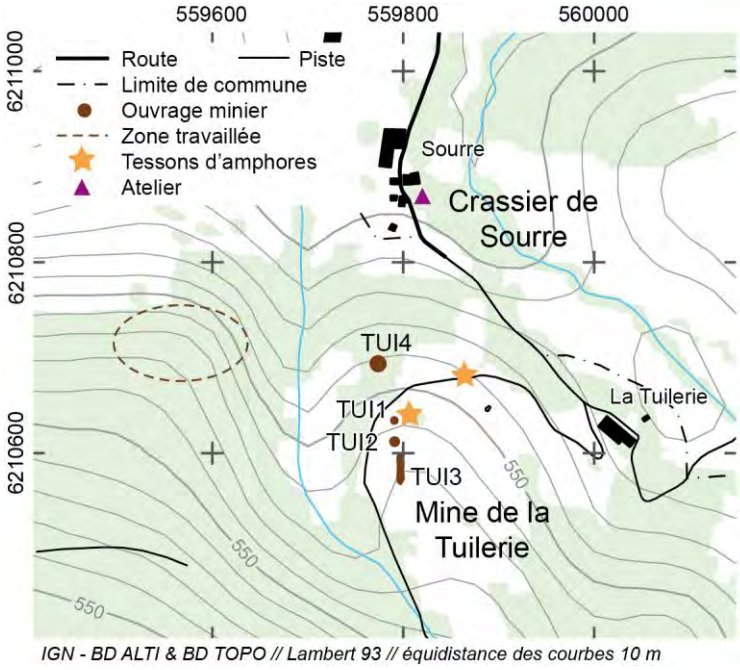


Fig. 63 : Plan des travaux de la Tuilerie (Larbont).

a. Les ouvrages de surface

La tranchée TUI4 (Fig. 64) est difficilement datable en l'état car les parois rocheuses ne sont pas visibles. Son tracé légèrement sinueux et le profil évasé s'accordent mal avec des travaux récents, normalement plus rectilignes, mais la morphologie d'une tranchée de ce type reste un très mauvais argument chronologique. Les archives du BRGM de Toulouse que nous avons pu consulter mentionnant les recherches récentes effectuées sur ce site n'étaient pas accompagnées d'un plan des travaux, ce qui conduit à maintenir le doute.

Fig. 64 : Tranchée TUI4, vue depuis le nord.

La fosse TUI1 n'est guère plus parlante : comblée et recouverte de végétation, elle n'est pas datable (Fig. 65). Toutefois, il faut signaler que deux lèvres d'amphore Dr 1A y ont été trouvées (Tab. 10). La fréquentation de ce site au I^{er} s. av. n. è. s'en trouve de nouveau illustrée, après les mentions de panses d'amphores italiques signalées lors des premières prospections le long de la piste d'accès (Dubois & Guilbaut 1982, p. 111). Toutefois, la localisation de ces nouveaux tessons dans la partie supérieure du comblement de la fosse TUI1 pourrait dater son abandon plutôt que son creusement.

Fig. 65 : La fosse TUI1, vue depuis le sud.

Enfin, la longue tranchée TUI3, noyée dans les broussailles, constitue un autre ouvrage indatable en l'état (Fig. 66, a). Sa largeur dépasse légèrement le mètre et on distingue l'affleurement rocheux qui a été suivi par les mineurs près de son extrémité nord (Fig. 66, c).

Une voûte en pierre maçonnée est visible sur environ 0,5 m de long dans la partie centrale (Fig. 66, b). Le mortier utilisé n'est pas antique, pour ce que les conditions d'observation ont permis de constater. Cet ouvrage se développe certainement en profondeur, la construction de la voûte n'ayant pas beaucoup de sens pour un ouvrage de surface peu profond. La jonction pouvait se faire avec l'ouvrage TUI2 en souterrain, mais leur comblement ne permet pas de l'assurer.

a. Vue d'ensemble des ouvrages TUI2 et TUI3, depuis le NO.
On peut observer les bourrelets de terre en bordure.

b. Voûte maçonnée dans la partie centrale de TUI3, vue depuis le sud.

c. Bordures rocheuses de la tranchée sur affleurement, vues depuis le sud.

Fig. 66 : Vues de l'ouvrage TUI3.

b. La portion de réseau ancien TUI2

La salle voutée TUI2 constitue la seule partie de cette mine dans laquelle on peut observer un minimum de travaux anciens. Les observations sont cependant limitées dans la mesure où cette salle est largement comblée de blocs stériles de 10 à 20 cm de côté. De plan circulaire (Fig. 67), ses dimensions visibles atteignent un diamètre de 3 m et une hauteur maximale sur remblai de 1,20 m. On distingue la partie supérieure d'un creusement dans la paroi sud-est, émergeant de quelques centimètres au-dessus du remblai. Il peut s'agir d'une galerie qui rejoindrait la partie profonde de la tranchée TUI3, ou simplement d'une alvéole latérale.

Cette salle a été creusée dans un affleurement rocheux aujourd'hui caché par les arbres. Elle est ouverte au jour sur tout le côté nord. La paroi rocheuse située juste au-dessus de l'ouverture comporte une alvéole au profil courbe, vestige d'un niveau d'exploitation supérieur (Fig. 67). Ce profil, tout comme la voûte lisse de la couronne de la petite salle, témoigne de l'utilisation du feu pour ouvrir ces travaux. Des traces d'outil sont aussi visibles près de l'ouverture que l'on décèle dans la salle. Il faut également signaler que ces coupoles ont des diamètres importants : 2 m pour la salle et 1 m de corde pour l'arc de cercle de l'alvéole supérieure. L'observation des parois ne permet pas de déceler de reprise ou d'élargissement de ces coupoles, dont le volume est uniforme et montre que les feux ont été conduits dès le départ avec la volonté d'extraire des gros volumes. Nous verrons pour d'autres chantiers que ce n'est pas toujours le cas.

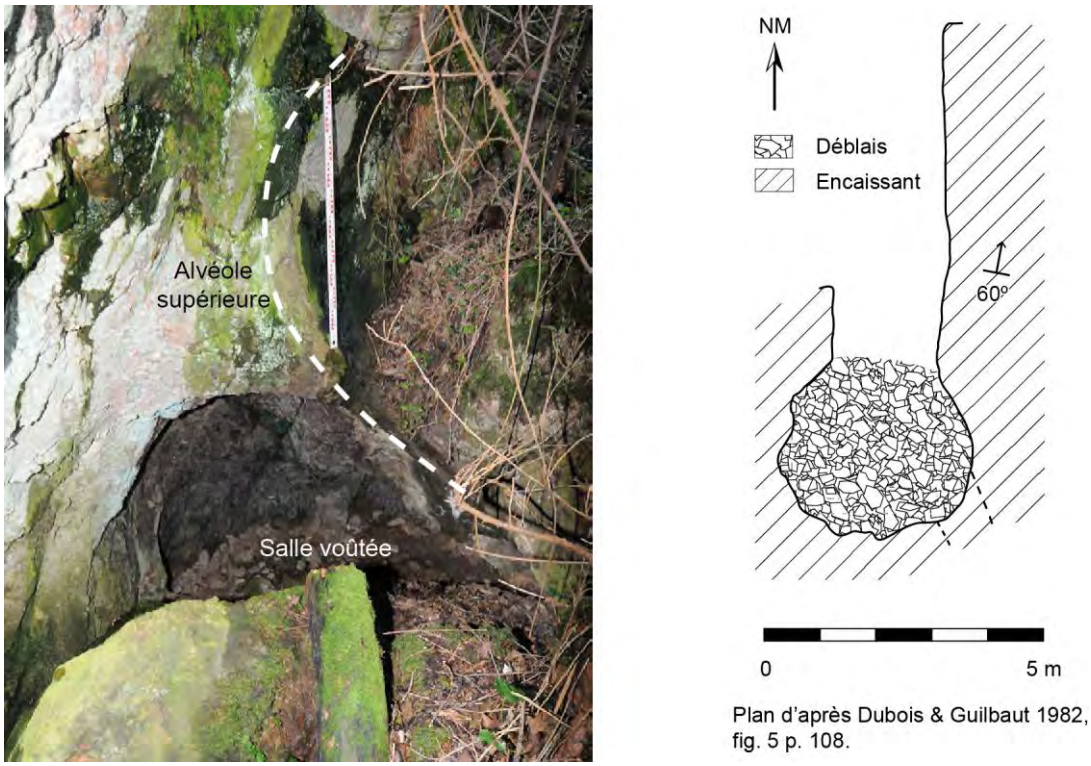


Fig. 67 : Ouvrage TUI2 : vue depuis le nord et plan.

c. Chronologie des travaux

Les éléments chronologiques, en l'absence de sondage, se limitent aux tessons d'amphores recueillis sur le site (Tab. 10 et Fig. 68). Leur chronologie est large, elle couvre une période allant des dernières années du II^{e} s. av. n. è. jusqu'au troisième quart du I^{er} s. av. n. è. Des reprises d'activités aux XVIII^{e} ou XIX^{e} siècles sont tout à fait envisageables. Ces mines sont en effet connues dès le XVIII^{e} siècle (Dietrich 1786, p. 212). La voûte maçonnée pourrait correspondre à ces périodes.

Un autre élément est à prendre en compte au sujet de la chronologie de l'exploitation. Le site métallurgique de Sourre, situé à moins de 300 m au nord des travaux, a traité un minerai de cuivre qui aurait très bien pu provenir de la mine de la Tuilerie (voir plus bas dans ce

chapitre au point III.D., p. 280). Les tessons d'amphores de type Pascual 1 mêlés au crassier placent son activité dans les toutes dernières années du I^{er} s. av. n. è. ou au début du I^{er} s. de n. è. (Dubois *et al.* 1997, p. 207). On ne peut pas exclure un approvisionnement depuis la proche mine d'Hautech, mais il faut considérer que celle de La Tuilerie a pu fonctionner jusqu'à la période augustéenne, en continu pendant quelques décennies ou peut-être avec une interruption. L'état des recherches sur ce site ne permet pas de le préciser.

Catégorie	Type	Élément	Nb	Commentaire
Amphore	Dressel 1A	Lèvre	1	Dessin - TUI14-1, Fig. 68.
Amphore	Dressel 1	Lèvre	1	Éclat non dessiné
Amphore	Italique	Panse	3	(Dubois & Guilbaut 1982, p. 111)

Tab. 10 : Inventaire du mobilier de La Tuilerie.

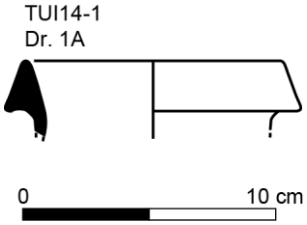
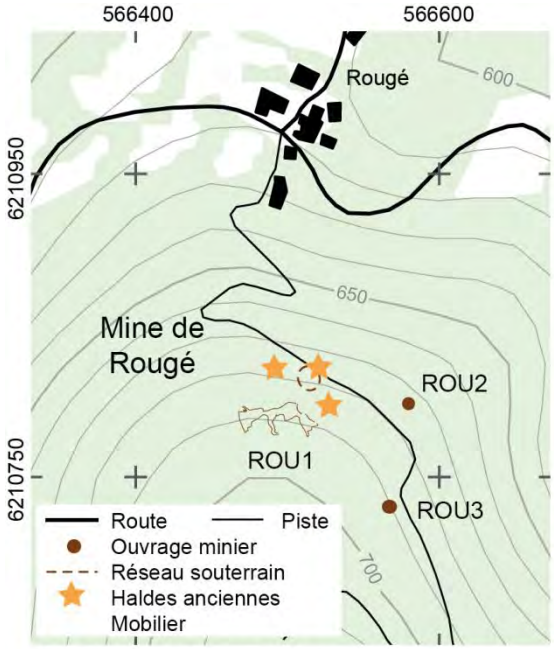


Fig. 68 : Dessin du mobilier de La Tuilerie.

III. C. Mines anciennes bien préservées

III. C. 1. Mine de Rougé (Esplas-de-Sérou)

La mine de Rougé est celle qui se trouve le plus en altitude parmi toutes celles que l'on connaît du district, entre 680 et 690 m d'altitude (Fig. 69). Elle n'a fait l'objet que d'une reconnaissance au début du XX^{e} siècle, alors que des travaux de plus grande envergure sont menés dans la mine proche de Fagnou (pour zinc et cuivre), dans laquelle il n'y a pas de vieux travaux (Fig. 32). Des phosphates ont aussi été exploités au nord du hameau à cette même période. Les dernières missions géologiques sur le terrain ont eu lieu entre 1962 et 1963 avec un dégagement des accès à la mine de Rougé (BRGM 1963, 1977). Ces recherches récentes sont visibles sur le terrain par une amorce de galerie sur affleurement, creusée à l'explosif, ne dépassant pas le mètre de longueur (ROU3) et par un élargissement de l'entrée principale du réseau ancien ROU1, également réalisé à l'explosif. Une fosse circulaire comblée (ROU2, diamètre 1,8 m) n'est pas datable en l'état. Le réseau ROU1 est donc le seul réseau minier à proprement parler sur ce site. Les recherches récentes n'ayant pas donné satisfaction aux prospecteurs miniers, ce réseau est très bien préservé.



IGN - BD ALTI & BD TOPO // Lambert 93 // équidistance des courbes 10 m

Vue de l'entrée principale du réseau ROU1, précédée d'une tranchée

Fig. 69 : Localisation des travaux de Rougé (Esplas-de-Sérou).

La minéralisation exploitée, filonienne, se place au niveau d'une faille au contact entre les calcaires griottes rouges du Dévonien supérieur au toit et les calcaires cristallins gris du Viséen moyen au mur. Cette faille est orientée sud-est/nord-ouest et présente un fort pendage de 39 à 45º vers l'ouest. La limite nord du gisement correspond à une autre faille orientée est-ouest qui met en contact les calcaires avec les schistes carburés du Silurien, stériles (Dubois & Guilbaut 1982, p. 113 ; Dubois & Guilbaut 1989, p. 363). Le filon, à gangue

de calcite et barytine, est minéralisé en tétraédrite et chalcopyrite. L'encaissant est souvent silicifié aux abords de la minéralisation.

C. Dubois et J.-E. Guilbaut avaient exploré cette mine et dressé un plan général du réseau complété par quelques coupes (Dubois & Guilbaut 1989, fig. 4 et 5). Leurs prospections avaient permis de localiser des tessons d'amphores italiques dans le réseau et à proximité des entrées. La piste ouverte en 1986 lors de travaux forestiers a recoupé une halde ancienne. La coupe a été relevée et du mobilier mis au jour dans l'US inférieure (Tab. 11). Le sondage alors réalisé dans la partie supérieure des haldes n'a pas livré de mobilier (Dubois & Guilbaut 1989, p. 365).

Lors des nouvelles prospections, nous avons repris les relevés de détail du chantier par niveau d'exploitation. Les étages les plus hauts (au-delà de la cote +5,56) et les plus bas (sous la cote -14,22) ont été relevés par des cheminements topographiques et des coupes ont pu être faites ponctuellement. Il s'agit dans les deux cas de secteurs très escarpés dans lesquels il est difficile de s'installer pour des relevés de détail (photo de la Fig. 72). La zone d'exploitation située entre les cotes -16 et -20,5 est également très fortement remblayée permettant tout juste de la traverser en rampant. Enfin, trois sondages ont été réalisés dans le réseau et un devant l'entrée supérieure.

a. Description des travaux

Le fort pendage vers l'ouest du filon a donné lieu à une exploitation inclinée, qui se développe sur 40 m de hauteur, 22 m nord-sud et 50 m est-ouest, sachant que le fond des travaux à l'ouest est remblayé et noyé (Fig. 70, 71 et 72). Cette mine comporte quatre entrées, étagés sur l'affleurement entre les cotes 0 et +11,82. Les deux entrées les plus hautes sont aujourd'hui difficilement praticables car l'inclinaison des travaux, dont la sole lisse est à nu dans tout ce secteur, les rend dangereuses. Les travaux sont fortement remblayés depuis le niveau 0 jusque dans les étages inférieurs (photo Fig. 71). Des blocs stériles ont été repoussés dans toute la partie sud depuis l'entrée principale, condamnant l'accès à cette partie du réseau. Les flèches vertes de la figure 70 indiquent les possibilités de communication à travers ce secteur aujourd'hui comblé. Les autres secteurs accessibles, en allant vers le fond des travaux, sont remblayés par des sédiments plus fins mêlés à des blocs de plus petite taille (5 à 10 cm de côté en moyenne). D'importantes concrétions de calcite recouvrent par ailleurs les remblais à partir de la cote -20 et sur d'autres portions plus réduites dans les étages intermédiaires.

Les mineurs ont suivi scrupuleusement la minéralisation, par le biais d'une exploitation étagée que l'on peut restituer en partie grâce aux négatifs des étages encore visibles en couronne (Fig. 73, a). Les niveaux de relevé choisis pour les plans et les coupes longitudinales correspondent à ces étages d'exploitation. A la sole, par contre, les mineurs ont préférentiellement approfondi les travaux en oblique, suivant la minéralisation, ce qui a empêché la conservation des niveaux de circulation sur une grande partie du réseau. C'est le cas dans les étages supérieurs, actuellement vides (Fig. 73, b), et les sondages réalisés dans

le passage entre les étages -3,87 et -8,94 (SD3, Fig. 73, c) et à l'étage -13,06 (SD2) ont confirmé cette même configuration. Seuls des petits ressauts de quelques centimètres de large au parement oriental de l'étage -13,06 permettent de restituer des niveaux d'anciennes soles (Fig. 80). Il est d'ailleurs surprenant de constater qu'aucun aménagement n'ait été réalisé pour faciliter la circulation dans ces secteurs escarpés. Aucune marche, si réduite soit-elle, ni encoche, ne vient rompre le profil de ces secteurs. Le passage entre les étages -3,87 et -8,94, à la sole duquel on rencontre le schiste, se retrouve parfaitement lisse après la fouille. Creuser des marches ou des encoches dans cette roche tendre n'aurait pourtant pas présenté de difficulté majeure. Pour les étages supérieurs situés à la cote +3,36 et au-delà, le calcaire à la sole présente des irrégularités formant des petits ressauts, qui aident à la progression, et pouvaient permettre le calage de bois en force pour faciliter la circulation. Cela dénote cependant un choix d'économie drastique dans l'attaque de la roche.

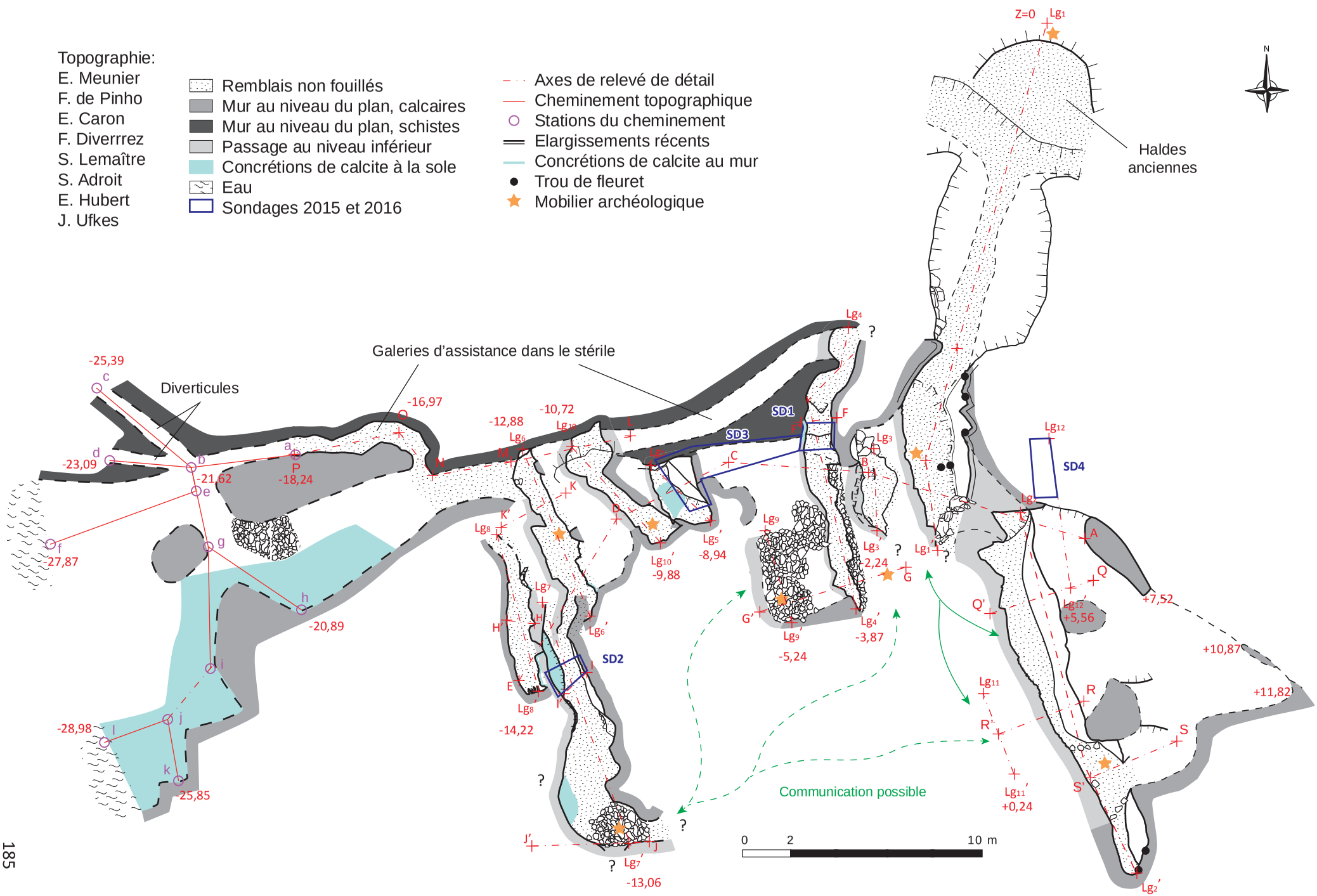
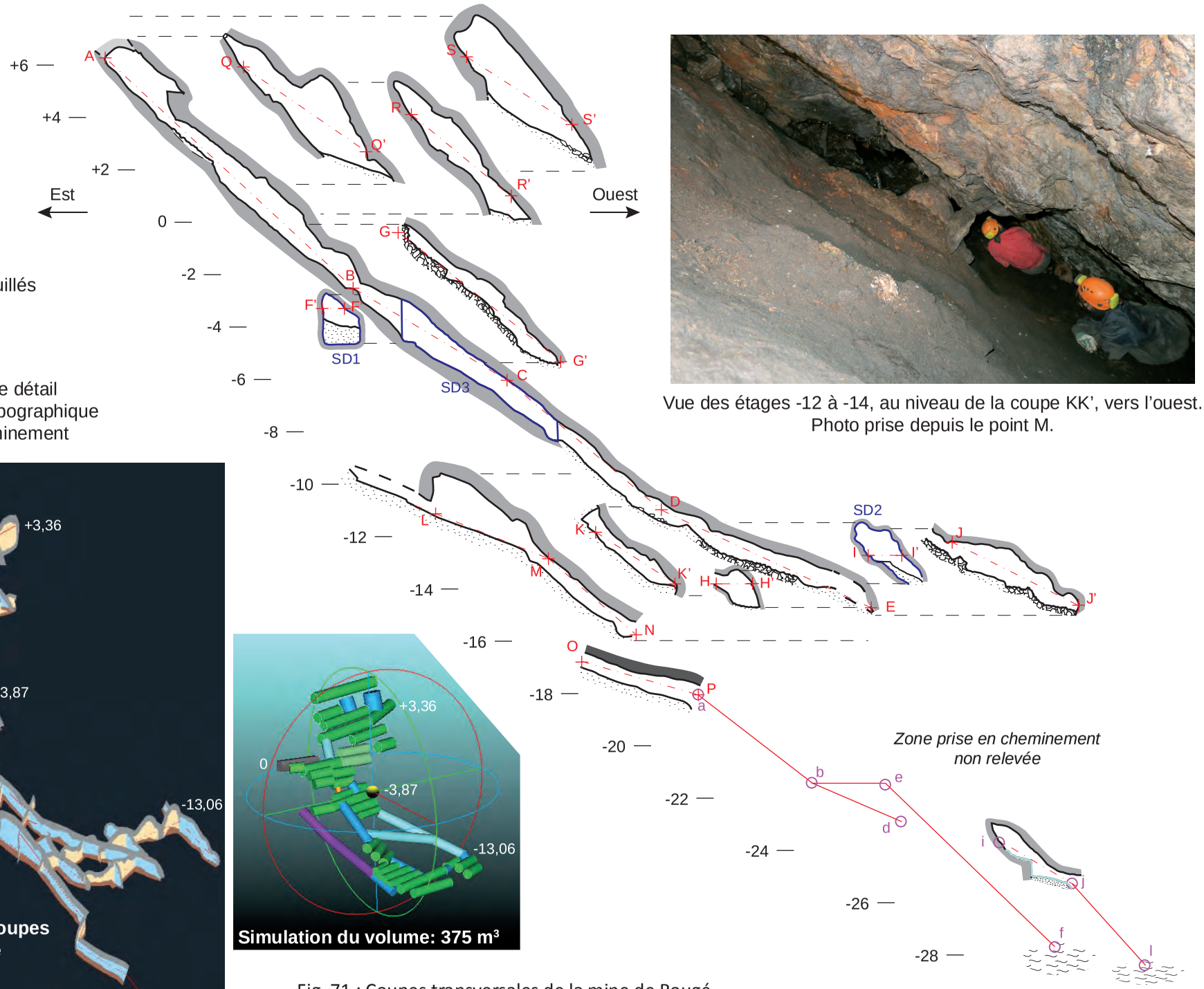


Fig. 70 : Plan de la mine de Rougé.

Topographie:
E. Meunier
F. de Pinho
E. Caron
F. Diverrrez
S. Lemaître
S. Adroit
E. Hubert
J. Ufkes
L. Olivier

Remblais non fouillés
Calcaires
Schistes
Eau

Axes de relevé de détail
Cheminement topographique
Stations du cheminement



Vue des étages -12 à -14, au niveau de la coupe KK', vers l'ouest.
Photo prise depuis le point M.

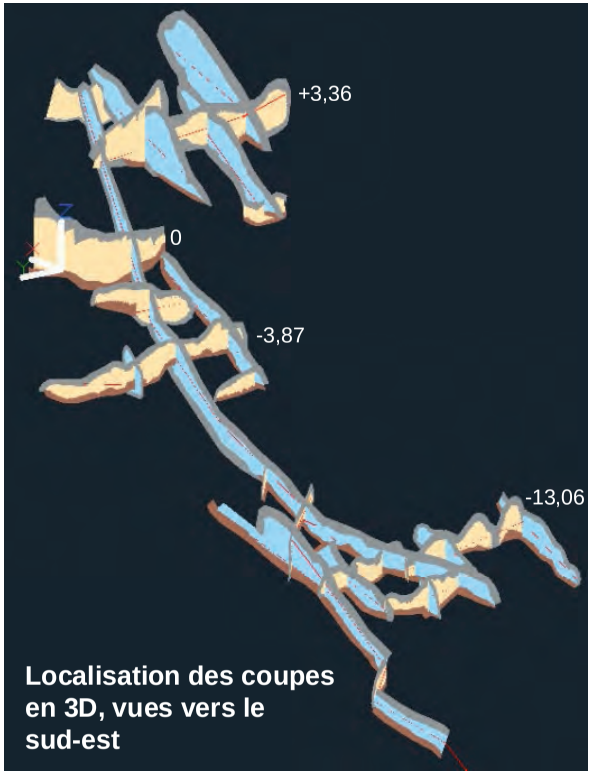
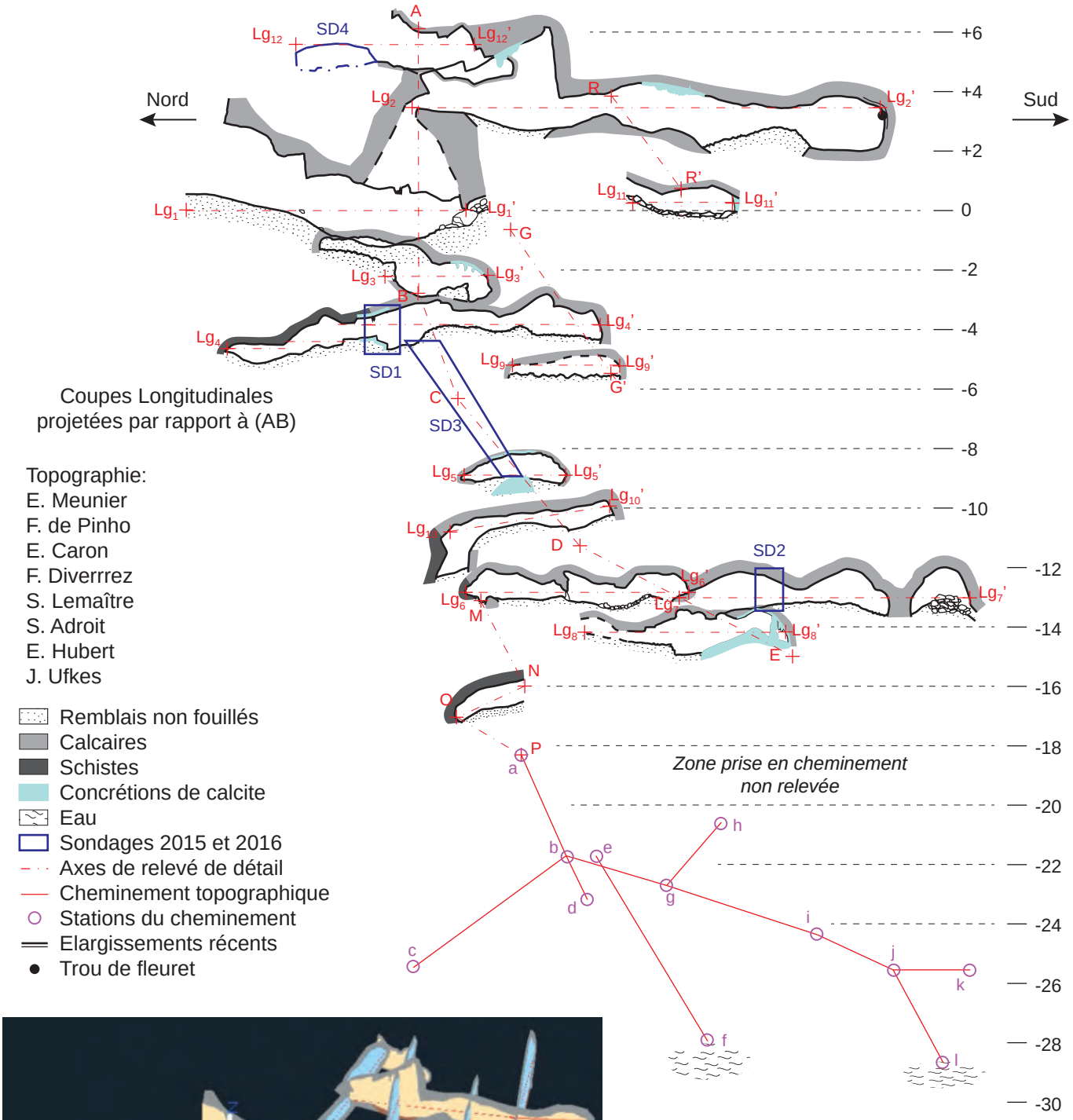


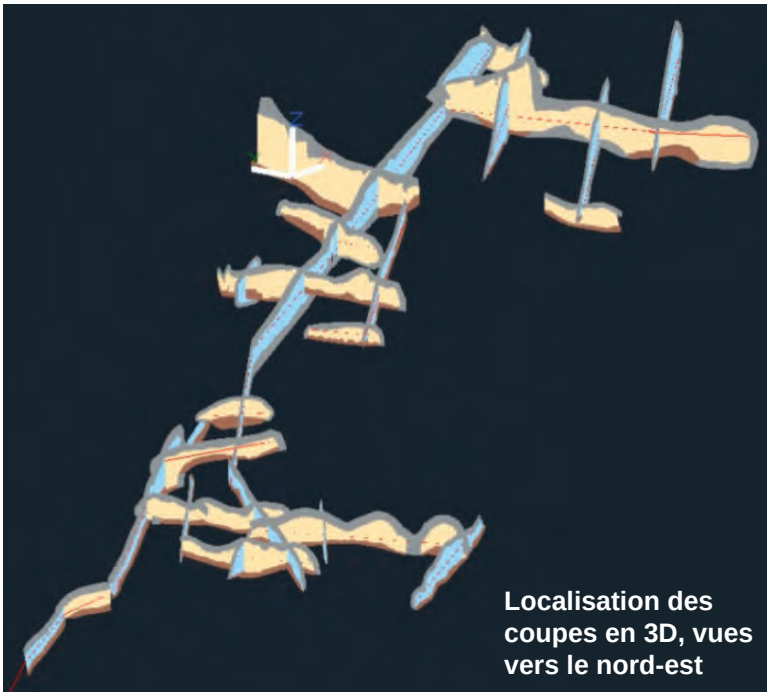
Fig. 71 : Coupes transversales de la mine de Rougé.



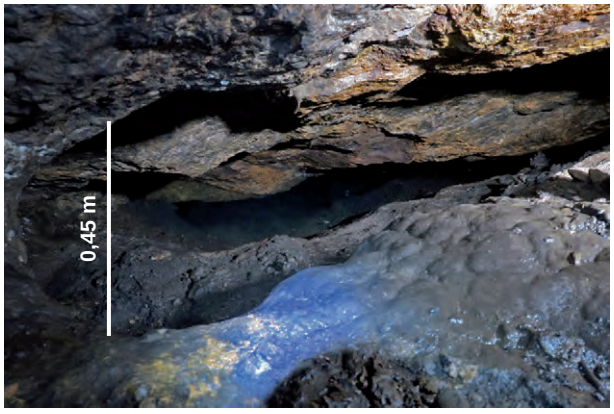
Coupes Longitudinales
projetées par rapport à (AB)

Topographie:
E. Meunier
F. de Pinho
E. Caron
F. Diverrrez
S. Lemaître
S. Adroit
E. Hubert
J. Ufkes

- Remblais non fouillés
- Calcaires
- Schistes
- Concrétions de calcite
- Eau
- Sondages 2015 et 2016
- Axes de relevé de détail
- Cheminement topographique
- Stations du cheminement
- Elargissements récents
- Trou de fleuret

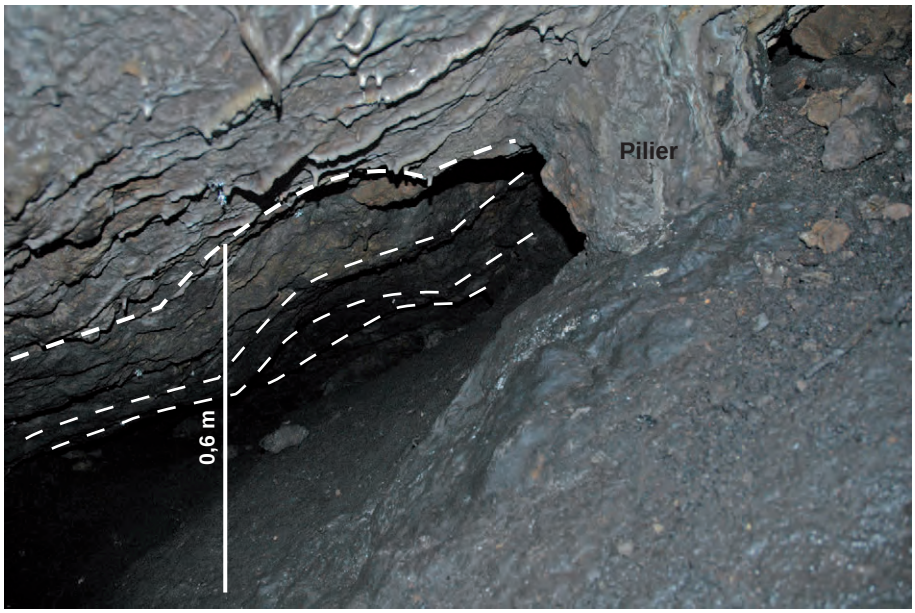


Localisation des coupes en 3D, vues vers le nord-est



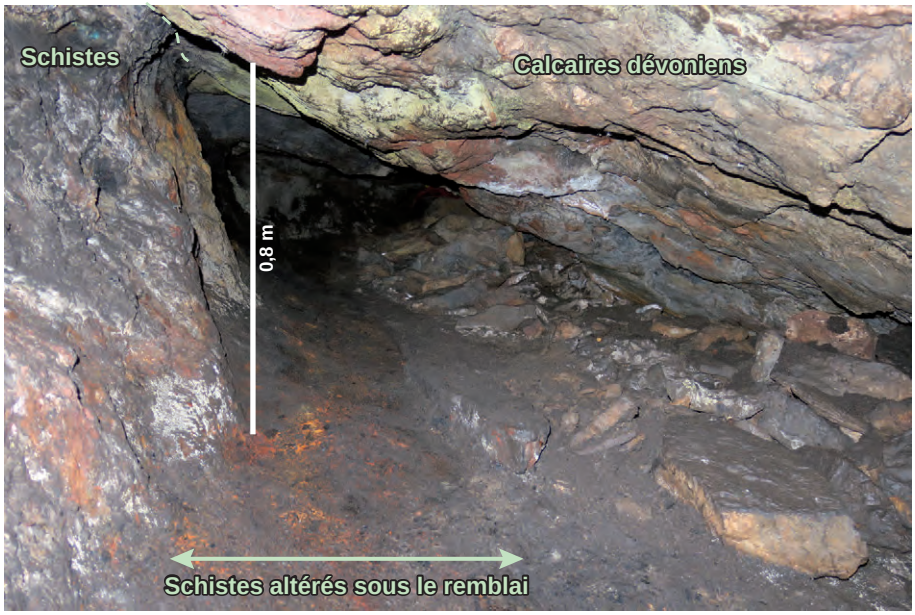
Vue par le haut des étages -26 à -29, depuis le point k vers le point l.

Fig. 72 : Coupes longitudinales de la mine de Rougé.



a. Négatifs des étages visibles en couronne, au centre de l'étage -12,88 vus vers le nord.

b. Étages supérieurs du réseau à la sole très inclinée et dépourvue d'aménagement pour faciliter la progression. Au premier plan, pilier avec traces d'oxydes de cuivre (flèches).Entrée +5,56 à l'arrière-plan. Vue vers le nord. (cliché J.-M. Fabre)

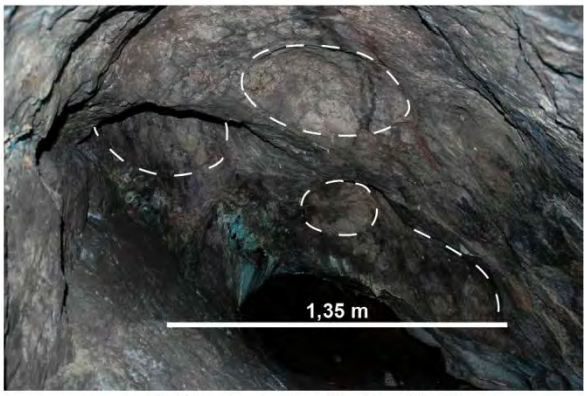


c. Vue du passage entre les étages -3,87 et -8,94 après fouille, depuis l'ouest (sondage 3, le long de l'axe BCD).

Fig. 73 : Profils inclinés des travaux à différents niveaux de la mine de Rougé.

En ce qui concerne l'attaque de la roche justement, la technique d'extraction utilisée dans cette mine est principalement l'abattage au feu. En effet, les coupoles formées par ce mode d'attaque sont présentes à tous les niveaux du chantier. Par endroit, la roche est rougie par la chaleur. Les remblais dégagés dans le sondage 2, à l'étage -13,06, contenaient également de très nombreux charbons de grande taille (1 à 3 cm de côté). Ces coupoles ont des tailles variables : leur diamètre oscille entre 0,3 et 1,5 m et on peut les distribuer en deux groupes. Ainsi, les étages -2,24, -3,87 et -5,23 présentent des grandes coupoles, avec des diamètres supérieurs au mètre (Fig. 74, a). Au contraire, elles sont nombreuses et plus petites aux étages -13,06 et -14,22 (Fig. 74, b). Ailleurs, l'usage du feu n'a pas formé de coupoles que l'on puisse individualiser, mais il est tout de même perceptible dans le profil courbe et lisse des parois (Fig. 74, c). La conduite du feu est donc adaptée à différents objectifs selon qu'il s'agisse d'extraire des volumes importants, de cibler l'abattage sur un point précis, ou de modeler l'encaissant pour la progression dans le chantier.

a. Grande coupole, étage -3,87



b. Petites coupoles étage -13,06

c. profil courbe et lisse sans coupole individuelle, au sud de l'étage -12,88, vu vers le nord

Fig. 74 : Mine de Rougé : stigmates d'abattage au feu.

Nous avons également pu observer des traces d'outils dans deux secteurs. Tout d'abord au toit des travaux entre les étages -8,94 et -9,88, ces traces sont conservées sur une petite surface, inférieure à 1 m^2. Ensuite, dans la partie basse du réseau, dans le secteur correspondant aux stations topographiques i, j et k (cotes -24 à -26), elles apparaissent plus largement à la couronne et sur la paroi sud, malgré les concrétions. Ce secteur est d'ailleurs

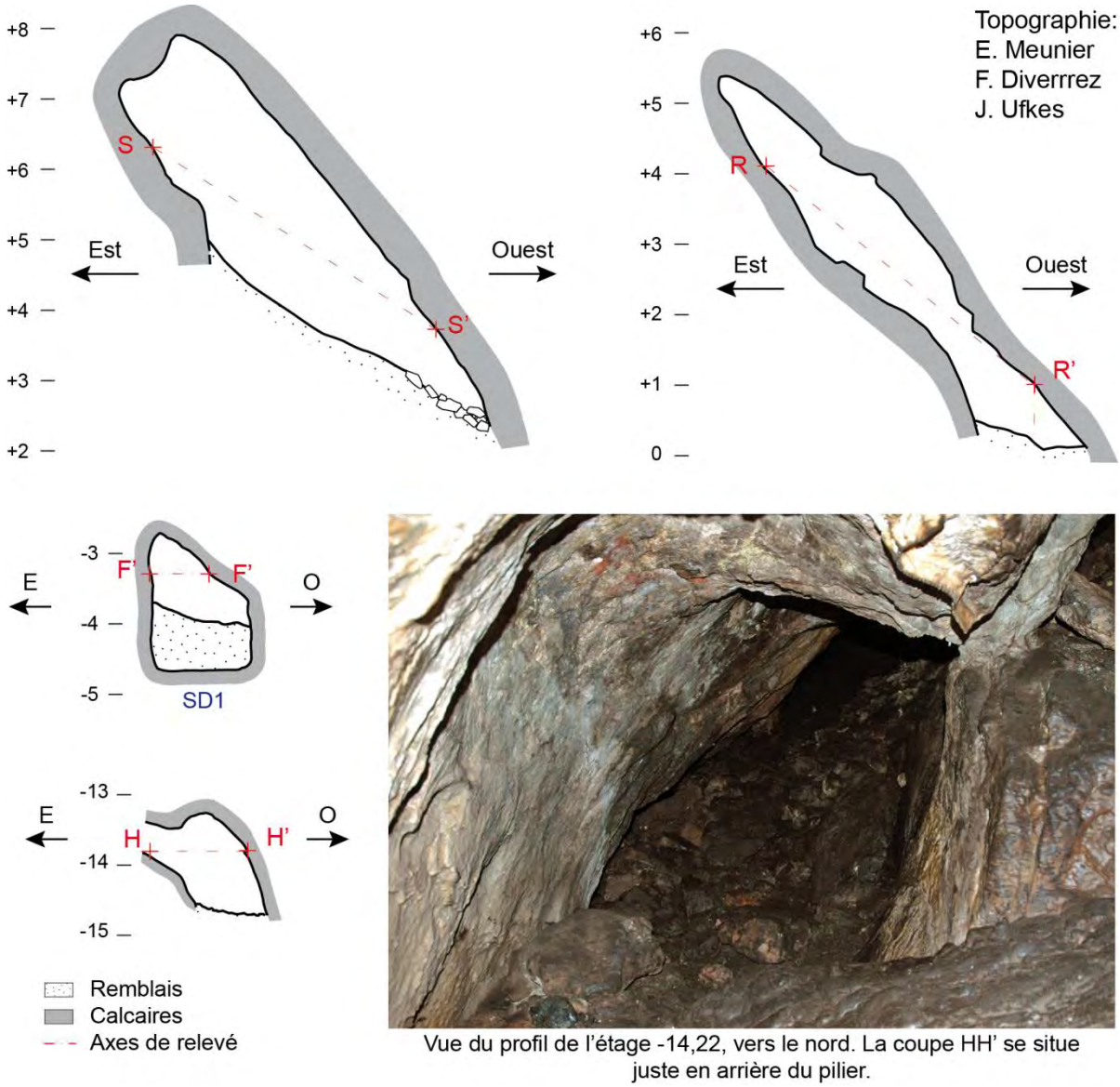
le seul dans lequel les gradins d'exploitation sont visibles à la sole alors que le toit des travaux est régulier. Ces traces peuvent correspondre à la reprise à l'outil des parois pour finir de faire tomber la roche fragilisée par le feu. Le profil globalement concave du creusement entre les étages -8,94 et -9,88 serait assez cohérent avec cette proposition. Pour le secteur des stations i, j et k, le profil anguleux des travaux à cet endroit pourrait indiquer que seul l'outil a été utilisé.

a. Traces d'outil à la couronne à la cote -9,75 b. Traces d'outil sur l'ensemble de l'étage, cote -25,85

Fig. 75 : Mine de Rougé : traces d'outil.

Quelques secteurs présentent ponctuellement un profil un peu différent. On peut en effet observer dans quelques endroits que le mur oriental des travaux est vertical (ou presque). C'est le cas aux cotes +5 (Fig. 71, coupe SS'), +1 (coupe RR'), -4 (coupe FF', SD1) et -14 (coupe HH'). La fouille du sondage 1 a montré que ce mur vertical s'accompagnait, dans le cas de l'étage -3,87, d'une sole horizontale ayant conservé des niveaux de circulation en place. Il n'a pas été possible de fouiller tous les secteurs présentant une paroi verticale, mais il aurait été intéressant de vérifier si l'on retrouvait dans tous les cas une sole horizontale. La stratigraphie conservée, comme nous allons le voir pour le sondage 1, permet de mettre en évidence des phases d'activité qui disparaissent dans les secteurs complètement obliques, où les soles ne sont pas laissées en place. Le profil complet dégagé dans ce sondage, trapézoïdal, montre aussi des travaux confortables, avec une hauteur maximale de 1,94 m et une largeur de 1,42 m en partie basse.

L'espace, bien qu'encombré par les remblais, est tout de même largement ouvert. De rares piliers ont été laissés en place pour le soutènement. On en a un bel exemple en face de l'entrée +5,56 (Fig. 73, b), où une fine ligne verte indique le passage du filon ici très pincé. On en distingue deux autres aux étages -12,88 et -14,22 (plan Fig. 70, piliers Fig. 73 a et Fig. 76), masqués par le remblai. Dans d'autres endroits, plus que des piliers, ce sont des cloisons de roche qui ont été laissées en place. C'est le cas au sud du passage entre les points C et D par exemple, ou encore à l'est de l'étage -13,06 (Fig. 70). Ce secteur sud cloisonné a ainsi pu être remblayé plus facilement.



Vue du profil de l'étage -14,22, vers le nord. La coupe HH' se situe juste en arrière du pilier.

Fig. 76 : Mine de Rougé : étages avec le mur oriental vertical.

Des cloisons séparent aussi deux galeries creusées dans les schistes, en limite nord du chantier, du reste du réseau. Le schiste étant stérile, il s'agit de galeries d'assistance, creusées plus rapidement dans cette roche tendre. Elles pouvaient servir à la circulation des mineurs ou à la ventilation des parties basses. Celle qui relie les étages -3,87 et -9,88 n'est plus praticable car elle est bouchée depuis le haut (Fig. 71, coupe LMN). Celle qui relie les niveaux -16 à -21, remblayée également, permet toutefois d'y passer en rampant sur les deux premiers mètres, puis on peut y tenir assis (largeur moyenne 0,55 m, hauteur 0,4 à 0,8 m). Deux diverticules s'enfoncent dans le schiste vers l'ouest et le nord-ouest après cette galerie. Non praticables, leur fonction n'est pas connue. Il semble difficile d'y voir des galeries de recherche, les mineurs ayant eu l'occasion de vérifier avec les deux galeries d'assistance que le schiste était stérile. Peut-être s'agissait-il de galeries d'exhaure avant que le fond actuel des travaux n'ait été atteint. L'absence de trace de ce genre de galerie à l'extérieur sur le versant laisse toutefois planer le doute.

Fig. 77 : Mine de Rougé : galerie d'assistance dans le schiste rejoignant les étages -16 à -22, vue vers l'ouest depuis le point O.

b. Les sondages

Les sondages 1 et 2, réalisés en 2015, ont été implantés dans deux secteurs aux profils différents : une galerie avec une paroi verticale pour le sondage 1 (étage -3,87) et un secteur au profil totalement oblique pour le sondage 2 (étage -13,06). Le sondage 1 est aussi le plus proche de l'entrée du niveau 0, et donc celui qui pouvait nous permettre d'appréhender le mieux le démarrage de l'exploitation. Plus que le profil des travaux, que nous avons déjà évoqué, l'intérêt de ces deux sondages réside dans la détermination des différentes phases de travaux que l'on peut en déduire. Les sondages 3 et 4, réalisés en 2016, ont eu pour objectif de reconnaître des aménagements liés aux accès aux travaux : passage incliné entre les étages -3,87 et -8,94 d'une part, entrée supérieure +5,56 de l'autre. Nous avons déjà vu qu'aucun aménagement n'était visible à la sole du passage incliné mis à nu dans le sondage 3. Le sondage 4, à l'extérieur de la mine, a par contre livré des niveaux d'activité qui appellent d'autres commentaires.

b.i. Sondage 1

Ce sondage a été implanté devant l'accès à la première galerie d'assistance dans les schistes, au nord de l'étage -3,87. Cet étage a été entièrement ouvert par le feu ; il est actuellement fortement remblayé. Dans la moitié sud, on trouve un amas de blocs stériles de 15 à 30 cm de côté mêlés à une argile ocre qui vient recouvrir le remblai gris sombre plus fin que l'on trouve dans la partie nord. Les concrétions de calcite abondantes contre la paroi ouest au niveau du sondage ont soudé une partie des blocs à la paroi. Ces concrétions ont également protégé la stratigraphie d'un effondrement dans le passage vers les niveaux inférieurs.

Seize US ont pu être distinguées dans le comblement de cette galerie, permettant de reconstituer six phases révélatrices de différentes étapes de l'activité.

US 100 : négatif du creusement de la galerie.

US 101 : couche grise compacte et homogène composée de gravillons agglomérés. On y trouve quelques charbons millimétriques et des petits éclats de roche de taille inférieure à 1 cm de côté. Cette couche est concrétionnée sur le dessus. Elle ne recouvrait pas toute la largeur du chantier (0,9 m depuis l'est) et s'appuie contre la partie supérieure de l'US 104.
US 102 : couche de couleur grise terreuse et meuble avec quelques éclats rocheux (schiste et calcaire) de 5 cm de côté, certains d'entre eux étant brûlés. Tout comme l'US 101, elle ne couvre pas toute la largeur de la galerie (0,62 m depuis l'est) et s'appuie contre l'US 104 à l'ouest et contre l'US 103 à l'est.
US 103 : poche correspondant à un effondrement de la paroi schisteuse, homogène, très localisée contre la paroi est.
US 104 : niveau constitué par des blocs décimétriques à pluridécimétriques, très aéré, ne contenant pas de sédiment. Cette US est localisée dans la moitié ouest (0,75 m de large) de la stratigraphie et est très fortement concrétionnée.
US 105 : couche de charbons centimétriques mêlés à quelques plaquettes de calcaire rougies par la chaleur, qui se déverse vers le sud. Cette couche correspond à des rejets d'extraction au feu et s'étend quant à elle sur toute la largeur du sondage. Prélèvement de charbons pour datation.
US 106 : niveau argileux jaune, d'aspect lité, qui renferme quelques éclats de schiste millimétrique (quelques-uns étant un peu plus gros). Cette couche est située contre la paroi est sur une largeur de 0,5 m.
US 107 : couche grise indurée gravillonneuse. Elle contient principalement des fragments de schiste et est légèrement argileuse. Elle se trouve sur la moitié est du sondage.
US 108 : rejet d'éléments rubéfiés contre la paroi est.
US 109 : remblai massif très meuble, homogène, de couleur grise, contenant quelques blocs centimétriques épars. Ce remblai n'est pas du tout compacté et correspond à l'utilisation de cet espace pour le stockage de stériles provenant d'un autre secteur de l'exploitation.
US 110 : Sorte de muret constitué de blocs de calcaire qui ferme l'accès à la partie nord de cet étage d'exploitation et permet surtout de contenir les stériles accumulés en arrière pour qu'ils n'envahissent pas le passage vers les niveaux inférieurs. Il est conservé sur 0,5 m de haut et occupait toute la largeur du sondage. Les blocs sont pris dans l'US 109 et ont été disposés au fur et à mesure du remplissage de la galerie.
US 111 : couche charbonneuse compacte renfermant des petits fragments de schiste, correspondant à un niveau de circulation. Prélèvement de charbons pour datation.
US 112 : niveau d'argile blanche très plastique dans laquelle des charbons et graviers provenant de la couche supérieure se sont enfoncés. Cette argile s'est formée sur la sole de la galerie à un moment où cette dernière est restée ouverte.
US 113 : US négative. Creusement dans la partie supérieure des US 109 et 110 pour ménager un espace où un bûcher a été installé, contre la paroi est.
US 114 : niveau homogène de charbons en place, vestige probable d'un bûcher d'exploitation au feu. Identifié contre la paroi est, il fait une petite quarantaine de cm de large et repose sur le creusement US 113. Prélèvement de charbons pour datation.
US 115 : Fragments de roche de quelques cm de côté rougis par le feu reposant directement sur le niveau de charbons US 114. Il s'agit des débris d'abattage au feu laissés en place après l'exploitation.

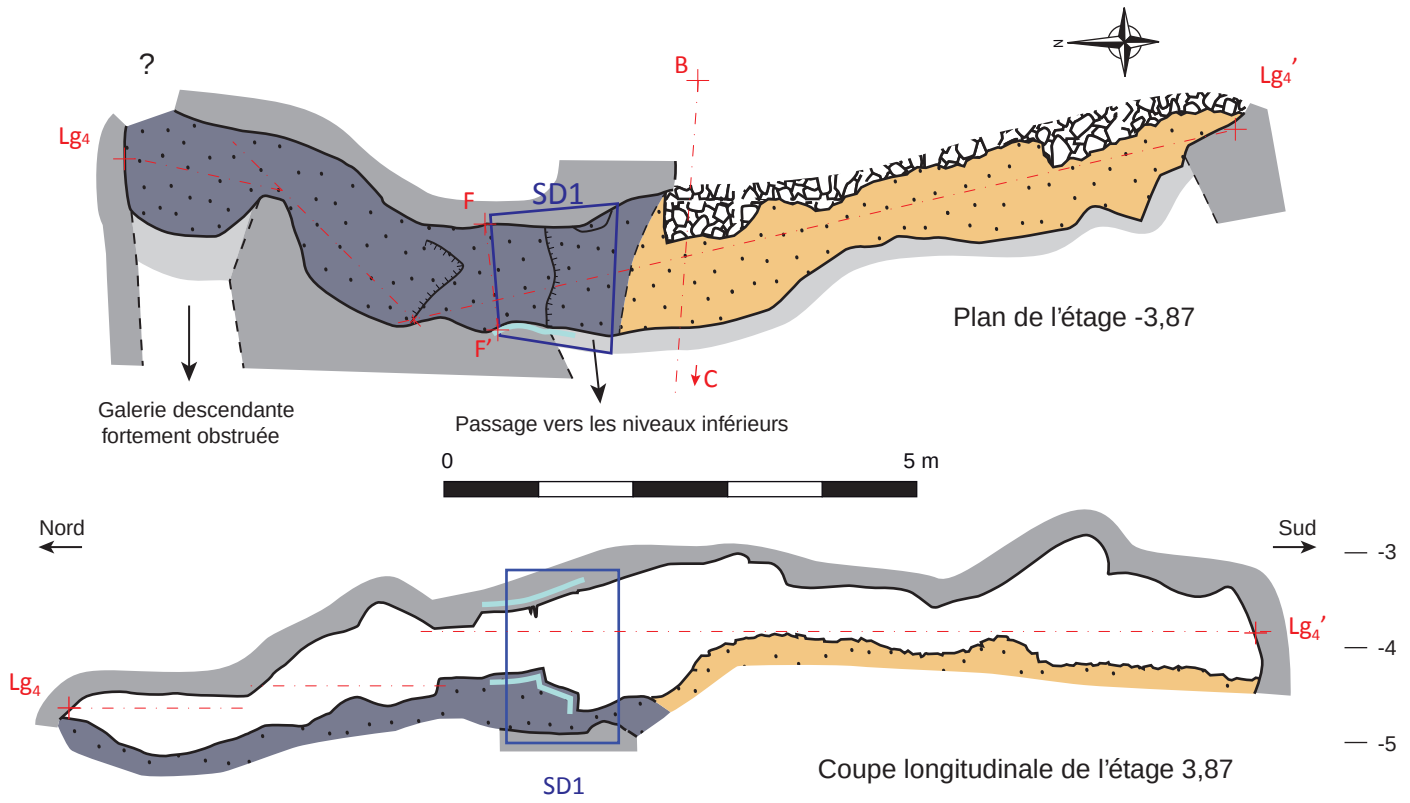
US 116 : couche d'argile blanchâtre qui s'est déposée sur les déchets d'abattage de l'US 115. Quelques charbons de l'US supérieure 105 se sont enfoncés dans cette argile.
US 117 : concrétions de calcite formées sur la paroi est de la galerie. Recouvertes dans la partie supérieure par une couche uniforme et plus épaisse, des coulures plus fines descendent jusqu'à la surface de l'US 114. Ces coulures se trouvaient sous les couches supérieures de remblai et témoignent d'une interruption de l'activité assez longue entre l'implantation du bûcher (US 113, 114 et 115) et la reprise du comblement de cet espace.

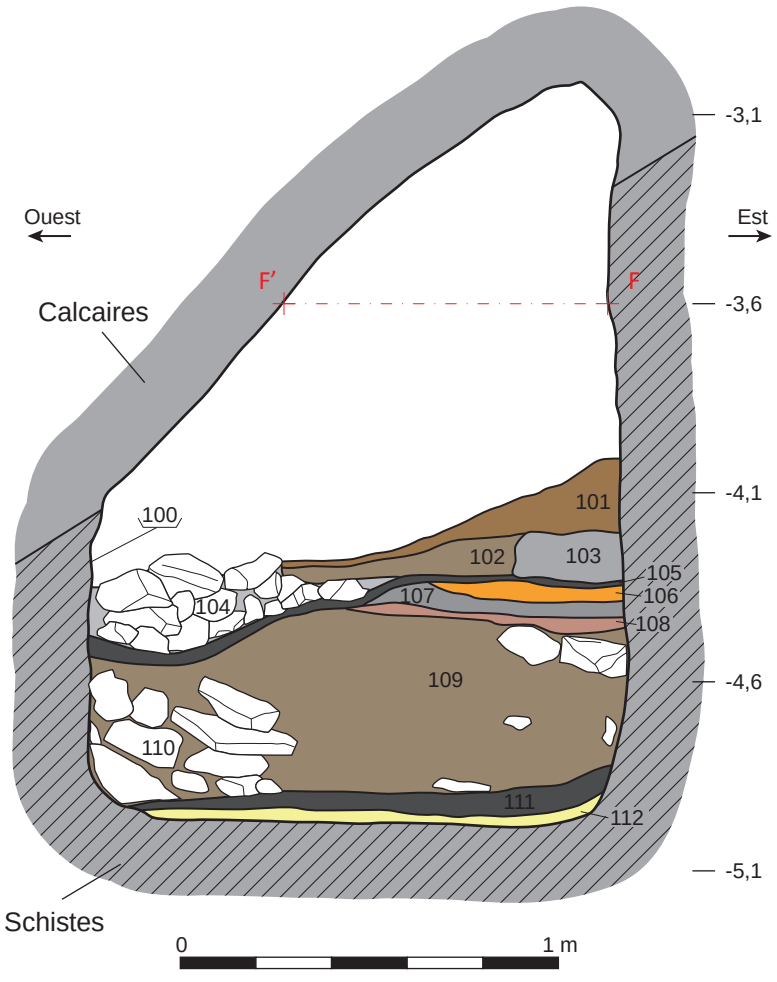
La première phase correspond à l'ouverture de la galerie (US 100), au contact des calcaires (au toit) et des schistes (à la sole et au mur oriental). Elle reste ouverte un certain temps permettant la formation d'une couche d'argile sur la sole (US 112). En phase 2, la galerie devient un espace de circulation, marqué par le niveau induré US 111. La présence abondante de charbons est à mettre en relation avec une exploitation au feu dans un secteur proche. La galerie est ensuite abandonnée et devient en phase 3 un espace de stockage de déblais. Le muret US 110 est mis en place en même temps que l'US 109 pour empêcher un éboulement vers le passage descendant (axe BC du plan général, Fig. 70). L'homogénéité du remblai et son caractère très meuble indiquent une action de comblement rapide. Une partie du muret est cependant démontée lors de la phase 4, pour installer un petit bûcher contre la paroi est (US 113, 114 et 115). Ce bûcher ne s'étendait pas vers le nord et n'est donc pas visible dans la coupe, mais il semble se prolonger vers le sud. La stratigraphie est cependant perturbée dans cette direction par le passage vers les niveaux inférieurs. Ce bûcher correspond à une reprise d'exploitation très ponctuelle, étant donnée la faible épaisseur des US concernées. Au nord du foyer, les US 107 et 108 sont mises en place lors de cette phase. L'US 108, rejet d'éléments rubéfiés, peut correspondre à un curage de l'aire de combustion, dont les débris auraient été repoussés vers le nord, faisant toujours office de zone de stockage depuis la phase 3. La couche 107, indurée, évoque un niveau de circulation ou plutôt de piétinement liée à l'activité contemporaine du foyer. Cette phase 4 est suivie d'un abandon du secteur assez long pour qu'une fine couche d'argile (US 116) se dépose à la surface des charbons (US 115) et que des coulures de calcite se déposent sur la paroi, s'arrêtant au niveau des résidus de ce bûcher. On peut se poser la question de l'utilisation du passage descendant de l'axe BC à ce moment-là, car le foyer semble bien déborder vers le sud.

La phase 5 correspond à une reprise d'activité dans un secteur très proche. L'US 106 uniformise l'espace et commence à recouvrir les coulures de calcite déposées auparavant. L'US 105, épandage généralisé de résidus d'abattage au feu de peu d'envergure (2 à 4 cm d'épaisseur), montre que le travail d'extraction se poursuit près de là, peut-être plus au sud du même étage. On constate aussi qu'à partir de cette phase, les différents niveaux présentent un pendage marqué vers le sud-ouest, c'est-à-dire vers le passage descendant dans les étages inférieurs, qui ne doit donc plus être vraiment fréquenté si on prend le risque que les remblais s'y déversent. Après une période sans doute courte (pas de sédimentation intermédiaire) intervient la phase 6 qui regroupe les derniers comblements visibles dans la galerie (US 101 à 104). Les concrétions importantes formées sur la paroi

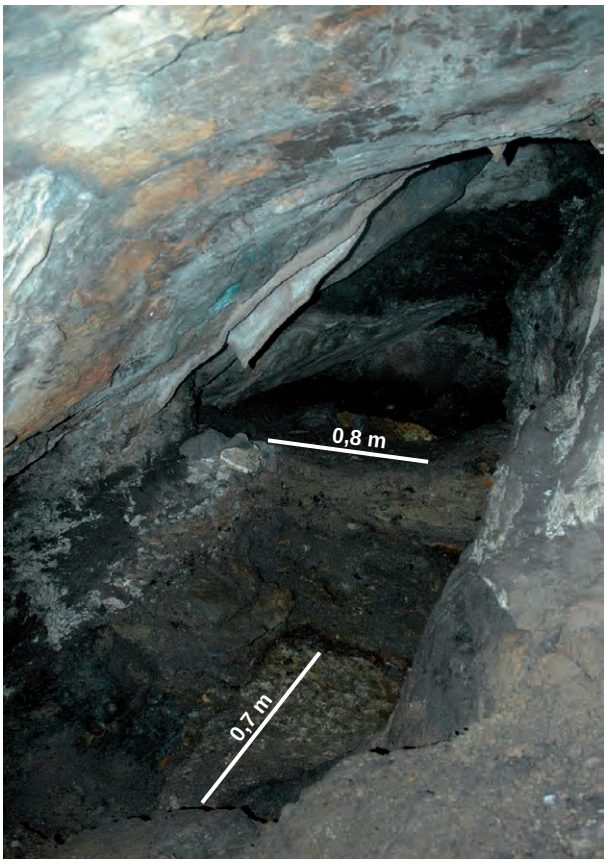
orientale au-dessus de ces US et qui recouvrent les blocs de l'US 104 montrent que l'espace n'a pas été perturbé pendant un long moment.

La stratigraphie du sondage ne permet pas d'aller plus loin, mais l'observation du reste de l'étage permet tout de même de restituer une phase 7. En effet, les dernières concrétions ont scellé à la paroi est, juste au sud de l'espace sondé, quelques cm^2 de remblai qui se retrouvent ainsi suspendus et montrent que le comblement de l'espace a été plus important qu'il ne l'est aujourd'hui. Ce négatif d'un dégagement de l'espace pourrait correspondre, sans certitude, aux visites du début du XX^{e} siècle qui avaient reconnu les travaux sur toute leur hauteur. Le comblement au sud, composé des blocs stériles pris dans une argile ocre, serait aussi intervenu au cours de cette phase 7, peut-être suite à l'élargissement de l'entrée réalisée au début du XX^{e} siècle. Nous verrons plus bas ce que cela nous révèle sur la dynamique d'exploitation et la chronologie.



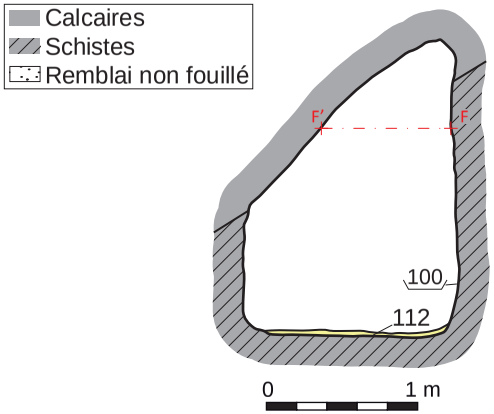


Coupe stratigraphique

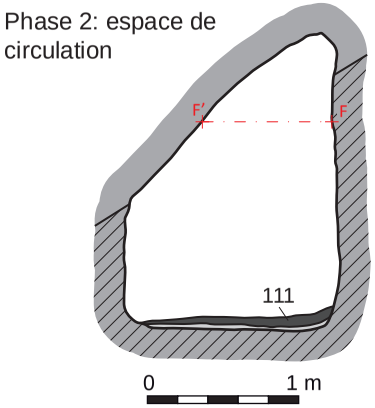


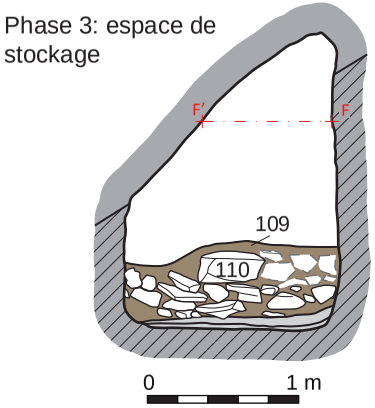
Vue du sondage en fin de fouille

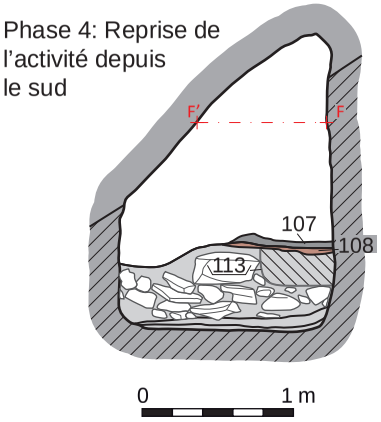
Fig. 78 : Mine de Rougé : stratigraphie du sondage 1.

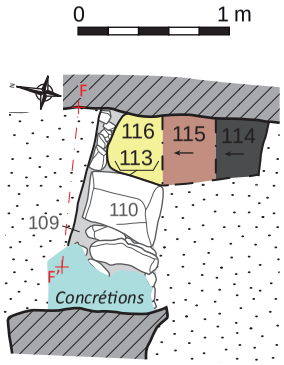


Phase 1: creusement de la galerie.

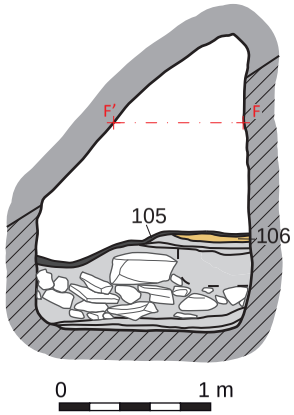




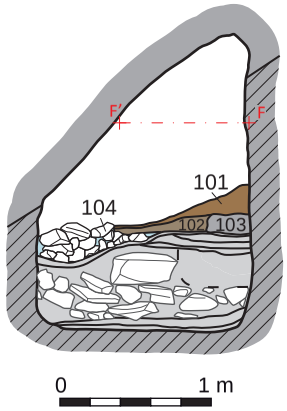




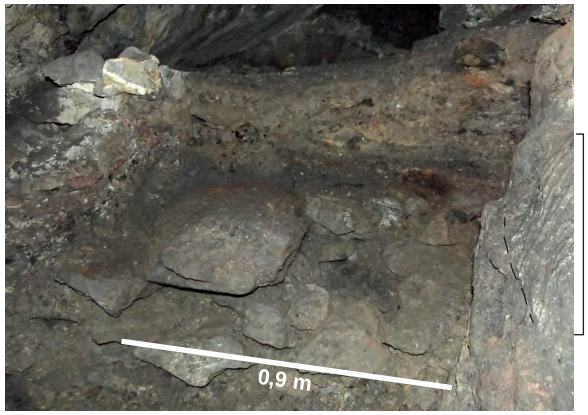
Plan de la phase 4



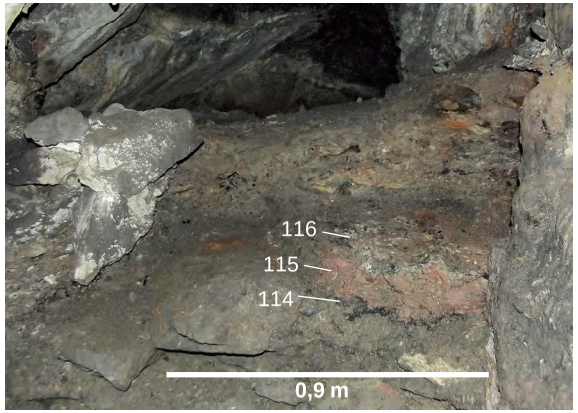
Phase 5: Activité à proximité



Phase 6: Espace de stockage



Négatif (US 113) du démontage du muret US 110.



US 114, 115 et 116 résiduelles du bûcher.

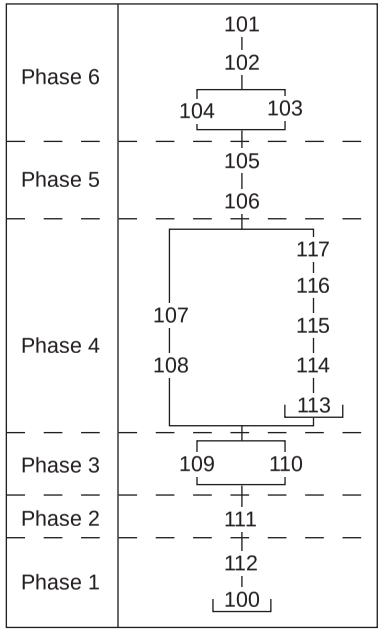


Fig. 79 : Mine de Rougé: phases du sondage 1.

b.ii. Sondage 2

Le deuxième sondage se situe au nord de l'étage -13,06, sous une série de petites coupoles d'ouverture au feu (Fig. 80). L'objectif était d'obtenir des éléments de datation de l'exploitation au feu et de définir le profil de l'ouvrage. La stratigraphie est ici beaucoup plus simple que pour le premier sondage : seules quatre US ont été identifiées.

US 200 : creusement de l'étage.
US 201 : couche de calcite à la surface du remblai, de quelques mm d'épaisseur. Elle a permis de solidifier la couche supérieure qui ne s'est donc pas complètement éboulée.
US 202 : niveau de circulation marqué par une couche de terre brune compacte contenant des charbons millimétriques et des graviers fins. Ce niveau de 5 cm d'épaisseur n'est conservé que sous la couche de calcite. Des charbons y ont été prélevés.
US 203 : remblai homogène comblant visiblement une grande partie de l'étage d'exploitation. Ce niveau très meuble et friable contient un sédiment fin et sableux de couleur grise mêlé à un peu de gravier qui renferme de nombreux blocs de taille décimétrique et des charbons abondants de grande taille (2 à 4 cm de côté). Ce comblement a été mis en place rapidement et en une seule étape au vu de son homogénéité. Ce remblai repose sur la roche et représente le premier comblement conservé à ce niveau. Des charbons ont été prélevés pour datation.

Nous pouvons proposer quatre phases retraçant l'histoire de ce secteur, peu remanié.

Phase 1 : Le chantier est ouvert, avec l'utilisation du feu comme l'attestent les nombreuses petites coupoles visibles à la couronne (Fig. 80, photo b et coupe). Ce chantier est fortement incliné (pendage de 40º vers l'ouest), mais aucun gradin n'est conservé dans le rocher. Seuls trois reliquats de sole sont identifiables (Fig. 80, coupe stratigraphique), mais ils ne conservent pas de sédiment que l'on pourrait rattacher à la première phase d'exploitation.

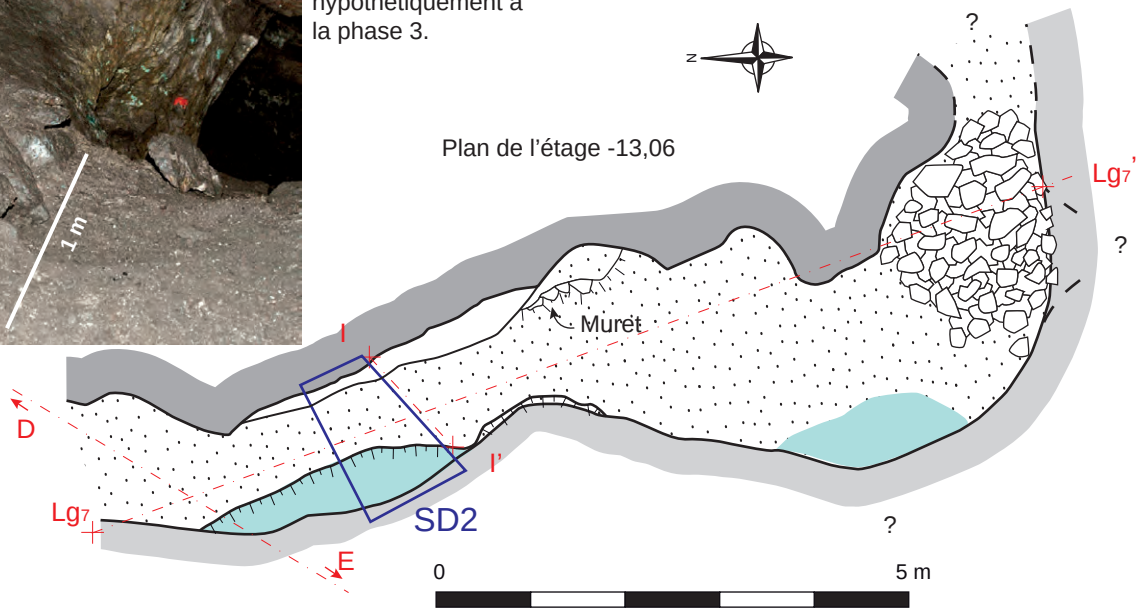
Phase 2 : Une fois l'abattage du minerai de cet étage considéré comme terminé, il est remblayé massivement par l'US 203. Cette US provient de l'exploitation d'un autre secteur de la mine, où l'utilisation du feu est toujours dominante au vu du nombre de charbons inclus dans ce remblai et de leur taille. Quelques-uns des éclats de roche étaient également noircis de suie. Ce remblai, suivi entre les cotes -13,35 m et -14,18 m, se poursuit encore vers le bas et comble donc également le sud de l'étage -14,22.

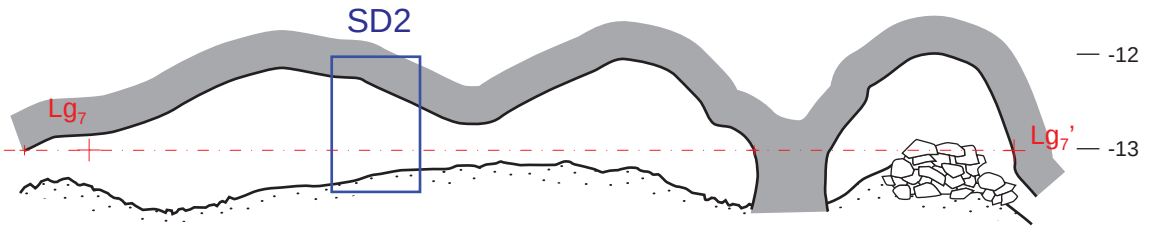
Phase 3 : Une phase de reprise de l'activité à cet étage est identifiable grâce au niveau de circulation US 202. À titre d'hypothèse, ce niveau pourrait être mis en relation avec un amas de blocs un peu plus au sud de ce même étage, contre la paroi est (Fig. 80). Ces blocs au départ identifiés comme du rejet de stérile pourraient en fait correspondre à l'aménagement d'une petite plate-forme pour reprendre l'abattage au niveau d'un élargissement du chantier vers le haut et l'est.

Phase 4 : le chantier est ensuite abandonné et les concrétions de calcite se forment en surface, protégeant la stratigraphie.

a. Vue du muret rattaché hypothétiquement à la phase 3.

Plan de l'étage -13,06

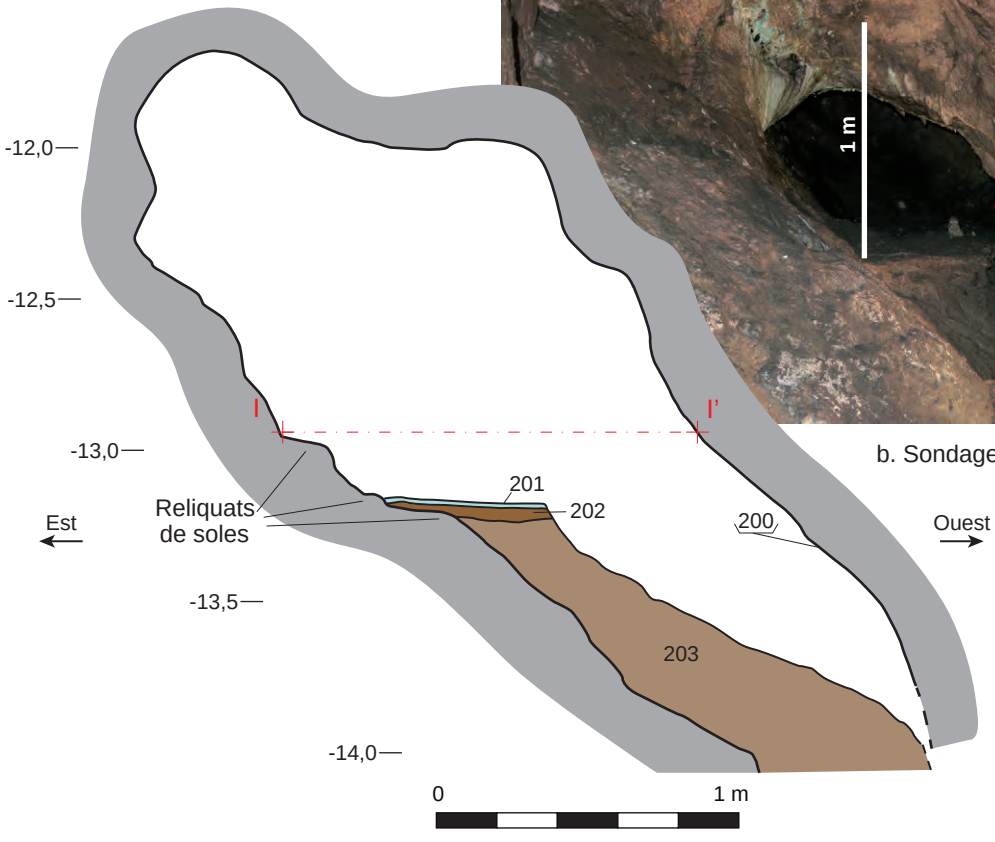


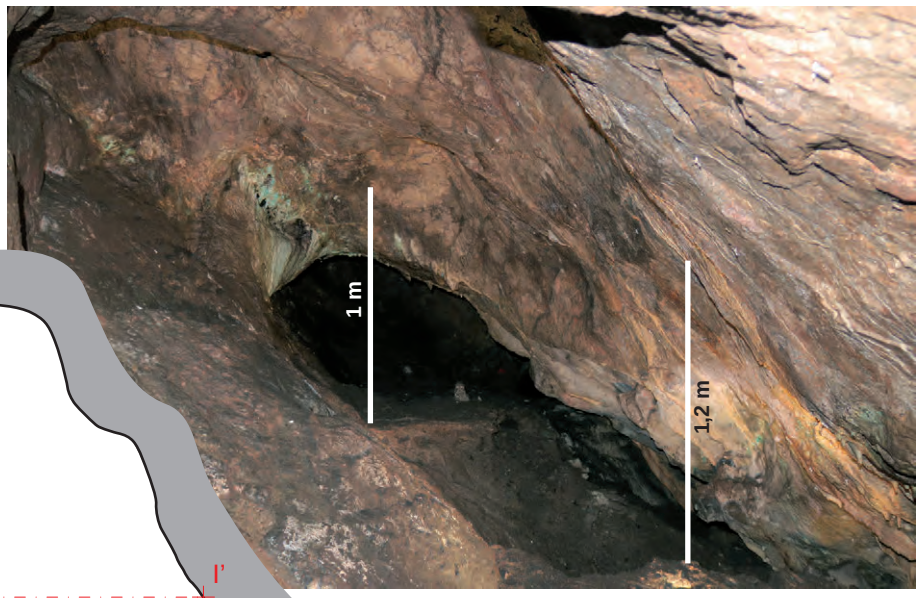


Coupe longitudinale de l'étage -13,06

Topographie:
E. Meunier
S. Lemaître

Remblais
Mur au niveau du plan
Passage au niveau inférieur
Concrétions de calcite





b. Sondage 2 en fin de fouille.

Fig. 80 : Mine de Rougé : sondage 2.

b.iii. Sondage 3

Le sondage 3 a été implanté dans le passage permettant l'accès actuel aux niveaux inférieurs de la mine, le long du contact entre les schistes et les calcaires (Fig. 73, photo c). Il prolonge le sondage 1 vers le bas et a permis le dégagement de la sole jusqu'à l'étage -8,94. La fouille a montré que le comblement était très réduit, ne permettant d'enregistrer que deux US.

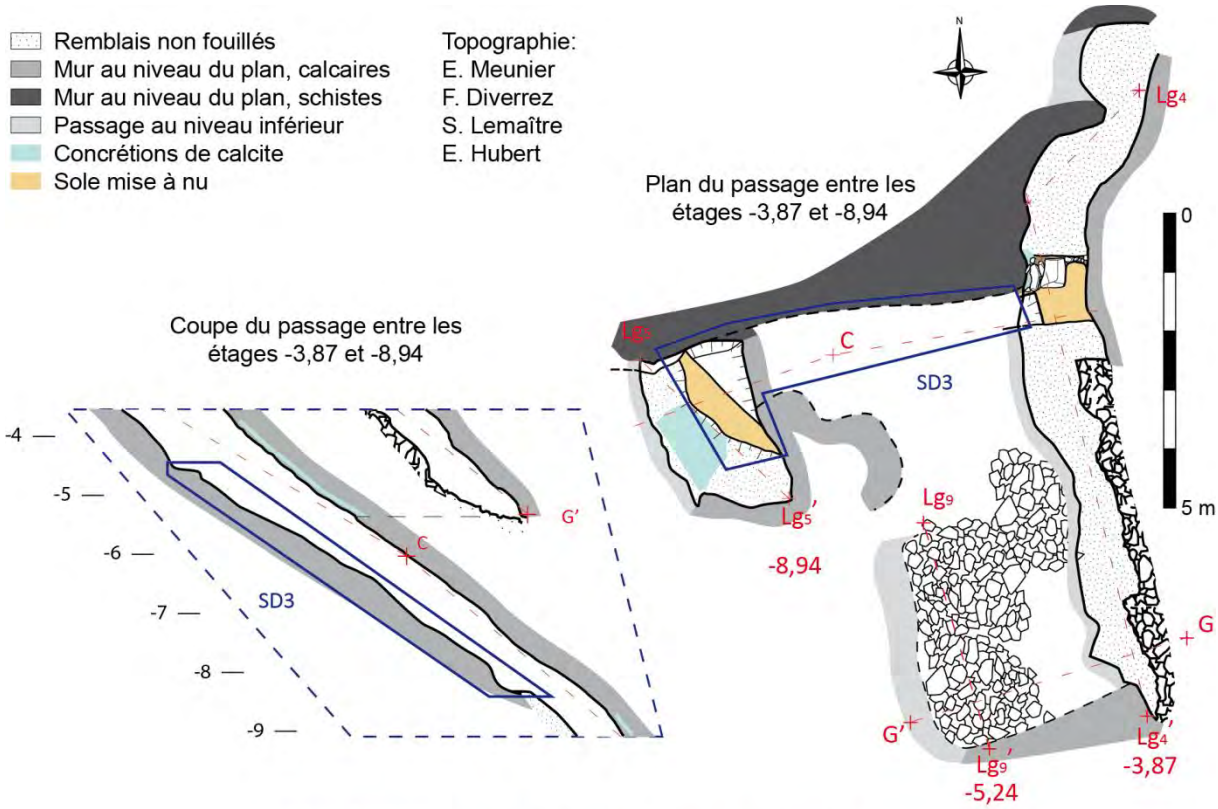
US 300 : creusement du passage.

US 301 : remblai gris très fin dans lequel quelques blocs calcaires de 5 à 15 cm de côté sont insérés. Absence de mobilier archéologique, charbons épars.

Cette stratigraphie ne permet pas de distinguer plusieurs phases. En effet, si cet espace sert aujourd'hui simplement de passage vers les étages inférieurs, il s'agissait à l'origine d'un espace d'exploitation, actuellement comblé vers le sud, qui regroupe trois à quatre étages. Il pouvait communiquer avec l'étage -5,24 et un élargissement vers le sud au niveau du point C correspond à un autre étage, non relevé à cause du remblaiement massif par des blocs stériles. D'autre part, la différence de profondeur dans les travaux entre la sole de l'étage -3,87 et l'étage -5,24 invite à y restituer au moins un étage intermédiaire, bien que le remblaiement ne permette pas ici non plus d'en fixer les limites. Le léger resserrement au niveau de l'accès à l'étage -8,94 constituerait un autre étage de peu d'extension. L'uniformité de la paroi nord de cet espace pourrait toutefois indiquer que le contact a été reconnu vers le bas (donc l'ouest) d'un seul jet, puis que l'exploitation s'est développée vers le sud aux différents étages. Ces étapes correspondent donc à plusieurs phases, qui n'apparaissent pas dans la stratigraphie. Elles ne sont pas non plus reflétées par le profil des travaux à cet endroit qui, nous l'avons déjà signalé, est parfaitement lisse à la sole et conserve seulement quelques ressauts en couronne.

Le remblai présent à la sole provient du glissement des niveaux supérieurs et a pu être entraîné récemment dans ce passage. De même, les archives ne précisent pas si un dégagement de cet espace a été réalisé par les prospecteurs miniers du début du XX^{e} siècle. Le fait est que l'US 301 est peu propice, dans ces conditions, à nous fournir des éléments attribuables avec sécurité aux phases anciennes de l'exploitation. Aucun charbon n'a donc été prélevé dans cet environnement.

La partie haute de l'étage -8,94, dégagée lors de ce sondage, présente une paroi orientale verticale. La sole est presque horizontale, mais aucun niveau de circulation n'a pu être mis en évidence dans cette partie supérieure. Les concrétions de calcite qui ont marqué la limite de l'extension vers l'ouest du sondage préservent très probablement une stratigraphie plus complète.



Courte paroi verticale dans la partie haute de l'étage -8,94 depuis le sud.
On distingue le filon en blanc au contact entre les schistes et calcaires.

Fig. 81 : Mine de Rougé : sondage 3.

b.iv. Sondage 4

Le sondage 4, implanté sur un replat à l'extérieur de la mine, devant l'entrée +5,56 (Fig. 83), avait comme objectif de vérifier si des activités liées au traitement du minerai (tri et concassage par exemple) avaient pu prendre place à cet endroit et éventuellement de préciser la chronologie de l'utilisation de cet accès. Ces questions ne sont que partiellement résolues à l'issue du sondage, mais les résultats ouvrent des perspectives intéressantes concernant cette mine.

Après le dégagement en extension de la couche d'humus, une tranchée (0,8 x 2 m) a été implantée dans l'axe de l'entrée, entre un bloc affleurant qui paraissait indiquer le rocher en place et une souche soupçonnée de perturber la stratigraphie autant que la fouille (Fig. 82). Le sondage a été interrompu avant d'atteindre le terrain naturel car les US en place identifiées au fond du sondage requéraient une fouille en aire ouverte, non réalisable dans le délai disponible.

Fig. 82 : Mine de Rougé : implantation du sondage 4 après dégagement de l'humus.

Dix US ont été identifiées dans ce sondage (coupes Fig. 83 et photo a, Fig. 84). Elles ne permettent pas d'établir un phasage clair, mais on peut tout de même différencier une période d'activité sur place et une autre où les activités se déroulent à proximité, avant l'abandon du site.

US 401 : terre végétale, humus.

US 402 : couche de terre brune foncée très meuble contenant de nombreux petits blocs de calcaire de 5 à 20 cm de côté, qui recouvre l'ensemble de la surface dégagée (Fig. 82).

US 403 : couche de terre brune claire contenant moins de blocs calcaires, mais tout aussi meuble que la couche 402. Localisée au nord du sondage, du mobilier y a été recueilli : céramique campanienne et amphore italique (Tab. 11).

US 404 : localisée uniquement dans la moitié nord du sondage, cette US d'un gris bleuté uniforme est en fait composée d'une poudre de schiste très meuble et ne contient pas du tout de terre (Fig. 84, b). Quelques éclats de schiste de 1 à 3 cm de côté étaient présents, ainsi que quelques charbons. Un tesson de panse d'amphore a été recueilli (Tab. 11).

US 405 : couche grise foncée légèrement argileuse qui contient également des petits éclats de schiste, et des charbons de plusieurs mm de côté. Des nodules d'argile indurée et brûlée et quelques blocs de calcaire de petite taille y sont aussi présents. Ce niveau est plus compact que l'US 404 qui la recouvre et a pu être observé dans les 2/3 nord du sondage. Deux tessons de panse d'amphore y ont été recueillis (Tab. 11).

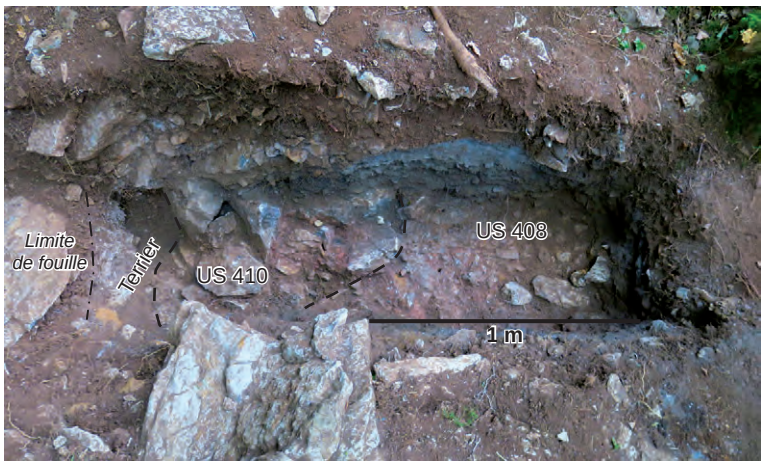
US 406 : cette US est localisée au sud du sondage, juste au-dessus du terrier. Il s'agit d'une poche de nodules d'argile blanchis en surface et très indurés, vraisemblablement sous l'action de la chaleur. Ils présentent une couleur brune violacée à l'intérieur (Fig. 84, c).

US 407 : niveau d'argile très indurée, de couleur rouge, contenant des charbons et des petits éclats de roche (calcaires et schistes) de quelques cm de côté. Cette US a été identifiée au nord du sondage : elle est couverte par l'US 405 et s'appuie contre l'US 410 (Fig. 84, d).
US 408 : niveau argileux très induré, de couleur rouge, caractérisé par une forte densité de blocs calcaires et la présence de quelques charbons. Tout comme l'US 407, elle se trouve dans la moitié nord du sondage et s'appuie contre l'US 410 (photo Fig. 83).
US 409 : amas de blocs calcaires de taille moyenne (20 à 30 cm de côté) pris dans une terre marron claire fine qui s'est probablement infiltrée entre les blocs. Elle est présente dans la coupe ouest uniquement, au sud du sondage. Elle est recouverte par l'US 402 et repose sur les US 406 et l'extrémité sud des US 404 et 405.
US 410 : Amas de blocs calcaires de taille moyenne (20 à 40 cm de côté) pris dans une argile grise ponctuellement rouge au centre du sondage. Des traces de charbons et l'argile rougie pourraient indiquer une exposition au feu. Cette US est présente à la base de la stratigraphie, au sud du sondage. Il pourrait s'agir d'une structure effondrée (photo Fig. 83).

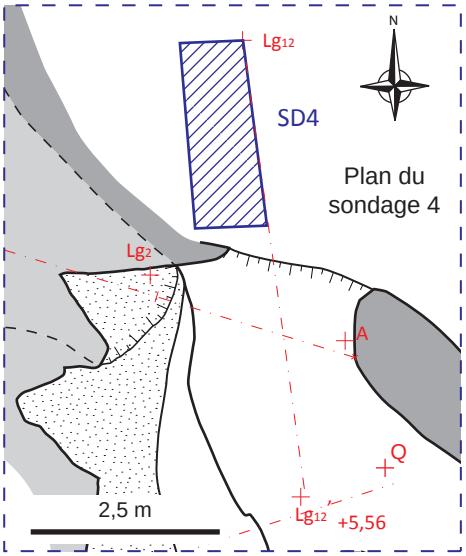
Les US 408 et 410, les plus anciennes du sondage, correspondent à des niveaux d'activité en place, tout comme l'US 407. La couleur rouge de l'argile des US 407 et 408 montre que l'argile a chauffé. Cela pourrait être lié à une opération de grillage du minerai, qui peut se pratiquer dans un environnement ouvert. L'amas de blocs de l'US 410, non fouillé, ne peut pas être interprété en l'état. Dans tous les cas, ces trois US montrent que l'entrée +5,56 n'était plus utilisée pour l'accès au réseau à ce moment là, et que l'exploitation se déroulait alors plus bas. Nous verrons que cette configuration est cohérente avec les données chronologiques.

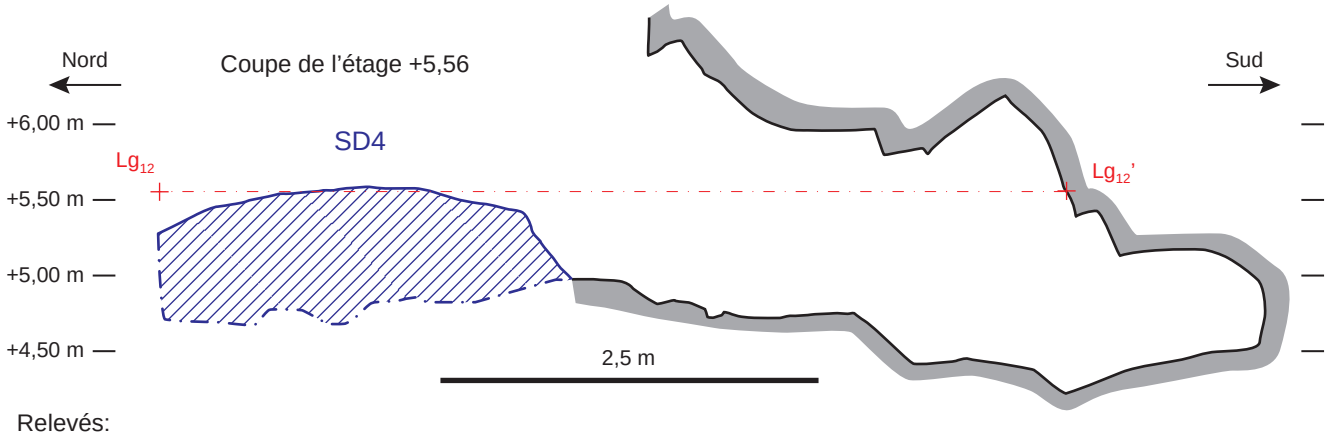
Les US postérieures, 406, 405 et 404, correspondent à des rejets. L'US 406, composée de nodules d'argile rubéfiés, peut elle aussi être liée à une activité de traitement thermique du minerai ou de métallurgie primaire. L'US 405, avec ses inclusions de charbon et de nodules d'argile brûlée, évoque le même type d'activité et peut correspondre au curage d'un sol d'atelier par exemple. L'origine de l'US 404 est plus difficile à interpréter dans la mesure où cette accumulation uniforme de schiste réduit en poudre n'a pas de fonction évidente. Les tessons d'amphores identifiés dans les US 405 et 404 nous situent entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è. L'absence de niveau de sédimentation entre l'US 405 et les niveaux antérieurs nous invite à attribuer l'activité des US 408, 410 et 407 à la même période.

Enfin, les US 409, 403 et 402, qui contiennent toutes des blocs calcaires stériles de taille réduite, correspondent à des rejets miniers de type haldes plus ou moins denses. Le gros bloc erratique visible dans la coupe est, qui n'est donc pas le rocher affleurant, tout comme celui qui se trouve en travers de l'extrémité sud du sondage, tranche avec les autres éléments plus calibrés. Cela n'est toutefois pas incohérent en contexte minier. Les tessons d'amphore et de céramique campanienne de l'US 403 semblent indiquer que l'on se situe toujours à la même période, bien qu'il soit possible que ce mobilier ait été remobilisé plus tardivement.



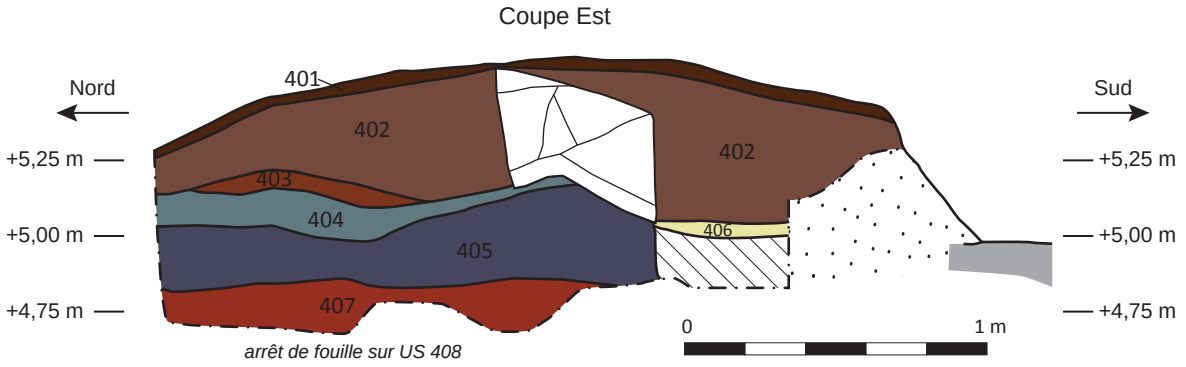
Vue du sondage 4 en fin de fouille, depuis l'est





Relevés:
E. Meunier
A. Tayac
M. Chamoulaud

Remblais non fouillés
Perturbation terrier



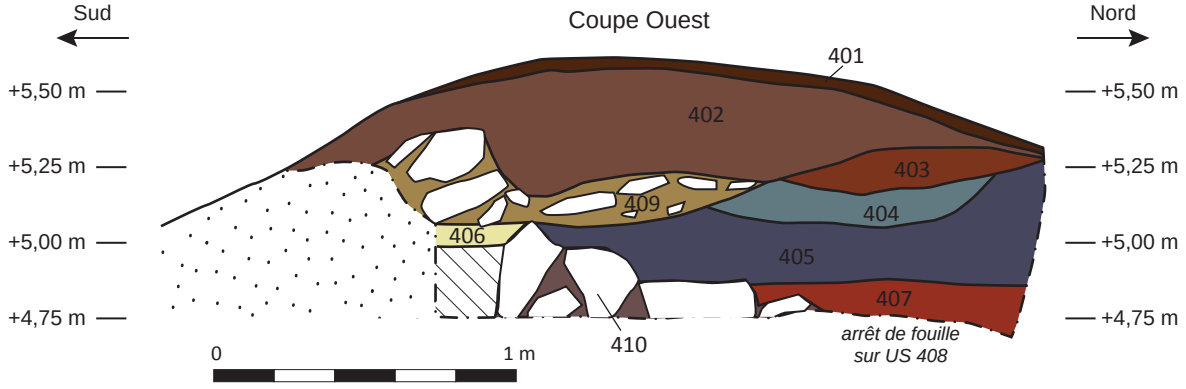
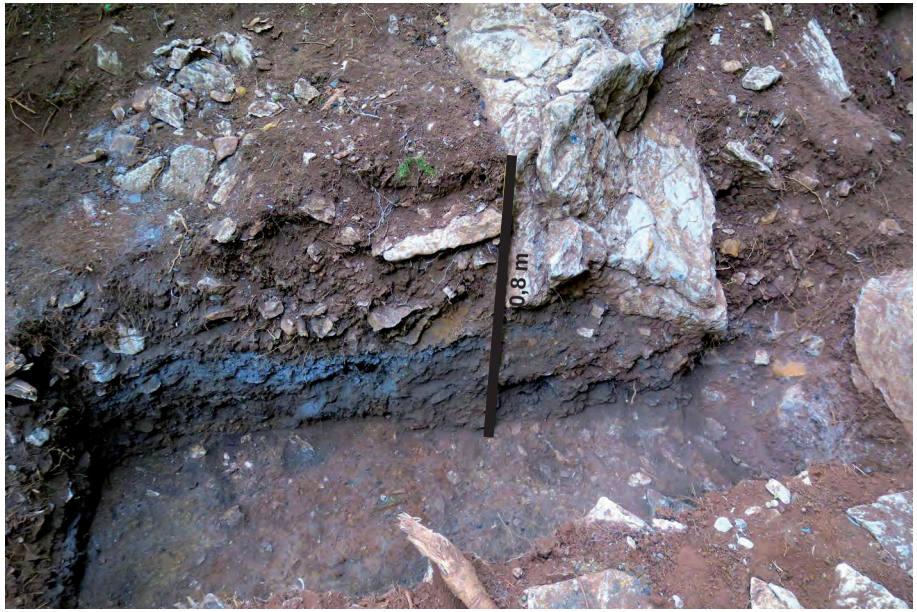


Fig. 83 : Mine de Rougé: stratigraphie du sondage 4.



a. Vue de la coupe est du sondage 4 en fin de fouille.

b. Détail de l'US 4, le schiste réduit en poudre.

c. Détail de l'US 406 dans sa partie supérieure.

d. Détail de l'US 407 au nord du sondage

Fig. 84 : Mine de Rougé : vue des US du sondage 4.

c. Chronologie et dynamique d'exploitation

Les données chronologiques sont fournies par du mobilier et des datations radiocarbone. Le mobilier, composé de tessons d'amphores italiques Dressel 1 (1A lorsque le type a pu être précisé) et de quelques tessons de campanienne A, se rattache à une période comprise entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le I^{er} s. av. n. è. (Tab. 11 et Fig. 85). Le faible nombre d'éléments conservés et leur diffusion longue ne permet pas de proposer un intervalle de temps plus réduit. Tous les tessons qui se trouvent à la surface des remblais dans les travaux ne sont pas significatifs pour dater le chantier, pas plus que ceux que l'on observe autour de la mine. Ceux qui se trouvaient dans les niveaux de haldes et dans les rejets localisés devant l'entrée +5,56 peuvent par contre être associés à une phase d'activité avec plus de certitude.

Catégorie	Type	Élément	NR	Commentaire
Amphore	Italique	Panse	6	Dans les travaux, à la surface des déblais.
Campanienne A	Bol ?	Panse	1	Dans les travaux, à la surface des déblais.
Amphore	Italique	Panse	-	Autour des travaux en surface, non ramassés
Campanienne A	Indéterminé	Panse	1	US 403
Amphore	Dressel 1	Panse	3	US 403
Amphore	Dressel 1	Panse	1	US 404
Amphore	Dressel 1	Panse	2	US 405
Amphore	Dressel 1A	Lèvre	1	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 369) dessin - Fig. 85
Amphore	Dressel 1A	Panse	-	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 369)
Amphore	Dressel 1A	Anse	-	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 369) dessin - Fig. 85
Amphore	Dressel 1A	Pied	-	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 369) dessin - Fig. 85
Campanienne A	Lamb. 27c	Bord	1	(Dubois & Guilbaut 1989, p. 369) dessin - Fig. 85

Tab. 11 : Inventaire du mobilier de Rougé.

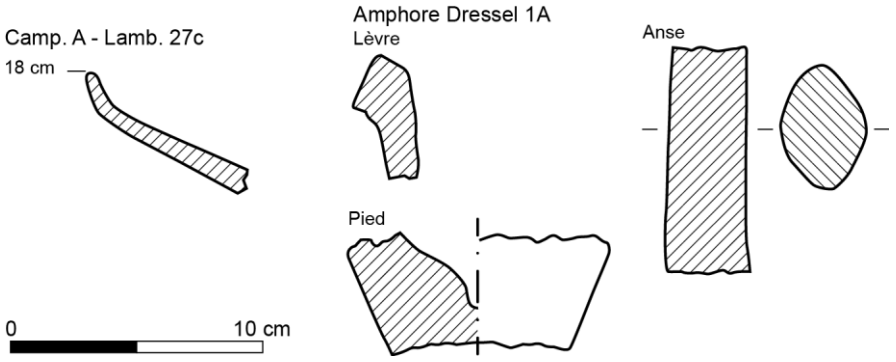


Fig. 85 : Dessin du mobilier de Rougé (d'après Dubois & Guilbaut 1989, fig. 6).

Cinq charbons provenant de cinq US différentes des sondages 1 et 2 ont été datés dans cette mine. Dans le sondage 1, ils proviennent du premier niveau de circulation sur la sole, l'US 111, de la couche de charbons du bûcher correspondant à la reprise de la phase 4, l'US 114, et de la couche de rejet charbonneuse postérieure à la première formation de calcite, l'US 105. Pour le sondage 2, ils proviennent des deux US qui en ont livré, soit le

remblai massif US 203 et le niveau de circulation US 202. Les résultats ne correspondent pas du tout avec la chronologie du mobilier, comme le montre la figure suivante.

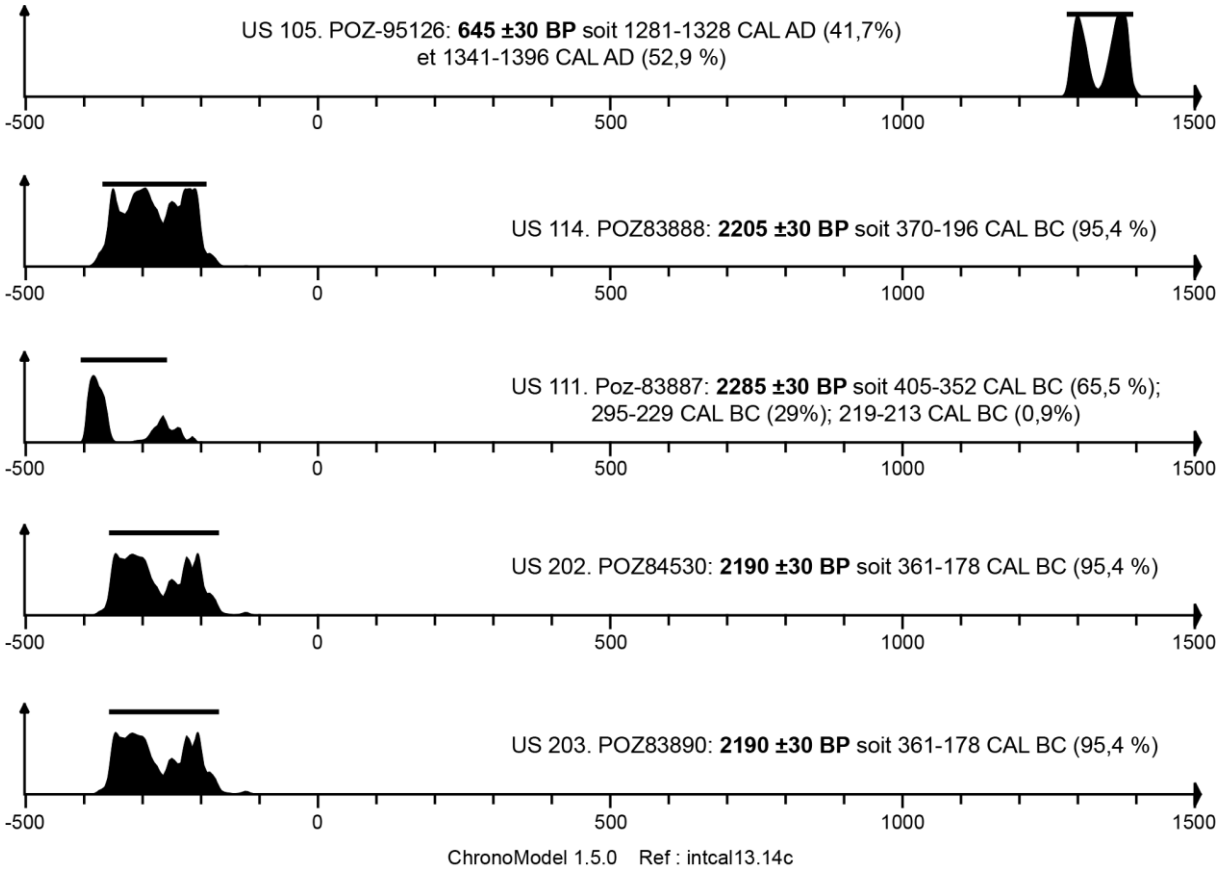


Fig. 86 : Datations radiocarbone de la mine de Rougé.

Il apparaît ainsi que la mine de Rougé a été ouverte dès les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. et qu'elle a connu une reprise au XIV^e^ siècle, en plein Moyen Âge. La sole du sondage 1, à l'étage -3,87, livre l'âge radiocarbone le plus ancien (2285 ±30 BP), suivi par le bûcher de la première reprise (2205 ±30 BP). Les deux charbons du sondage 2, à l'étage -13,06 donnent la même date radiocarbone, 2190 ±30 BP, ce qui montre que ces US ont été mises en place dans un laps de temps très court. Leur âge radiocarbone est également très proche de celui de l'US 114, pour la reprise à l'étage -3,87. Les concrétions de calcite de l'US 117, qui scellent l'abandon du foyer après la première reprise, se sont donc formées dès le III^e^ s. av. n. è. La date suivante, pour l'US 105, nous transporte directement au Moyen Âge, sans que l'on puisse identifier dans ces US du sondage 1 un niveau correspondant à l'activité mise en évidence par le mobilier. Le sondage 2 montre lui aussi un abandon antérieur à la fin du II^e^ s. av. n. è., et l'identification préalable des charbons par une anthracologue permet d'assurer qu'il n'y a pas d'effet « vieux bois ».

La configuration du réseau, très ouvert à l'origine et fortement incliné, implique que les étages supérieurs à l'entrée 0 aient été vidés avant que l'exploitation ne s'enfonce dans les étages inférieurs. La sole de l'étage -3,87 ayant été ouverte avant la fin du III^e^ s. av. n. è., on peut situer l'exploitation des étages supérieurs au moins au début de ce siècle, et

probablement dès le IV^e^, voire à la fin du V^e^ s. av. n. è. Les dates des US 114, 203 et 202 montrent que les étages -3,87 et -13,06 étaient déjà vidés à la fin du III^e^ s. av. n. è. ou dans les toutes premières années du II^e^ s. av. n. è. si l'on tient compte des dates calibrées les plus tardives. Comme le remblai de l'US 203 s'enfonçait vers l'étage -14,22, on peut raisonnablement considérer que cet étage était également vide à la fin du III^e^ s. av. n. è. Il ressort de tout cela que les deux tiers de la mine de Rougé, au minimum, étaient déjà vidés à cette période, avant la phase d'exploitation correspondant au mobilier italique.

La question de l'ampleur de l'exploitation entre la fin du II^e^ et le I^er^ s. av. n. è. se pose alors d'une toute autre manière que lorsque seul le mobilier permettait de dater la mine. Trop peu de secteurs ont été fouillés pour pouvoir être affirmatif. Il est cependant probable que cette phase d'exploitation concerne les étages inférieurs au -14,22. On pourrait envisager des reprises ponctuelles dans les étages déjà exploités, mais les profils visibles ne donnent pas vraiment d'indications de la sorte. Le secteur sud, complètement remblayé, pourrait bien sûr être différent, mais il sera difficile de le savoir sans des travaux d'envergure. Ces résultats amènent également à se demander si, entre la fin du II^e^ et le I^er^ s. av. n. è., on se trouve face à une poursuite de l'activité initiée aux IV^e^ et III^e^ siècles ou s'il s'agit d'une reprise après une interruption. La formation des concrétions de l'US 117, qui s'appuient sur l'US 116, et de celles de l'US 201, qui scelle la stratigraphie de l'étage -13,06, nous feraient plutôt pencher pour la restitution d'un abandon de l'activité pendant le II^e^ s. av. n. è.

Le profil des travaux est d'ailleurs assez similaire depuis les étages les plus hauts jusqu'aux niveaux inférieurs, ce qui n'incite pas à les attribuer à des chronologies variées. Le seul secteur différent se situe entre les cotes -24 et -26. Entièrement ouvert à l'outil, la couronne est régulière alors que des gradins se voient à la sole (Fig. 75, b). Cependant, ce type de profil fait penser à ce que l'on voit dans la partie supérieure de l'étage -8,94 (photo Fig. 81). L'utilisation dominante de l'outil plutôt que du feu est la seule véritable différence, qui doit tout de même être prise avec précaution. D'autre part, les étages inférieurs à partir de la cote -16 n'ont pas pu être correctement étudiés à cause des difficultés d'accès, du comblement massif de cette partie du réseau et des abondantes concrétions de calcite. La vision que nous en avons est donc partielle et ils pourraient s'avérer plus complexes.

Quant à la reprise médiévale, il est encore plus compliqué dans ce contexte d'évaluer son importance. Les niveaux d'activité identifiés dans le sondage 4 montrent qu'une exploitation a bien eu lieu entre la fin du II^e^ et le I^er^ s. av. n. è., tout comme les haldes associées à du mobilier et recoupées par la piste. Mais les 2/3 de la mine étaient déjà vides à la fin du III^e^ s. av. n. è., et, après une reprise d'exploitation tardo-républicaine, il reste bien peu du volume actuel de la mine à attribuer au XIV^e^ siècle. De nouveau, les niveaux les plus profonds peuvent avoir fait l'objet d'une exploitation à cette époque, mais l'US 105 correspond à une activité qui se déroule à proximité de l'étage -3,86, pas au fond de la mine. Cela s'apparente plutôt à une recherche dans le but d'une reprise d'exploitation, non avenue.

Ces éléments chronologiques, couplés aux observations techniques dans les travaux, permettent de proposer une restitution de la dynamique d'exploitation. Globalement, les mineurs ont attaqué la minéralisation par étages horizontaux suivant l'orientation du filon, en descendant depuis les entrées à flanc de versant (Fig. 87, flèches vertes). Quelques passages ont été exploités en oblique suivant le pendage de la minéralisation (Fig. 87, flèches rouges). Les ouvrages d'assistance, creusés dans le schiste stérile, suivent l'inclinaison générale des travaux pour mettre en communication différents étages (Fig. 87, flèches bleues). Cela devait faciliter la circulation des mineurs et l'aérage du réseau. Enfin, la reprise ponctuelle à l'explosif n'a constitué qu'un élargissement de l'entrée.

Les profils réguliers des soles des étages inclinés (depuis l'entrée 0 vers le haut et à l'étage -13,06) indiqueraient plutôt que l'exploitation s'est faite en descendant progressivement comme nous l'avons expliqué plus haut, avec le percement au fur et à mesure de la sole. Cela veut dire que deux étages directement superposés ne pouvaient pas être mis en exploitation en même temps, chacun par une équipe de mineurs, car il n'y avait pas de plancher résiduel entre deux étages. Lorsque c'est le cas, leur percement postérieur laisse une empreinte dans les profils des travaux, que nous n'avons pas ici (nous en verrons des exemples plus loin dans la mine du Goutil, Fig. 118, c et d). Il résulte de cela que deux équipes pouvaient travailler en même temps uniquement si deux secteurs étaient indépendants, séparés par un pilier épais ou une cloison de roche. Cette configuration apparaît bien entre les étages -5,24 et -13,06, avec un secteur nord encore praticable aujourd'hui et un secteur sud totalement remblayé.

Tout cela nous amène à proposer une division de la mine en cinq secteurs en fonction de la chronologie relative des travaux (Fig. 87, couleurs de fond numérotées de 1 à 5 en légende). Ces secteurs ont nécessairement dû être exploités les uns après les autres. Pour quatre d'entre eux, la configuration des travaux permet de restituer des espaces où différentes équipes on pu travailler en même temps (Fig. 87, lettres A, B ou C). Ces subdivisions sont établies suivant les cloisons ou piliers massifs dans les secteurs correspondants aux phases 2, 3 et 5. Pour le secteur de la phase 1, une rupture dans le profil des soles à la base de l'étage +3,36 peut correspondre à une jonction tardive entre les étages supérieurs et inférieurs. De plus, le décalage des entrées dans le sens nord-sud, sens d'avancement des travaux par étage, contribuait à ce qu'une équipe démarrant son travail depuis l'entrée 0 en même temps qu'une seconde à l'une des entrées supérieures ne se retrouve pas à travailler juste en dessous. Le secteur de la phase 4, plus étroit, ne permettait pas à deux équipes de travailler simultanément à l'exploitation. Le cas des galeries d'assistance pouvait sans difficulté impliquer une équipe spécifique, chacune d'entre elles étant isolée du reste des travaux par un massif rocheux. Cependant, encaissées dans les schistes, une roche bien plus tendre que les calcaires, et étroites, leur percement a dû être bien plus rapide que celui des étages d'exploitation parallèles. Elles ont donc tout aussi bien pu être creusées par l'équipe qui venait d'atteindre la partie basse que l'on souhaitait relier ainsi aux étages supérieurs. Il est même possible que le creusement ait été entrepris depuis

chaque extrémité pour aller plus vite, avec une jonction au centre de la galerie. Les inflexions relevées dans la galerie d'assistance basse pourraient correspondre à des rectifications pour réussir la jonction. Le comblement de celle du haut ne permet pas d'être formel sur son cas, mais les directions relevées aux deux extrémités ne sont pas les mêmes.

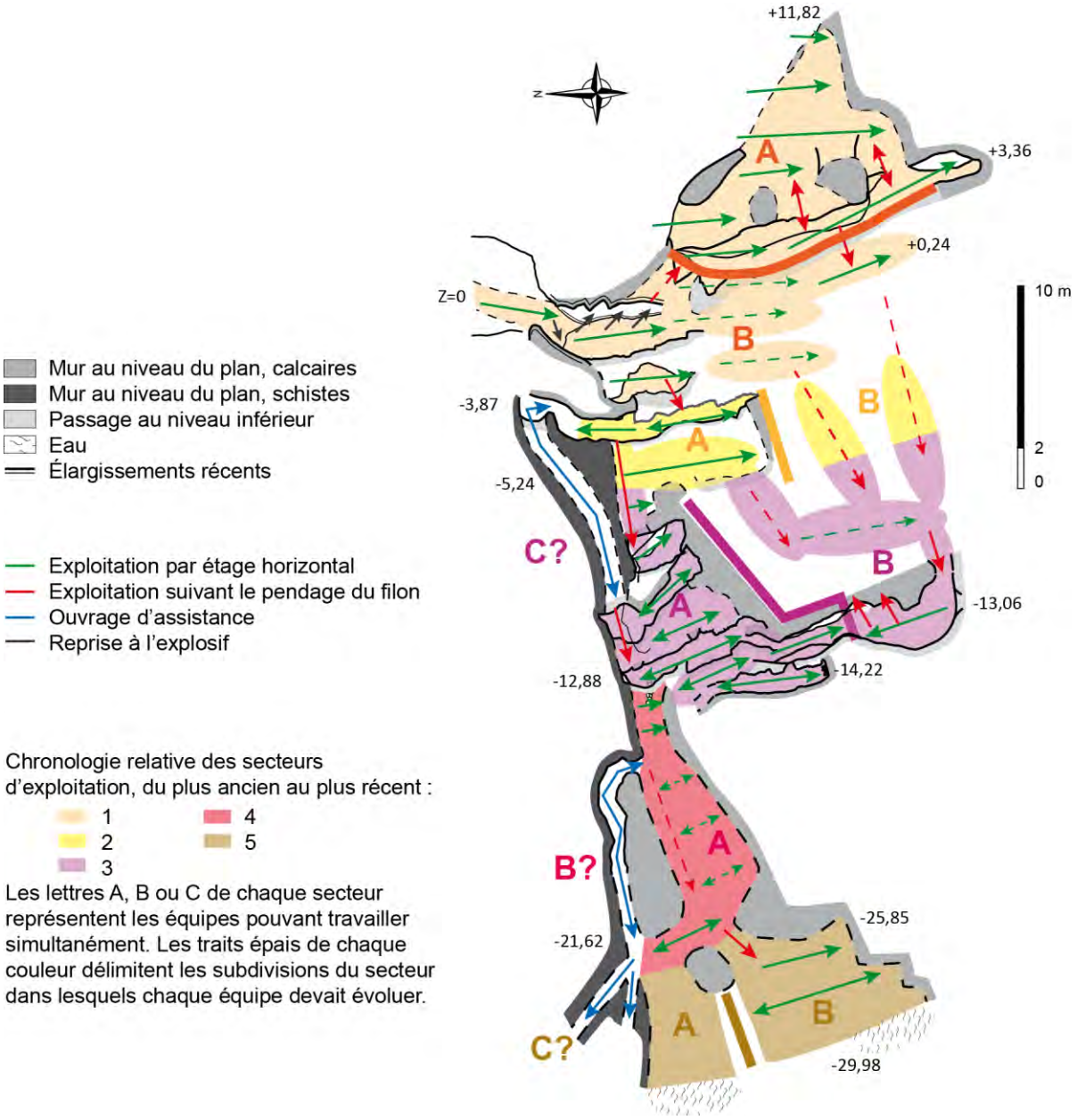
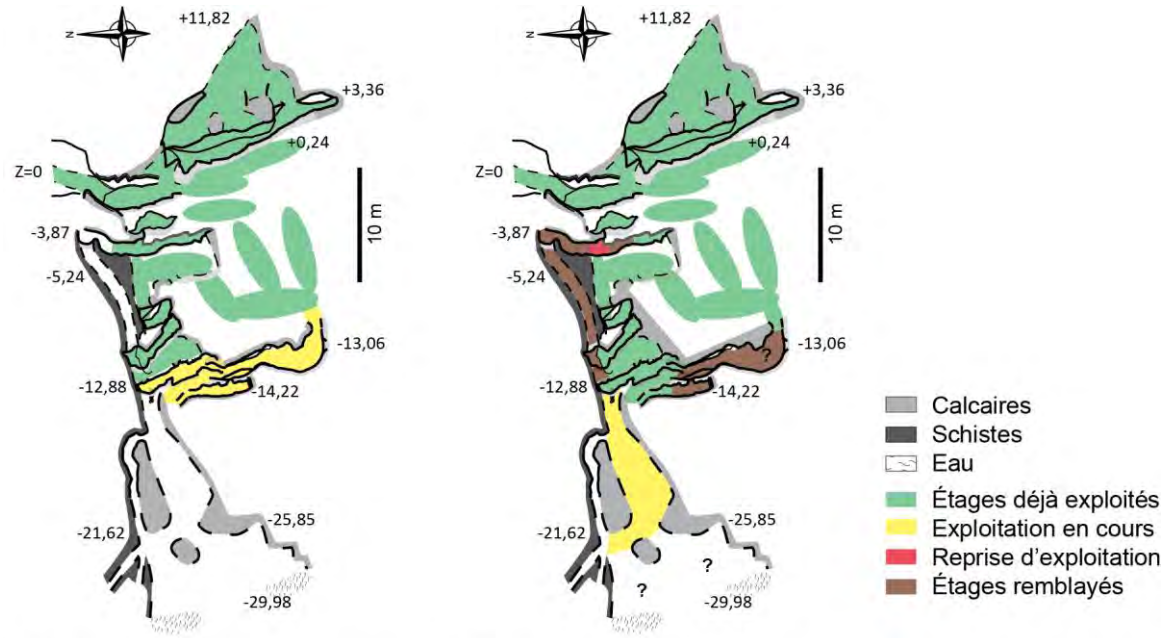


Fig. 87 : Mine de Rougé vue en plan : dynamique d'exploitation.

Les sondages effectués dans cette mine sont trop ponctuels pour que nous soyons assurés de ce fonctionnement par équipes. Seule l'obtention de dates au débouché des subdivisions de chaque secteur permettrait d'assurer qu'ils ont été exploités en même temps et pas l'un après l'autre. Le rythme général de l'exploitation en serait bien entendu changé.

Les quatre datations disponibles pour la période des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. s. permettent de préciser un peu l'état d'avancement de l'exploitation pour cette période. La date de l'US 111

(2285 ±30 BP) correspond au premier « instantané » que l'on peut proposer pour cette mine (Fig. 88, a). Les niveaux supérieurs étaient forcément déjà ouverts, mais pour que l'accès à la galerie d'assistance supérieure ait un sens, il fallait que les étages qu'elle dessert le fussent également. L'exploitation avait donc atteint à ce moment-là l'étage -12,88 et pouvait se poursuivre dans le reste du secteur de la phase 3 définie ci-dessus. L'ouverture des étages -13,06 et -14,22, remblayés par la suite, a dû avoir lieu à cette période. On supposera que la partie sud du réseau, actuellement bouchée, suit les mêmes rythmes d'exploitation que le nord.



a. Première moitié du IV^e s. av. n. è. ou III^e s. av. n. è.

b. Deuxième quart du IV^e - premier quart du II^e s. av. n. è.

Fig. 88 : Proposition de restitution de l'avancement de l'exploitation aux IV^e et III^e s. av. n. è. dans la mine de Rougé.

Les dates suivantes, correspondant à la reprise d'activité de l'étage -3,87 et au remblaiement et utilisation comme espace de circulation de l'étage -13,06, donnent des dates calibrées très similaires (361-178 cal BC et 370-196 cal BC) qui nous incitent à les regrouper pour l'analyse des travaux miniers. Nous pouvons donc proposer un second « instantané » qui a pu se dérouler entre le deuxième quart du IV^e s. av. n. è. et le premier quart du II^e s. av. n. è. (Fig. 88, b). Cette fourchette chronologique dépend de celle de l'étape précédente, ne pouvant lui être que postérieure. Elle pourrait donc n'avoir démarré qu'à la fin du III^e siècle selon la date réelle du premier « instantané ». Les éléments disponibles pour le moment ne permettent cependant pas de faire de tels choix dans les dates retenues. Entre cette deuxième étape et la première, la galerie d'assistance supérieure et la partie nord de l'étage -3,87 ont été remblayés et n'avaient donc plus d'utilité pour la circulation. Il est toutefois possible que la fonction d'aérage de la galerie d'assistance ait été maintenue si son rebouchage n'était pas total (actuellement, la partie haute conserve une ouverture de 10 cm de haut pour 40 de large). La deuxième étape correspond au remblaiement massif et

rapide du nord de l'étage -13,06 et du sud de l'étage -14,22. On ne peut pas savoir en l'état jusqu'à quel point vers le sud l'étage -13,06 était remblayé. L'exploitation devait se poursuivre à ce moment-là dans les étages du secteur 4 défini plus haut, sans que l'on puisse préciser jusqu'à quelle cote. La reprise ponctuelle d'activité à l'étage -3,87, avec le démontage d'une partie du muret qui retenait les déblais vers le nord soulève toutefois des questions concernant l'état du passage vers les étages inférieurs, que l'on ne peut résoudre avec les éléments disponibles. La formation des concrétions de calcite des US 201 et 117 indiquerait un abandon rapide de la mine vers le début du II^{e} s. av. n. è.

Pour la période fin II^{e} - I^{er} s. av. n. è., l'absence de date dans les travaux ne permet pas de préciser quels secteurs étaient en exploitation, et la reprise (ou tentative de reprise) médiévale identifiée est également trop ponctuelle pour proposer une quelconque restitution à l'échelle de la mine. Le moment du remblaiement du sud de l'espace désigné comme le secteur 3 est également inconnu. Il s'agit d'un remblaiement systématique à l'aide de blocs calcaires stériles qui montre une volonté d'amortir ce secteur. Il a pu avoir lieu au plus tôt lors de l'exploitation du secteur 4, donc peut-être dès le III^{e} s. av. n. è. Mais il peut être plus tardif et correspondre à la période tardo-républicaine ou même médiévale.

Ce site a livré de nombreuses informations, mais les inconnues demeurent concernant la localisation de l'habitat des mineurs et des ateliers de traitement du minerai, pour les différentes périodes. La prospection des alentours de la mine n'a pas livré d'élément de réponse, la végétation de buis denses et les broussailles et ronces couvrant le sol ne permettant pas de repérer grand-chose. Le hameau situé plus au nord n'a jamais livré de vestige archéologique pour autant que les habitants actuels le sachent. Rien n'est signalé non plus dans la bibliographie pour ce secteur. Des replats de quelques mètres carrés ont toutefois pu être identifiés à quelques dizaines de mètres des entrées de la mine, et une zone où le relief est plus doux se trouve plus haut sur le versant, au sud de la mine, au-dessus de 700 m d'altitude. De futures recherches pourraient permettre de les explorer par sondages. On retiendra surtout que la mine de Rougé doit être considérée comme une exploitation avant tout gauloise, ayant fait l'objet de reprises dont l'ampleur reste à déterminer à la période tardo-républicaine et au Moyen Âge.

III. C. 2. Mine de la Coustalade (Castelnau-Durban)

Le site de la Coustalade, du nom de la colline au pied de laquelle il se trouve, présente plusieurs vestiges de travaux miniers (Fig. 89). Quatre d'entre eux correspondent uniquement à des recherches récentes (COU2 à COU5). Les archives nous apprennent que des travaux ont été menés sur ce site en 1873-75 puis en 1900 et 1906 (Anonyme 1873, 1903 ; Bertraneu 1958, p. 4). Seul le réseau COU1 comporte des travaux anciens, nous ne nous occuperons donc pas des autres dans la suite de cet exposé. Ce réseau est situé à la base du versant, en rive gauche du ruisseau de Mont-Froid, dans un bois de feuillus assez dense. Il a également fait l'objet d'une reprise récente, dont le travers-banc, ouvert au niveau du ruisseau (altitude : 400 m), sert d'accès principal aujourd'hui.

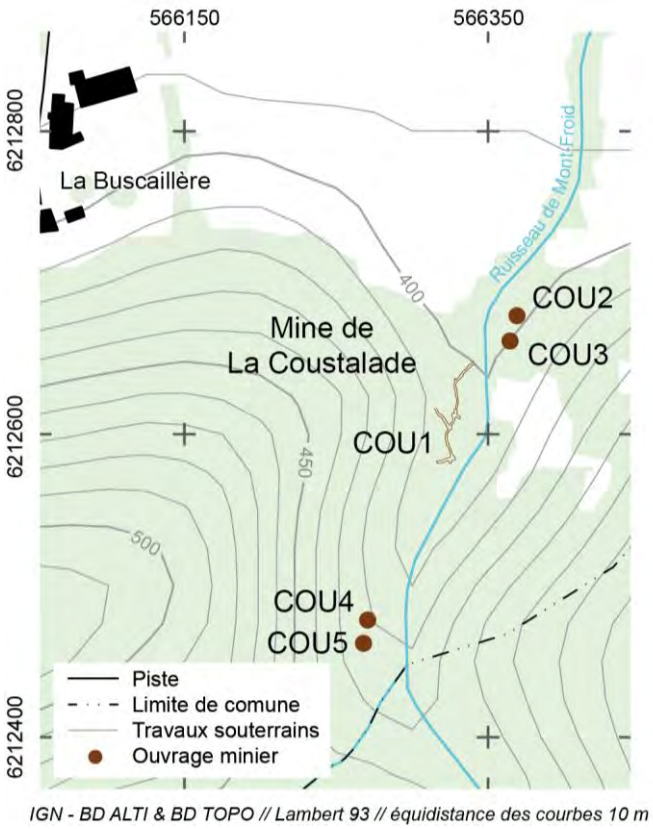


Fig. 89 : Localisation de la mine de La Coustalade (Castelnau-Durban).

Selon les observations sur le terrain de M. Lopez[73] dans le réseau COU1, la minéralisation, filonienne, est encaissée dans les dolomies du Dévonien. Elle s'est formée suivant un mouvement de faille décrochante et des veines parallèles de moindre puissance ont pu se développer dans des fentes liées à ce mouvement. Deux filons principaux ont été identifiés (Fig. 90). À gangue de quartz avec inclusions de calcite, ils sont porteurs de sulfures diffus (cuivres gris, galène et chalcopyrite). De la barytine est également signalée dans la bibliographie (Fournier-Angot 1983, pp. 209-211) et des exploitations visant à obtenir ce matériau ont été menées dans le premier tiers du XX^{e} siècle sur le versant nord de la colline, à l'ouest des travaux qui nous occupent (Robert 1982, p. 15). Une salbande* argileuse a été observée aux épontes du filon exploité par les travaux anciens.

Cette mine avait fait l'objet d'une exploration archéologique par C. Dubois, accompagné de spéléologues, en 1991 (Dubois & Métailié 1991, pp. 65-66). Il y signale un tesson de panse d'amphore italique dans la partie haute des travaux, dans un renfoncement protégé d'apports par colluvionnement atteint après équipement spéléologique du puits (Tab. 12). D'autre part, les archives qu'il a pu consulter indiquent en 1875 que « des poteries et une sorte de râteau en fer » ont été trouvés dans ce chantier (Dubois & Métailié 1991, p. 65).

La topographie du réseau ainsi que les sondages ont été réalisés dans le cadre des prospections thématiques entre 2014 et 2017. Des charbons ont pu être datés à deux

[73] Géologue, professeur à l'Université de Montpellier.

niveaux dans ces travaux. Les alentours de ce site ont été prospectés sans donner de résultat concernant des installations liées à la mine ancienne. On notera que le toponyme du champ juste en contrebas de l'entrée principale, « L'Usine », est peu prometteur pour l'archéologie préindustrielle.

a. Description des travaux

Le réseau COU1 est composé de deux chantiers d'exploitation anciens ainsi que de galeries et descenderies récentes (Fig. 90). L'entrée principale correspond à un travers-banc de 17 m de long (orientation N225) qui débouche sur une galerie moderne GM1 orientée N175, suivant le premier filon principal. Les élargissements dans le travers-banc sont des grattages sur des veines de faible puissance qui correspondent à la terminaison nord en queue de cheval du filon principal. Sur ses premiers 22 m, la galerie GM1 recoupe la partie inférieure des vieux travaux (coupe Fig. 91 et photo a, Fig. 94), soit un premier chantier ancien incliné et étroit (CA1) et un second qui s'apparente à un puits incliné double, plus large, ouvert au jour (CA2). La partie supérieure du chantier CA1, au parement nord, est très oxydée et tapissée de limonites. La minéralisation dans ce secteur pouvait donc correspondre à des carbonates de cuivre en mouches plutôt qu'à des sulfures. Il est aussi possible que les oxydes de fer contenus dans les limonites aient pu être exploités. Le chantier CA2 a été foncé depuis la surface en suivant dans sa moitié est le filon principal et dans sa moitié ouest les veines secondaires liées aux fentes parallèles à la faille décrochante.

Les travaux anciens n'ont pas outrepassé vers le sud le pincement de la minéralisation (Fig. 90, en bas). La galerie moderne GM1 a été prolongée en s'incurvant tout d'abord vers le sud-ouest (N205) sur 15 m puis vers le sud sur 18 m pour retrouver une orientation similaire à son premier tronçon. Elle dessert trois descenderies noyées, deux vers l'est et une vers l'ouest. Cette dernière barre l'accès à une autre galerie, GM2, qui se poursuit sur au moins 12 m en direction N325. Enfin, une petite galerie de recherche, GM3, termine le réseau au sud. La galerie GM1 a reconnu le toit d'un deuxième filon dans son dernier tronçon. On voit à l'entrée de GM3 qu'il a une puissance de près de 2 m. La galerie GM2 a pu être ouverte pour recouper plus loin ce second filon.

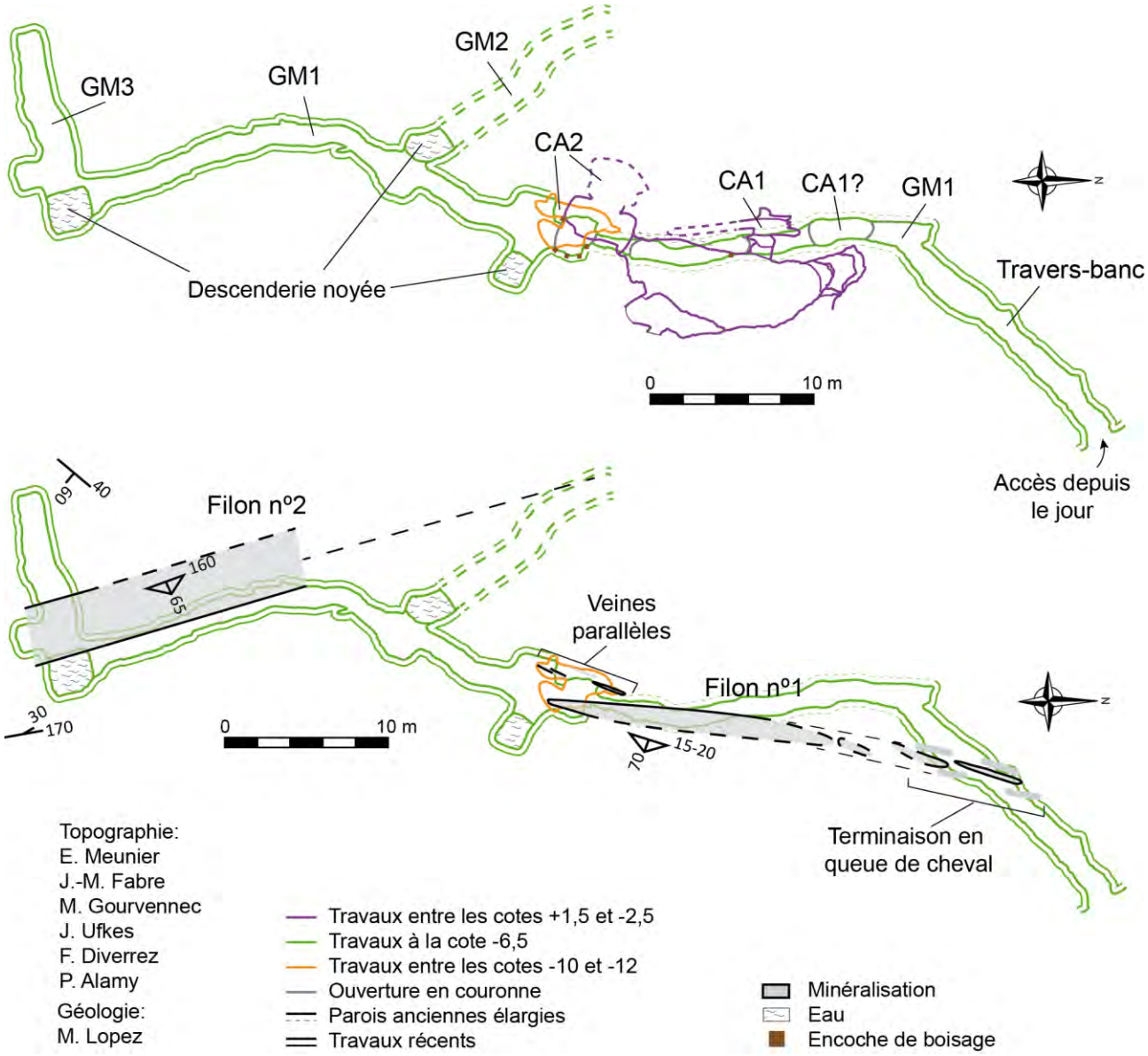


Fig. 90 : Plan du réseau COU1 et localisation des structures géologiques principales.

L'exploitation ancienne a démarré depuis l'affleurement, une dizaine de mètres au-dessus de la sole de la galerie GM1 (coupe Fig. 91). Le chantier CA1 a été attaqué par une petite ouverture à flanc de versant, aujourd'hui masquée derrière de gros blocs éboulés qui permettent tout de même un passage. Depuis cette ouverture, qui s'enfonce dans le rocher vers l'ouest, le chantier se développe de 2 m vers le nord, où il se termine sur un front de taille, et de 3 m vers le sud, où les travaux s'approfondissent suivant un pendage de 65º vers l'est. Un sondage a été réalisé dans le secteur de l'entrée. La largeur de ce chantier incliné est de 0,8 m, atteignant ponctuellement 1 m ou se resserrant à 0,5 m. Aucun aménagement n'est visible dans les parois du chantier incliné pour faciliter la progression verticale : ni encoche, ni vestige de plancher. Les travaux sont pourtant bien trop raides pour se contenter des aspérités de la paroi pour la progression. On peut supposer que des boisages étaient calés en force en travers du chantier. D'autre part, une extension de cet ouvrage vers l'est entre les cotes -8 et -9 a créé une plate-forme sur laquelle des remblais ont été stockés

(Fig. 94, photo a). Le percement de la galerie moderne GM1, inférieur à la cote -9,5, n'a pas altéré cette plate-forme, au niveau de laquelle un sondage a pu être réalisé. Enfin, un surcreusement à la couronne de GM1 dans sa partie nord, dont le profil est similaire à CA1, nous laisse à penser que les mineurs anciens étaient descendus jusqu'au niveau actuel de GM1, avaient prolongé l'extraction vers le nord, et pratiqué le surcreusement que l'on observe maintenant. Dans ce cas, les parois de GM1 correspondraient à des élargissements de l'ouvrage ancien.

Le chantier CA2 a été ouvert par deux attaques parallèles de 4 m de long dans le sens nord-sud, séparées par un pilier de roche formant une arche (plan et photo Fig. 91). En profondeur, la séparation centrale n'a pas été conservée mais le plan montre toujours la compartimentation est/ouest héritée des niveaux supérieurs, conformément à la disposition de la minéralisation (Fig. 95). Il est possible que le pan de roche central dont on voit l'amorce sur le plan de la cote -6,5 ait été cassé lors des reprises récentes (Fig. 93). La morphologie de ce chantier, avec plusieurs excroissances et négatifs de coupoles partielles à différents niveaux, s'explique de deux façons. D'une part, la moitié ouest de ce chantier ayant exploité des veines secondaires, les mineurs ont dû adapter leurs creusements à cette minéralisation en petites concentrations parmi l'encaissant. D'autre part, les excroissances relevées peuvent correspondre à des reprises d'activité, élargissant le chantier originel. Un sondage a été réalisé dans l'une d'entre elles et permet d'éclairer cet aspect. On signale également qu'aucun aménagement destiné à faciliter la progression verticale n'est visible dans ce chantier. On en est réduit à supposer de nouveau la présence de bois calés en force en travers du chantier.

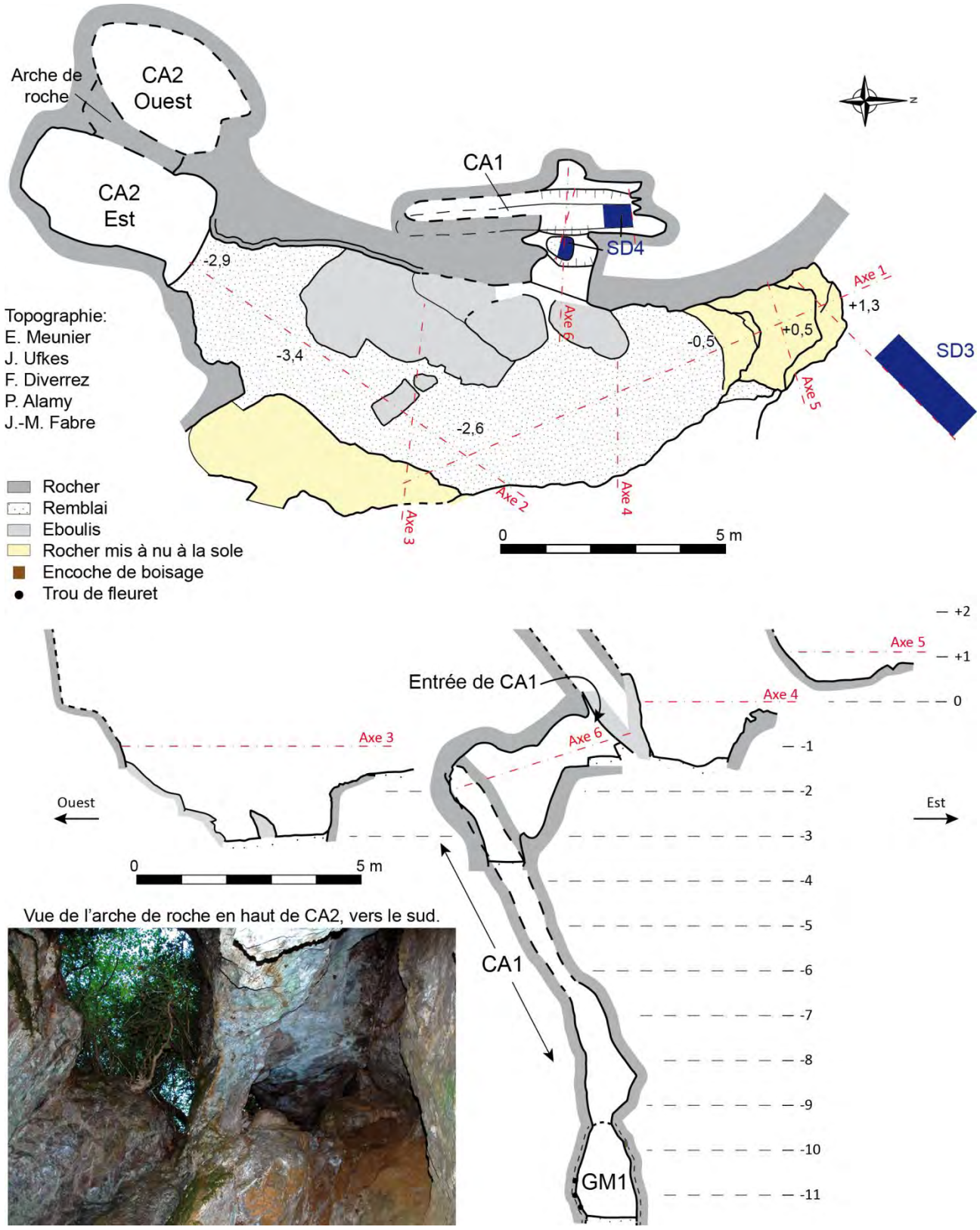


Fig. 91 : Mine de La Coustalade : plan de détail des niveaux supérieurs et coupes des travaux.

Enfin, une grande fosse en surface correspond au dernier aménagement minier de ce réseau (Fig. 92). Creusée à flanc de versant, sa partie supérieure et son bord oriental ont été nettoyés pour en dresser le plan (Fig. 91). L'espace dégagé montre une profondeur assez

faible (1,2 m max.) pour une largeur allant jusqu'à 4,5 m. Des blocs sont éboulés contre le versant, dans sa partie centrale, et des trous de fleuret sont visibles sur le parement sud-ouest. Cette fosse débouche dans le chantier CA2 au sud et l'entrée du chantier CA1 s'ouvre plus ou moins en son centre, à environ 1 m de profondeur par rapport au bord est de la fosse dans l'axe de l'entrée. Il semble qu'elle ait donc pu être au moins en partie creusée au moment où l'exploitation des chantiers CA1 et CA2 a démarré. Cependant, ses parois très altérées (roche très fissurée qui se délite) ne permettent pas d'observations donnant des indications de chronologie. L'élargissement à l'explosif de la partie sud-ouest montre également que cette fosse a suscité un intérêt auprès des exploitants de la fin du XIX^{e} siècle ou du début du XX^{e}, mais il est difficile de dire lequel, étant donné qu'aucune trace de minéralisation n'est visible actuellement à ce niveau.

Fig. 92 : Fosse à la surface de la mine de La Coustalade, vue vers le sud.

La technique de creusement employée dans la partie ancienne du réseau est l'ouverture au feu. Les parois lisses et le profil circulaire à ovoïde des travaux anciens ne laissent pas de doute à ce sujet (Fig. 93). Aucune trace d'outil n'a été repérée dans le secteur ancien, même si l'on ne peut exclure un usage du pic ou de la pointerolle en complément du feu. En ce qui concerne le soutènement, le seul élément lié à cette fonction est le pilier de roche conservé dans la partie supérieure du chantier CA2 (plan de détail Fig. 91). Il est possible qu'une cloison ait existé plus bas dans ce même chantier, comme le laisse penser le reliquat de paroi centrale relevé à la cote -6,5 (Fig. 93). Cependant, plus qu'une véritable fonction de soutènement, il est possible que cette cloison ait été laissée en place par souci d'économie de creusement car elle correspondait à un volume de calcaire stérile entre le filon principal à l'est et les veines secondaires à l'ouest.

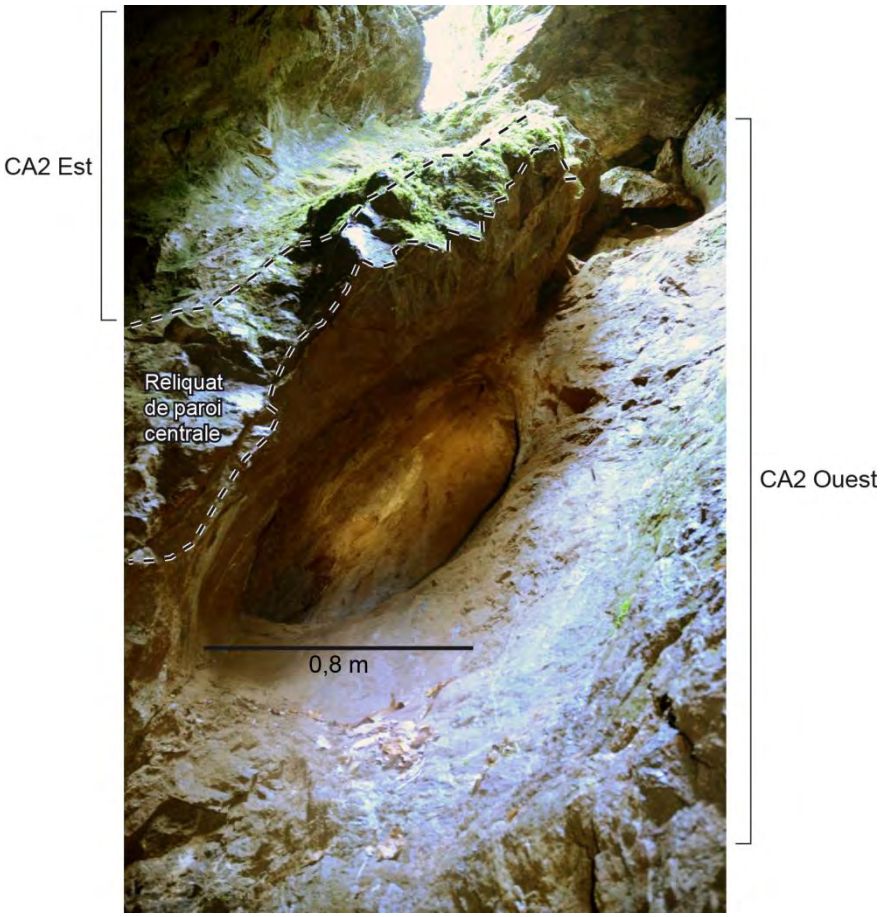


Fig. 93 : Mine de La Coustalade : vue de la moitié ouest du chantier CA2, à l'étage -6,5, vers le sud. On observe également les veines parallèles au filon nº1 visibles en blanc sur le front de taille et sur le parement est.

Ce souci d'économie est visible dans l'absence d'aménagements destinés à la circulation verticale. Toutefois, les 0,8 m de largeur du chantier CA1, le plus étroit, permettent à un adulte de s'y déplacer sans difficulté. Quelques secteurs sont ponctuellement plus étroits, à l'extrémité sud du chantier CA1 (0,5 m), mais aussi au niveau de l'excroissance nord du chantier CA2, entre les cotes -6 et -7,4 (0,47 m max.). Cela correspond à des endroits où les mineurs étaient sur les fronts de taille et se limitaient de façon plus stricte à la puissance de la minéralisation. Le deuxième filon qui a pu être observé dans la galerie GM3 a une puissance de près d'un mètre. Il est donc possible que la largeur des travaux atteignant ou dépassant 0,8 m corresponde à la puissance du filon plutôt qu'à une largeur minimale des chantiers pour le confort des mineurs.

Le dernier type d'aménagement qui a été observé dans le secteur des travaux anciens est une série d'encoches de boisage de section carrée, profondes 4 à 5 cm et large de 12 cm. Ces encoches sont cependant situées juste au niveau où la galerie GM1 recoupe les vieux travaux, et il est plus probable qu'elles aient été réalisées lors de la reprise récente de l'exploitation.

b. Les sondages

Quatre sondages ont été réalisés dans cette mine. L'entrée supérieure du chantier CA1 n'ayant été repérée qu'en 2016, le premier sondage a été implanté au niveau des remblais suspendus au-dessus de GM1. Le deuxième a permis de vider une alvéole au nord du chantier CA2. Le sondage 3 a été implanté immédiatement au nord de la fosse en surface. Enfin, le sondage 4 se situe au niveau de l'entrée originelle du chantier CA1.

b.i. Sondage 1

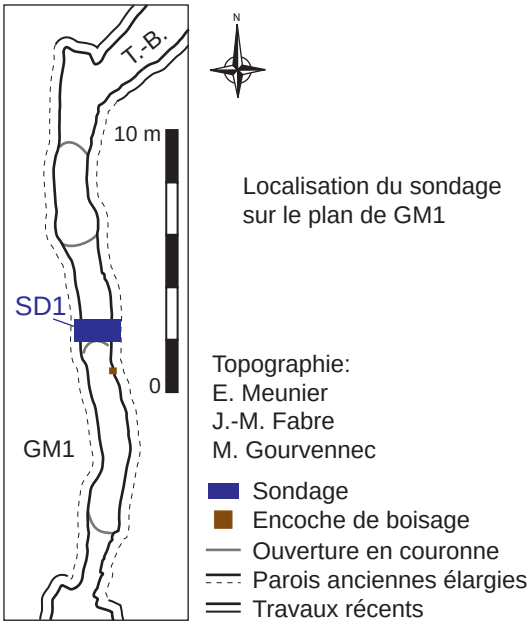
Le sondage SD1 a été implanté dans les remblais suspendus de la plate-forme située au nord de CA1, entre les cotes -8 et -9 (Fig. 94). Pour pouvoir accéder à ces remblais en respectant les conditions de sécurité, un petit échafaudage de chantier a été installé dans la galerie GM1. Malheureusement, le resserrement de la galerie à sa jonction avec CA1 n'a pas permis de le monter au maximum et la fouille de la plate-forme en elle-même, trop haute, n'a pas pu être complétée. Quatre US de comblement ont pu être identifiées dans la coupe dressée dans ces remblais.

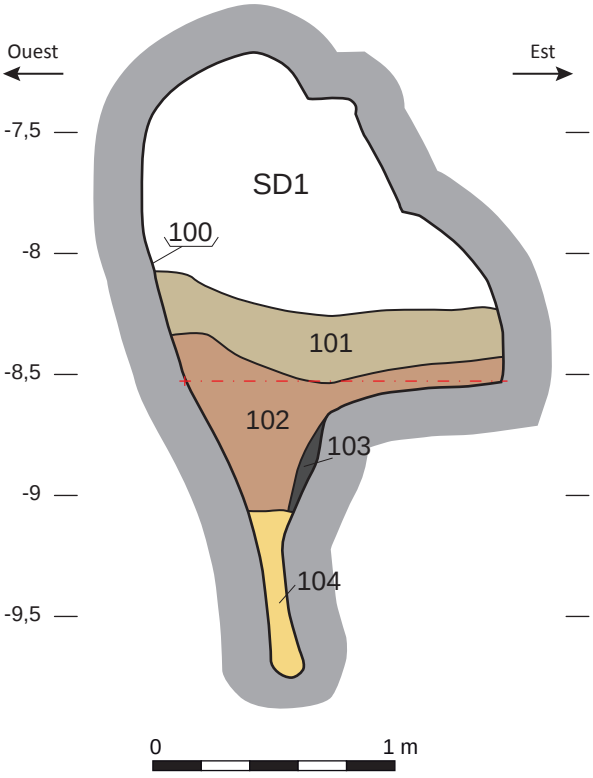
US 100 : Négatif du creusement du chantier.
US 101 : US supérieure, constituée principalement de blocs de roche stérile de 15 à 30 cm de côté pris dans une matrice limono-sableuse brune. Quelques charbons sont présents. Les blocs ont été disposés de manière à ce que le remblai tienne.
US 102 : Niveau hétérogène et friable de gravats, composé de terre très sèche, de fragments de roche centimétriques et de quelques charbons épars. Quelques blocs ont une taille plus importante et la matrice est très ponctuellement argileuse. L'ensemble, recouvert par l'US 101, présente une couleur brun-jaune.
US 103 : Concentration de charbons homogène isolée à la base de l'US 102, qui s'est retrouvée piégée contre la paroi orientale. Ces charbons ont été prélevés.
US 104 : Salbande* d'argile jaune qui correspond à l'altération due au broyage du filon ici fortement pincé, probablement lors d'une réactivation de la faille.

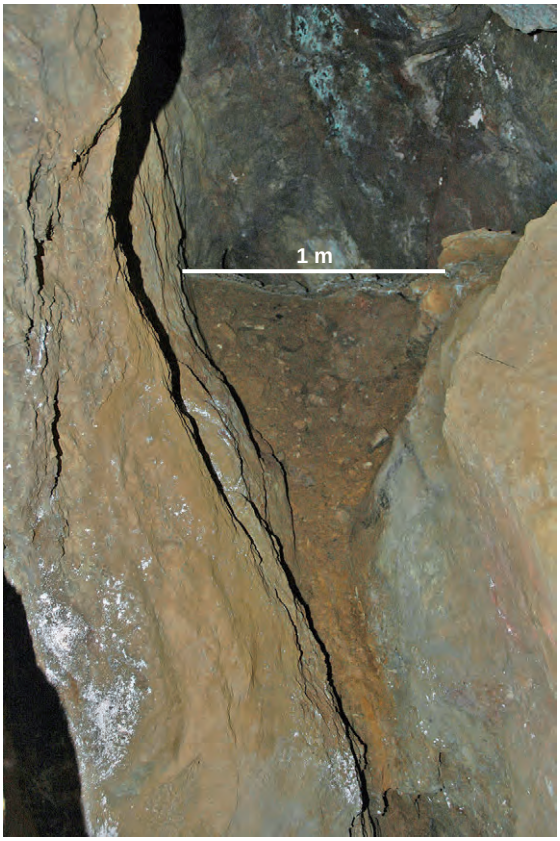
Le creusement du chantier a été réalisé au feu, comme l'atteste la coupole visible à l'arrière des remblais, au niveau du front de taille. Les quatre US identifiées correspondent à trois phases du comblement. Dans un premier temps, le chantier est ouvert et les mineurs s'arrêtent sur le niveau de la salbande d'argile jaune, US 104. Ensuite, le rejet de charbons ponctuel de l'US 103 montre que l'activité se poursuit dans un secteur proche. L'US 102, avec sa texture très meuble, reflète une mise en place rapide qui vise à colmater cette partie du chantier, recouvrant la plate-forme à l'est. Cette extrémité des travaux devient un espace de stockage. Enfin, l'US 101, avec ses blocs stériles plus nombreux, présente une disposition un peu plus organisée : on n'observe pas de vide entre les blocs et l'US est plutôt compacte. Ce comblement est géré de façon à garantir la stabilité des remblais, ce qui peut confirmer que l'exploitation se poursuit plus bas, au niveau de la galerie GM1 actuelle, et peut-être vers l'extension en couronne observée plus au nord.

Ce sondage n'a pas livré de mobilier archéologique et les charbons, en position secondaire, n'ont pas été datés.

a. Chantier CA1 recoupé par la galerie GM1 à sa base, depuis le sud. En haut, à l'arrière-plan, les remblais et la plateforme où sera implanté le sondage 1. Cliché J.-M. Fabre.







b. Vue de la stratigraphie vers le nord. A l'arrière-plan, le front de taille ouvert au feu.

Fig. 94 : Mine de la Coustalade, localisation et stratigraphie du sondage 1.

b.ii. Sondage 2

Le deuxième sondage a été pratiqué dans un renfoncement au nord du chantier CA2, dans sa moitié ouest (Fig. 95). Il s'agit d'une petite alvéole ouverte au feu au profil ovoïde caractéristique. Orientée N 350º, elle a une longueur de 1 m pour 0,47 m de largeur maximale et 1,20 m de hauteur. Elle était remblayée sur les 2/3 de sa hauteur et, malgré sa taille réduite, livre une stratigraphie significative concernant l'exploitation.

US 200 : Négatif du creusement de cette alvéole.

US 201 : Niveau meuble composé d'une matrice limoneuse friable de couleur brune dans laquelle se trouvent des éclats rocheux de 5 à 10 cm de côté et des charbons abondants. Quelques fragments de barytine sont présents. Cette US a également livré la base d'un col d'amphore (Tab. 12).

US 202 : Accumulation de blocs de calcaire de taille supérieure ou égale à 10 cm de côté. Niveau très aéré, la terre présente entre les blocs s'est probablement infiltrée depuis l'US 201.

US 203 : Niveau composé de charbons et plaquettes de roches noircies par le feu, correspondant à des résidus d'abattage au feu. Les plaquettes de roche ne dépassent pas 5 cm de côté. Des charbons ont été prélevés pour datation.

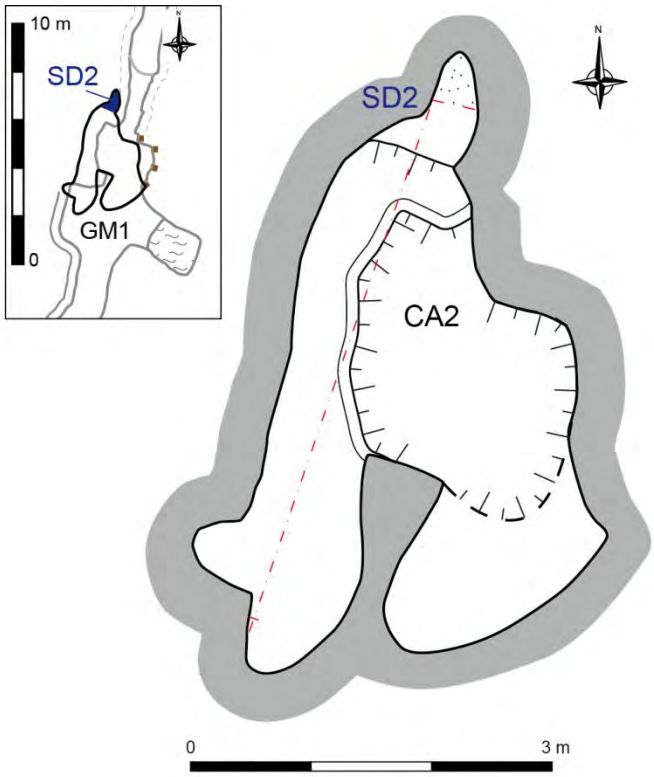
US 204 : Salbande d'argile jaune qui correspond à l'altération due au broyage du filon ici fortement pincé, probablement lors d'une réactivation de la faille. La couleur rouge en surface peut témoigner de l'implantation d'un bûcher à cet endroit.

Ces US permettent de restituer trois phases. La première correspond au creusement de ce renfoncement avec l'abandon en place des résidus de la dernière étape d'abattage au feu (US 203). Ensuite, l'exploitation s'arrête et l'espace est utilisé pour stocker des déblais, comme l'attestent les blocs de l'US 202. Enfin, la dernière étape de comblement mêle résidus d'exploitation et déchets de type domestique avec la présence de la base du col d'amphore, de type Dressel 1C. La localisation de ce remblai dans un renfoncement exclut une provenance depuis l'extérieur.

b.iii. Sondage 3

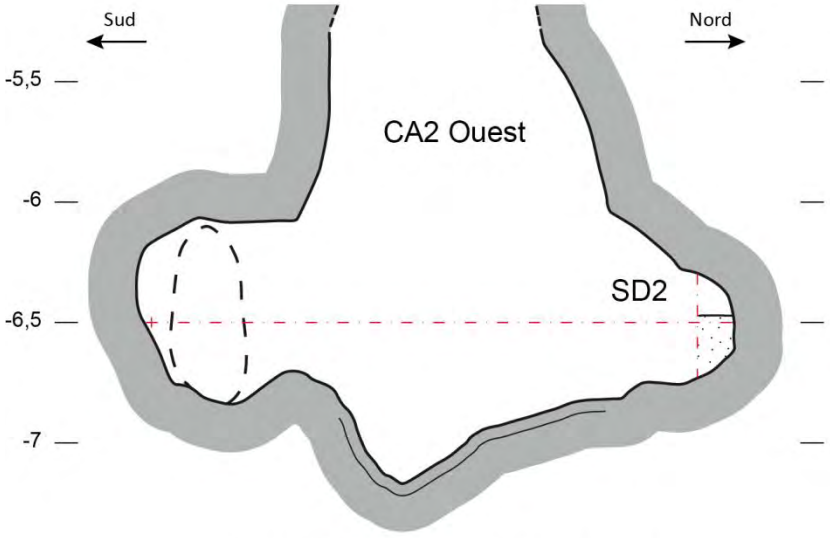
Implanté sur le replat au nord de la fosse de surface (plan Fig. 91), ce sondage visait à repérer d'éventuelles activités annexes à l'extraction minière, telles que le tri et le concassage du minerai par exemple. La fosse en elle-même a été nettoyée et ses contours dégagés pour en dresser le plan. Un gradin sommaire a ainsi pu être mis en évidence à son extrémité nord, sous quelques centimètres d'humus (Fig. 96, plan de détail et photo a). La tranchée du sondage 3 n'a livré aucun niveau archéologique. La couche d'humus reposait directement sur le substrat altéré argileux (Fig. 96, coupe et photo b).

La stratigraphie du sondage 3 ainsi que le faible recouvrement sédimentaire des bords et du fond de la fosse, pour ce qui en a été vu, semble indiquer que tout ce secteur a été nettoyé lors des reprises d'activité récentes, peut-être pour vérifier s'il n'y avait pas de minéralisation visible à l'affleurement. Cela ne permet donc pas d'éclairer les phases anciennes de l'activité.

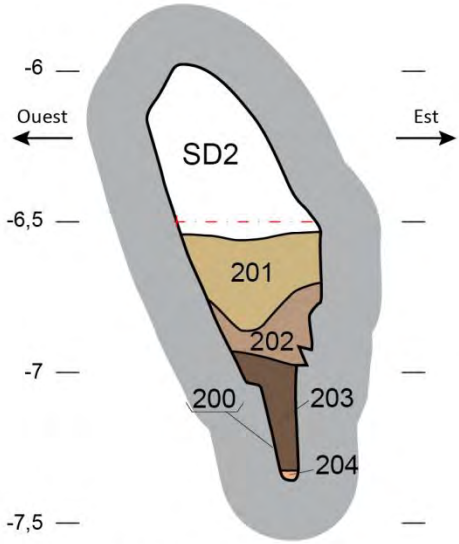


Plan de CA2 à la cote -6,5

Vue de la coupe du SD2 depuis le sud. On peut observer le col d'amphore de l'US 201 contre la paroi ouest.



Coupe de la partie basse de CA2 Ouest



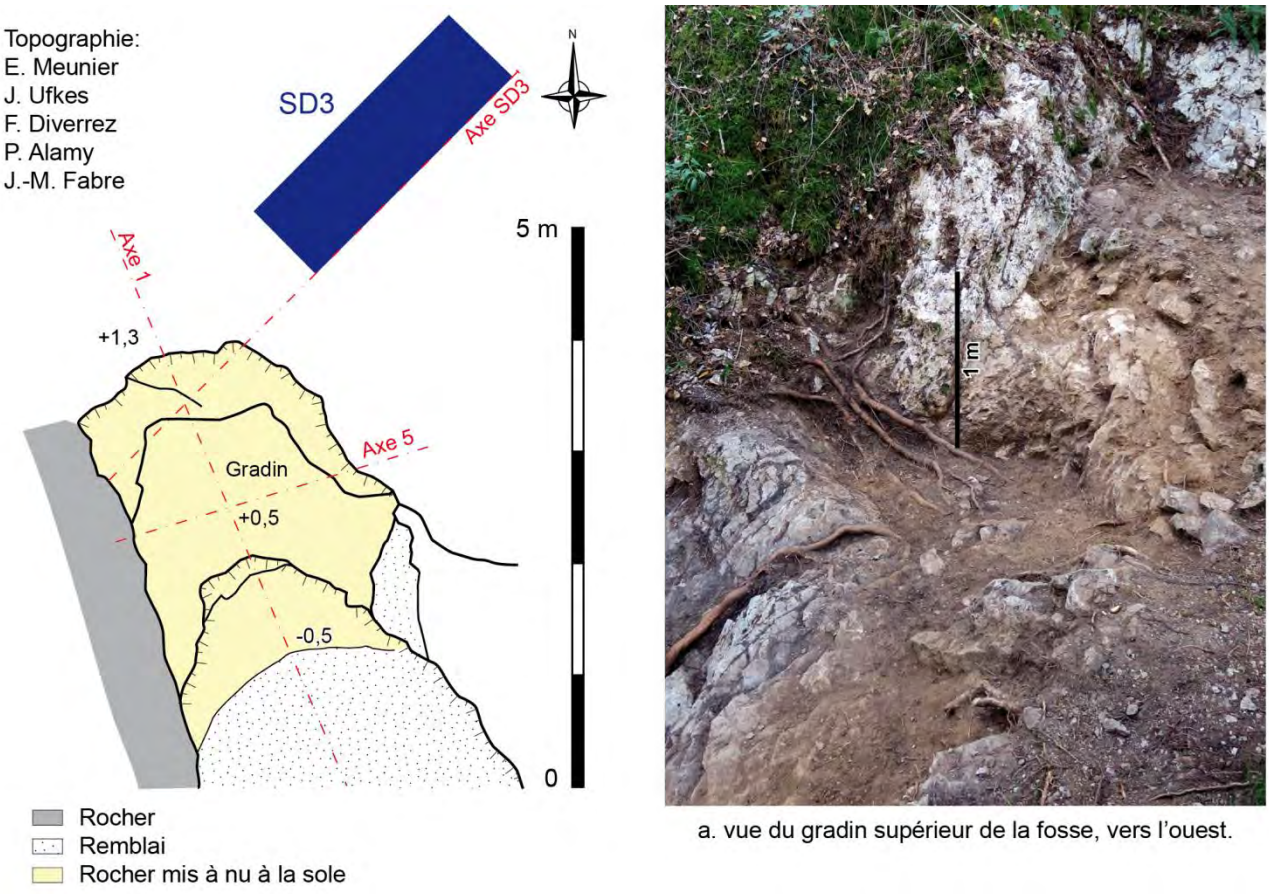
Coupe stratigraphique

Travaux récents
Travaux anciens
Travaux anciens élargis
Ouverture en couronne

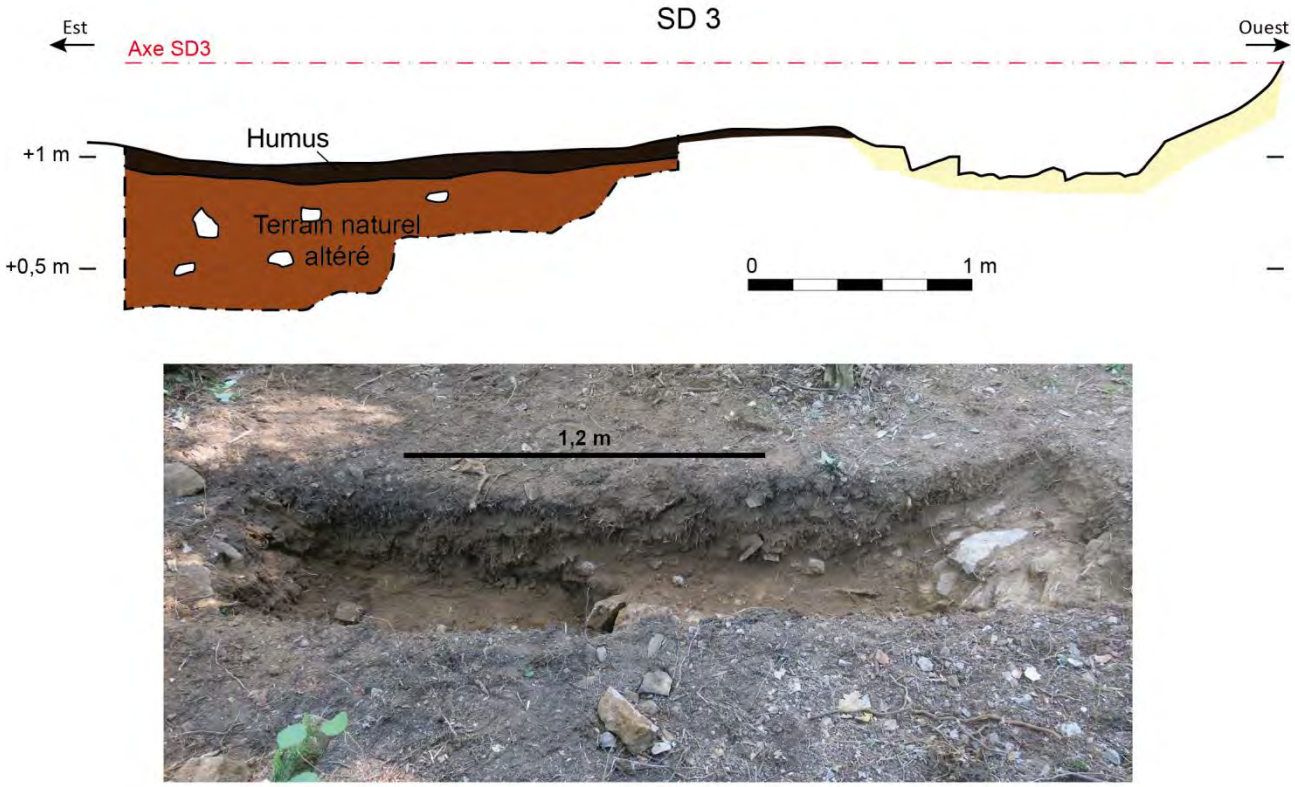
Eau
Remblais
Sondage
Encoche de boisage

Topographie:
E. Meunier
M. Gourvennec
J.-M. Fabre

Fig. 95 : Mine de La Coustalade, localisation et stratigraphie du sondage 2.



a. vue du gradin supérieur de la fosse, vers l'ouest.



b. Coupe sud du sondage 3.

Fig. 96 : Mine de la Coustalade, sondage 3.

b.iv. Sondage 4

Le dernier sondage se situe au niveau de l'entrée du chantier CA1, accessible depuis la fosse en surface (plan détaillé Fig. 97). Cette entrée a un profil ovoïde caractéristique de l'utilisation du feu (Fig. 97, photo a). Sa hauteur ne permet que d'y passer accroupi. Le chantier s'approfondit très vite et on arrive sur une première marche 1,5 m plus bas, large de 35 cm, qui a été sondée. Il s'agit en réalité d'une cuvette creusée dans le rocher et comblée (Fig. 98, coupe du haut et photo a). Le front de taille situé immédiatement au nord est remblayé et une coupe a pu être dressée dans son comblement. La sole n'a pas pu être dégagée au pied du front de taille du fait de la profondeur déjà atteinte (1,4 m de stratigraphie). Poursuivre la fouille aurait en effet obligé à déblayer un peu plus les remblais vers le sud, ce qui aurait réduit la surface de travail dans des proportions ne permettant plus d'assurer la sécurité des fouilleurs. Dix US de comblement ont été identifiées : quatre dans la petite cuvette juste sous l'accès au jour et six devant le front de taille.

400 : Creusement du chantier CA1.

Cuvette (Fig. 98, axe a et photo a) :

401 : Sédiment limono-argileux meuble et homogène de couleur brun clair avec de rares fragments de roche.

402 : Sédiment limoneux, homogène et très meuble, de couleur brun moyen, contenant de nombreux charbons millimétriques à centimétriques (prélevés) et quelques fragments de roche millimétriques.

403 : Sédiment argileux homogène et meuble, d'un brun légèrement plus clair que l'US 401.

404 : Sédiment limono-argileux homogène et légèrement compact de couleur brun moyen contenant quelques charbons millimétriques à centimétriques (prélèvement de charbons situés à la base de cette couche), quelques inclusions de terre rubéfiée et de très nombreux fragments de roche centimétriques. Cette couche repose sur le rocher, plus ou moins altéré.

Front de taille (Fig. 98, axe b et photo b) :

405 : Couche formée par la décomposition de la couronne, tapissée de limonites, atteignant 30 cm d'épaisseur.

406 : Remblai charbonneux massif (55 cm d'épaisseur max.), formé par un sédiment brun argileux contenant des petits blocs calcaires centimétriques. Les charbons pouvaient atteindre jusqu'à 3 cm de côté.

407 : Niveau argileux ocre contenant des éclats de roche de 3 à 5 cm de côté.

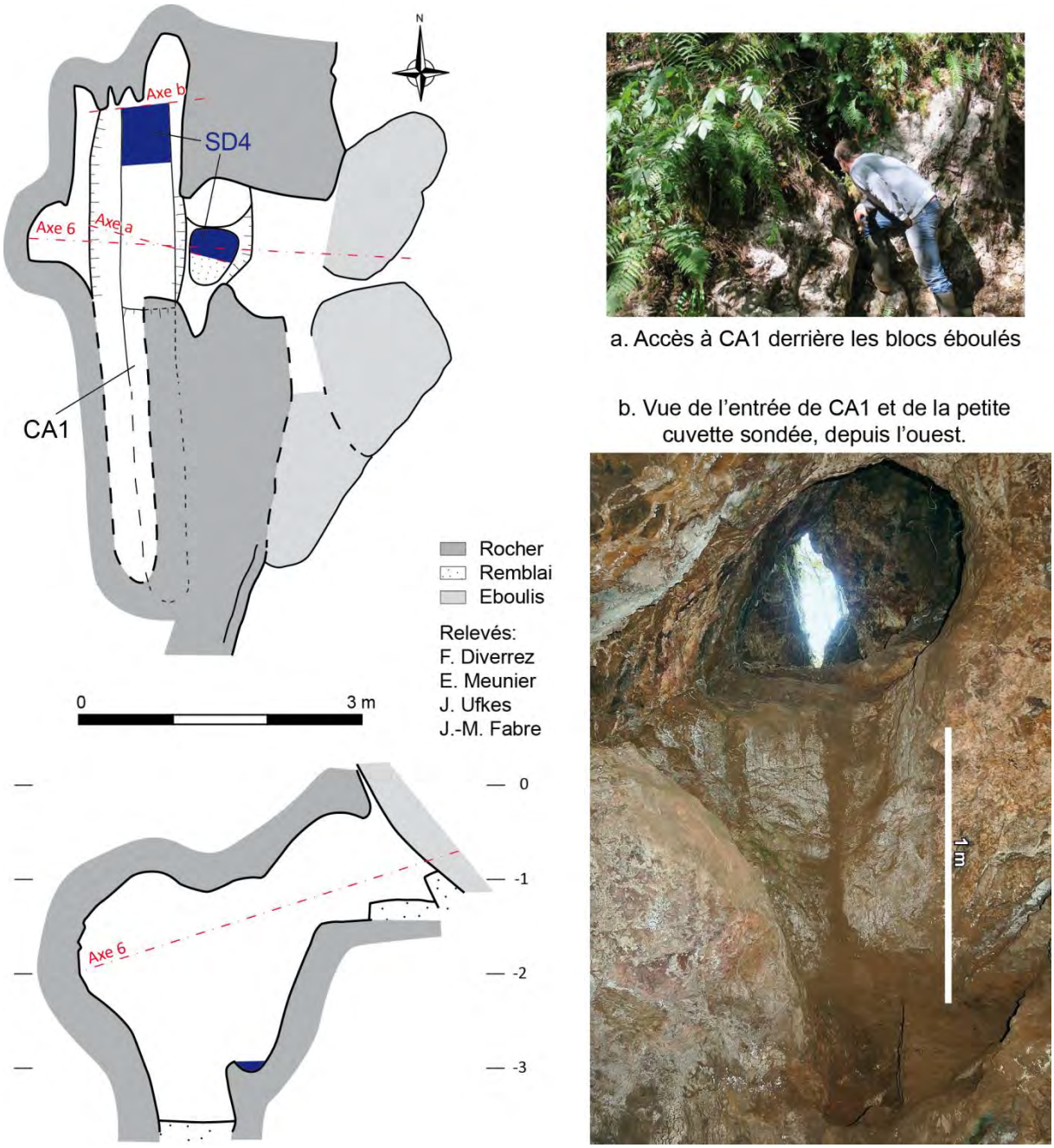
408 : Nouvelle US de couleur brune argileuse, contenant également des charbons, bien que nettement plus rares et de plus petite taille que dans l'US 406. Les éclats rocheux sont également moins présents.

409 : Niveau argileux ocre contenant des gravillons calcaires.

410 : Remblai brun argileux très pauvre en charbons, contenant des blocs calcaires allant de 2 à plus de 20 cm de côté. Cette US se prolonge sous le niveau d'arrêt de la fouille.

Aussi bien dans la cuvette au pied de l'accès que sous le front de taille, cette alternance d'US charbonneuses ou non correspond à des rejets liés à des épisodes d'abattage au feu ou à des étapes plus ponctuelles d'extraction de minerai contre la partie altérée du filon. En effet, le parement ouest, qui correspond au mur du filon, et la couronne du front de taille

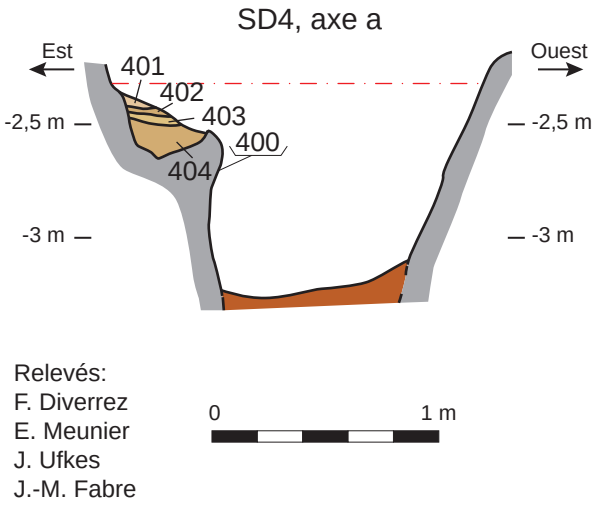
sont tapissés plus ou moins uniformément de limonite. Cette épaisseur de roche altérée est bien plus tendre que la roche calcaire et pouvait facilement être attaquée à l'outil, ce qui explique l'absence de charbons dans les US correspondantes (401, 403, 407, 409). Le fait que des graviers ou petits éclats calcaires y soient mêlés montre qu'il ne s'agit pas d'une sédimentation liée à une période d'abandon. Au contraire, l'US 405, qui scelle la stratigraphie sous le front de taille, ne contient aucun bloc rocheux et sa texture est identique à la limonite visible en couronne. Elle a donc pour origine l'érosion des parements à cet endroit après l'arrêt de l'exploitation.

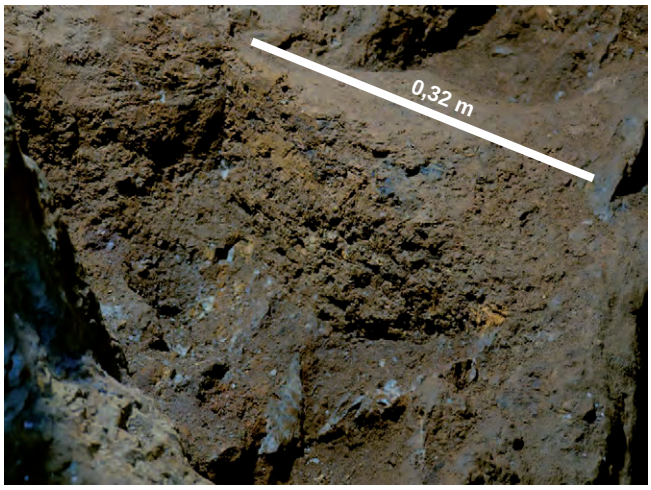


a. Accès à CA1 derrière les blocs éboulés

b. Vue de l'entrée de CA1 et de la petite cuvette sondée, depuis l'ouest.

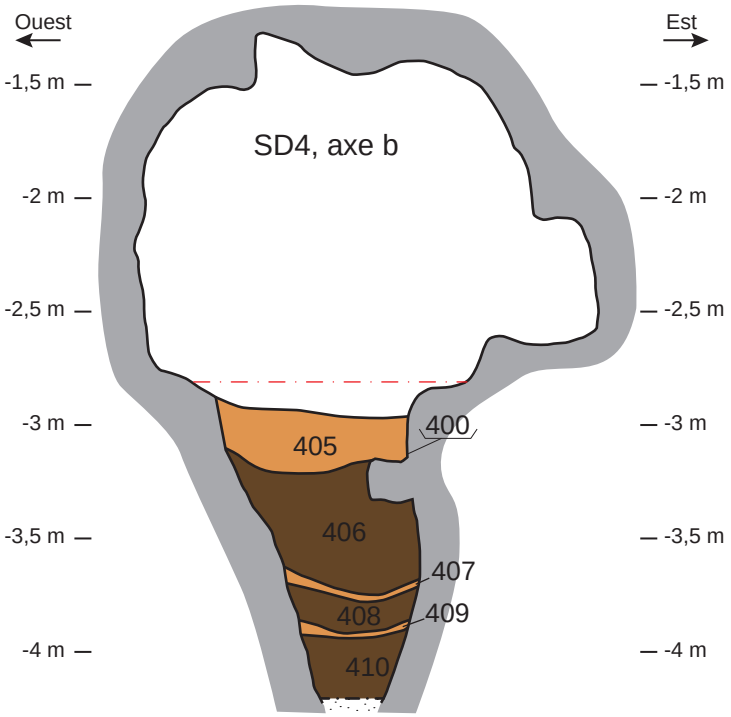
Fig. 97 : Mine de la Coustalade, localisation du sondage 4.

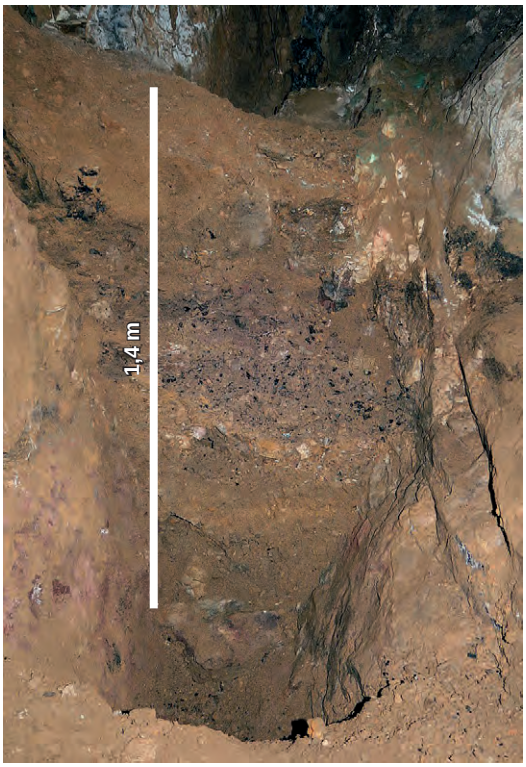


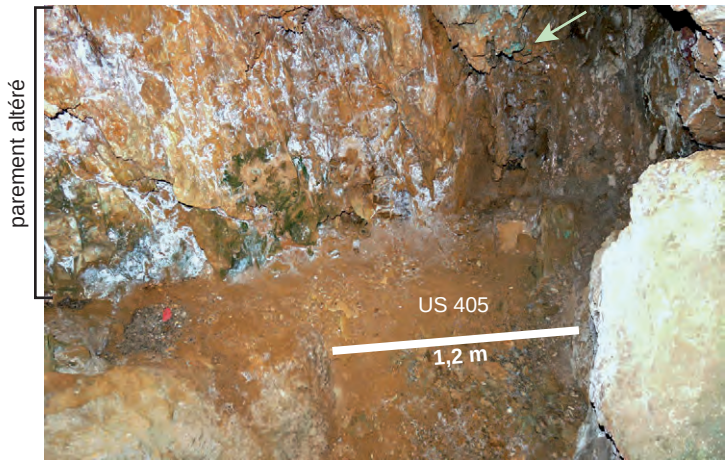


a. Coupe dans la cuvette sous l'accès à CA1.

b. Coupe au pied du front de taille.







c. Front de taille avant le sondage 4. On peut observer les parements supérieurs altérés et une mouche de carbonate de cuivre (flèche).

Fig. 98 : Mine de la coustalade, stratigraphie du sondage 4.

L'US 405 est la seule dans ce sondage à correspondre à une phase d'abandon. Toutes les autres montrent des dépôts liés au stockage de déblais alors que l'exploitation est active à proximité dans le chantier CA1. Les US présentes dans la cuvette, dont le volume est trop réduit pour constituer un espace de stockage digne de ce nom, correspondent à des dépôts lors de l'activité au niveau de cette partie supérieure du chantier CA1. C'est la raison pour laquelle une datation a été effectuée sur un charbon de l'US 404, la plus proche du moment de l'ouverture des travaux selon la stratigraphie observée.

c. Chronologie et dynamique d'exploitation

Deux tessons d'amphores (Tab. 12) et deux datations radiocarbone donnent des indications chronologiques sur les phases anciennes de cette exploitation. L'individu de l'US 201, un fragment d'amphore italique Dressel 1C[74], correspond au I^{er} s. av. n. è. Le tesson indéterminé récolté par C. Dubois ne permet pas de préciser l'intervalle, tout comme le mobilier signalé dans les archives. C. Dubois propose que l'outil en fer ait servi à récupérer le minerai abattu au feu avant que les blocs n'aient totalement refroidi, ce à quoi nous souscrivons (Dubois 1996, p. 39). La période à laquelle il a été utilisé n'est cependant pas connue.

Catégorie	Type	Élément	NR	Commentaire
Amphore	Dressel 1C	Épaulement/ départ de col	1	US 201. Diamètre complet, brisé sous l'angle de l'épaulement et à quelques cm de la base du col.
Amphore	Indéterminée	Panse	1	Partie supérieure de CA2 (Dubois & Métailié 1991, p. 65).
Poterie	-	-	-	Archives de 1875 d'après Dubois & Métailié 1991, 65.
Métal	*Sorte de râteau en fer*	-	1	Archives de 1875 d'après Dubois & Métailié 1991, 65.

Tab. 12 : Inventaire du mobilier de La Coustalade.

Les charbons qui ont été datés proviennent des US 203 et 404[75]. L'US 404 est celle que nous supposons la plus proche du démarrage de l'exploitation de cette mine et l'US 203 peut dater le creusement du renfoncement du chantier CA2 dans lequel il a été prélevé. La date de l'US 203 recoupe en partie la chronologie donnée par le mobilier, mais celle de l'US 404 est bien antérieure (Fig. 99). Ainsi, la mine de La Coustalade a été ouverte entre le IV^{e} et le III^{e} s. av. n. è. (2205 ±30 BP). Le renfoncement du chantier CA2 a été creusé entre le II^{e} siècle et la première moitié du I^{er} s. av. n. è. (2120 ±30 BP). Le second intervalle donné pour la date calibrée, 340-325 cal BC, nous semble peu plausible. En effet, les probabilités sont très réduites (3,6%) et, si l'on retenait cette date, cela signifierait que plus de 200 ans se seraient écoulés avant le dépôt de l'US 201 contenant le fragment d'amphore, ce qui semble peu probable. Cette US 201, avec ses blocs de calcaire de petite taille et ses charbons, s'apparente au type de résidus des haldes minières, dans laquelle un tesson d'amphore

[74] Identification Laurence Benquet, INRAP.

[75] US 203 : écorce de hêtre ; US 404 : brindille indéterminée.

provenant d'une installation d'habitat sûrement proche a été inclus. Ce type de comblement dans un chantier minier, dans un renfoncement de taille réduite, correspond plus au colmatage définitif d'un petit secteur dont on sait qu'il n'apportera plus rien car son exploitation s'est terminée relativement récemment. Il nous semble donc plus cohérent de considérer que l'exploitation a atteint ce renfoncement du chantier CA2 plutôt vers la fin du II^{e} s. av. n. è. ou au début du suivant, et que son comblement définitif est intervenu au cours du I^{er} s. av. n. è., alors que l'exploitation se poursuivait à proximité.

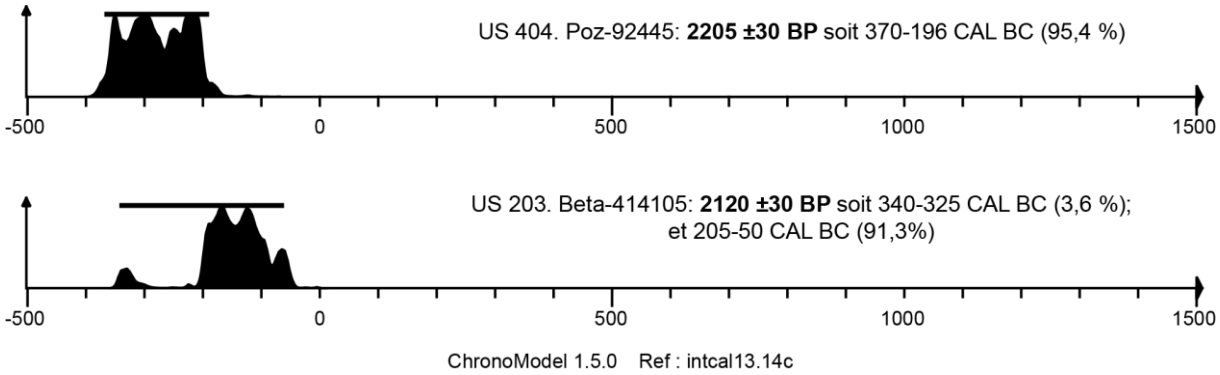


Fig. 99 : Datations radiocarbone de la mine de La Coustalade.

Les éléments stratigraphiques ne permettent pas de dire si l'exploitation a été continue entre l'ouverture du chantier CA1 au IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. et le comblement du renfoncement du chantier CA2 au cours du I^{er} s. av. n. è. Or, l'extension réduite des travaux ne semble pas correspondre à une activité continue sur plus d'un siècle. Il semblerait plutôt que l'activité au cours du I^{er} s. av. n. è. corresponde à une reprise d'exploitation, peut-être d'ampleur limitée. La fouille de la plate-forme suspendue dans le chantier CA1 pourrait permettre de préciser les choses. Cependant, le fait que les deux chantiers soient presque intégralement vides limite les possibilités de datation des ouvrages. De même, il sera difficile de savoir si le chantier CA2 a été ouvert avant ou après le chantier CA1.

La morphologie des chantiers CA1 et CA2 est légèrement différente. S'ils sont tous les deux inclinés et ouverts au feu, le chantier CA1 est plus étroit et allongé alors que CA2, avec sa configuration de puits double, présente un plan plus large et court (Fig. 91). Ces différences sont cependant dues à la morphologie de la minéralisation exploitée. Le chantier CA1 est centré sur le premier filon principal alors que le chantier CA2 a suivi l'extrémité sud de ce filon et des veines parallèles développées dans des fentes liée à la formation de la faille principale. On ne peut donc pas tirer de conclusion chronologique de ces différences. De plus, une autre similarité existe entre ces deux chantiers, directement liée à la façon de travailler : l'absence d'aménagement pour faciliter la circulation verticale. Cette uniformité dans la façon de gérer les déplacements des mineurs dans le chantier reflète une même conception du travail minier, qui inciterait plutôt à imaginer une activité qui se déroule, sinon en même temps, du moins en continu entre les deux chantiers.

Dans les deux chantiers, on peut également restituer des étages d'exploitation horizontaux, même s'ils n'ont pas pu être relevés de manière systématique. On en a un

exemple avec le relevé à la cote -6,5 du chantier CA2. Les renfoncements au nord et au sud sont au même niveau (plan et coupe Fig. 95). Dans la partie supérieure, il est plus difficile de repérer les vestiges des étages d'exploitation, mais on observe tout de même une coupole verticale résiduelle près de l'accès à la moitié orientale du chantier depuis la fosse (Fig. 100, a). Le chantier CA1 montre aussi dans son profil les négatifs des étages suivis par les mineurs (Fig. 100, b). La hauteur des étages dans ces deux chantiers oscille entre 0,85 et 1,4 m. L'entrée du chantier CA1, qui a dû servir à la circulation des mineurs et à l'évacuation du minerai et des stériles, n'a qu'une hauteur de 1,15 m. Cela permet à un adulte d'y passer, mais pas de s'y tenir debout (Fig. 100, c). La volonté d'économiser les creusements dans le stérile est donc avérée.

Aucun ouvrage d'assistance ne peut être identifié dans la partie ancienne du réseau. Le fait que les chantiers soient largement ouverts et peu profonds permettait une circulation de l'air aisée. Dans le cas du chantier CA2, cette configuration pouvait par contre facilement conduire à l'inondation du fond des travaux en cas de pluie. Aucun indice d'installation d'exhaure n'a pourtant été identifié. Le chantier CA1, avec son entrée latérale, était protégé de ce point de vue. Le soutènement du chantier n'a pas inquiété les mineurs qui n'ont laissé aucun pilier en travers du chantier. L'arche de roche dans la partie haute du chantier CA2 peut remplir cette fonction, mais elle correspond sans doute autant à une économie de creusement dans l'encaissant stérile, comme expliqué plus haut. Cette absence d'ouvrages d'assistance est donc cohérente avec la morphologie simple de la minéralisation.

La configuration des ouvrages, avec leur forte inclinaison, rend difficile le travail de deux équipes en même temps dans un même chantier, l'une au-dessus de l'autre. Le profil de la partie haute de CA1 montre qu'il n'y avait pas de plancher entre deux étages mais qu'ils étaient simplement ouverts l'un après l'autre en descendant (Fig. 100, b et Fig. 101, flèches vertes). Le chantier CA1 a donc nécessairement été ouvert par une seule équipe de mineurs. Deux équipes pouvaient par contre travailler en même temps dans chacun des deux chantiers CA1 et CA2 (Fig. 101). Si on retient l'option d'une cloison centrale dans le chantier CA2 jusqu'au niveau où il a été recoupé par la galerie GM1, alors deux équipes ont pu travailler en même temps dans les parties ouest et est de ce chantier sur toute sa hauteur. Les données disponibles actuellement ne permettent toutefois pas de savoir si l'option de l'exploitation intensive à trois équipes a été choisie ou si les travaux ont été menés de façon plus progressive. Il n'est pas non plus possible de savoir ce qu'il en était de l'état de la fosse en surface au moment de l'ouverture des deux chantiers inclinés. Le niveau d'ouverture du chantier CA1, inférieur au bord opposé de la fosse, semble bien indiquer qu'elle était en partie déjà creusée. Atteignait-elle le chantier CA2 au sud ? Avait-elle la même largeur qu'actuellement vers l'est ? L'absence de niveaux archéologiques conservés sur son pourtour ne permet pas de trancher. D'autre part, la chronologie relative du chantier CA2 par rapport à CA1 et à la fosse ne peut pas non plus être assurée. L'accès à ce chantier en surface se faisait plus haut que le niveau de la fosse, par le sud. Il a donc pu être démarré avant, en même temps ou après la fosse.

a. Négatif de coupole dans la partie supérieure du chantier CA2 Est.

b. Négatifs d'étages horizontaux dans le chantier CA1.

c. Accès au chantier CA1, qui permet à un adulte d'y passer, sans se tenir debout.

Fig. 100 : Étages d'exploitation horizontaux dans la mine de La Coustalade et leur gabarit.

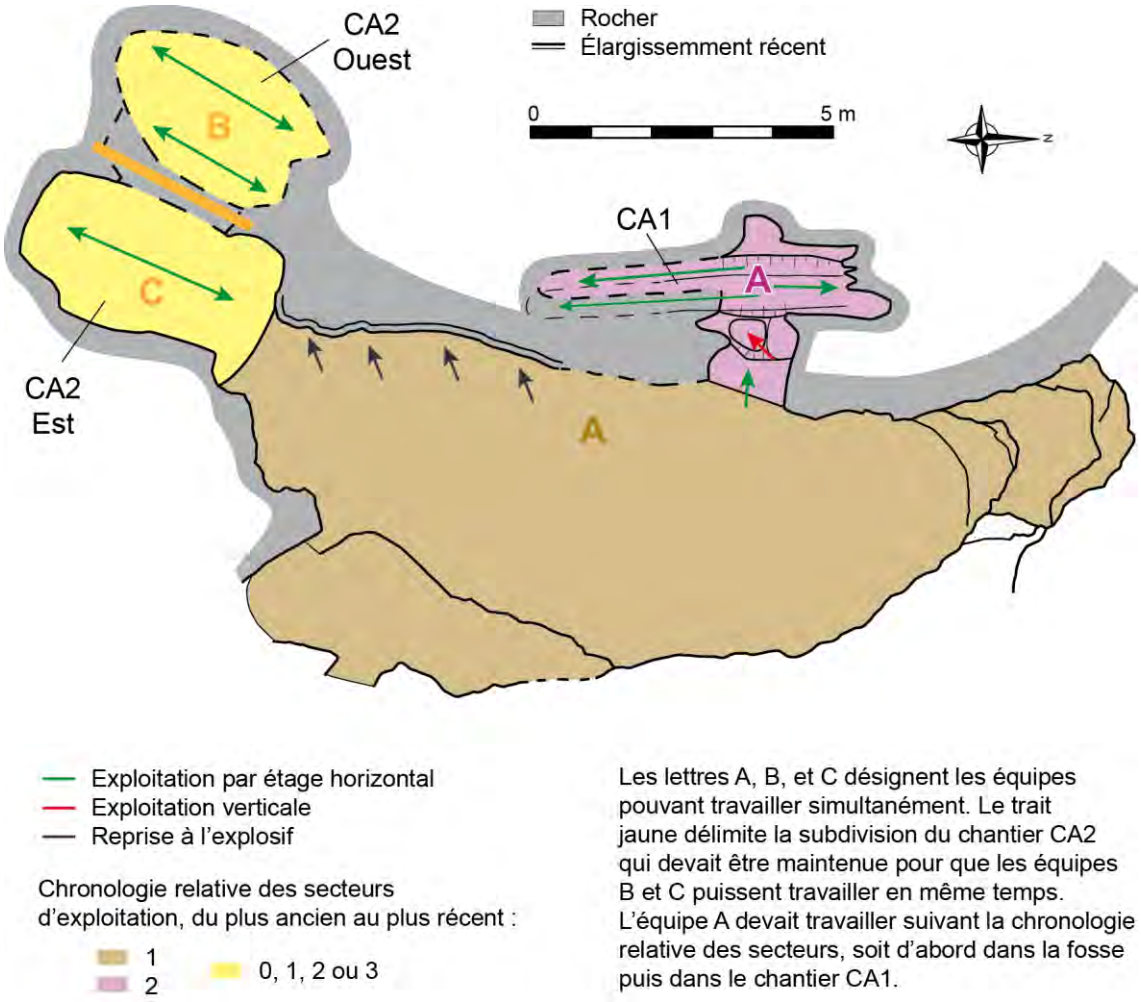


Fig. 101 : Dynamique d'exploitation des travaux anciens de La Coustalade.

En ce qui concerne l'état d'avancement du chantier selon la chronologie, les éléments disponibles ne permettent pas d'être très précis. La partie ancienne visible actuellement a été exploitée entre le IV^{e} s. av. n. è., date la plus ancienne à l'entrée de CA1, et le I^{er} s. av. n. è., date la plus récente du comblement du renfoncement nord de CA2. Le volume assez réduit de ces travaux ne nous semble pas justifier quatre siècles de travail. Au contraire, leur homogénéité nous ferait plutôt pencher pour une exploitation continue et plutôt de courte durée. Si le démarrage du chantier CA1 se situe au IV^{e} s. av. n. è. ou dans la première moitié du III^{e} s. av. n. è., il faut restituer une interruption de l'exploitation avant une reprise au I^{er} s. av. n. è. La provenance des niveaux les plus récents dans une excroissance du chantier est cohérente avec une reprise. Si l'ouverture de CA1 s'est produite plutôt vers la fin de l'intervalle calibré, dans le seconde moitié du III^{e} s. av. n. è. ou au début du II^{e} s. av. n. è., une exploitation continue serait possible si une seule équipe de mineurs a travaillé à la fois, ouvrant d'abord le chantier CA1, puis le chantier CA2, pour arriver au début du I^{er} s. av. n. è. au niveau du renfoncement à la base de CA2. Mais en l'absence de date de démarrage du chantier CA2, cela restera à l'état de proposition.

III. C. 3. Mine du Goutil (La-Bastide-de-Sérou et Larbont)

La mine du Goutil est constituée de deux réseaux, dénommés Est et Ouest, situés de part et d'autre d'un petit vallon irrigué par le ruisseau intermittent de Lancise (Fig. 102). Le cadastre indique que les parcelles attenantes se nomment l'Argentario. La minéralisation, selon les observations sur le terrain de M. Lopez et E. Chanvry[76], correspond aux gisements de type *Mississipi Valley* (voir ci-dessous point a.i et annexe 2). Porteuse de cuivres gris, elle est encaissée dans la dolomie triasique du Muschelkalk et se développe dans des niveaux de brèches qui ont alimenté des filons. Nous y reviendrons dans la présentation de chacun des réseaux. Les archives minières ne mentionnent pas ce site, qui n'a en effet fait l'objet d'aucune reprise récente. Les travaux de C. Dubois et J.-E. Guilbaut les avaient conduits dès 1981 à la publication d'un article présentant le réseau Est (Guilbaut 1981). Une notice sur ce site se trouve aussi dans leur article de 1982 portant sur l'ensemble du district (Dubois & Guilbaut 1982, pp. 101-104). Le réseau Ouest n'avait pas pu être visité alors, mises à part quelques entrées rapidement comblées. L'intérêt de ce site, préservé des reprises modernes et bien conservé, a conduit à son classement à l'inventaire des Monuments Historiques en 1982. Ce n'est que lors des campagnes de prospections de 1991 et 1992 que le second réseau a été exploré et topographié, une des entrées ayant été désobstruée. Cinq sondages ont également été réalisés sur les terrains jouxtant ces deux réseaux par C. Dubois en 1991 et 1992 (Dubois & Métailié 1991, pp. 49-53 ; Dubois & Métailié 1992, pp. 32-69). Comme sur les autres sites de ce district, les tessons d'amphores sont nombreux autour des travaux et dans les remblais qui colmatent les chantiers (Tab. 13).

Les travaux réalisés sur la mine du Goutil dans le cadre de cette thèse ont été assez limités. Les deux réseaux sont bien plus complexes que les autres sites du district et leur étude complète demanderait un investissement très important sur le terrain. Le travail effectué s'est appuyé sur les topographies des travaux réalisées lors des campagnes des années 1980 et 1990. Le plan d'ensemble de chacun des réseaux avait en effet été dressé. Des relevés de détail permettant de compléter les données avec les coupes et sections des ouvrages ont été initiés dans les deux réseaux, mais demeurent inachevés. Le test d'utilisation du scanner 3D a été réalisé dans le réseau Ouest, dans un secteur dont la morphologie et les dimensions rendaient difficiles les relevés classiques. Un test de photogrammétrie a été fait dans le réseau Est. Lors de ces campagnes, un seul sondage a été réalisé, dans le réseau Ouest, en 2014. Les résultats ont montré qu'il était indispensable de mieux comprendre l'architecture de ces réseaux avant de choisir d'autres implantations de sondages. Cette compréhension a commencé à émerger suite à la venue sur le terrain des géologues M. Lopez et E. Chanvry, qui ont pu donner un sens, par leur interprétation des structures minéralisées, à la morphologie des travaux. Leur intervention ne s'étant déroulée qu'à l'été 2017, il était trop tard pour approfondir les recherches sur ce site à la lumière de ces éclairages récents. Les caractéristiques morphologiques et techniques de ces réseaux peuvent tout de même être présentées et mises en relation, dans des secteurs ponctuels,

[76] M. Lopez, Université de Montpellier et E. Chanvry, géologue post-doctorante.

avec le type de minéralisation. Les sondages réalisés par C. Dubois apportent des éléments sur des installations de surface qui complètent ponctuellement les données issues des réseaux miniers.

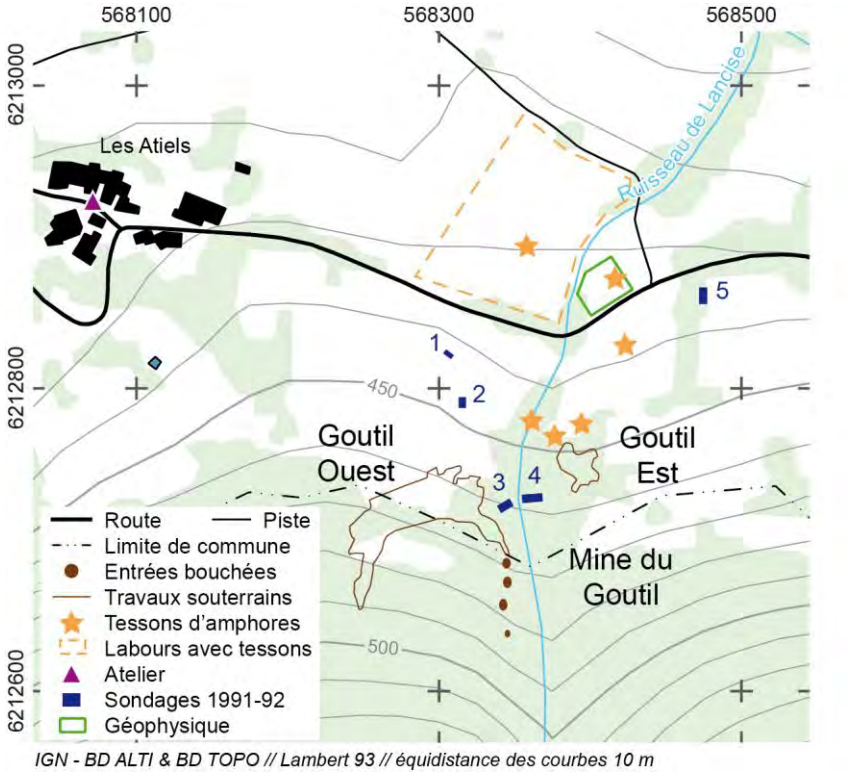


Fig. 102 : Localisation de la mine du Goutil (La-Bastide-de-Sérou et Larbont).

a. Le réseau Est

Ce réseau se présente sous la forme d'un espace souterrain largement ouvert, ponctué de piliers et de fines cloisons résiduelles percées à leur tour, comme le montre le plan général réalisé par nos prédécesseurs (Fig. 104). Les travaux accusent un pendage prononcé de 25 à 29º vers le nord, qui correspond à celui de la minéralisation (Fig. 110). En l'absence de cotes sur le plan général existant, un relevé du cheminement topographique a été réalisé pour connaître l'extension de l'ouvrage dans ses trois dimensions (Fig. 12 et Fig. 104)[77]. Les travaux s'étendent sur 25 m dans le sens est-ouest, 30 m dans le sens nord-sud, et près de 18 m entre le point le plus haut et le point le plus profond, sur remblai. Des affleurements rocheux visibles en surface au sud et sud-ouest des travaux souterrains correspondent très probablement à une partie de l'exploitation réalisée à ciel ouvert (Fig. 103). Ils n'ont pas été relevés pour l'instant, mais l'extension du réseau pourrait être prolongée au moins d'une vingtaine de mètres vers le sud.

[77] Seul le pendage en grades était indiqué sur le plan d'origine. Après la mise au net du cheminement topographique, il s'est avéré impossible de faire coïncider correctement le plan existant, qui apparaissait étiré vers le nord et l'est, avec les mesures prises lors de notre opération. Le plan d'origine a donc été modifié pour l'adapter au mieux à nos relevés.

Fig. 103 : Vue panoramique des affleurements au sud du réseau souterrain du Goutil Est.

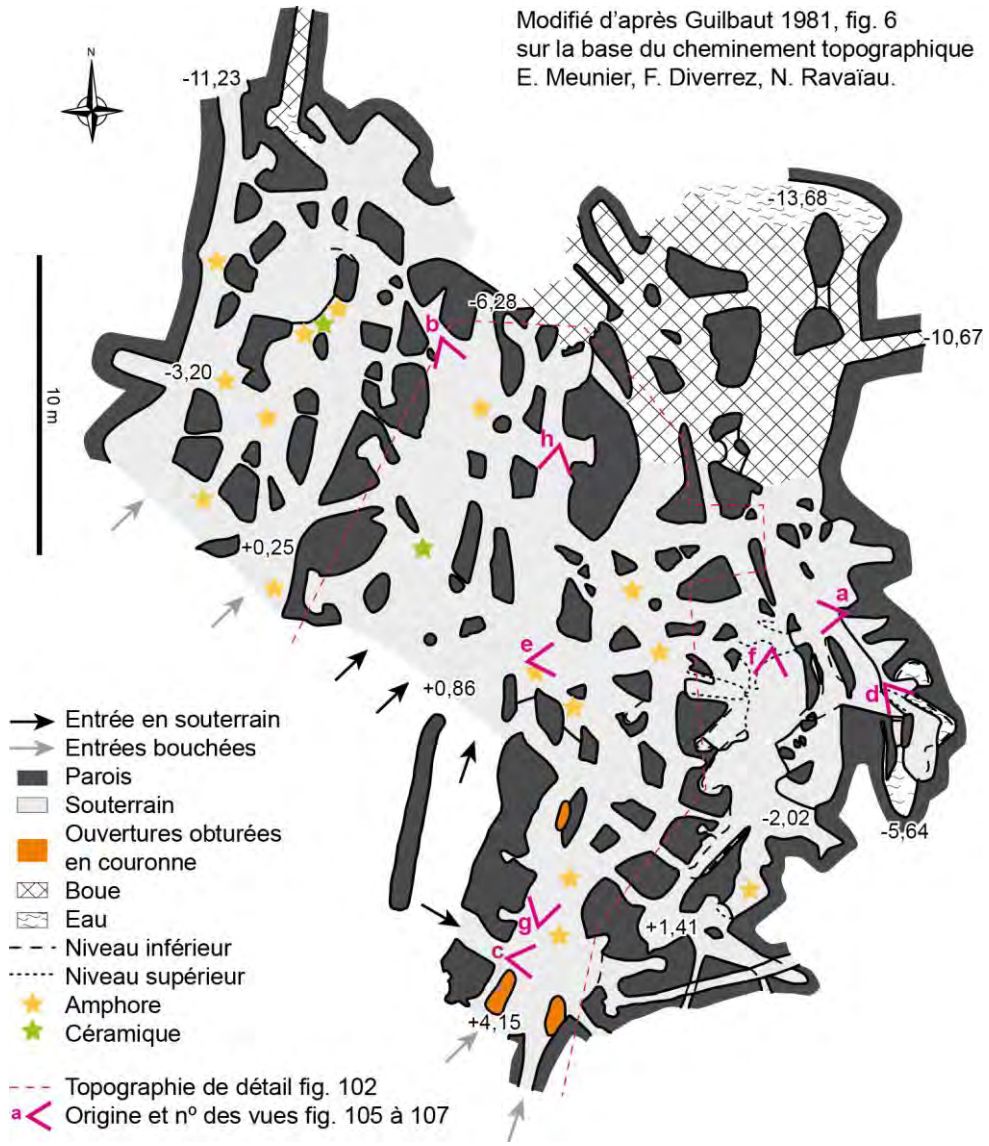


Fig. 104 : Plan général du réseau du Goutil Est.

a.i. Contexte géologique et morphologie des travaux

Ce réseau est encaissé dans des dolomies du Trias orientées N110 avec un pendage de 20-30º vers le nord. Deux types de dolomies ont été identifiés. En couronne et dans la partie supérieure des parements, on observe des dolomies rousses à lamination stromatolithique* riches en fenestrae* (Fig. 105). Elles reposent sur une dolomie massive brune, qui constitue la partie inférieure des parements. Les remblais massifs empêchent d'observer la sole. La moitié est du réseau permet d'observer les différents faciès de la minéralisation et leur relation géométrique, ce qui permet de proposer un modèle de mise en place, correspondant aux gisements de type *Mississipi Valley* (Fig. 106).

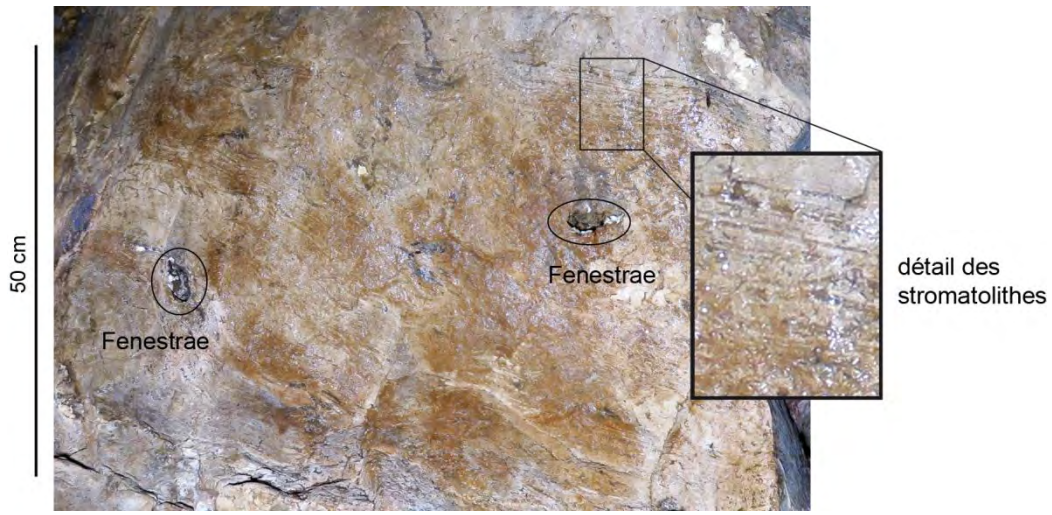


Fig. 105 : Dolomie à lamination stromatolithique et fenestrae dans le réseau Est du Goutil.

Un niveau de brèche hydraulique à ciment barytique est observé à l'interface entre les deux types de dolomies (Fig. 106). L'intervalle brèchifié présente des variations d'épaisseur et d'intensité de brèchification (Fig. 106 en haut et Fig. 107, photo a) qui indiquent un mouvement cisaillant normal senestre. Il marquerait ainsi une zone de découplage mécanique entre deux entités dont les réactions diffèrent face à des contraintes identiques. Les fluides minéralisés en surpression ont préférentiellement circulé et précipité dans cette zone de découplage (Fig. 106, en bas). Des mouches de cuivre gris submillimétriques à millimétriques sont visibles ponctuellement dans les brèches laissées en place par les mineurs, mais toujours dans la partie supérieure du couloir cisaillant. De l'ankérite* est parfois présente en auréole autour des zones à sulfures (Fig. 107, photo b). Quand le degré de brèchification est faible, on observe de simples veinules de barytine pauvres en cuivre, suivant une géométrie en relais dans la zone cisaillante (Fig. 107, photo a en haut et schéma). À d'autres endroits, les brèches ont subi une dissolution tardive accompagnée de placages de calcite drusique* drapée d'oxydes de fer (Fig. 107, photo a en bas et schéma).

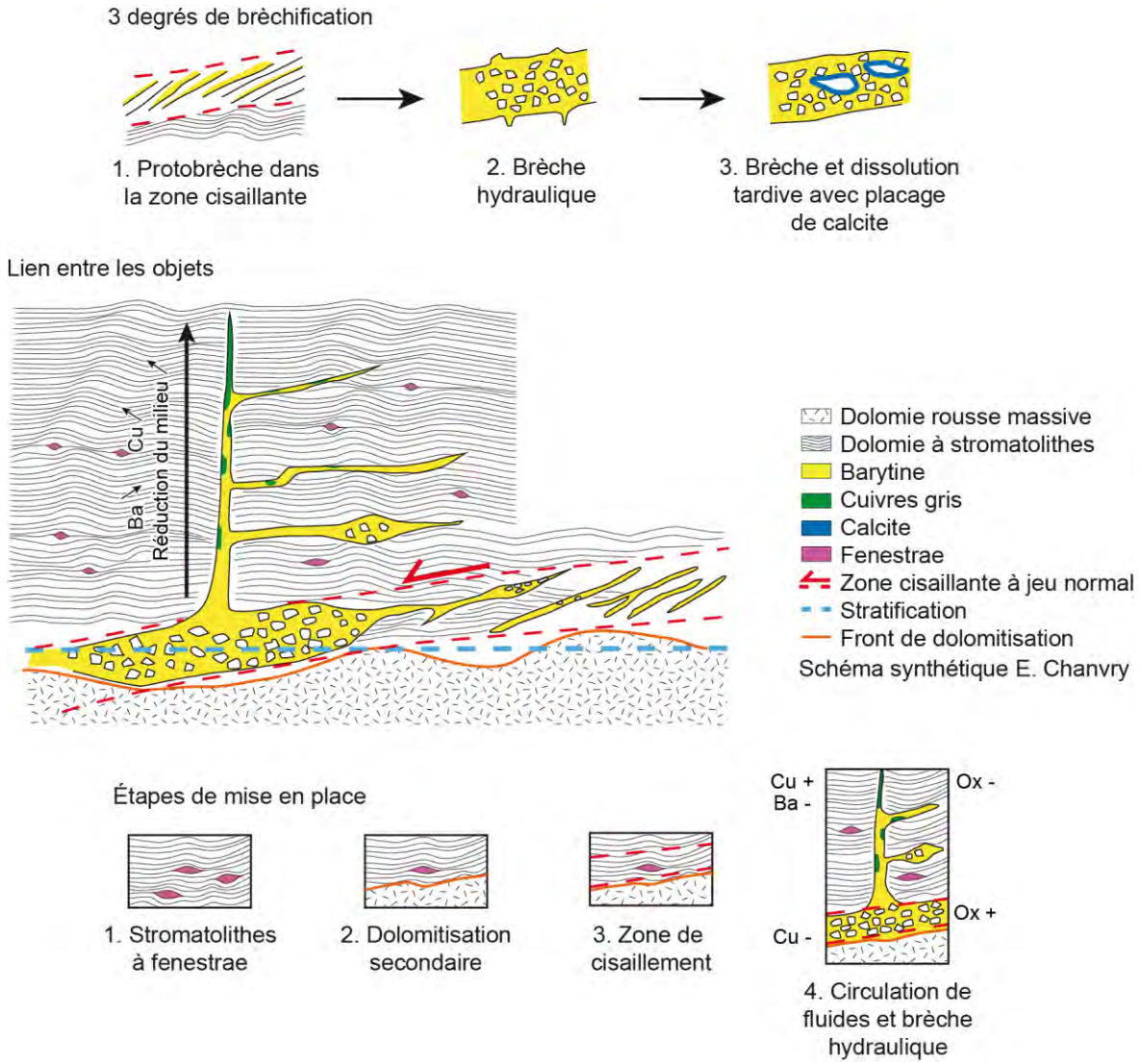


Fig. 106 : Schéma synthétique de la mise en place de la minéralisation dans le Goutil Est.

Des filons verticaux orientés globalement nord-sud (de N5 à N10) correspondent à des failles normales décrochantes dextres qui se développent au toit du couloir cisaillant (Fig. 106, schéma central). Ils sont disposés en échelon suivant ces failles. Ces filons sont composés presque exclusivement de sulfures (cuivre gris), la barytine n'y apparaissant que ponctuellement et en position centrale. On les observe fréquemment en couronne des travaux et leur puissance, au niveau où les mineurs ont arrêté l'extraction, est inférieure à 5 mm.

Enfin, des veines subhorizontales riches en barytine et pauvres en cuivre sont parfois visibles dans la dolomie stromatolithique (Fig. 106, schéma central et Fig. 108). Elles se développent depuis les filons verticaux, suivant des lignes de faiblesse de la dolomie probablement générées par le cisaillement. Le cuivre gris s'y trouve toujours aux épontes.

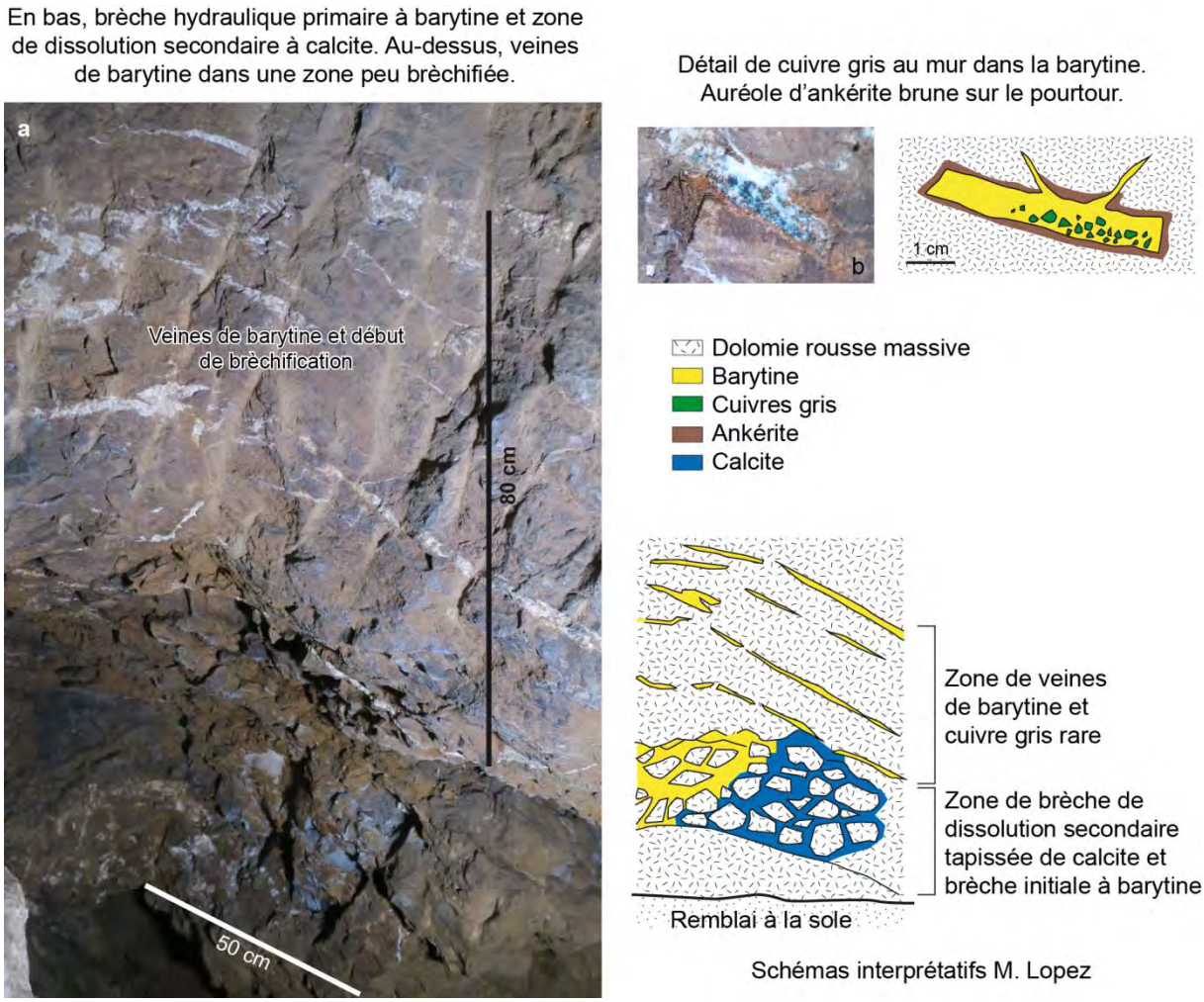


Fig. 107 : Brèche hydraulique et minéralisation dans le réseau Est du Goutil.

On se trouve donc face à un système (Fig. 106) formé par la circulation de fluides sous pression à travers une zone de cisaillement qui suit la stratification générale. La pression provoque également la circulation verticale ascendante des fluides dans des failles normales qui se sont développées au toit du couloir cisaillant et de là, par propagation, dans des fissures subhorizontales. L'enrichissement en sulfures des filons verticaux et la présence de cuivre gris dans la partie supérieure des brèches reflèterait un contexte à dominante oxydante vers le bas et réductrice vers le haut. Cela aurait entraîné une précipitation préférentielle de la barytine (sulfate de baryum - $BaSO_4$, qui contient de l'oxygène) dans les brèches et celle des cuivres gris (sulfures complexes de cuivre, dénués d'oxygène) dans les filons verticaux. Lorsque les deux sont présents, on constate un zonage récurrent entre la barytine au centre et les sulfures en bordure. Pour les mineurs, ces filons avaient l'avantage de constituer une minéralisation plutôt massive, alors que dans les brèches la minéralisation est plus diffuse. En outre, la brèchification n'est pas homogène et s'intensifie ou diminue sur de courtes distances, suivant une géométrie losangique. Cette disposition se retrouve dans la morphologie des travaux.

Fractures en échelon à remplissage de barytine faiblement brèchifiées. Du cuivre gris est ponctuellement présent aux épontes. A la couronne, on observe le filon vertical minéralisé suivi par les mineurs.

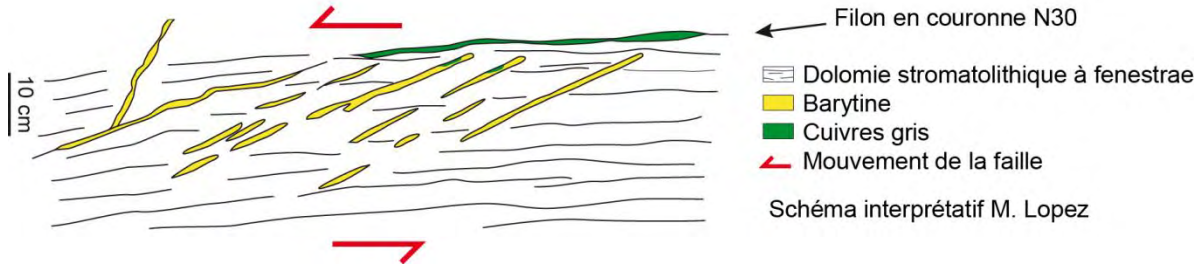


Fig. 108 : Veines subhorizontales de la dolomie stromatolithique et filon vertical riche en cuivre gris à la couronne.

On peut en effet distinguer les moitiés est et ouest du réseau, dont le plan reflète l'irrégularité des zones de brèches pour la première et l'orientation nord-sud des filons parallèles pour la seconde (Fig. 104). Les brèches sont en effet peu développées vers l'ouest, et les filons verticaux nord-sud enrichis en cuivre moins fréquents vers l'est. La partie centrale du réseau, avec les deux morphologies de minéralisation représentées, montre ainsi des élargissements dans la partie basse et des surcreusements étroits et allongés en couronne, orientés nord-sud. Les couloirs nord-sud, orientés suivant les filons verticaux, peuvent être retracés grâce à l'alignement des piliers et cloisons de roche (Fig. 109). Le percement de ces cloisons est à mettre en relation avec l'exploitation de la brèche plus ou moins développée au niveau inférieur. Les coupes transversales en particulier permettent d'observer les extensions étroites en couronne correspondant aux filons verticaux (Fig. 111).

Image obtenue par photogrammétrie (traitement B. Cauuet).

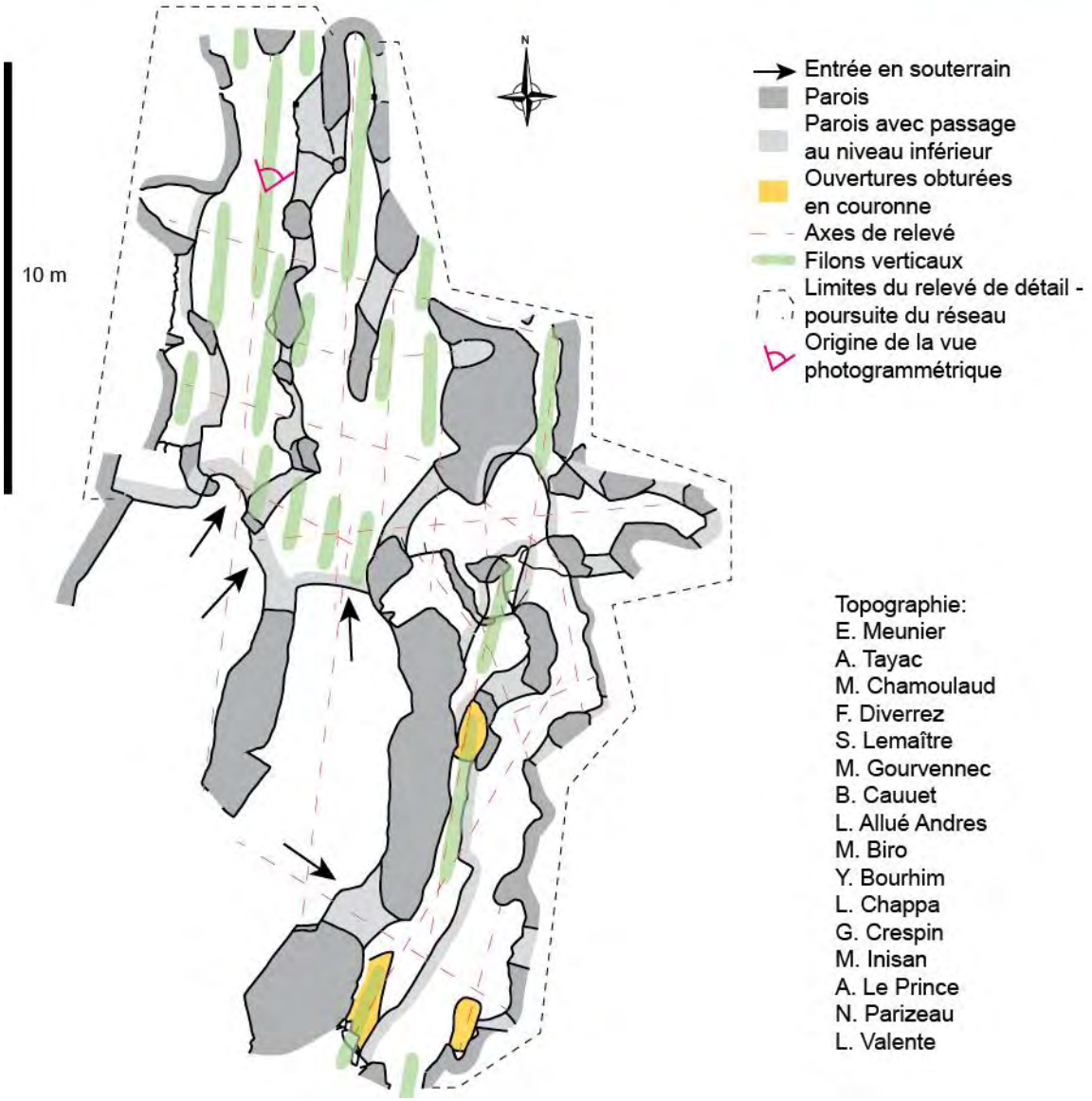


Fig. 109 : Plan de détail de la partie centrale du réseau du Goutil Est.

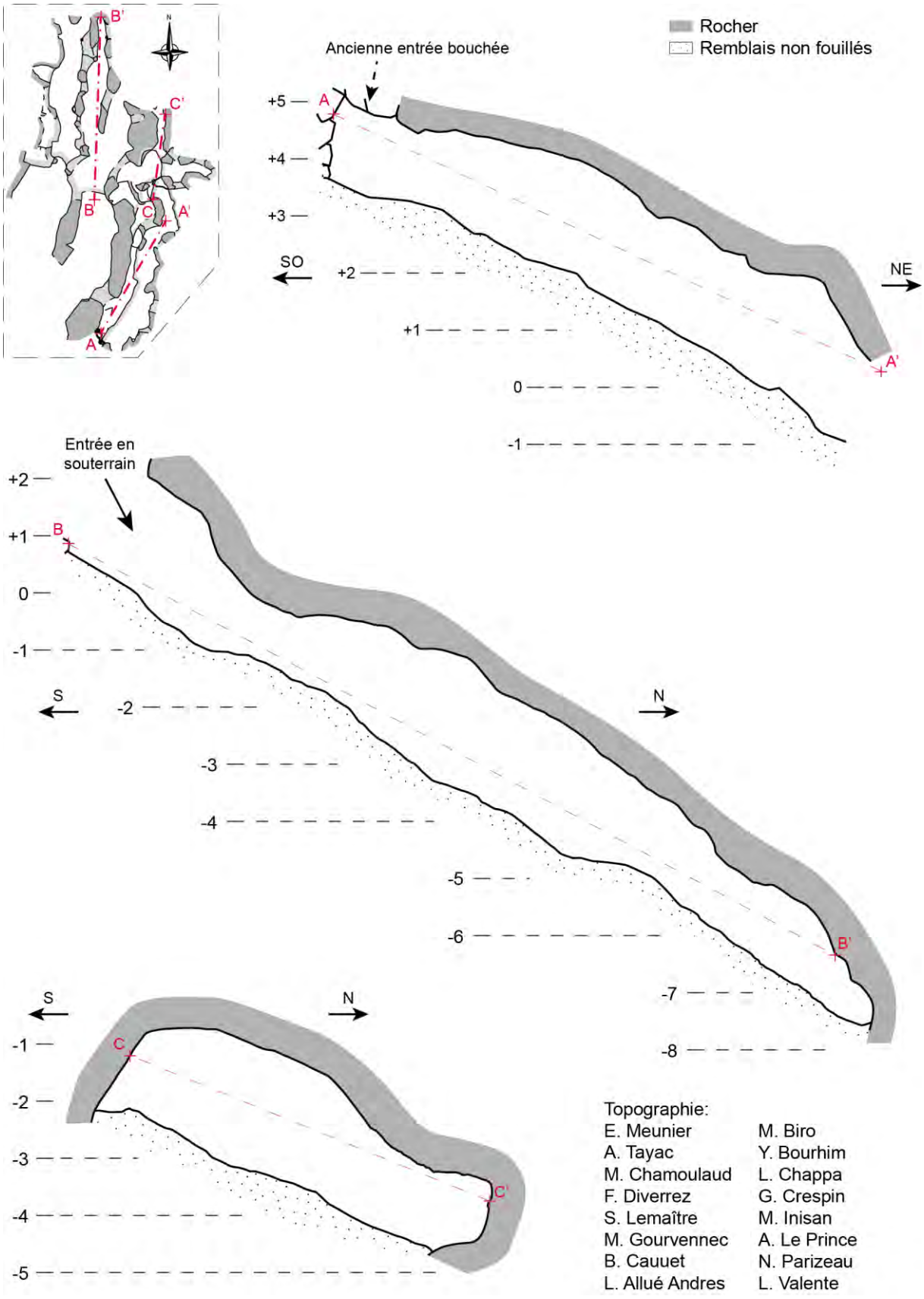


Fig. 110 : Coupes longitudinales dans le réseau du Goutil Est.

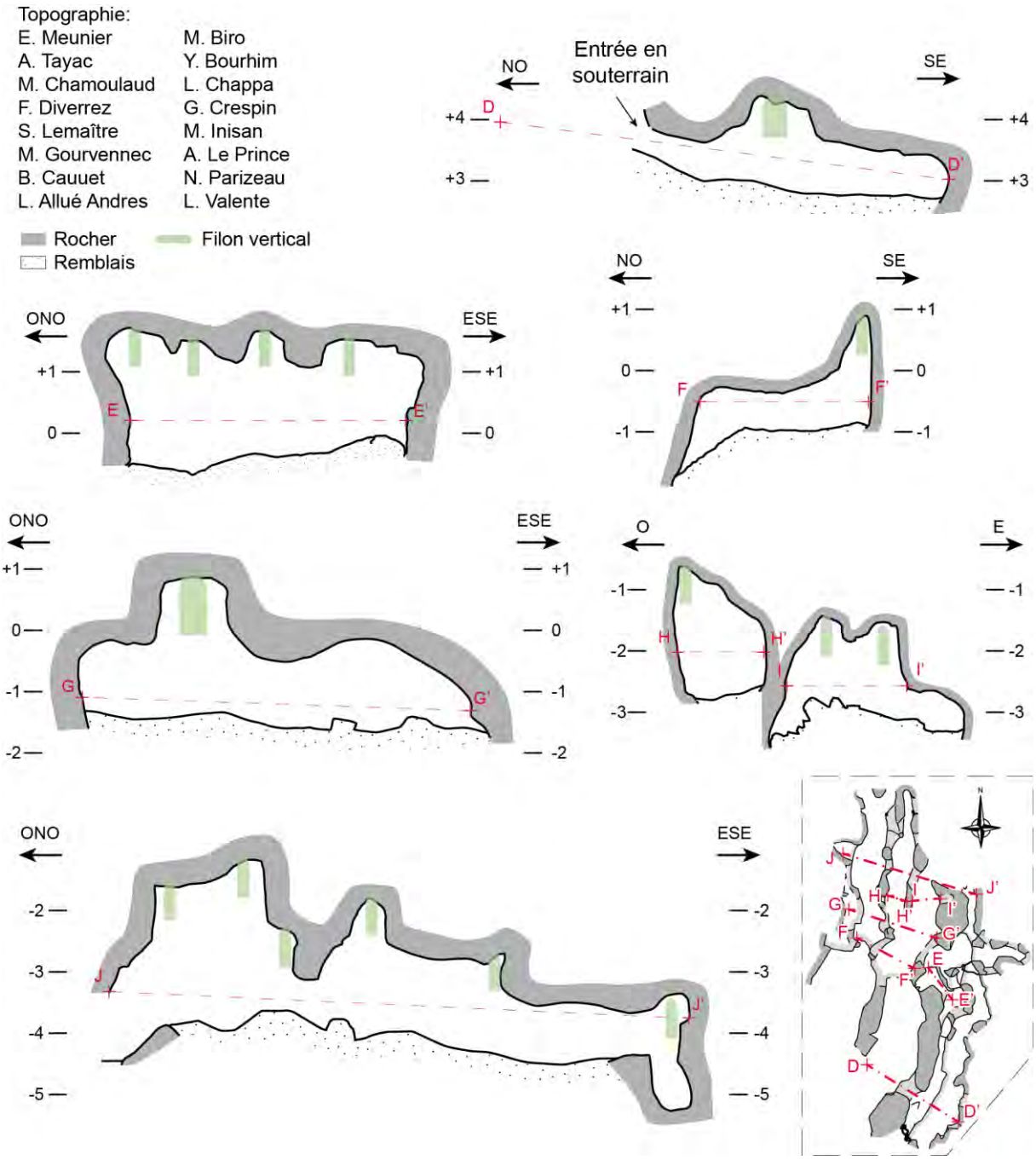


Fig. 111 : Coupes transversales dans le réseau du Goutil Est.

a.ii. Réflexions sur la chronologie des travaux et la dynamique d'exploitation

Les indications concernant la géométrie variable de la minéralisation permettent d'expliquer la morphologie irrégulière des travaux. Cependant, ils ne sont pas pour autant le résultat d'une seule phase d'exploitation. En effet, on peut observer des reliquats de soles transpercées ou des négatifs d'étages suspendus en plusieurs endroits (Fig. 112). D'autre part, le mode d'abattage utilisé est mixte : on observe à la fois des parois constellées de traces d'outil alors que d'autres sont parfaitement lisses avec des profils courbes caractéristiques de l'ouverture au feu (Fig. 112, a et Fig. 113). Les parois avec des traces d'outils ne se trouvent jamais au niveau des entrées mais à l'intérieur des travaux. Elles sont

dominantes vers l'est du chantier, en limite d'extension de la mine, avec un secteur entièrement ouvert à l'outil. Ailleurs, elles marquent des élargissements ponctuels. Des surcreusements en couronne ont parfois été réalisés à l'outil le long des filons verticaux. Mais le feu a lui aussi été utilisé pour exploiter ces filons, et son usage domine largement à l'échelle du réseau. L'ouverture initiale de cette mine a donc dû se faire en utilisant le feu, seule technique attestée près des entrées, et les traces d'outils correspondent à une reprise. Cependant, le gabarit très variable des ouvrages pourrait indiquer deux périodes d'activité avec l'usage du feu. En effet, on observe à la fois des ouvrages de petites dimensions, dont la largeur ne dépasse pas le mètre (Fig. 114, g), et d'autres dont le profil révèle un creusement unique conduit de manière à ouvrir un volume large (Fig. 114, h). La géométrie de la minéralisation favorise toutefois ce type de variations (Fig. 114, f).

Enfin, il est à noter que l'exploitation a été conduite majoritairement suivant l'inclinaison générale de la minéralisation. Le reliquat de sole visible au premier plan à droite de la photo b de la Fig. 112 montre que les travaux suivaient ce pendage du sud vers le nord. On n'observe pas, comme cela a pu être relevé à La Coustalade ou à Rougé, d'étages d'exploitation horizontaux qui se succèdent en gradins pour suivre l'inclinaison de la minéralisation. Les coupes longitudinales, dans le sens de la progression des mineurs, montrent ainsi l'inclinaison des travaux (Fig. 110) alors que les coupes transversales mettent en évidence les percements postérieurs permettant la communication entre les travées nord-sud à différentes profondeurs (Fig. 111). Les filons verticaux multiples et de faible puissance conditionnent ce type d'attaque. Un certain souci d'économie de creusement a conduit à l'exploitation des brèches en suivant leur profil irrégulier, sans développer, pour ce que l'on peut en voir malgré les remblais, de véritable étage horizontal élargi (Fig. 114, f).

La gestion des déplacements des mineurs sur ces différents étages nous échappe. Les remblais qui occupent actuellement les travaux permettent de les parcourir facilement, en contournant si besoin les vides qui ont été formés dans certains endroits. On peut imaginer que les nombreux replats et décrochement aient pu servir à installer des structures en bois pour circuler et travailler (échelles, échafaudages). Des encoches de petite taille (l=5 cm ; h=6 cm ; prof=2-3 cm) ont été repérées dans certaines parois, plutôt dans les parties hautes. Leur profondeur trop réduite ne permet pas de les interpréter comme des niches à lampes, et, là où elles ont pu être observées, elles sont isolées et n'ont pas de jumelle leur faisant face sur le parement opposé. Il est toutefois possible qu'elles aient servi à caler des boisages, dont la structure ne peut être décrite en l'état.

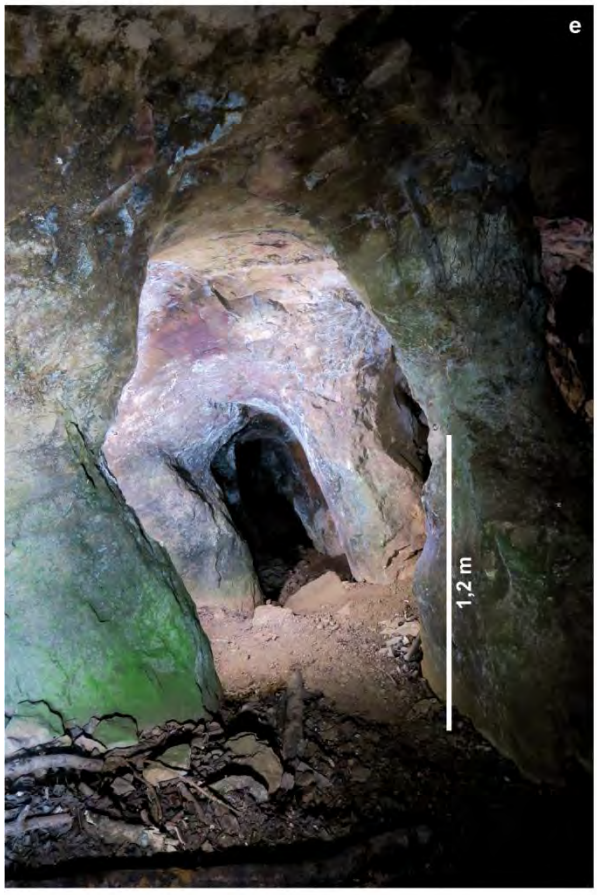
a. Vue de l'est. À l'arrière-plan, galerie circulaire suspendue sur une plateforme laissée en place après le percement de la sole.
Au premier plan, une galerie étroite ouverte à l'outil est dirigée vers le sud depuis un chantier ouvert au feu.

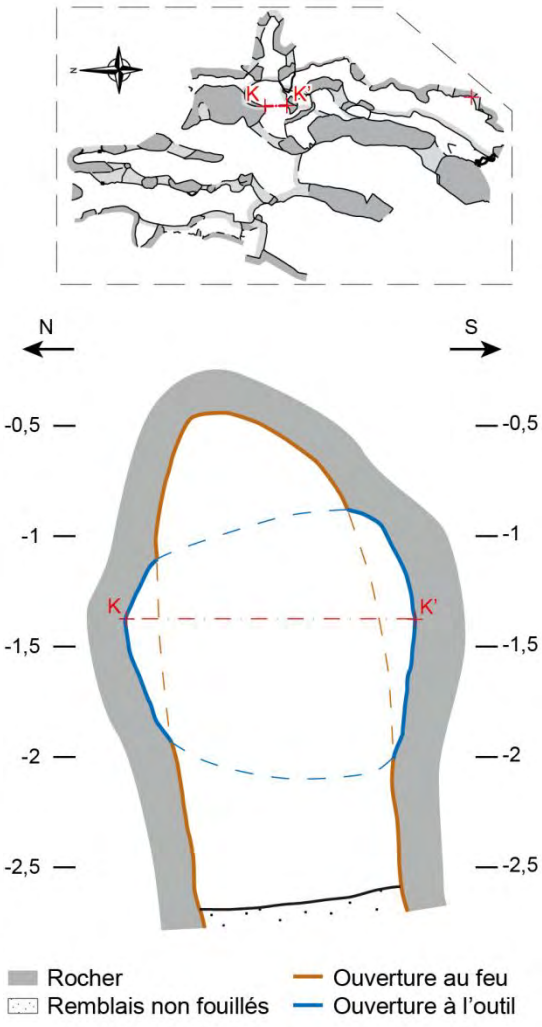
b. Travée large dans laquelle on observe des reliquats de soles formant des ressauts après l'approfondissement des travaux. Les excroissances vers le haut correspondent à l'exploitation des filons verticaux (cliché J.-M. Fabre).

Fig. 112 : Secteurs montrant des reprises dans le Goutil Est.

c. Coupoles d'ouverture au feu.

d. Traces de coups de pointerolle (cliché J.-M. Fabre).





e. Cloison percée à l'outil au centre et au feu dans les parties basses et hautes, vue depuis l'ouest. La chronologie relative de ces deux modes de creusement n'est pas évidente.

Fig. 113 : Stigmates d'abattage au feu et à l'outil dans le Goutil Est.

f. Chantier irrégulier formé par l'accumulation d'ouvertures de petit volume, correspondant à différents étages d'exploitation, vu vers le sud. Cette morphologie est liée à celle de la minéralisation et peut résulter d'une seule phase d'activité.

g. Galeries étroites ouvertes au feu, dont le gabarit originel permet à un adulte de passer mais pas à deux personnes de se croiser. L'élargissement au premier plan et à la couronne de la galerie de gauche, anguleux, correspondent à des reprises.

h. Chantier ouvert au feu constitué d'un volume principal unique surmonté de deux surcreusements correspondants à l'exploitation de filons verticaux.

Fig. 114 : Différents gabarits de chantier dans le réseau du Goutil Est.

En l'absence de sondage, les éléments de datation livrés par ce réseau se limitent à du mobilier mêlé aux remblais, non ramassé. Les amphores italiques dominent là encore (Tab. 13). Lors des premières prospections, outre l'identification de lèvres de Dressel 1A, quelques tessons de céramique commune à pâte grise et engobe noir et un bord de mortier ont été signalés dans le chantier (Guilbaut 1981, pp. 178-179). Une anse d'amphore portait le timbre ASO qui, en mauvais état, pourrait être partiel (Fig. 126, 1). Ce timbre n'étant pas répertorié sur d'autres sites, cela ne permet pas de préciser la chronologie au-delà de la période du I^{er} s. av. n. è., ou de la fin du siècle précédent[78]. La position de ce mobilier à la surface des remblais massifs qui encombrent le réseau, principalement constitués de haldes rejetées à l'intérieur, indique simplement qu'une phase d'activité correspondait à cette période. L'ouverture de la mine et la ou les reprises ne peuvent être datées de la sorte.

b. Le réseau Ouest

Le réseau Ouest du Goutil est le plus étendu des réseaux anciens accessibles actuellement. Il s'étend sur 115 m dans le sens est-ouest et 84 m dans le sens nord-sud. Il est intensément quadrillé de galeries et chantiers dans sa moitié nord, alors que le sud n'est parcouru que de galeries isolées, qui s'ajoutent aux chantiers de l'entrée. L'extension cumulée des galeries atteint près d'un kilomètre. Le plan général des travaux a été réalisé par les spéléologues J.-P. Calvet et G. Armengaud, lors de la campagne de terrain de 1992 (Dubois & Métailié 1992, p. 34). Les cotes n'ont pas été reportées sur ce plan, ce qui ne permet pas de connaître la profondeur maximale atteinte dans ce réseau. Lors de nos opérations, nous n'avons repris que ponctuellement la topographie de détail, près de l'entrée, en incluant des coupes et sections. Une petite partie du cheminement topographique a été enregistré entre le secteur relevé à l'entrée et un chantier sur plusieurs niveaux dans lequel le relevé au scanner 3D a été réalisé, pour les connecter au même système topographique. Dans cet espace, les cotes des travaux vont de +1,5 m à -16 m. Les parties les plus profondes n'ont pas été atteintes lors de ces mesures et trois orifices bouchés visibles en couronne indiquent que des cheminées remontaient jusqu'au jour à certains endroits.

[78] La référence à un timbre IASO, non daté, selon (Callender 1965, p. 141) est signalée dans la publication concernant le Goutil. La consultation récente du Recueil de Timbres sur Amphores Romaines en ligne ne donne pas plus de précisions (http://publications.univ-provence.fr/rtar).

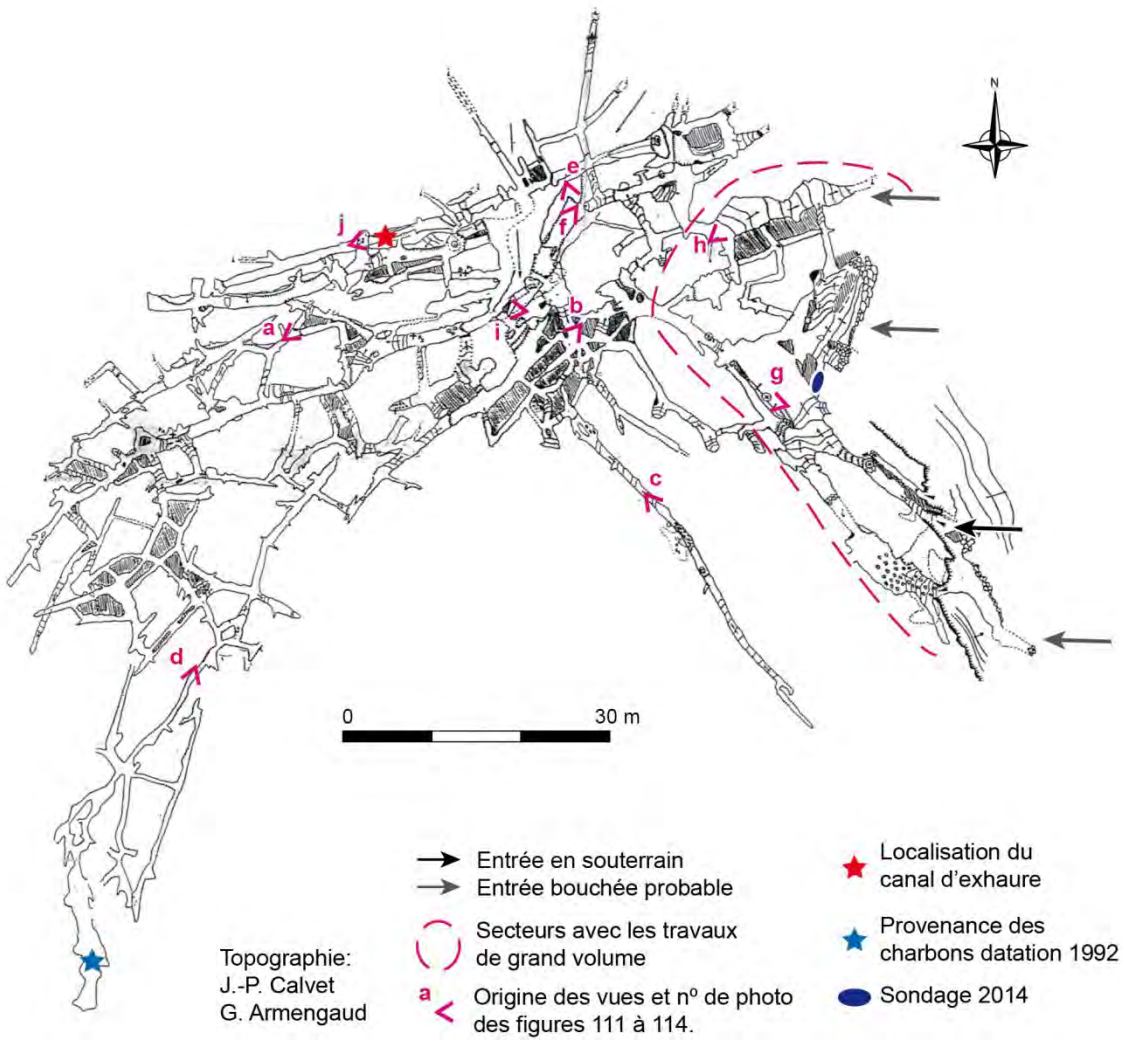
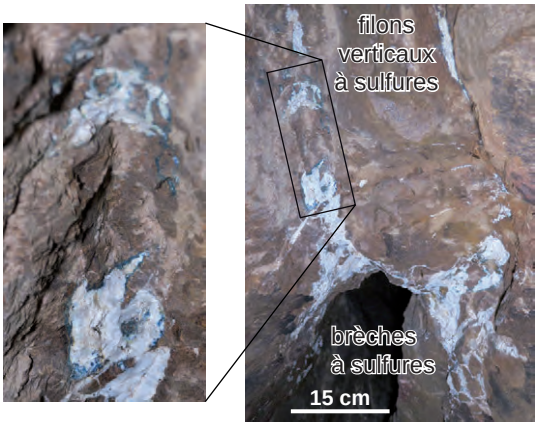


Fig. 115 : Plan d'ensemble du réseau du Goutil Ouest, d'après Dubois 1996, fig. 2.

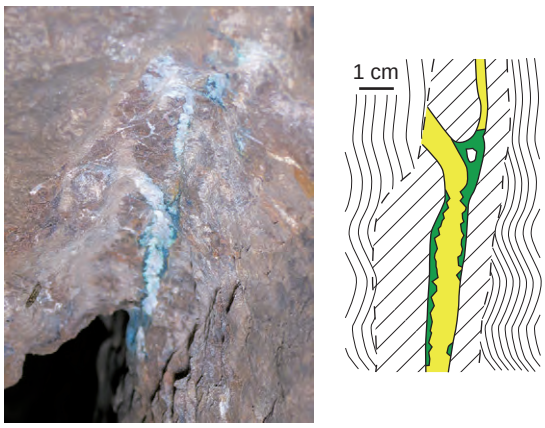
b.i. Contexte géologique et morphologie des travaux

Du point de vue géologique, le réseau Ouest du Goutil présente des similitudes avec le réseau Est. Les deux sont encaissés dans les dolomies du Trias et la minéralisation correspond là aussi au type *Mississipi Valley*, avec des brèches plus ou moins développées et des filons verticaux qui ont orienté l'exploitation. On retrouve ainsi les deux types de dolomies déjà présentés : celle du niveau inférieur, massive et rousse, visible au niveau de l'entrée, surmontée de celle à stromatolithes, que l'on observe dans la partie centrale du réseau, après une progression de 38 m depuis l'entrée. L'orientation de ces dolomies est toutefois variable à travers le réseau, avec un pendage orienté N10 de 10º vers l'ouest près de l'entrée, alors qu'il est orienté N100 pour 20 à 30º vers le nord au centre du réseau.

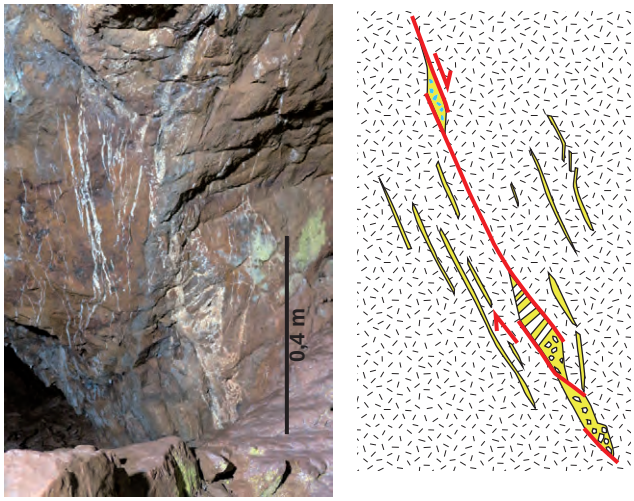
La zone de brèches dans le couloir de cisaillement entre les dolomies stromatolithiques et les dolomies massives ainsi que les filons verticaux à dominante sulfurée sont toujours présents. La relation cogénétique entre les brèches et les filons verticaux est ici confirmée par la présence de cuivres gris en bordure supérieure du ciment barytique des brèches (Fig. 116, a et b). Ces brèches peuvent être reprises et la barytine apparaît alors broyée.



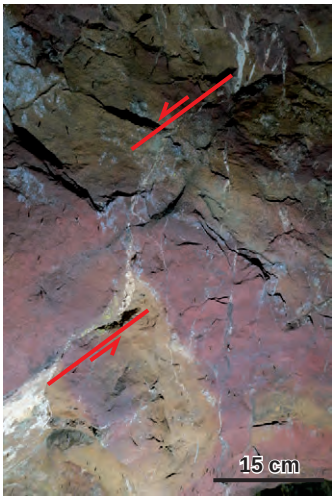
a. Zone de bréchification faible avec concentration de cuivre gris dans la partie supérieure et départ des filons verticaux. Détail du zonage du cuivre gris en bordure de la masse de barytine.



b. Filon de barytine avec cuivre gris automorphe drusique aux épontes, vu en couronne.



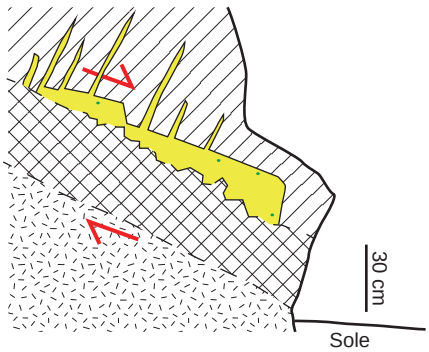
c. Faille normale décrochante avec fentes de tension de part et d'autre d'une zone de brèche de fracturation hydraulique.



d. Fentes en échelon formant des losanges. La dolomie est rougie par le feu.

- Dolomie brune à lamination stromatolithique
- Dolomie brun sombre silicifiée
- Dolomie silicifiée fracturée gris-noir
- Dolomie rousse massive
- Barytine
- Cuivres gris
- Mouvement de faille

Schémas interprétatifs M. Lopez



e. Bande cisaillée sur faille normale décrochante de 80 cm de puisance. Le cuivre gris est en mouche dans la barytine. Un filon vertical enrichi en sulfures a été exploité à l'outil en couronne.

Fig. 116 : Types de structures minéralisées dans le Goutil Ouest.

La différence principale avec le réseau Est réside dans l'identification d'une autre strate géologique observée en couronne, au-dessus de la dolomie à stromatolithes, en allant vers le nord du chantier. Il s'agit d'un niveau de mudstone gris sombre finement stratifié et stérile (Fig. 117). Une brèche de 40 à 60 cm d'épaisseur s'est formée dans la zone de cisaillement entre le mudstone et la dolomie à stromatolithes. Cette brèche est silicifiée mais la barytine y est toujours présente, et elle renferme des petites masses de cuivre gris. Deux niveaux de brèches ont donc été exploités par les mineurs (Fig. 117 et Fig. 119), ainsi que les filons à dominante sulfurée verticaux, qui se développent dans la masse des dolomies à stromatolithes, entre ces deux niveaux de brèches. Cela explique l'étagement des travaux et leur irrégularité, les brèches étant, tout comme dans le réseau Est, discontinues et plus ou moins exprimées.

En profondeur, le remblaiement des travaux limite les possibilités d'observation. Cependant, dans les parties inférieures dégagées, on observe au niveau de la dolomie massive la présence de filons de barytine, formant parfois des brèches, avec des mouches de cuivre gris, mais plus rares que dans les parties supérieures. Cela correspond à ce que l'on observe près de l'entrée actuelle, où les dolomies à stromatolithes ne sont pas visibles. La dolomie massive est affectée par une brèchification liée à une fracturation hydraulique, qui suit un mouvement de faille normale décrochante orientée N100 et avec un pendage de 60 à 75º vers le sud (Fig. 116, c et e). Des fentes de tension à remplissage de barytine sont visibles de part et d'autre des brèches, dans le sens du mouvement principal. Un autre réseau de veines de barytine suit des fentes en échelon qui sont pour leur part orientées N60 avec un pendage de 65º vers le sud (Fig. 116, d). Des petits amas de brèches ont pu se former ponctuellement. On constate également dans cette partie du chantier une relation entre la présence de cuivres gris et les couloirs de silicification, ce qui augmente la dureté de la roche au niveau de la minéralisation, ce qui peut expliquer l'utilisation préférentielle du feu.

Une fois ces caractéristiques posées, on peut tenter de distinguer dans les travaux ce qui relève des variations dues à la morphologie de la minéralisation et ce qui pourrait correspondre à des phases d'exploitation différentes. Comme dans le Goutil Est, l'usage du feu et de l'outil a été constaté dans les différents secteurs de la mine, parfois dans le même espace (Fig. 118, a et b). Là aussi, les entrées sont exclusivement foncées au feu. Cela inciterait à associer l'utilisation de l'outil avec une phase de reprise. Celle-ci a dû être plus importante que dans le réseau Est car les parois porteuses de traces d'outil sont ici plus fréquentes que celles qui présentent les stigmates du feu. Il est cependant très difficile d'établir une chronologie relative de ces ouvrages, de par leur aspect souvent labyrinthique (Fig. 118, b). La morphologie de la minéralisation en est la cause, mais cela empêche de repérer une direction première que l'on pourrait différencier de celle suivie lors des reprises.

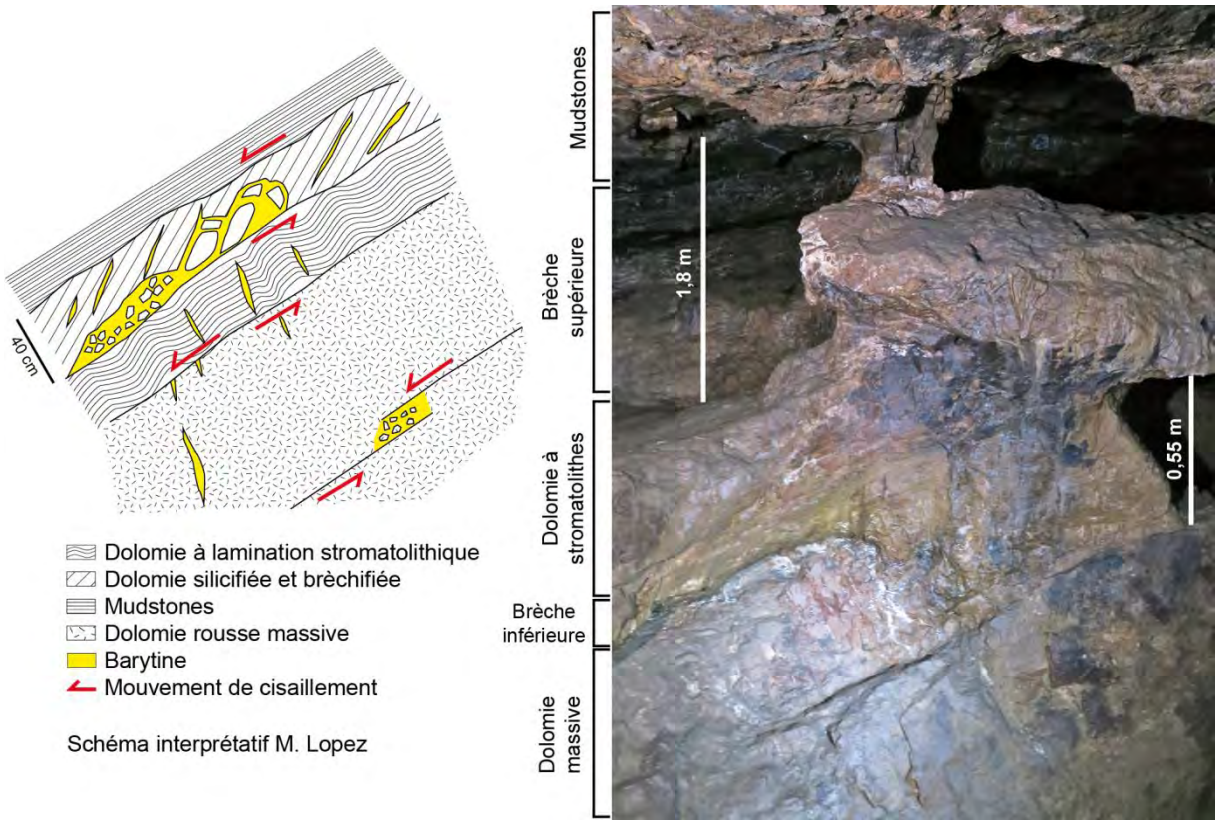
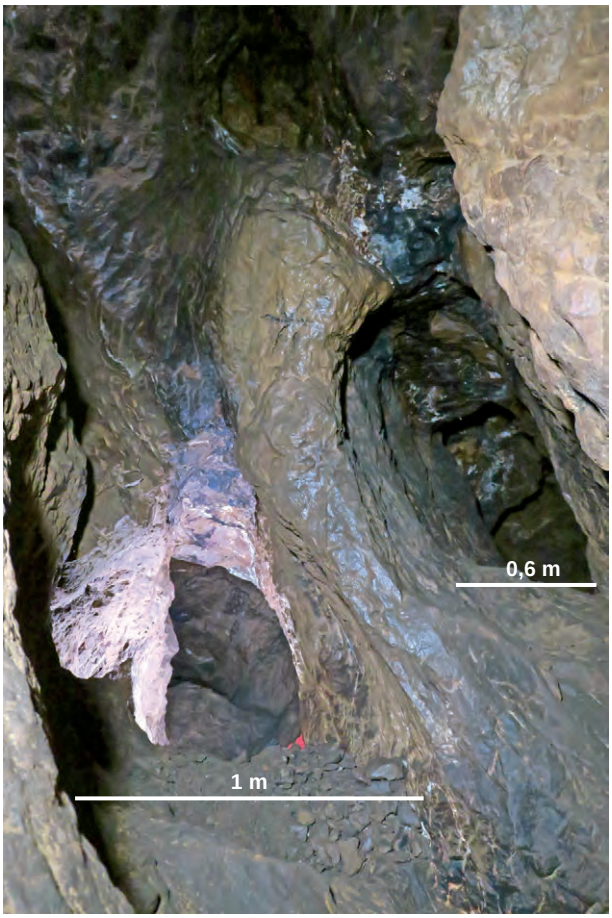


Fig. 117 : Série géologique complète au nord du Goutil Ouest.

Ensuite, le gabarit des ouvrages peut également être réparti en deux catégories. D'une part, on trouve un petit module, ouvert au feu ou à l'outil, avec une largeur allant de 0,4 à 1 m (Fig. 118). Dans certains cas, ces ouvrages ne permettaient pas de se tenir debout, mais le percement des soles intermédiaires facilite la circulation actuellement (Fig. 118, d). Des chantiers de grand volume peuvent résulter de l'accumulation de creusements de ce type juxtaposés (Fig. 119). D'autre part, certains secteurs correspondent au contraire à des volumes bien supérieurs, galeries larges et hautes ou grands chantiers, creusés dès le départ avec l'intention de leur donner ces tailles importantes (Fig. 120). On s'y tient toujours debout et deux personnes peuvent d'y croiser sans problème, au minimum. Les ouvrages de grand gabarit sont uniquement ouverts au feu. Cette répartition schématique entre les petits et grands gabarits serait sûrement à nuancer si des relevés de détails étaient disponibles de manière systématique. On peut simplement constater en l'état que les ouvrages de grand gabarit résultant d'un creusement unique se trouvent uniquement à l'est du réseau, près des entrées. Les chantiers de plus grande taille dans le reste du réseau sont, pour ce qui a été observé jusqu'à présent, le résultat de petits creusements juxtaposés.

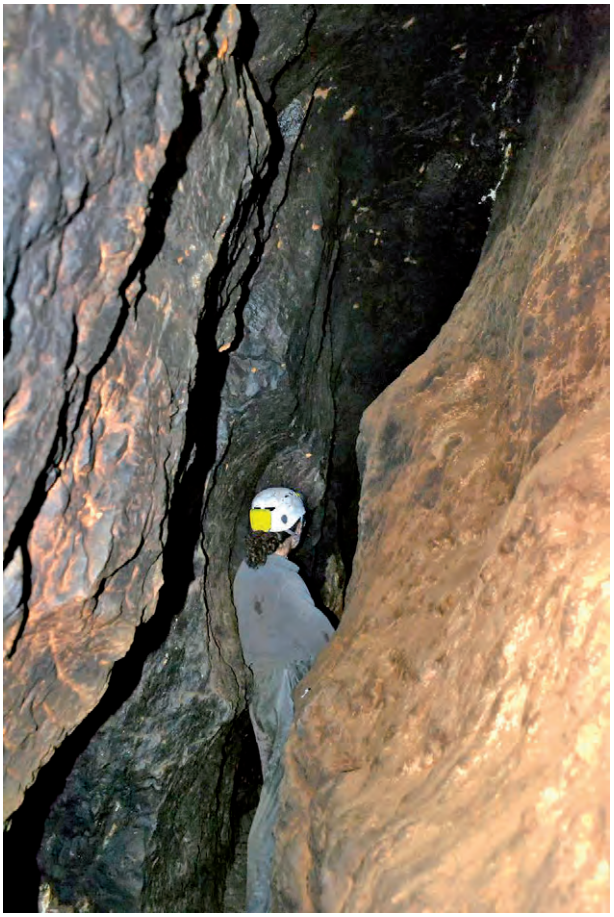
Une autre différence qui a été remarquée réside dans le profil des ouvrages à l'outil, qui peut être anguleux (Fig. 118, c) ou plus ovoïde (Fig. 118, a et b). Faut-il voir dans les seconds une reprise à l'outil d'ouvrages dont l'abattage démarrait au feu ? Ou est-ce le signe de plusieurs phases chronologiques dans les travaux à l'outil ? La réponse ne peut être donnée pour l'instant.



a. Travaux sur plusieurs niveaux et dans plusieurs directions, avec une cloison stérile, au feu et à l'outil.

b. Aspect labyrinthique des travaux au centre du réseau, angulaires ou ovoïdes, au feu et à l'outil, dans toutes les directions et sur plusieurs niveaux (cliché J.-M. Fabre).

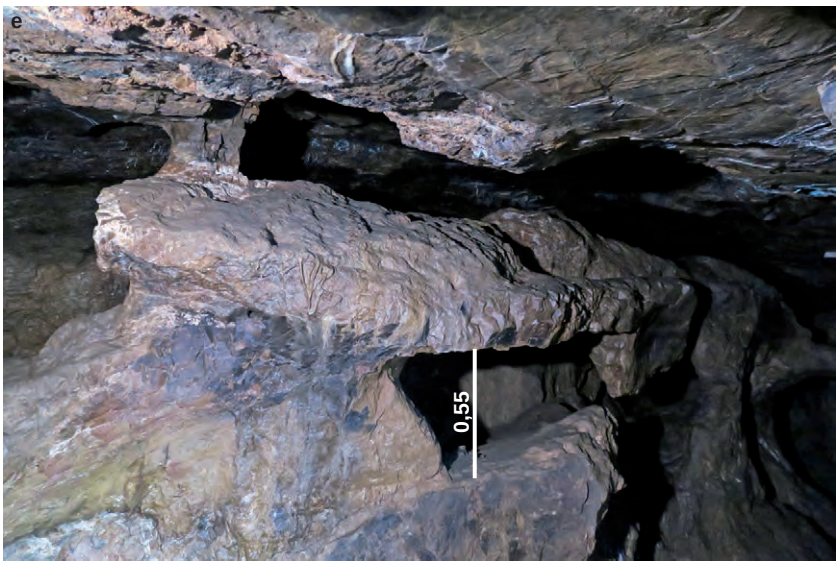
c. Galerie angulaire exploitée à l'outil sur deux étages.



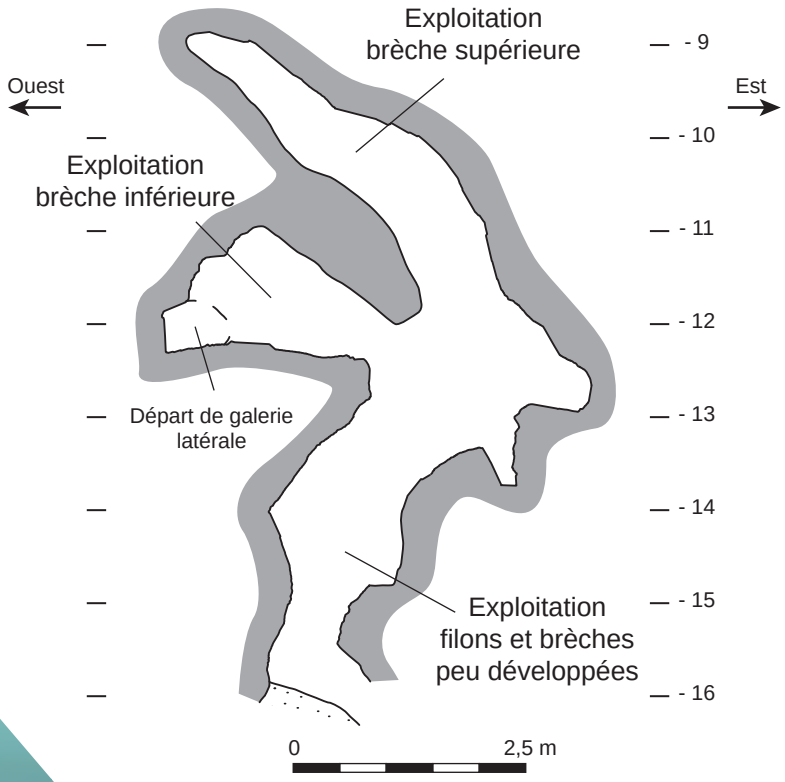
d. Galerie ovoïde exploitée au feu sur trois étages (cliché G. Munteanu).

Fig. 118 : Le Goutil Ouest : les techniques d'abattage pour les ouvrages de petit gabarit.

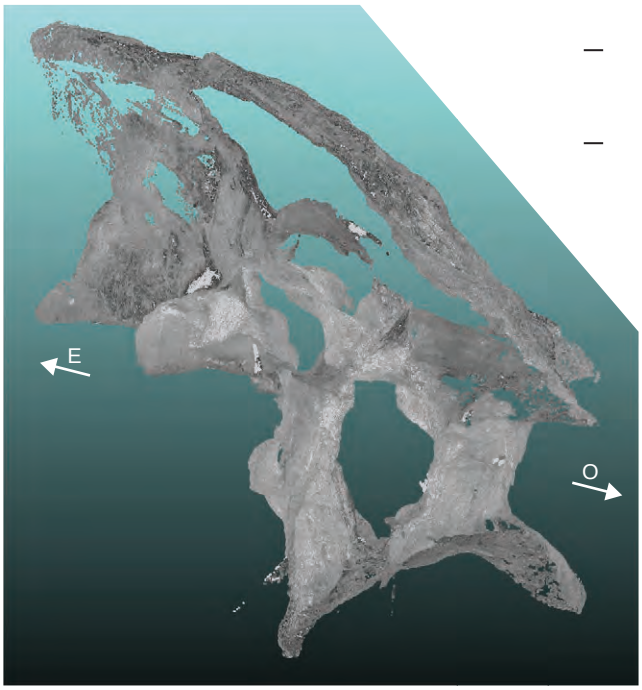
e. Chantier formé par de multiples creusements, vu vers le sud-est. Des pans de roche stérile (au centre) ont été laissés en place lors d'une première étape puis percés.

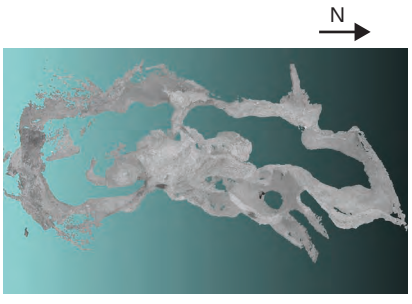


f. Vue du même chantier vers le sud. On observe également les élargissements à différents niveaux et les parois percées.



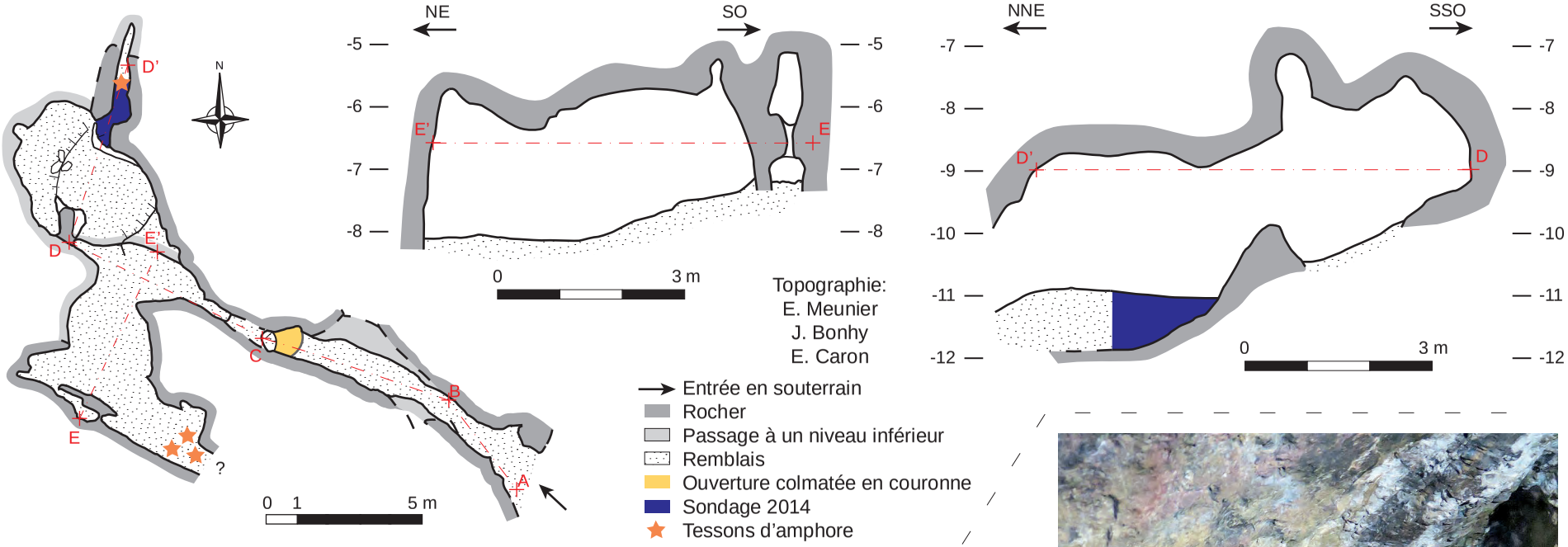
Coupe réalisée dans la partie centrale du chantier. Les différents volumes correspondent aux différentes structures minéralisées exploitées.





Nuage de points partiel du levé au scanner 3D, montrant les différents creusements qui composent le chantier, en section à gauche et en plan à droite (traitement 3D: F. Baleux ; export des vues E. Meunier).

Fig. 119 : Grand chantier résultant de plusieurs creusements de petit gabarit au nord du Goutil Ouest.



Plan détaillé du secteur de l'entrée et coupes transversales dans la salle de grand volume.

g. Coupole de grande taille montrant une seule phase de creusement, et cheminée obturée en couronne, vue de dessous.
Diamètre de la cheminée: ±0,8 m
Hauteur: ± 3,5 m

h. Galeries de grand gabarit dont le profil montre une seule phase de creusement. La sole est totalement concrétionnée.

Fig. 120 : Le Goutil Ouest : ouvrages de grand gabarit à creusement unique

Pour terminer au sujet des techniques minières, il faut signaler tout d'abord la présence d'encoches de boisage dans quelques points du réseau (Fig. 121, i). De forme quadrangulaire irrégulière, leurs dimensions relevées tournent autour de 10 cm de largeur, 7 à 9 cm de hauteur et 2 à 4 cm de profondeur. Leur fonction est confirmée par le fait qu'on les trouve se faisant face de part et d'autre des galeries. Le second élément particulier à cette mine est l'identification d'une portion de canal surcreusé à la sole d'une galerie (Fig. 115 et Fig. 121, j). De plan sinueux, il est long de 1,8 m, large de 20 cm et profond d'autant. Il met en communication un chantier plus profond d'un mètre en aval et une galerie qui ne ressort pas au jour vers l'amont. Dans ces conditions, il ne pouvait servir qu'à évacuer le trop-plein d'eau lorsque le chantier en amont se remplissait. Les traces de boue visibles sur les parements plus de 40 cm au-dessus du niveau du canal montrent que l'eau pouvait effectivement monter assez haut. La galerie vers laquelle l'eau était dirigée n'est pas une galerie d'exhaure à proprement parler. Elle a été creusée pour exploiter un filon dont on voit la trace en couronne. Elle se poursuit sur près de 25 m avant de se terminer sur un front de taille. De la boue masque la sole, mais il est possible que des fissures visibles au parement se poursuivent plus bas et aient permis à l'eau de s'évacuer naturellement. Le chantier en amont du canal, dont la sole est également couverte de boue, constitue un point bas du réseau et il est possible que l'eau d'autres secteurs ait été dirigée vers cet espace pour être ensuite évacuée. Ces hypothèses demanderaient à être confirmée par une fouille du secteur et des relevés précis.

i. Encoches de boisage quadrangulaires. Une autre paire d'encoche leur fait face sur la paroi opposée. Largeur à la base: 10 cm

j. Canal d'exhaure creusé à la sole d'une galerie. Les flèches indiquent la hauteur maximale de la boue.

Fig. 121 : Le Goutil Ouest : encoches de boisage et canal d'exhaure.

b.ii. Sondage et éléments de chronologie

Un seul sondage a été réalisé dans ce réseau, en 2014, avec l'objectif d'obtenir des éléments de datation. Il a été implanté dans un petit chantier vertical à une vingtaine de mètres de l'entrée, entre les cotes -8,77 et -11,87 m (localisation Fig. 120). Avant de démarrer le sondage, la partie visible présentait toutes les caractéristiques d'un chantier ouvert au feu avec ses parois lisses et son profil courbe. La fouille a révélé que la partie basse du chantier était quant à elle ouverte à l'outil. Le profil général de l'ouvrage est marqué par un resserrement central qui correspond à la limite entre les deux techniques utilisées, renvoyant à deux phases de creusement. Enfin, on note que la partie inférieure est verticale avec une largeur régulière de 0,6 m alors que la partie supérieure est légèrement oblique et sa largeur varie entre 0,22 et 0,47 m. Cela correspond au pendage du filon qui a été suivi, dont on voit la trace en couronne.

Les déblais piégés au niveau inférieur du chantier sont stratifiés ; cinq US ont été enregistrées (Fig. 122).

US 1 : Couche constituée à 80% d'éboulis d'éclats rocheux de 2 cm d'épaisseur, 10 à 20 cm de long et 2 à 10 cm de large mêlés à 20% de matrice argileuse de couleur brun moyen. Ces fragments de roche proviennent probablement d'un chantier situé juste au nord-est de l'espace sondé. Sur le dessus de cette US, un tesson de panse d'amphore italique a été recueilli (Tab. 13).

US 2 : Niveau constitué par d'abondantes plaquettes rocheuses mêlées à des charbons nombreux de 2 à 4 cm de côté. Ces plaquettes, rougeâtres, d'1 cm d'épaisseur pour une largeur de 10 à 20 cm, ne sont pas accompagnées de sédiment. Elles s'apparentent à un rejet massif d'un chantier proche. Des charbons ont été prélevés pour datation.

US 3 : Niveau constitué de plaquettes similaires à l'US 2, mais ne contenant presque pas de charbons.

US 4 : Remblai très aéré, sans matrice, contenant de gros éclats de dolomie. On relève la présence de rares charbons de petite taille (< 1 cm) et de blocs plus gros à la base de l'US, atteignant 20 cm par 30 pour 5 cm d'épaisseur. Certains blocs présentaient des traces vertes de carbonates de cuivre.

US 5 : Niveau reposant sur la sole composé d'un gravier très grossier lié à un peu d'argile. On note quelques rares charbons, provenant peut-être des couches supérieures.

Ce comblement révèle au moins deux phases. Tout d'abord, l'US 5, sur la sole, correspond à une phase d'activité. Elle s'est formée suite à l'ouverture de la partie basse du chantier, comme les graviers qui la composent le laissent à penser. La petite proportion d'argile contenue dans l'US 5 nous montre que le chantier a pu rester ouvert un certain temps, permettant une petite sédimentation. Ensuite, l'espace laissé libre est utilisé pour stocker des blocs stériles qui constituent l'US 4. Ce stockage au contraire a été rapide, ce qui donne ce niveau aéré. Les US 3 et 2 sont constituées de déchets d'abattage au feu : plaquettes de roche et charbons. La présence des charbons dans l'US 2, en haut de la stratigraphie, et le fait que les charbons soient mélangés aux plaquettes ne permet pas de conclure, comme cela avait été envisagé lors de la réalisation du sondage, à des bûchers d'abattage laissés en

place à la fin de l'activité. Nous avons en effet pu constater que dans ces cas-là, on retrouve un lit de charbons à la base de la stratigraphie, charbons qui sont recouverts des plaquettes rocheuses abattues (par exemple à Rougé, SD1 – cf. p. 192, ou encore à La Coustalade, SD2 – cf. p. 222). Nous nous trouvons ici dans la configuration d'un dépotoir : les résidus d'abattage sont évacués d'un chantier sûrement proche et stockés dans l'espace laissé vide ici. De plus, la hauteur de l'ouvrage est bien trop importante pour considérer que le haut du chantier ait pu être attaqué directement depuis le niveau des remblais. Et cela d'autant plus qu'ils se situent au niveau de l'étage inférieur ouvert à l'outil.

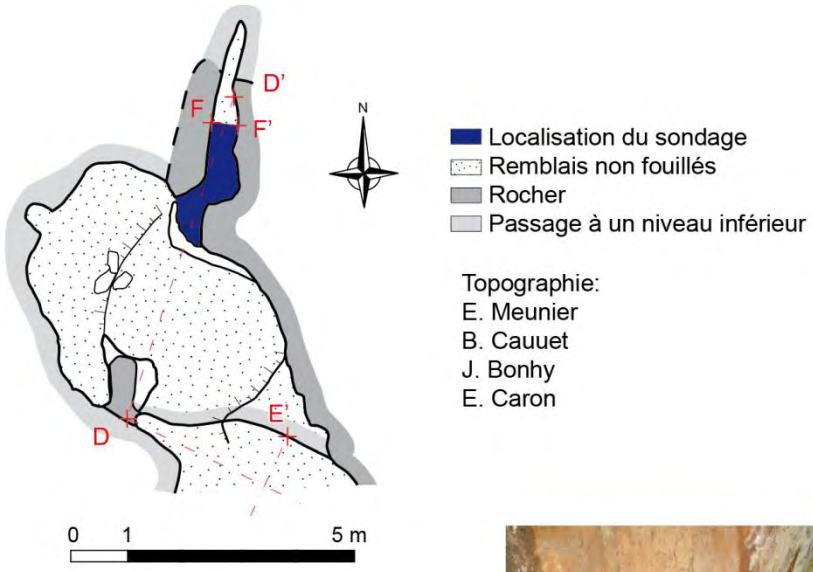
Le manque d'expérience dans l'interprétation du type de remplissage a conduit à choisir des charbons pour la datation qui s'avèrent ne pas être les plus judicieux. L'US 2 dont ils proviennent correspond certes à une phase d'activité proche, mais que l'on ne peut pas localiser précisément. Des charbons de l'US 5 auraient permis de caractériser la phase de creusement à l'outil de la partie basse. L'orientation des recherches sur les autres sites à partir de 2015 et jusqu'à l'été 2017 a fait que ces éléments n'ont pas été repris.

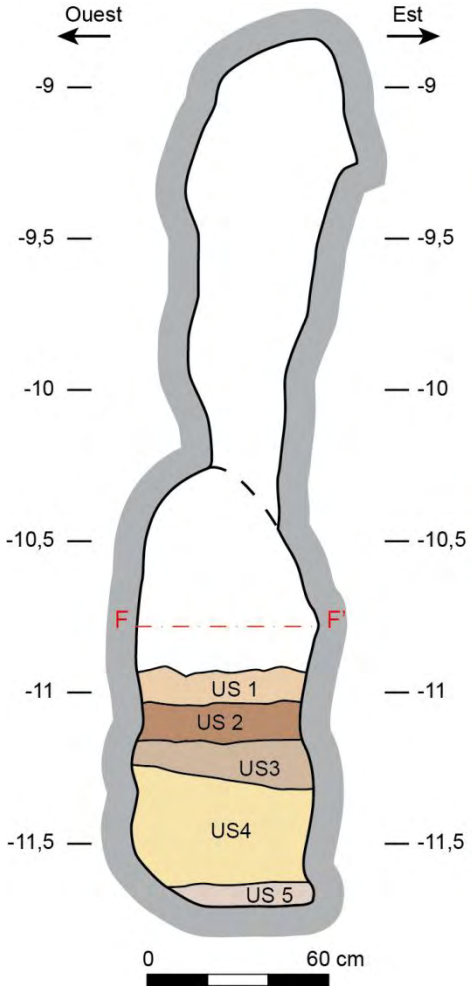
La datation obtenue sur le charbon de l'US 2 nous situe à la période médiévale, au XIV^{e} siècle[79] (Fig. 123). Cela correspond à la datation obtenue par C. Dubois pour l'extrémité sud du réseau (Dubois 1996, p. 39)[80] et est cohérent avec des tessons de céramique vernissée localisés à la surface des remblais en plusieurs points des travaux, notamment dans le chantier nord présenté à la figure 119 (Tab. 13). La datation réalisée en 1992 a été faite sur des charbons résiduels de l'abattage au feu, prélevés pour identification anthracologique. Le profil particulier de ce secteur et sa position très éloignée du jour indiquent qu'il ne s'agit pas du démarrage de l'exploitation et que ce secteur correspond très probablement à une reprise. Les déblais de l'US 2, bien que plus près de l'entrée, correspondent très certainement à une reprise postérieure à la phase de travail à l'outil de la partie inférieure du chantier sondé.

Pour la ou les phases antérieures à la période médiévale, on dispose de l'indication donnée par des tessons de panse d'amphores italiques (non ramassés) qui sont nombreux à être mêlés aux remblais à proximité de l'entrée, en plus de celui identifié à la surface du sondage (Tab. 13). Cela nous indique une activité au I^{er} s. av. n. è., tout comme dans le réseau Est, ce qui est assez logique. L'état des recherches ne permet pas d'être plus précis.

79 Datation ETH-55853 : 622 ±27 BP soit 1293-1333 et 1336-1398 cal AD. Branchette d'aulne de 4 cernes avec écorce.

80 Datation Gif-8926 : 520 ±50 BP, effectuée sur branchette de hêtre de 7 à 8 cernes.





Vue générale du chantier après fouille, vers le nord (cliché B. Cauuet). On distingue les traces d'outil au premier plan dans la partie basse du chantier.

Fig. 122 : Sondage dans le réseau du Goutil Ouest.

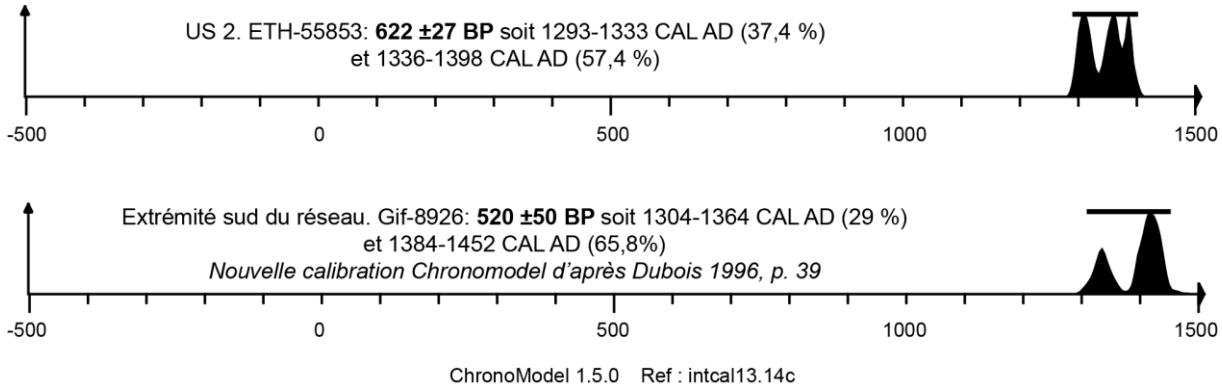


Fig. 123 : Datations radiocarbone du Goutil Ouest.

c. Les données de surface

Le relief autour de la mine du Goutil est peu prononcé et donc favorable à des installations que ce soit pour l'habitat des mineurs ou des ateliers. Cinq sondages avaient été ouverts au nord de cette mine par C. Dubois et nous avons pu réaliser une prospection géophysique dans la parcelle située de l'autre côté de la route (Fig. 102, p. 234). La prospection géophysique, par mesure de la résistivité électrique et de la susceptibilité magnétique, n'a rien révélé qui puisse être mis en relation avec des structures archéologiques (Meunier 2015, pp. 20-21). L'ancien exploitant de la parcelle nous avait pourtant signalé ses récoltes fréquentes de fragments d'amphores dans ce champ de pommes de terre. Sur les cinq sondages réalisés, le 1, le 3 et le 4 n'ont livré que des couches de haldes et de remblais, témoignant de l'exploitation au feu dans la mine proche. L'épaisseur du comblement sédimentaire dans les sondages 3 et 4, dépassant les 3 m, montre l'évolution importante de la topographie entre la période de fonctionnement des mines et aujourd'hui (Dubois & Métailié 1991, pp. 49-53 ; Dubois & Métailié 1992, pp. 35-36 et fig. 17). Plusieurs des niveaux de remblais étaient porteurs de mobilier (Tab. 13). La sphère domestique est représentée par des amphores, de la céramique commune et campanienne et des tuiles. Des scories de fer et une scorie cuivreuse témoignent d'une activité de forge, très probablement destinée à subvenir aux besoins de la mine, et du traitement sur place du minerai du cuivre (Dubois *et al.* 1997, p. 205).

Les sondages 2 et 5 ont conduit chacun à la mise au jour d'une fosse (Dubois & Métailié 1992, pp. 36-39 et fig. 18 à 25). Dans le sondage 2 (Fig. 124), la fosse est ouverte dans le terrain argileux naturel, et scellée par une fine couche argileuse (US 5) avant d'être recouverte de remblais et de haldes (US 2 à 3). Son comblement (US 6) renferme des petites scories cuivreuses et des fragments de paroi scorifiées, 4 clous et de nombreux tessons de céramiques variées et d'amphores. L'US 5, épaisse de 5 à 10 cm et horizontale, pourrait s'apparenter à un épandage marquant un niveau de sol. Hormis les tessons d'amphores, cette US a également livré des tessons de céramique commune non tournée. Les haldes que l'on rencontre au-dessus contenaient également des amphores Dr. 1A et de la céramique commune, accompagnées en haut de la stratigraphie par des tessons de céramique

vernissée. Le fond d'une structure circulaire de 10 cm de diamètre a été identifié dans le substrat, au sud de la fosse (US 8).

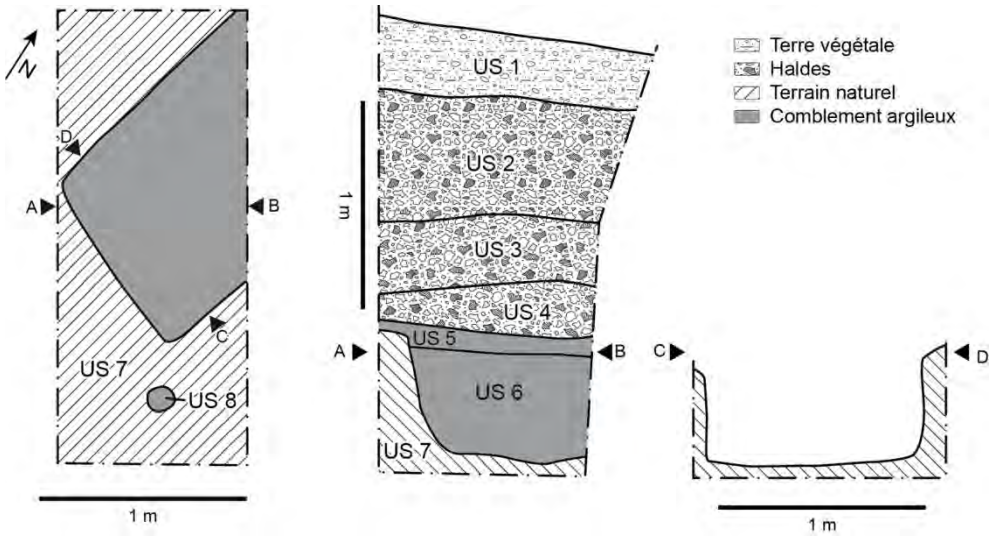


Fig. 124 : Sondage de surface nº2, Le Goutil, d'après Dubois & métailié 1992, fig. 18.

Dans le sondage 5, la fosse s'ouvre dans des niveaux de remblai ou de sédimentation argileuse et atteint sur le fond le terrain naturel. Son bord était délimité par des blocs disposés grossièrement. Elle est comblée par une argile brune compacte renfermant de la céramique commune, des tessons de Dr. 1A et un petit morceau de scorie coulée (US 4). Le remblai recoupé par cette fosse (US 3) n'a pas livré de mobilier. Le second niveau de remblai (US 2), qui recouvre la fosse, contenait pour sa part de nombreux tessons de Dr. 1A et différents types de céramique commune, ainsi qu'un pic et un coin de mineurs, en fer (Fig. 126, 3 et 4). Leur position au sommet de la stratigraphie, dans une US de remblai, ne permet malheureusement pas de préciser leur chronologie, mais témoigne du travail à l'outil observé dans les réseaux.

Ces éléments ne permettent pas de restituer précisément l'occupation de l'espace autour des mines. La chronologie donnée par le mobilier couvre le I^{er} s. av. n. è. et pourrait remonter à la fin du II^{e} s. av. n. è. selon les tessons de campanienne et d'amphore Dr. 1A. Par contre, un bord de jatte à double sillon externe en céramique commune provenant de la fosse du sondage 2 (US 6, Fig. 126, 2) daterait quant à lui de la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. (Dubois & Métailié 1992, p. 37). L'association de ce mobilier avec les haldes confirme une phase d'exploitation de la mine à cette période, comme on pouvait le supposer avec le mobilier récolté dans les réseaux. Il indique aussi par son type la présence d'un habitat pour les mineurs dans les environs immédiats, sans que l'on puisse pour le moment préciser son emplacement. Les scories confirment quant à elles que le traitement du cuivre se faisait sur place pour la phase d'exploitation tardo-républicaine, et qu'une forge accompagnait le travail des mineurs. Là encore, les deux fosses mises au jour ne permettent pas de localiser ces structures avec précision, bien que les scories cuivreuses de la fosse du sondage 2 inciteraient à en restituer un dans un rayon très proche.

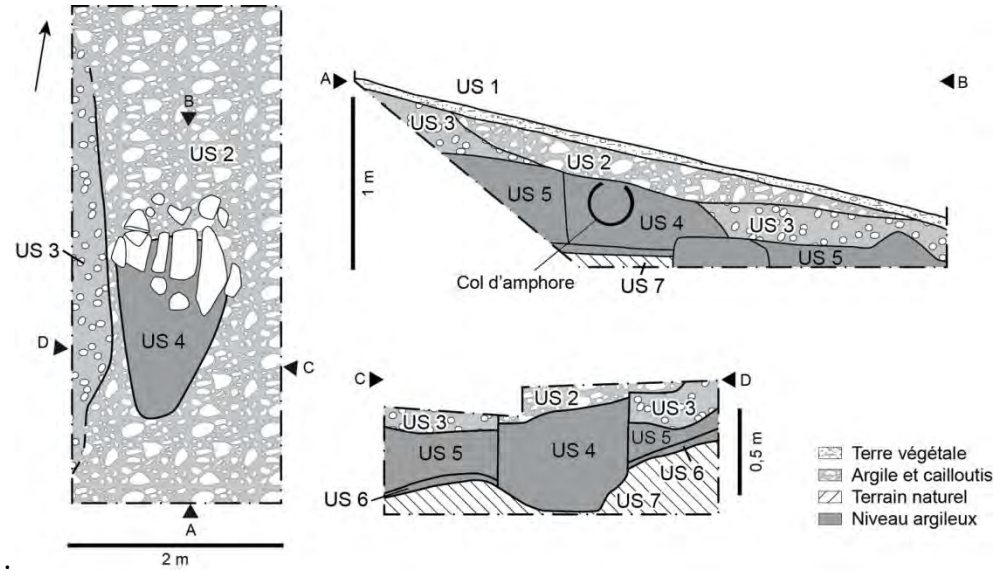
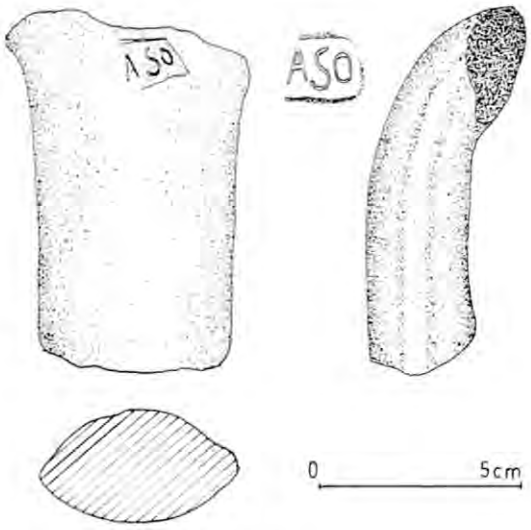


Fig. 125 : Sondage de surface nº5, Le Goutil, d'après Dubois & métailié 1992, fig. 22.

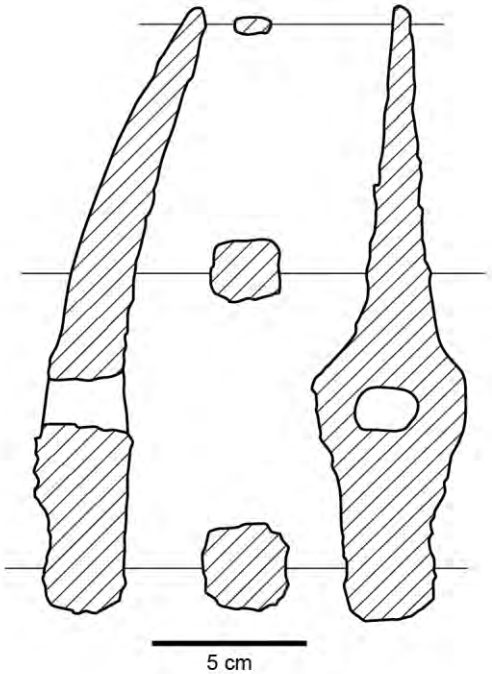
Catégorie	**Type**	**NR**	**Commentaire**
Amphore	Italique	-	Réseau Ouest : sondage, US 1 et remblais ; Réseau Est : remblais ; Labours.
Amphore	Indéterminé	8	Sondage 1, US 2
Céramique	Vernissée	-	Réseau Ouest : remblais ; Sondage 2, US 2.
Céramique commune	Mortier	1	Réseau Est : remblais
Amphore	Dr. 1A	-	Réseau Est : remblais ; Sondage 1, US 1, 2 et 3 ; sondage 2, US 2, 3, 4, 5 et 6 ; sondages 3 et 4, US 2 ; sondage 5, US 2 et 4.
Amphore	Dr. 1A	1	Réseau Est: remblais. Marque ASO (Fig. 126, nº1)
Céramique commune	Cuisson réductrice, tournée	> 130	Réseau Est : remblais ; Sondage 1, US 2 ; Sondage 2, US 6 (Fig. 126, nº2) ; Sondage 5, US 2 et 4.
Céramique commune	Cuisson réductrice, non tournée	> 51	Sondage 2, US 5 et 6 ; Sondage 5, US 2.
Campanienne	Indéterminé	3	Labours ; Sondage 1, US 2 ; Sondage 2, US 6.
Céramique ampuritaine	Gobelet gris	2	Sondage 2, US 6.
Céramique commune	Cuisson oxydante à engobe blanc	2	Sondage 2, US 6 ; Sondage 5, US 2.
Céramique commune	Pâte claire	2	Sondage 5, US 2.
TCA	Tuile *imbrex*	> 1	Sondage 1, US 2.
Scorie	Réduction et forge	-	Sondage 1, US 1et 2.
Scorie	Cuivreuse	1	Sondage 1, US 2 ; sondage 2, US 6.
Métal	Pic en fer	1	Sondage 5, US 2 (Fig. 126, nº3).
Métal	Coin en fer	1	Sondage 5, US 2 (Fig. 126, nº4).
Faune	Os et dents	> 23	Sondage 1, US 2 ; Sondage 2, US 6 ; Sondage 5, US 2.

Tab. 13 : Inventaire synthétique du mobilier du Goutil.

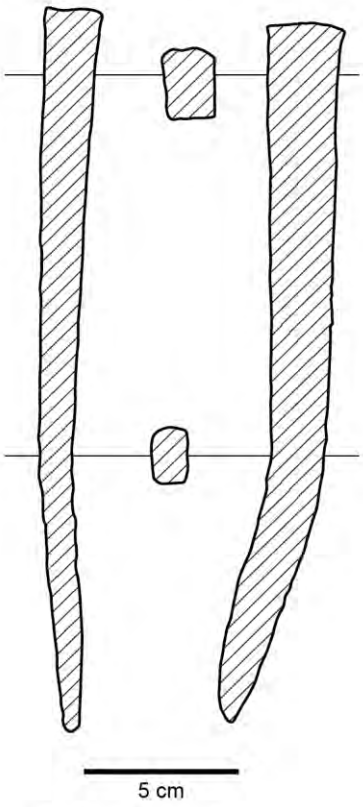


1. Réseau Est, sur remblais.
Anse d'amphore Dressel 1A avec marque ASO
(Guilbaut 1981, fig. 9)

2. Sondage 2, US 6
Céramique commune à cuisson réductrice
Jatte à double sillon externe
(Dubois & Métailié 1992, fig. 21-7)



3. Sondage 5, US 2
Pic en fer
(Dubois & Métailié 1992, fig. 24)



4. Sondage 5, US 2
Coin en fer
(Dubois & Métailié 1992, fig. 25)

Fig. 126 : Dessin du mobilier remarquable du Goutil.

III. C. 4. Mine d'Hautech (Larbont)

Le site d'Hautech est l'un des plus étendus du district (Fig. 127). Dix-sept vestiges miniers y sont répartis sur un espace de 200 m nord-sud pour 150 m est-ouest, entre 510 et 590 m d'altitude. Ils se trouvent à 500 m à l'ouest des travaux de La Tuilerie présentés plus haut. Une zone travaillée mais perturbée par les plantations de pins se situe entre ces deux ensembles. Cinq ouvrages miniers sont encore accessibles en souterrain, les autres sont comblés. Les références anciennes à ce site sont rares malgré l'étendue des ouvrages miniers et se limitent à des mentions de vieux travaux. Les archives géologiques ne sont guère plus précises, aucune reprise récente n'étant connue (Bertraneu 1958, p. 6). Les travaux de thèse de B. Fournier-Angot signalent tout de même des grattages pour l'exploitation de la barytine qui pourraient dater du début du XX^{e} siècle (Fournier-Angot 1983, p. 167).

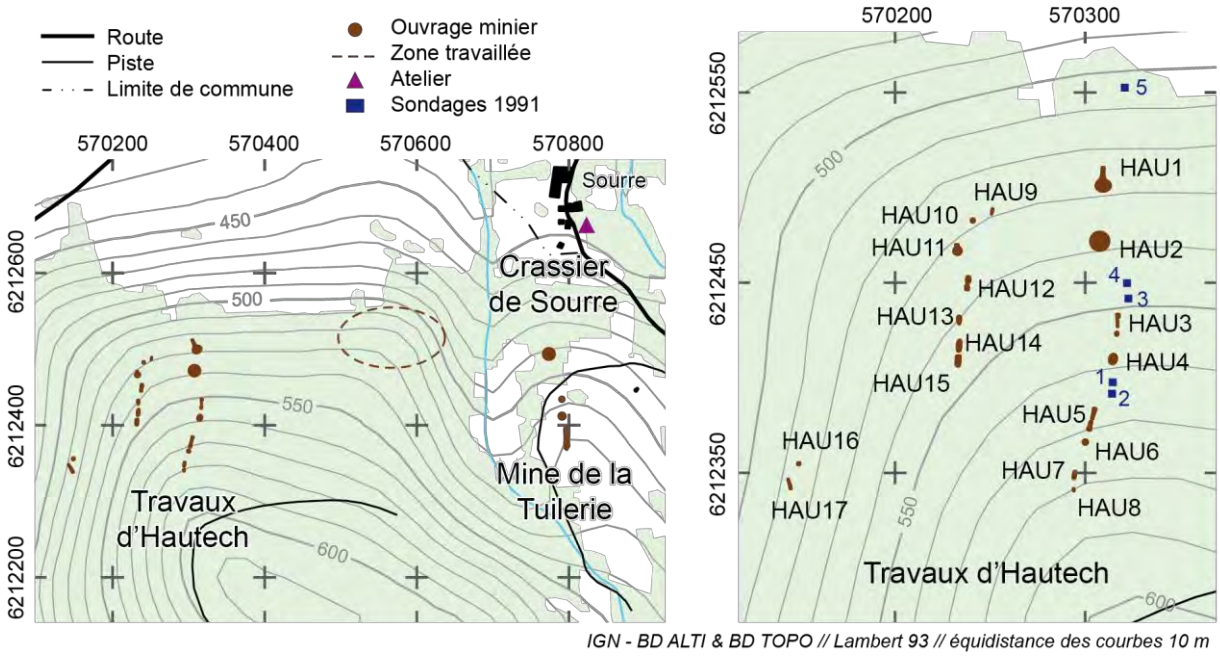


Fig. 127 : Localisation des travaux d'Hautech (Larbont).

Deux contextes géologiques sont signalés sur ce site. Le premier, décrit à partir du chantier HAU3, correspond à une fracture minéralisée en cuivres gris à gangue de quartz et barytine en proportions variables. L'encaissant est une dolomie bleu-gris dévonienne inférieure ou moyenne, près du contact avec les terrains plus récents (Fournier-Angot 1983, p. 167). Le second contexte, décrit pour le chantier HAU9, correspond à un encaissant plus récent, la dolomie du Muschelkalk, renfermant une minéralisation interstratifiée (Dubois & Guilbaut 1982, p. 109). L'absence d'étude géologique d'ensemble ne permet pas de préciser où se trouverait la limite entre ces deux contextes.

Les premières prospections réalisées sur ce site n'avaient conduit à l'identification que de deux chantiers, correspondant à HAU9 et HAU3 sur la numérotation actuelle (Dubois & Guilbaut 1982, pp. 108-111). Les travaux de 1991, en collaboration avec des spéléologues, ont permis d'approfondir la connaissance de ce site (Dubois & Métailié 1991, pp. 26-45). Des

ouvrages remblayés, non décrits individuellement, sont alors signalés et un chantier vertical de grande envergure a pu être exploré après équipement spéléologique (HAU5 actuel). Les deux ouvrages isolés au sud-ouest (correspondant à HAU16 et HAU17) sont également décrits dans le rapport de cette campagne. Cinq sondages ont été réalisés à l'extérieur des travaux, en 1991 également, ainsi que des prélèvements de charbons à l'intérieur des chantiers HAU9 et HAU5 pour une étude anthracologique, sur laquelle nous reviendrons plus bas (point IV dans ce chapitre, p. 297).

Dans le cadre de cette thèse, l'activité sur ce site a consisté tout d'abord en une prospection systématique du versant autour des mines. L'emplacement des vestiges miniers a été relevé au GPS. Ensuite, les chantiers HAU9, HAU5 et HAU16 ont été explorés plus en détail, et un sondage réalisé dans la mine HAU9. Les observations dans les chantiers HAU5 et HAU16 ont été rendues possibles grâce à l'accompagnement des spéléologues du club de l'Arize[81], qui se sont chargés de rééquiper le premier site et de sécuriser l'accès à la partie profonde du second.

a. Présentation d'ensemble des travaux

Les ouvrages miniers sont répartis suivant trois corps de minéralisation principaux (Fig. 127, à droite). Le premier, à l'est, a donné lieu à huit ouvrages distribués sur près de 200 m nord-sud. Le deuxième correspond aux chantiers HAU9 à HAU15, échelonnés sur une centaine de mètres nord-sud. Enfin, les mines HAU16 et HAU17, distantes d'une dizaine de mètres en surface, communiquent en souterrain et ont exploité ce qui constitue le troisième corps de minéralisation. La végétation abondante autour de ces travaux a parfois empêché de les photographier.

Les chantiers miniers ont attaqué la minéralisation depuis l'affleurement, par le biais de petites fosses, de puits ou de tranchées qui ont été approfondis. L'usage du feu semble être largement majoritaire sur les parois observables des différents ouvrages. Il faut tout de même signaler que les concrétions de calcite sont très fréquentes et limitent les observations sur bon nombre de parois. À l'exception des fosses HAU14 et HAU15, de plan rectangulaire (1,8 x 3 m), les autres fosses sont circulaires ou elliptiques (HAU2, HAU4, HAU8, HAU11, HAU13). Leur taille oscille entre 2 et 5 m de diamètre, la fosse HAU2 étant la seule à atteindre 10 m de diamètre (Fig. 128, a). Une autre d'entre elles pourrait correspondre à une tête de puits bouchée (HAU6, diamètre 2 m). L'exemple de la fosse marquant l'emplacement de la mine HAU10 montre toutefois que ces petites entrées circulaires peuvent correspondre au départ de chantiers inclinés (ici accessibles sur 5,2 m de profondeur pour 35º d'inclinaison). Le chantier HAU12 est composé de deux fosses comblées séparées par un pilier central qui doivent communiquer en souterrain (Fig. 128, b). Cette configuration se retrouve dans le chantier HAU5, où l'on trouve deux têtes de puits circulaires séparées par un pilier résiduel dans le prolongement de la tranchée qui sert d'accès aujourd'hui (Fig. 128, c).

[81] Nicole Ravaïau, Jean Bayot, Léna Olivier, Pierette Courillon-Havy et Richard Lebas.

a. Fosse HAU2, contre le versant, vue vers le sud.

b. Fosse double HAU12, avec pilier central, vue vers le sud.

c. Double tête de puits du chantier HAU5, vue vers le sud.

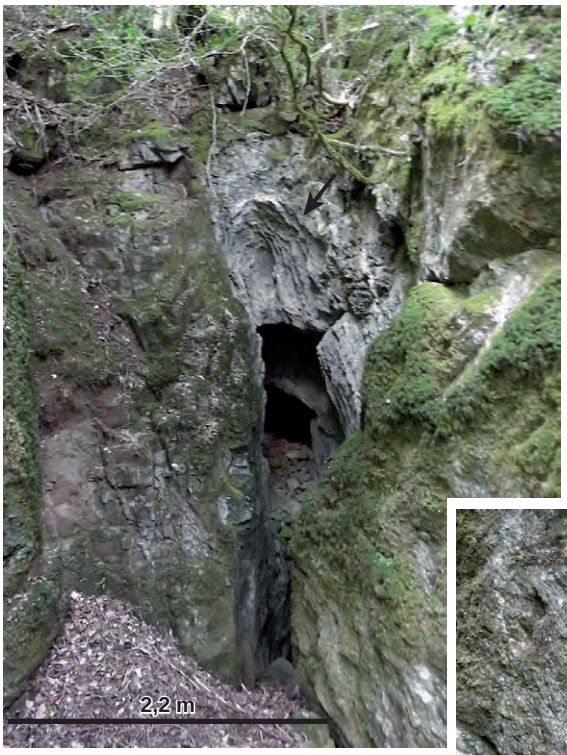
Fig. 128 : Fosses simples ou doubles à Hautech.

Les chantiers HAU3 et HAU7 se présentent sous la forme d'une tranchée. Celle du chantier HAU7 (L=4 m ; l= 1,8 m max) est comblée, mais on devine un prolongement en souterrain avec la partie supérieure d'une galerie visible juste au niveau du comblement (Fig. 129, b). Pour HAU3, la tranchée a été approfondie et élargie, et elle communique vers le sud avec un puits obturé (Fig. 129, photo a et relevés). Un front de taille suspendu témoigne des

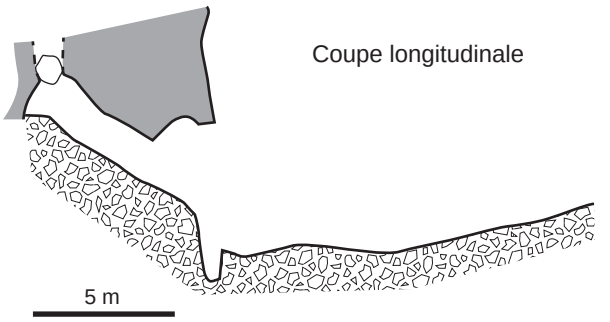
premières phases de l'exploitation de ce chantier, qui s'est de fait déroulée majoritairement à ciel ouvert. Une série de trois encoches quadrangulaires est visible sur le parement ouest, entre 0,6 et 1,9 m de hauteur par rapport au sol actuel. Il s'agit probablement des négatifs d'un système de boisage, qui ne peut être restitué dans l'état actuel des connaissances (Fig. 129, a). La sole des travaux n'est pas visible sous les remblais et la végétation ; l'exploitation pourrait se poursuivre en profondeur. Le chantier HAU17 a également été exploité sous forme de tranchée, longue (>15 m) et étroite (0,8 à 1,2 m). Sa profondeur totale n'est pas connue, car elle est remblayée et envahie de végétation (Fig. 129, c).

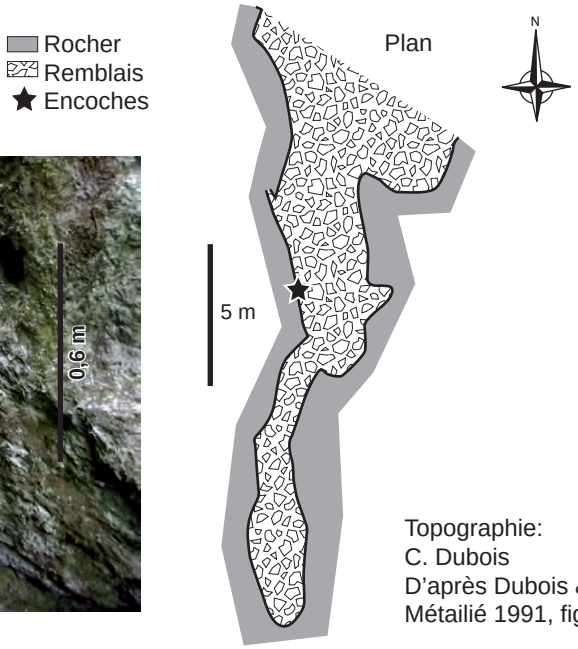
Les mines HAU9 et HAU16 correspondent à des chantiers dont l'inclinaison est visible dès l'ouverture à flanc de versant. Le chantier HAU9, qui a fait l'objet d'un sondage, sera présenté en détail plus bas. Le chantier HAU16, souvent complètement noyé, a pu être exploré et photographié en 2017. Un relevé partiel du cheminement topographique permet d'en préciser les dimensions (Fig. 130, en haut). Cet ouvrage se développe sur plusieurs étages et est accessible jusqu'à une profondeur de 5 m vers le nord et 11,5 m vers le sud. Le chantier a été foncé principalement en suivant l'inclinaison de la minéralisation (Fig. 130, a et d), mais une petite salle voûtée à 4 m de profondeur vers le sud montre une autre façon de conduire les travaux (Fig. 130, b). Une seconde salle au profil globalement incliné, qui constitue la limite du secteur accessible au sud, pourrait correspondre à un élargissement des travaux (Fig. 130, c). Cette salle communiquait au sud-ouest avec la partie profonde de la tranchée HAU17, actuellement colmatée (contact sonore entre les deux ouvrages à travers le remblai). Les travaux se poursuivent vers le nord sur une profondeur inconnue du fait du comblement et de l'ennoyage des travaux (Fig. 130, d). Les parties visibles des parois ne présentent pas de traces d'aménagements destinés à faciliter la circulation entre les différents niveaux.

Enfin, le point HAU1 correspond à une large dépression à l'extrémité nord du premier corps minéralisé. Adossé au versant, cette dépression a une profondeur maximale de 1,5 m et se poursuit vers le nord par une tranchée peu marquée (Fig. 131). Le fond de la fosse est tapissé de blocs stériles que l'on devine à travers la végétation. Le sondage 5 de 1991 a été implanté dans une halde en contrebas de cet ouvrage.



a. HAU3, vue vers le sud. Un négatif d'étage d'exploitation est visible en hauteur (flèche). À droite, détail des encoches au parement ouest.



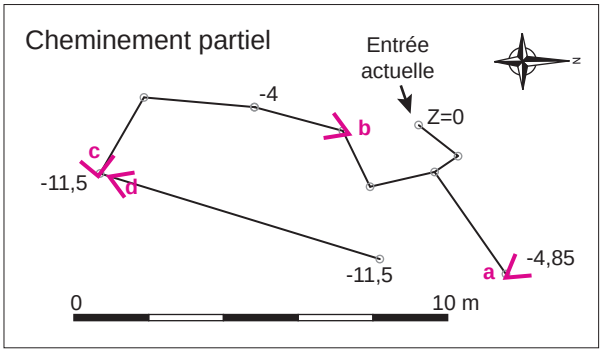


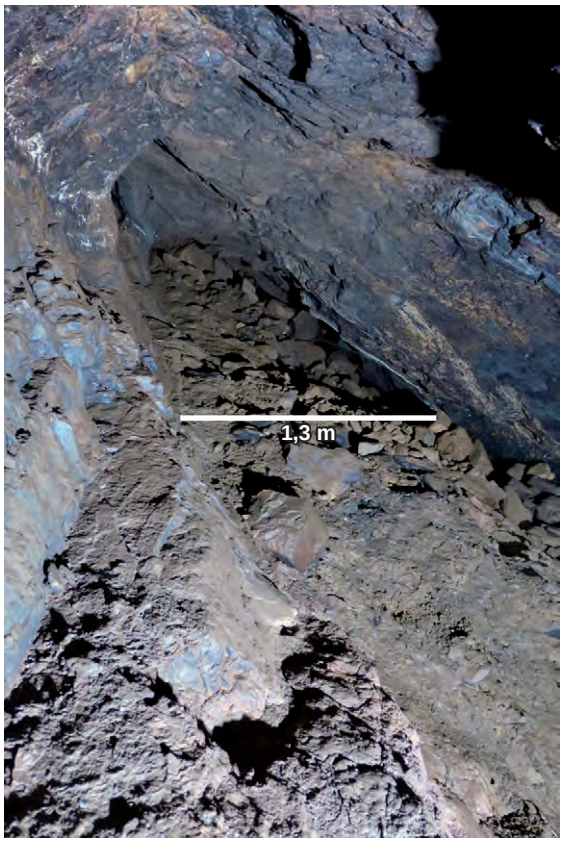
Topographie:
C. Dubois
D'après Dubois &
Métailié 1991, fig. 5

b. HAU7. Vue vers le sud. On distingue à l'arrière-plan le départ en souterrain bouché (fèche).

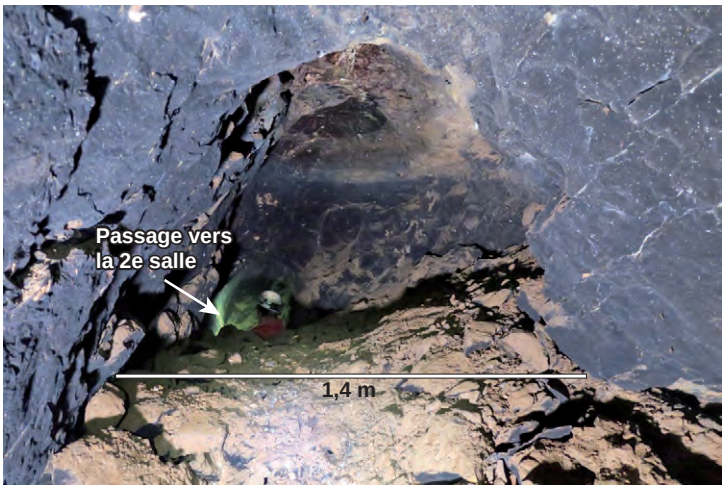
c. HAU17, vue vers le sud. Extrémité nord de la tranchée, où l'on a le contact sonore avec le chantier HAU16.

Fig. 129 : Chantiers en tranchée du site d'Hautech.



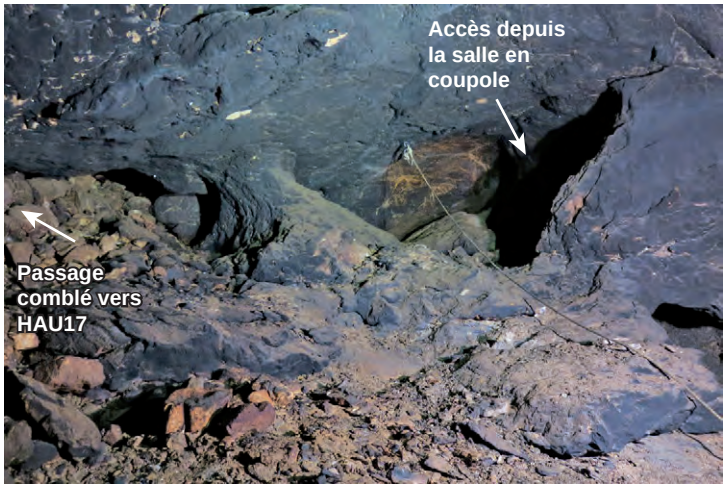


a. Vue du secteur nord des travaux, vers le nord. Chantier incliné remblayé, qui se pousuit vers le haut et le bas.



b. Vue de la petite salle en coupole, vers le sud.

c. Secteur noyé au fond des travaux, vers le nord.



d. Vue de la 2e salle, vers l'ouest et de bas en haut.

Fig. 130: Chantier incliné HAU16.

Fig. 131 : Dépression HAU1 prolongée par une tranchée peu marquée, vue vers le nord.

Les prospections réalisées sur le versant n'ont pas permis de localiser d'emplacement pouvant correspondre à un habitat ou à un atelier. Le hameau de Sourre, qui abrite un crassier de traitement du cuivre gris daté de la deuxième moitié du I^er^ s. av. n. è. (Dubois *et al.* 1997, p. 207), pourrait être le lieu choisi par les mineurs pour s'installer. Les pentes raides autour des travaux ne sont pas spécialement propices à des aménagements. La prospection du seul champ labouré en contrebas n'a rien donné. Le sommet de la colline était occupé par une ferme aujourd'hui en ruine. Si des installations anciennes se trouvaient également sur ce point haut, aucune trace n'en est visible actuellement. Par contre, les tessons d'amphores italiques sont nombreux au sol, en particulier autour des mines HAU2, HAU3, HAU5 et HAU9, malgré la végétation. Une phase d'activité au I^er^ s. av. n. è. est donc certaine (voir la synthèse du mobilier de ce site, Tab. 14).

Les sondages réalisés par C. Dubois n'ont pas livré de structure archéologique en place mais différents niveaux de remblais et de haldes associés à du mobilier céramique (Dubois & Métailié 1991, pp. 39-44). Le sondage 1 a livré un niveau de halde reconnaissable par la présence de blocs et écailles de dolomie associés à des charbons, reposant sur le substrat. Ces haldes remplissaient également une petite fosse profonde de 0,5 m, creusée dans le substrat, non décrite. Le terrain naturel a été atteint à 1,6 m de profondeur. Des tessons d'amphore Dr. 1A sont signalés dans la halde, ainsi qu'un bord à bourrelet interne en céramique commune grise. Les sondages 2 et 3 présentent la même stratigraphie que le premier sondage, avec l'ajout d'un niveau argileux jaune mêlé à des blocs de dolomie entre la halde et le terrain naturel. Leur profondeur est respectivement de 1,1 et 0,75 m. Les amphores Dr. 1A sont encore présentes et un pied de lampe campanienne de type E de Ricci se trouvait dans les haldes du sondage 2. Le sondage 4 n'a permis l'identification que d'une couche de terre brune sur 1 m de profondeur, avec fragments de barytine et traces de carbonates de cuivre. Le substrat n'a pas été atteint. Enfin, le sondage 5 livre une

stratigraphie un peu plus développée dans laquelle alternent haldes (US 2et 7) et fines couches sableuses (US 3), parfois sous forme de lentilles (US 5 et 6). Une couche d'argile brune s'intercale entre les niveaux de haldes (US4). Le substrat n'a pas été atteint à 1,75 m de profondeur. Les haldes supérieures livrent des Dr. 1A et de la céramique commune noire à décor ondé incisé sur l'épaule, ainsi qu'une lèvre de céramique commune grise à bourrelet et un clou en fer. La couche d'argile (US 4) contenait une lèvre de Dr. 1A et une des lentilles sableuses (US 5) en a livré plusieurs tessons ainsi qu'un pilon usé en granite. Aucun mobilier archéologique n'est répertorié dans la halde inférieure (US 7).

C. Dubois propose de voir dans les US sableuses du sondage 5 des résidus de lavage du minerai, qui aurait été concassé sur place comme l'indique le pilon en granit. Le lavage aurait pu se faire grâce aux eaux de mine provenant d'une galerie d'exhaure qui déboucherait au niveau de l'ouvrage HAU1, dans la tranchée qui se développe vers le nord. Cette hypothèse est séduisante, mais ne peut être confirmée pour le moment. Aucun écoulement d'eau n'est visible au niveau de cette tranchée ; une coupe transversale en sondage permettrait de vérifier cette possibilité.

b. Le chantier vertical HAU5

Ce chantier est le plus étendu de ceux qui sont accessibles à Hautech et, malgré le fait qu'il ne soit pas daté, ses caractéristiques méritent une présentation individuelle. Il s'agit d'un ouvrage subvertical accessible après équipement spéléologique sur près de 46 m de hauteur et 88 m de longueur, orienté nord-sud (Fig. 132). La largeur varie entre 0,6 et 1,3 m. Plusieurs secteurs sont comblés et le fond des travaux est noyé (Fig. 133, c). Les concrétions de calcite sont abondantes sur les parois (Fig. 133, a) et à certains endroits à la sole. Les nouvelles explorations de ce réseau ont conduit à modifier ponctuellement le relevé de la coupe longitudinale présenté en 1991 (Dubois & Métailié 1991, p. 36). La partie profonde, dont l'équipement spéléologique est encore partiel, a pu être parcourue sur 30 m de plus par les spéléologues et l'extrémité des travaux n'est pas encore atteinte.

Les entrées de cette mine sont constituées par une tranchée qui a été approfondie (Fig. 133, a) et deux puits circulaires dans son prolongement (Fig. 128, c). Le profil des travaux montre que l'exploitation s'est faite par étages horizontaux, dont on retrouve les négatifs sur certains fronts de taille (Fig. 133, b). Des piliers de roche transversaux laissés en place jalonnent l'espace souterrain, formant parfois des petites plates-formes (Fig. 133, c). Leur présence contribue au soutènement de l'ensemble et ils ont pu avoir un rôle dans la circulation entre les différents niveaux d'exploitation. Leur relevé partiel limite cependant les possibilités de restituer l'organisation des déplacements à l'intérieur de la mine. Des encoches de petite taille (5x6 cm pour 2 à 3 cm de profondeur) ont été observées en plusieurs endroits du réseau sur les parements. Les concrétions de calcite ne permettent pas toujours de savoir si d'autres encoches leur faisaient face, et elles n'ont pas été reportées sur les relevés. On peut cependant les associer à un système de boisage pour faciliter la

circulation des mineurs ou le transport du minerai et des stériles à évacuer, comme l'avait proposé C. Dubois (Dubois & Métailié 1991, p. 44).

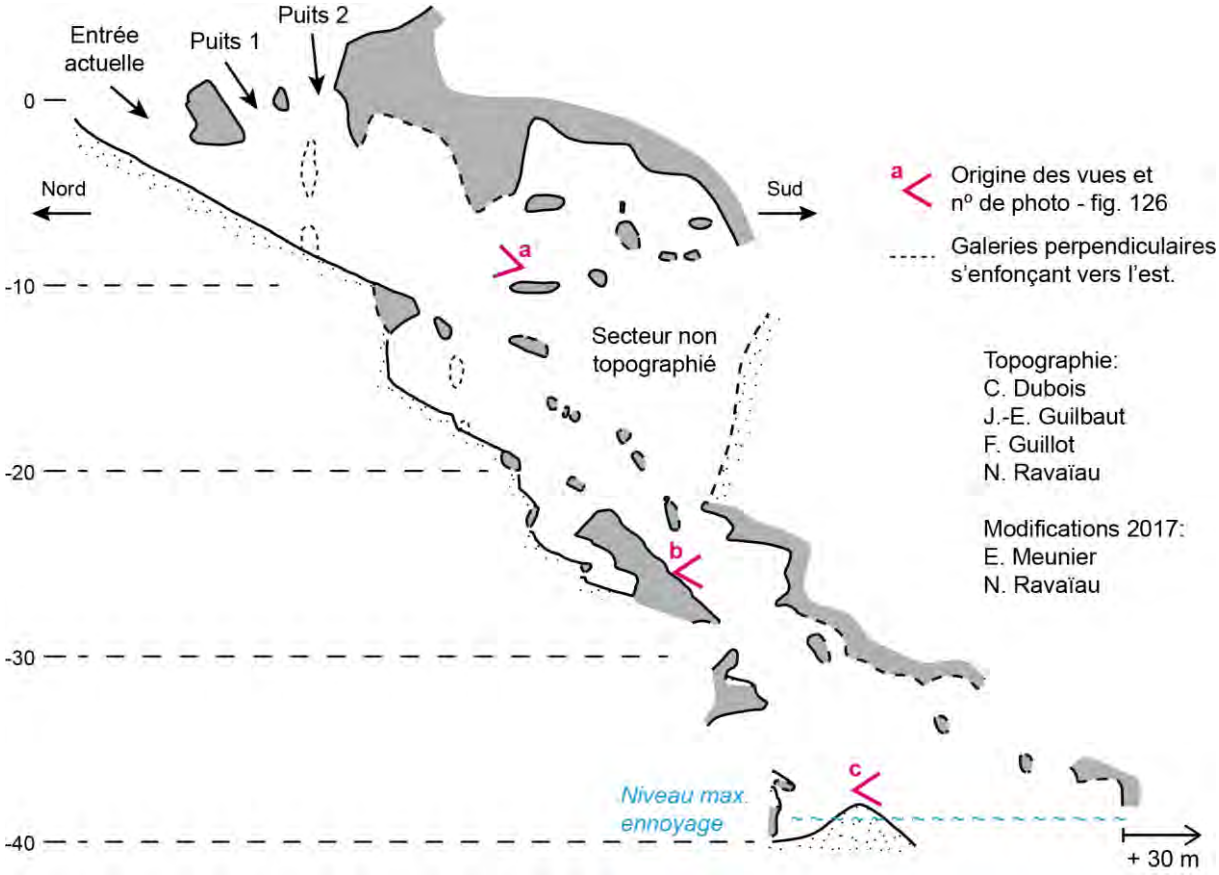
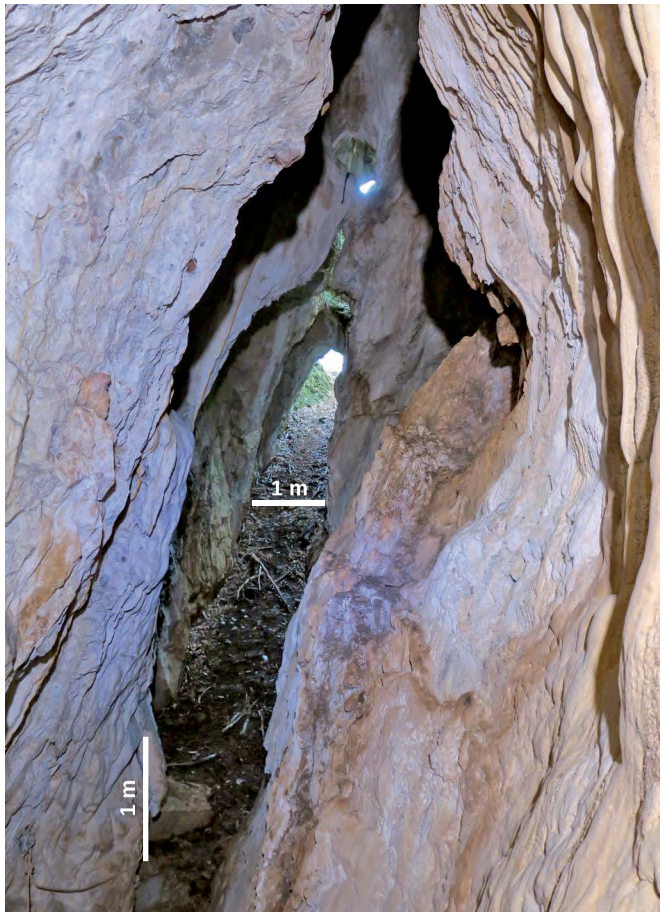


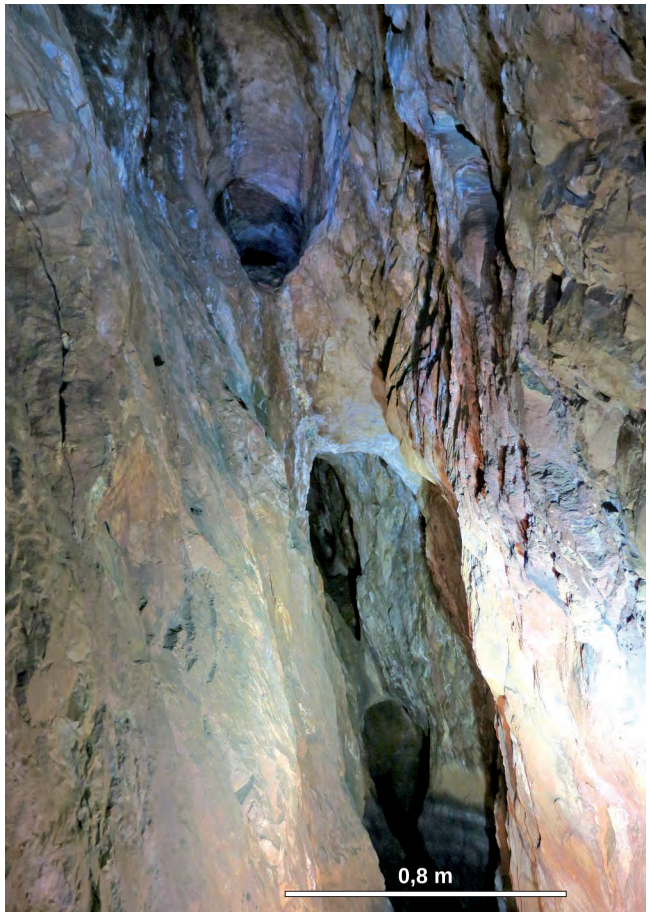
Fig. 132 : Coupe du chantier HAU5 (d'après Dubois 1996, fig. 3).

Sept galeries perpendiculaires ont été foncées à partir du chantier vertical, quatre vers l'est (Fig. 132) et trois vers l'ouest. Celles qui se développent vers l'ouest ne dépassent pas un mètre de long, ce qui les apparente à des galeries de recherche. Le cas est le même pour la galerie qui s'ouvre à l'est à la cote -16,5 avec 1,5 m de longueur. Celle qui s'ouvre à la cote -18 vers l'est est comblée, ce qui ne permet pas de connaître ses dimensions. Les deux galeries foncées à l'est aux cotes -4,75 et -8,25 correspondraient plutôt à des ouvrages d'exploitation de filons croiseurs. La première, explorée en 1991, se développe sur 4 m de long et débouche sur un puits noyé au bout de 3 m. La seconde n'est visible que sur 1 m mais elle est remblayée et noyée, ce qui peut occulter un développement plus important.



a. Entrée actuelle en tranchée du réseau, vue vers le nord depuis un des piliers supérieurs. On peut observer les coulées de calcite épaisses sur la paroi Est, à droite.

b. Coupoles superposées, vestiges des niveaux d'exploitation horizontaux suivis par les mineurs. Un petit plancher a été laissé en place entre les deux coupoles inférieures. Le filon vertical et ses carbonates de cuivre est bien visible au centre .



c. Partie basse du réseau, vue vers le sud. Au centre, un petit pilier laisse voir le filon vertical. La prolongation de 30 m vers le sud commence au niveau de la galerie que l'on distingue au centre à l'arrière-plan.

Fig. 133: Vues du chantier HAU5.

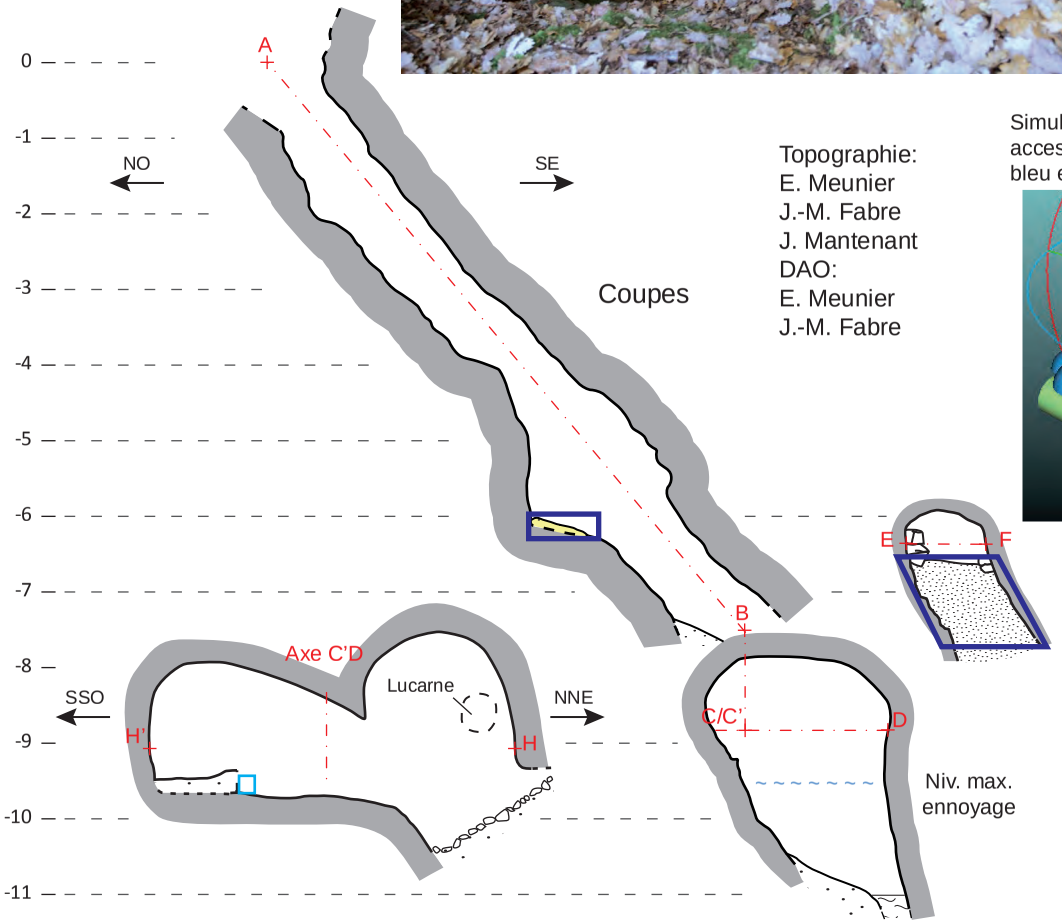
L'intérêt de ce chantier, outre ses dimensions, réside dans l'uniformité des techniques mises en œuvre pour son exploitation dans l'ensemble de l'espace accessible. Il n'a pas connu de reprise récente. Seuls deux trous cylindriques observés sur le front de taille à la cote -26 montrent un passage ponctuel au XIX^{e} ou au XX^{e} siècle. Cette homogénéité semble indiquer une seule phase de travail, ou au moins une exploitation continue par des mineurs qui utilisent la même technique minière, sans variation dans la manière d'aborder le gisement. L'absence de datation est bien sûr un handicap pour aller plus loin dans l'interprétation, qui ne pourra être levé que par la poursuite des recherches. Cette mine est également celle à partir de laquelle C. Dubois propose l'existence d'une galerie d'exhaure, qui déboucherait au niveau du point HAU1. Si cette possibilité se confirmait, elle serait la seule de tout le district à disposer de ce genre d'aménagement. Nous avons pu constater que le niveau de l'eau baissait rapidement au fond des travaux en période sèche (automne-hiver 2017), comme dans d'autres réseaux pour lesquels l'absence de galerie d'exhaure est plus claire. La possibilité d'une évacuation naturelle de l'eau, par des fissures dans la roche par exemple, a pu suffire à maintenir l'exploitation à sec, couplée à une évacuation manuelle pour les périodes ponctuelles de forte pluviosité.

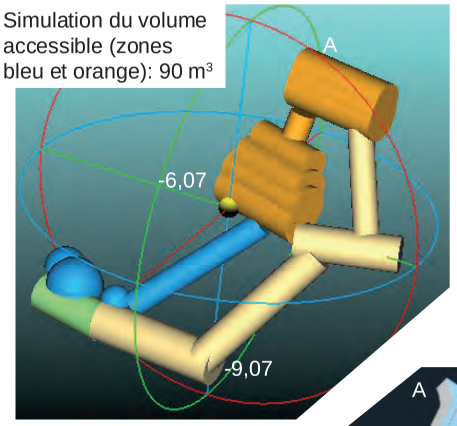
c. Le chantier incliné HAU9

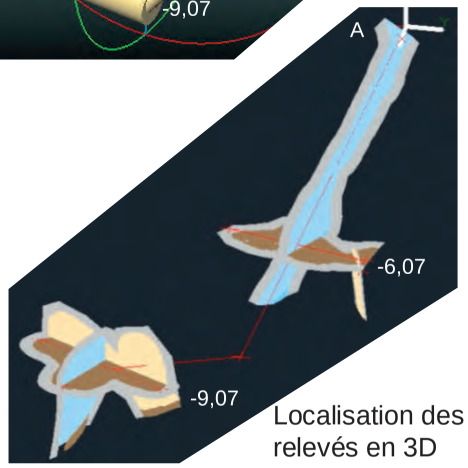
Le chantier incliné HAU9 se trouve à l'extrémité nord du deuxième groupe de travaux nord-sud. Foncé depuis l'affleurement, il est accessible sur un peu plus de 11 m de profondeur (Fig. 134). Le fond des travaux est noyé et remblayé (Fig. 135, c) mais on y distingue la partie supérieure d'un creusement qui correspond à un autre étage d'exploitation en profondeur. Un pilier stérile sépare le secteur nord remblayé du secteur sud dégagé (photo Fig. 134 et Fig. 135, a). Les étages d'exploitation situés jusqu'à la cote -8 correspondent à un ouvrage incliné qui a suivi de près la minéralisation, avec un élargissement entre les cotes -5 et -7,5 formant une petite salle triangulaire (plan Fig. 134 et Fig. 135, b). La partie inférieure présente un profil différent. Une large coupole d'ouverture au feu forme un dôme de 2,3 m de diamètre maximal donnant à cet espace un profil sphérique ouvert vers le bas (Fig. 135, c). Une extension de l'exploitation vers le sud est aussi formée par une coupole de 1,2 m de diamètre pour 1,5 m de haut. L'extrémité nord de cet étage, étroite et inclinée, est colmatée par des blocs stériles qui proviennent de la partie nord de ce petit réseau. Le profil visible correspond à ce que l'on a aux étages supérieurs. L'accès actuel à cette partie basse se fait par une petite lucarne de 50 cm de diamètre, qui a pu être percée pour faciliter la circulation de l'air lors de l'attaque au feu de ces étages (Fig. 135, b à l'arrière-plan). Aucun élément destiné à favoriser la circulation verticale des mineurs n'a été identifié dans cette mine. Les concrétions abondantes ne facilitent cependant pas les observations (Fig. 135, a et b).

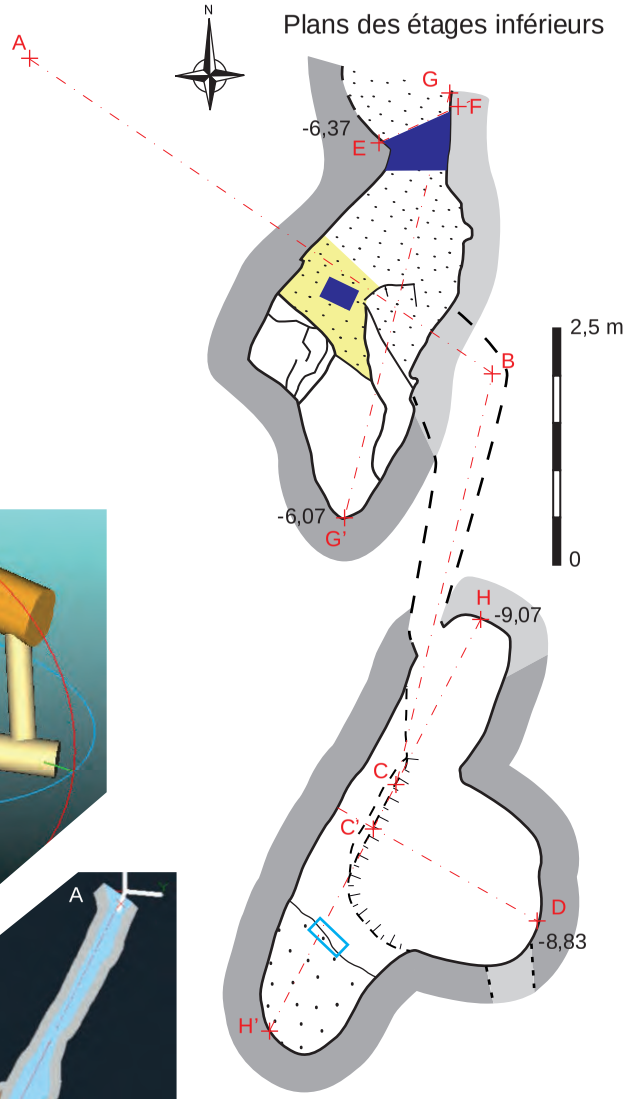
Vue de l'entrée du chantier HAU9, vers le sud-est. Remblayé au nord, le secteur sud est toujours accessible (Cliché J.-M. Fabre).

Fig. 134 : Le chantier incliné HAU9.



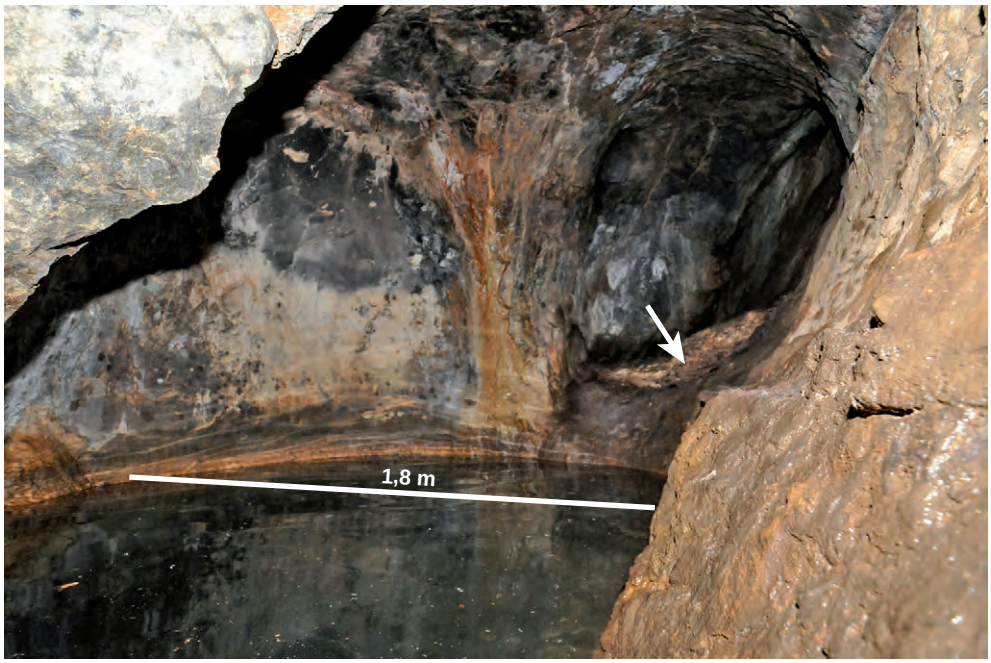






a. Pilier stérile entre les secteurs nord et sud du chantier HAU9, vu du sud, entre les cotes -4 et -6. Les concrétions abondantes scellent les blocs rocheux aux parements.

b. Salle triangulaire entre les cotes -5 et -7,5, vue vers le sud. En bas à gauche, passage en partie remblayé vers la salle voûtée qui se termine par une lucarne étroite (cliché C. Tămaş).



c. Salle voûtée inférieure, vue vers le sud, noyée après une période de fortes pluies. Au fond, renfoncement ouvert au feu à la sole duquel se trouve un niveau de charbons laissé en place après le dernier bûcher dabattage. Les charbons datés en 2014 proviennent de ce niveau (flèche).

Fig. 135 : Vues du chantier HAU9.

Deux datations radiocarbone proviennent de ce chantier. La première a été réalisée sur un charbon prélevé à la sole du renfoncement sud, à la cote -9,5 (Fig. 136, en bas). Il se trouve en effet que les charbons résiduels d'une des dernières attaques au feu sont restés en place dans ce renfoncement. Un prélèvement avait été réalisé dans ce niveau charbonneux par C. Dubois pour analyse anthracologique mais les charbons n'avaient pas été datés (Dubois 1996, p. 41). Nous avons de nouveau prélevé des charbons au même endroit, pour datation. Le résultat obtenu est médiéval, et correspond au XIV^{e} siècle[82].

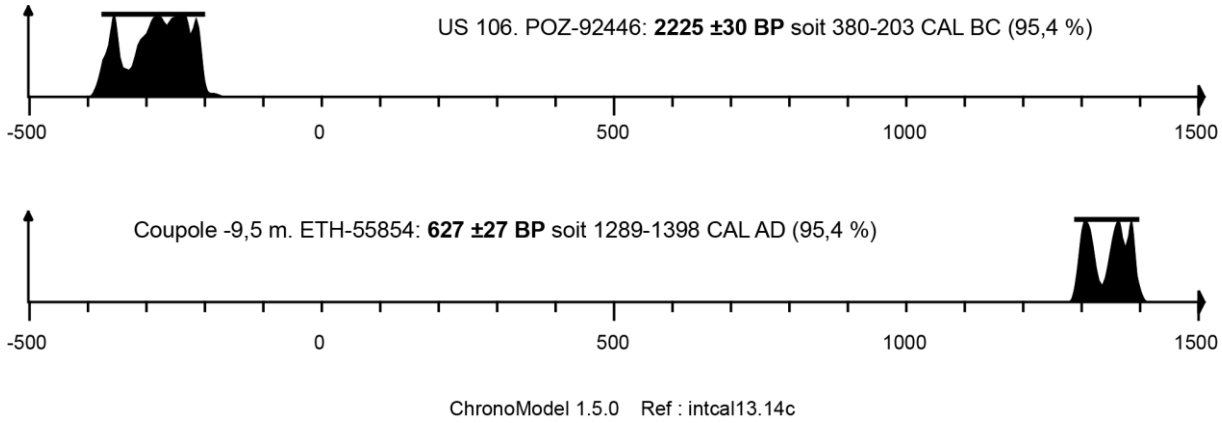


Fig. 136 : Datations radiocarbone du chantier HAU9.

Le profil dissemblable des étages supérieurs et inférieurs et la présence de tessons d'amphores italiques à la surface des remblais et à l'extérieur de cette mine ont motivé la réalisation d'un sondage dans les étages intermédiaires, plus susceptibles d'avoir conservé des niveaux d'activité anciens. Le sondage a permis de réaliser une section au niveau du passage entre le secteur sud, ouvert, et le secteur nord, remblayé, et de dégager la sole horizontale au centre de cet étage (Fig. 137). La numérotation des US est continue et plusieurs phases d'activité peuvent être identifiées.

Passage entre les secteurs nord et sud :

US 101 : Remblai massif constitué d'un sédiment limono-argileux de couleur marron incluant de nombreux blocs de calcaire stériles. Leur taille varie de 2 à 25 cm de côté, les blocs les plus gros étant concentrés dans la partie supérieure et contre la paroi est. Ceux du dessus sont concrétionnés et soudés aux parois. Cette US renfermait également de nombreux charbons de petite taille. Le mobilier y est relativement abondant, et consiste en tessons de panse d'amphores italiques. Un petit fragment de lèvre en très mauvais état semble correspondre à une Dr. 1A. Un quart de meule circulaire (*meta*) en diorite, en assez mauvais état de conservation, a également été identifié dans ce remblai. Ce fragment a pu être réutilisé en broyon.

Sole au centre de l'étage :

US 102 : Fine couche de terre limono-argileuse brune qui recouvre l'ensemble de l'espace. Cette terre provient de la surface depuis l'ouverture au jour qui sert d'accès aujourd'hui.

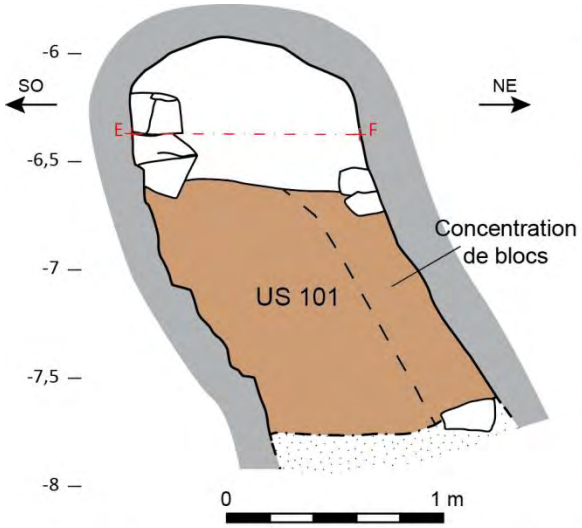
[82] Datation ETH-55854 : 627 ±27 BP, soit 1289-1398 cal AD. Brindille de hêtre à 2 cernes.

US 103 : Couche de concrétion de calcite supérieure. Cette couche a presque disparu mais on la retrouve sur la paroi rocheuse, formant un petit liseré de quelques millimètres d'épaisseur accroché au rocher, 5 à 8 cm au-dessus du sol actuel.

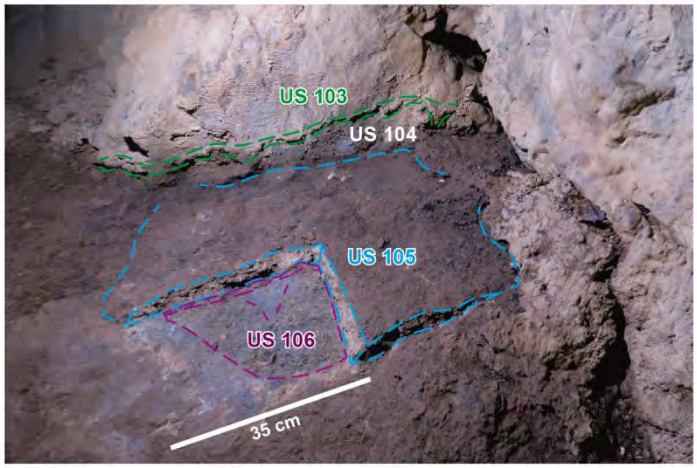
US 104 : Il s'agit du négatif du remblai qui occupait l'espace entre la couche de concrétion inférieure et l'US 103. Ce niveau a totalement disparu, ou se confond avec l'US 102, mais la distance entre les deux couches de concrétion (10 à 12 cm) ne peut s'expliquer que par la présence d'un remblai intermédiaire.

US 105 : Couche de concrétion inférieure. Ce niveau de concrétion est plus épais que le précédent (1 à 2 cm), et est quant à lui parfaitement bien conservé sur toute la plates-forme de cet étage, ce qui rend la fouille particulièrement difficile. Cette US a tout de même été piquetée sur une surface de 35 par 25 cm et a permis de mettre au jour l'US suivante.

US 106 : US la plus ancienne conservée sur cette plates-forme, il s'agit d'un niveau de circulation, marqué par la présence de charbons de petite taille (moins de 5 mm) et d'un sédiment brun clair mêlé à quelques graviers. Cette US repose directement sur le rocher et a été fortement altérée par la calcite. Des plaques de sédiment aggloméré par les concrétions ont été prélevées pour en extraire les charbons pour datation.



Coupe du passage entre les secteurs nord et sud. Les décrochements au sud-ouest correspondent aux niveaux résiduels de l'avancement.



Plateforme concrétionnée piquetée, après enlèvement de l'US 102. Le négatif de l'US 104 est marqué par l'espace entre les couches de concrétions 103 et 105.

Fig. 137 : Stratigraphie du sondage dans le chantier HAU9.

La fouille du passage entre les secteurs nord et sud a été approfondie sur 1,2 m, jusqu'à ce qu'il soit clair qu'aucun niveau de sole n'était conservé. L'exploitation a été menée en descendant progressivement et seuls des petits décrochements au parement ouest témoignent des différents niveaux de travail. Le remblai massif de l'US 101 correspond à une halde repoussée dans le chantier à une période indéterminée. Les nombreux tessons d'amphores italiques (Tab. 14) indiquent tout de même une activité entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le I^{er} s. av. n. è., cohérente avec le mobilier identifié dans les sondages de C. Dubois.

La petite sole horizontale montre quant à elle cinq phases où alternent activité et abandon. La première correspond au creusement de l'étage et à la formation d'un premier niveau de circulation, marqué par l'US 106. S'ensuit une période d'abandon qui permet la

formation d'une couche de calcite sur la sole, l'US 105, alors que la mine reste ouverte. Une phase de reprise d'activité correspond à la formation d'une couche de remblai peu épais, l'US 104, qui vient recouvrir les premières concrétions. Une nouvelle phase d'abandon conduit à la formation de la deuxième couche de calcite, l'US 103. Enfin, la cinquième et dernière phase correspond à une dernière reprise d'activité ou à une recherche au cours de laquelle le niveau de concrétion supérieur est cassé et le remblai de l'US 104 dispersé. Le dépôt terreux de l'US 102 peut alors recouvrir les US plus anciennes mises à nu (US 104 et 105).

Les charbons de l'US 106 correspondent à la plus ancienne période d'activité identifiable dans cette mine ; ils ont été préservés par la couche de calcite 105 de contaminations postérieures. La datation radiocarbone de l'un d'entre eux donne une date calibrée entre les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è.[83], bien antérieure à la chronologie du mobilier amphorique (Fig. 136). La différence de profil entre les étages supérieurs et inférieurs peut donc être attribuée à une différence chronologique de creusement de ces étages. Le pilier central conservé à partir de la cote -4 permet de proposer une exploitation simultanée par deux équipes jusqu'à la cote -7 où la jonction est faite entre les secteurs nord et sud.

La formation du remblai de l'US 104 pourrait être attribuée à la phase du I^{er} s. av. n. è. Dans ce cas, la rupture de la concrétion supérieure correspondrait à la période médiévale. La question de la chronologie du comblement de la partie nord du chantier pose tout de même un problème. On imagine en effet assez mal pourquoi ce comblement si massif de la partie nord a laissé la partie sud libre de tout déblai ou presque. Il semblerait plus logique que les haldes repoussées dans le chantier à un moment où l'activité minière n'était plus d'actualité, et après la formation de l'US 103, aient envahi l'ensemble du chantier. Elles auraient ensuite été dégagées lors d'une phase de reprise ou de recherche, qui correspondrait à la rupture de la concrétion de l'US 103. L'épaisseur très faible de l'US 102 indiquerait plutôt un dégagement récent, aucune nouvelle concrétion ni sédimentation d'importance ne s'étant reformée dans cet espace pourtant en contact direct avec le jour. Dans ce cas, l'US 104 aurait pu se former à la période médiévale. Les haldes comportant des tessons d'amphores de l'US 101 proviendraient alors soit d'une reprise d'exploitation exclusivement dans la partie nord du chantier HAU9, soit de l'exploitation du chantier le plus proche, HAU10.

Quoi qu'il en soit, le site d'Hautech dans son ensemble a connu trois périodes d'activité : la première aux IV^{e} et III^{e} s. av. n. è., la deuxième entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è. et la troisième au XIV^{e} siècle. Les nombreux ouvrages comblés laissent la possibilité d'une continuité de l'activité tout au long du II^{e} s. av. n. è. Les datations sont trop peu nombreuses pour l'instant pour pouvoir se prononcer entre une rupture complète de l'activité sur ce site ou seulement un arrêt dans le chantier HAU9.

[83] Datation Poz-92446 : 2225 ±30 BP, soit 380-203 cal BC. Brindille indéterminée.

Catégorie	Type	NR	Commentaire
Amphore	Italique	-	En surface
Amphore	Dr. 1	9	US 101, HAU9.
Lithique	Meule	1	US 101, HAU9. Quart de *meta* en diorite aux arêtes usées ayant pu être réutilisé en broyon (Fig. 138).
Amphore	Dr. 1A	-	SD1, US 1 et 2 ; SD2, US 2 ; SD3, US 2 ; SD5, US 2, 4 et 5.
Céramique commune	Grise	2	SD1, US 2 – bord en bourrelet; SD 5, US 2 – bord en bourrelet.
Céramique commune	Noire	7	SD5, US 2 – décor incisé.
Campanienne	Lampe Ricci E	1	SD2, US 2 – pied de la lampe.
Métal	Clou	1	SD5, US 2.
Lithique	Pilon	1	SD5, US 5. Pilon en granit, usé.
Métal	Scorie ferrugineuses	-	SD1, US 2 – rares.

Tab. 14 : Inventaire synthétique du mobilier d'Hautech.

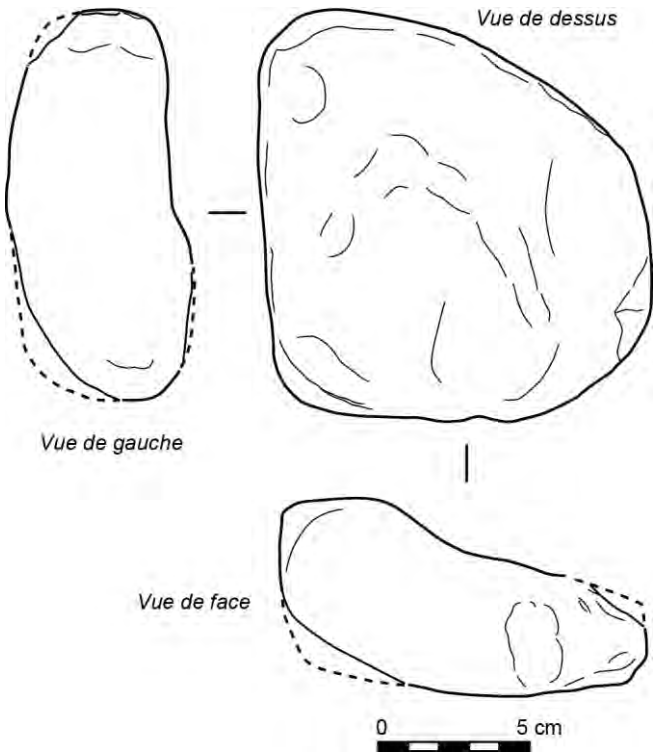


Fig. 138 : Quart de meule de l'US 101, HAU9.

III. D. Chaîne opératoire de la métallurgie primaire : quelques données

Cinq ateliers de métallurgie primaire sont connus dans ce district : deux sur le site des Atiels (dans le hameau et en rive droite du Pézègues), un à Sourre, un à Berni et le dernier à Moutou (Fig. 139). Tous ont traité des non-ferreux, sauf celui du hameau des Atiels, qui est un atelier de réduction de fer. Quatre d'entre eux sont datés du I^{er} s. av. n. è. ou de la période augustéenne ; le dernier, celui de Moutou, n'a livré aucun élément de datation. Des scories isolées issues du traitement de minerais non-ferreux ont également été identifiées à Hautech et sur le site de la Calotte en prospection, ainsi que dans l'un des sondages au pied de la mine du Goutil. Elles sont toutes associées à du mobilier du I^{er} s. av. n. è. Les scories isolées n'apportent pas de données significatives concernant la chaîne opératoire, mais constituent des indices d'une association mine-atelier au cours du I^{er} s. av. n. è.

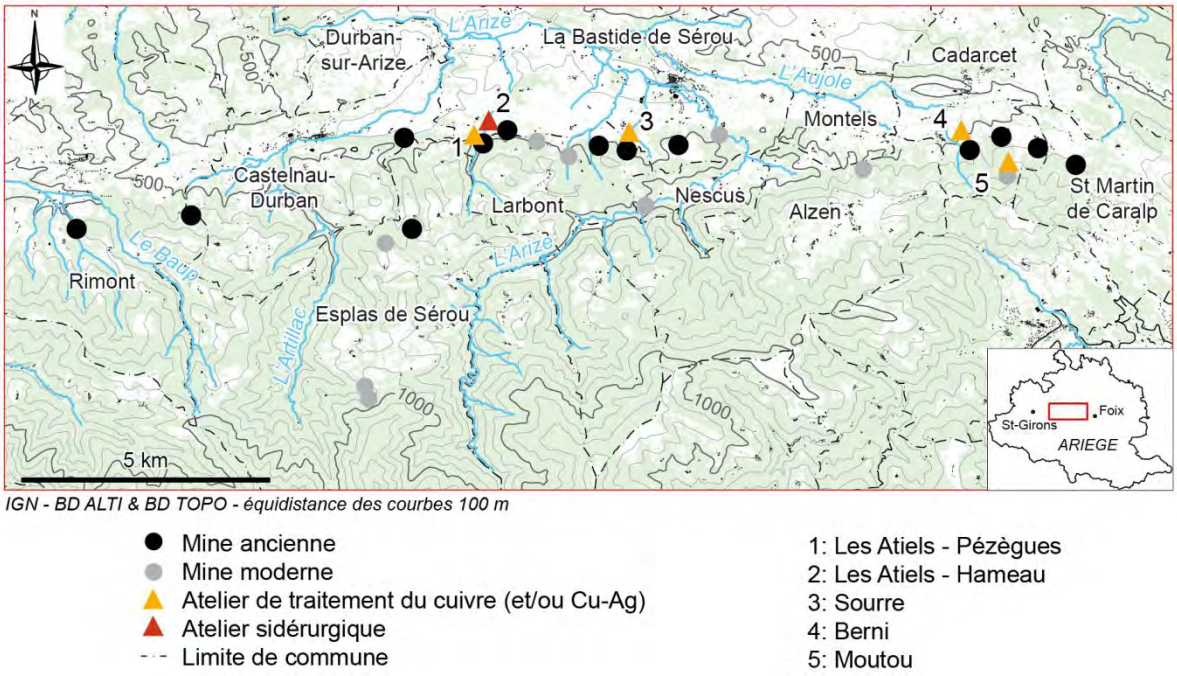


Fig. 139 : Localisation des ateliers du district à cuivre argentifère de l'Arize.

Concernant l'atelier sidérurgique des Atiels, il correspond à une chaîne opératoire particulière qui sort du cadre de notre sujet, centré sur l'exploitation du cuivre argentifère de ce district. On signalera simplement que, se trouvant sous le hameau actuel, il a été très perturbé et n'a pas pu faire l'objet d'une étude complète. L'étendue du crassier a été délimitée par des observations de surface et un sondage a été réalisé dans un des jardins du hameau (Dubois *et al.* 1997, pp. 208-209). Aucune structure métallurgique n'a été mise au jour dans l'emprise sondée. Les scories, analysées par C. Jarrier, montrent que le processus de réduction, à scorie écoulée, était bien maîtrisé. Les gisements de fer exploités pour alimenter ce bas-fourneau ne sont pas localisés mais il pouvait s'agir de chapeaux de fer dans la partie supérieure des travaux miniers des Atiels.

Peu de choses peuvent être dites de l'atelier de Moutou. Le crassier a été repéré en prospection, il s'étend sur environ 200 m^2. Cependant, sans mobilier associé, sa chronologie

ne peut être établie[84]. Une scorie prélevée par C. Dubois a toutefois été analysée par F. Tollon (Dubois *et al.* 1997, p. 210). La présence de cuivre et de plomb dans la scorie ne permet pas de savoir avec certitude quelle était la production, mais il pourrait s'agir d'un résidu de traitement du cuivre argentifère, qui peut associer ces deux métaux. On rappelle qu'une mine de plomb récente est connue sur ce site, en plus des travaux anciens pour l'exploitation du cuivre argentifère. Le site de Sourre est un peu mieux connu grâce à des sondages (Dubois & Métailié 1991, pp. 53-56 ; Dubois *et al.* 1997 p. 207). Toutefois, l'arasement prononcé du site, situé sous les maisons actuelles, n'a pas permis de localiser les structures de traitement du minerai. Un lambeau de crassier en place a été dégagé et fouillé. Le rare mobilier recueilli se rapporte à la période augustéenne (amphores Pascual 1). Une scorie a été analysée par F. Tollon à la microsonde électronique (Dubois *et al.* 1997, p. 207-208). Des gouttes de matte cuivreuse contenues dans la scorie montrent un zonage. Au centre, les auteurs décrivent une forte concentration en antimoine et arsenic accompagnés de cuivre, le fer et le soufre étant présents en traces. L'extérieur est composé d'un sulfure de cuivre avec des traces de fer, d'arsenic et d'antimoine. Cette composition reflète celle des cuivres gris présents dans le minerai, mais aucune trace d'argent n'a été détectée dans ces scories. Le plomb n'avait pas été recherché dans l'analyse.

Enfin, les ateliers de Berni et de la rive droite du Pézègues, aux Atiels, ont été identifiés au cours de cette thèse. Une scorie cuivreuse avait été signalée par C. Dubois et J.-E. Guilbaut à Berni (Dubois & Guilbaut 1982, p. 105). Nos prospections ont conduit à délimiter une aire à scories dans les labours, sur laquelle une prospection géophysique a été réalisée[85]. Une série de cinq sondages a permis de valider la présence de cet atelier, dont des niveaux sont conservés en place sous la cote de labours. Pour l'atelier des Atiels, sa présence a été mise en évidence par une crue du Pézègues, qui a emporté une partie de la berge en contrebas de l'entrée actuelle de la mine. Des scories cuivreuses sont également visibles dans le lit du ruisseau. Un sondage a été réalisé sous la direction de B. Cauuet sur ce site, confirmant là aussi la présence de niveaux conservés en place. Pour ces deux ateliers, les sondages se sont arrêtés sur la partie supérieure de la stratigraphie. Ils sont donc peu révélateurs de l'organisation des ateliers ou des structures utilisées lors du traitement du minerai. Des analyses effectuées sur quelques scories permettent toutefois de mettre en évidence certaines caractéristiques de la chaîne opératoire. Nous présenterons donc ici rapidement les données archéologiques significatives de ces deux sites puis les résultats des analyses des scories.

III. D. 1. L'atelier de Berni

L'atelier de Berni se situe en contrebas de la mine du Coffre, à un peu moins de 200 m au nord-ouest des vestiges miniers identifiés. Des scories et quelques fragments de paroi de

[84] Le propriétaire de la parcelle s'oppose à toute intervention archéologique.

[85] Prospection réalisée par A. Diallo, L. Lau-Tai et M. Molinié sous la direction de Muriel Llubes, dans le cadre d'un stage de Master 1 GTPRM de l'Université de Paul Sabatier (Toulouse).

foyer étaient visibles au sol en prospection, associé à du mobilier domestique daté entre la fin du II[e] s. av. n. è. et le I[er] s. av. n. è. (céramique commune locale, campanienne A, amphores Dr 1 A et B, amphores de Bétique)[86]. Sur l'emprise de la prospection géophysique (Fig. 140), des mesures de résistivité électrique et de susceptibilité magnétique ont été réalisées. La carte électrique n'était pas significative pour une interprétation archéologique. La carte magnétique révélait quant à elle plusieurs anomalies qui pouvaient être interprétées comme des structures liées à l'activité métallurgique (Fig. 141). Les sondages ont été implantés au niveau de ces anomalies[87]. Deux d'entre eux se sont avérés stériles (nº 4 et 5). Le sondage 2 n'a révélé qu'un niveau riche en mobilier sous les labours, provenant probablement d'un colluvionnement ancien. Les sondages 1 et 3 ont livré des unités stratigraphiques en place, correspondant à des niveaux de sol.

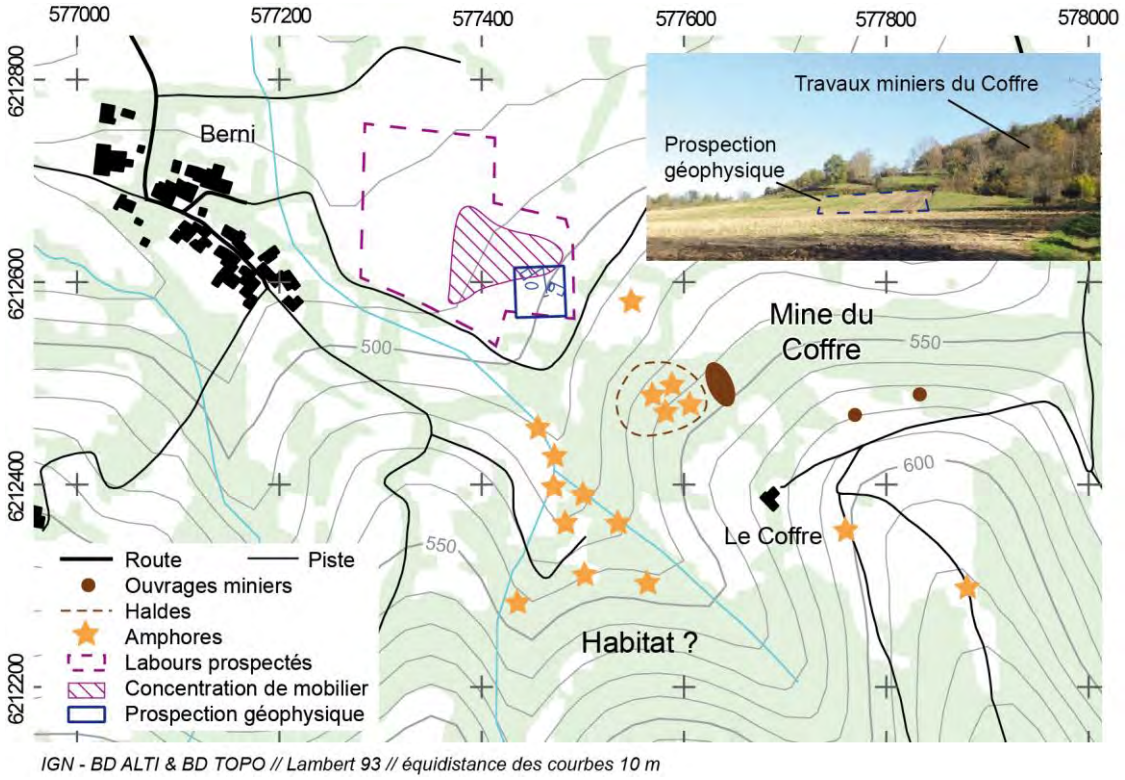


Fig. 140 : Localisation de l'atelier de Berni et vue du site vers l'ouest.

Nous ne présenterons pas dans le détail la stratigraphie de ces sondages (voir synthèse Tab. 15). Dans tous les cas, la couche supérieure correspond à l'horizon remanié par les labours, sur 0,25 à 0,4 m d'épaisseur. Pour les sondages stériles, le terrain naturel argileux apparait à 0,5 m de profondeur. Dans le sondage 2, la couche de colluvionnement ancien se trouvait entre 0,35 et 0,55 m de profondeur, sur le terrain naturel. Pour les sondages 1 et 3, la courte séquence stratigraphique relevée correspond à une alternance de couches horizontales litées, conservées en lentilles dans la partie supérieure (Fig. 142). Des niveaux

[86] Nous remercions Thomas Le Dreff pour l'identification de la céramique.

[87] Le délai très court pour leur réalisation n'a permis d'ouvrir qu'un total de 7,3 m^2 et les niveaux archéologiques en place ont été dégagés sans être fouillés.

d'argile épurée grise ou jaune, uniformes, semblent correspondre à des préparations de sol. Des niveaux de circulation argilo-limoneux dans les tons gris, renfermant des charbons, des nodules de terre rubéfiée et ponctuellement des petites scories se sont formés sur ces couches d'argile. Les sols ainsi identifiés ont une épaisseur de 2 à 4 cm. Le niveau d'arrêt de fouille, à une cinquantaine de centimètres de profondeur, montre des US en place que l'étroitesse des fenêtres de sondage ne permettait pas d'appréhender correctement, et qui n'ont donc pas été fouillées.

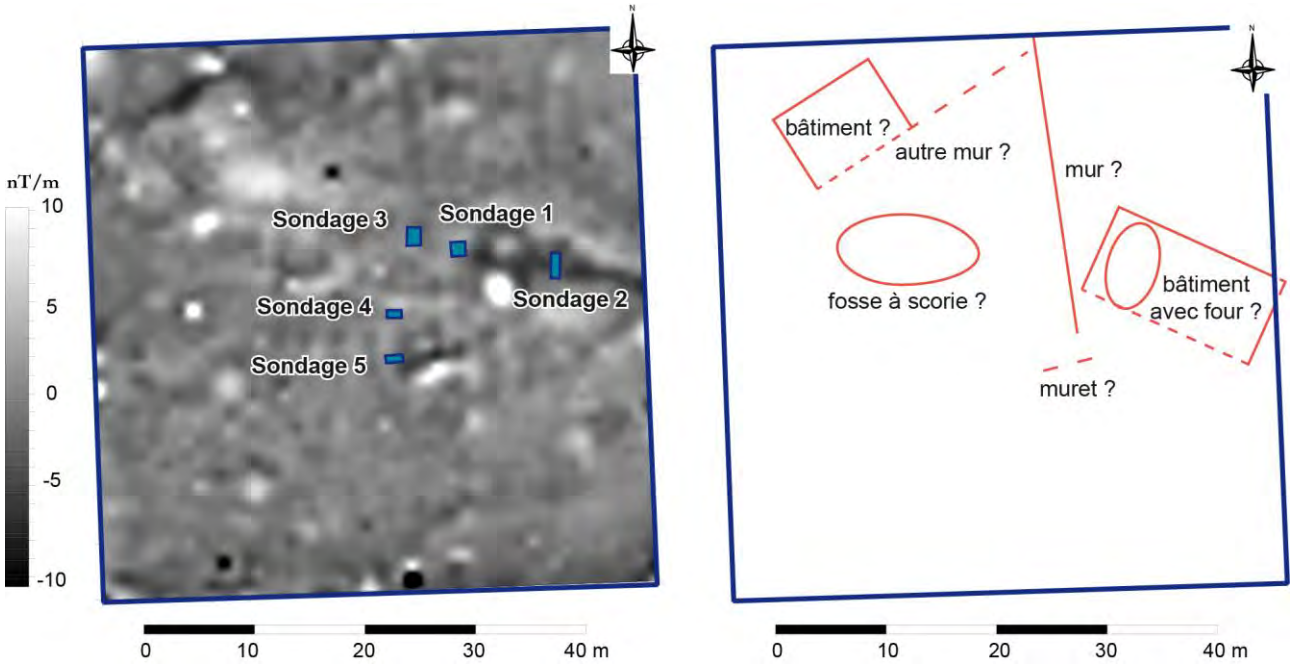


Fig. 141 : Carte magnétique et interprétation hypothétique (traitement des données géophysiques et réalisation de la carte magnétique : A. Diallo, L. Lau-Tai, M. Molinié).

Nº de sondage	US	Interprétation
1	100	Labours
	101 et 106	Préparation de sol en argile homogène
	102, 103, 104, 105	Niveau de circulation argilo-limoneux
2	200	Labours
	201	Colluvionnement riche en mobilier
	202	Terrain naturel
3	300	Labours
	301, 307	Préparation de sol en argile homogène
	302, 303, 304, 305, 306	Niveau de circulation argilo-limoneux

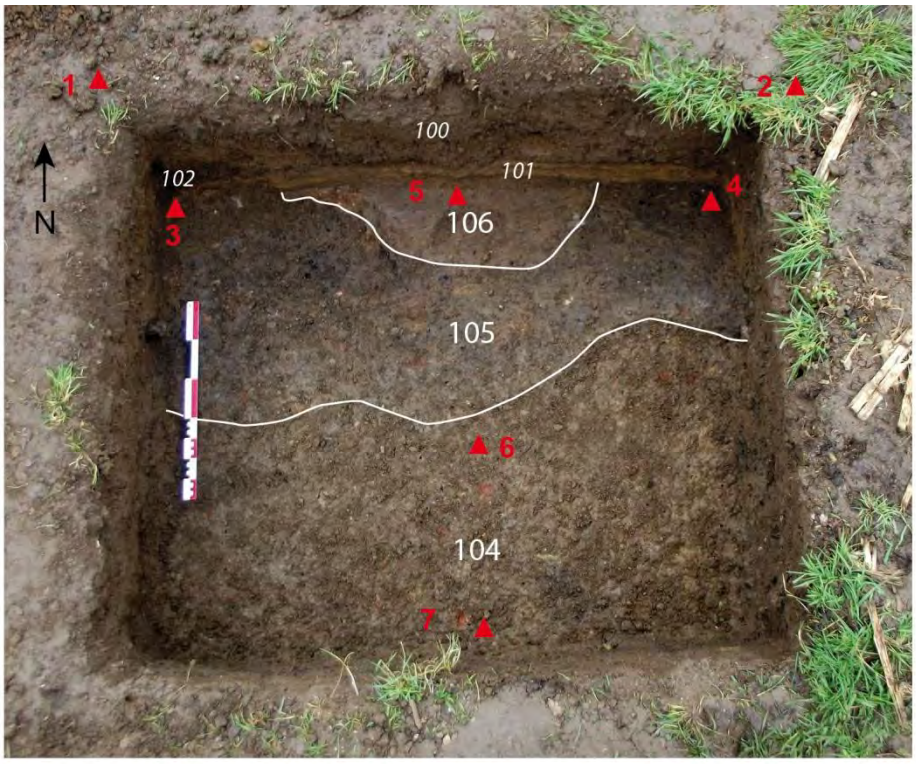
Tab. 15 : Tableau synthétique des US du site de Berni, hors sondages stériles.

Excepté les US remaniées par les labours et le niveau colluvionné du sondage 2, seuls les lambeaux de sol supérieurs du sondage 1 ont livré quelques fragments de céramique, très peu caractéristiques, de panse d'amphores italiques et d'une panse d'amphore ibérique. Cette rareté de mobilier est cohérente pour des niveaux de sol d'atelier. Les résidus de l'activité métallurgique (scories et fragments de parois de four ou foyer) proviennent aussi principalement des niveaux de labours ou des lambeaux de sol supérieurs du sondage 1. La

présence d'un tesson d'amphore ibérique dans l'US 103 tendrait à placer la fin du fonctionnement de cet atelier dans la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. Les tessons de céramique campanienne A, rares, indiquent quant à eux une fréquentation du site dès le début du I^{er} s. av. n. è.

Provenance	Catégorie	Type	NR	Commentaire
Prospection et US de labours dans les sondages	Peinte	Indéterminée	2	BNI15-5, Fig. 143
	Commune	Oxydante	3	
	Commune	Réductrice	15	Un décor peigné et BNI17-1, Fig. 143
	Campanienne A	Bol ?	1	
	Glaçurée		7	
	Amphore	Dressel 1A	2	BNI15-1, Fig. 143
	Amphore	Dressel 1B	2	BNI15-2, Fig. 143
	Amphore	Italique	41	
	Amphore	Indéterminée	5	
	Amphore	Bétique	6	
	Terre cuite architecturale	Brique ?	5	
	Terre cuite artisanale	Paroi de four ou foyer	28	
	Métal	Scorie	49	
	Lithique	Paroi de four ou foyer	1	
	Lithique	Minerai	2	Petits blocs de barytine.
101	Amphore	Italique	1	
102	Commune	Réductrice	1	
	Commune	Oxydante	2	
	Amphore	Italique	2	
	Métal	Scorie	5	
	Terre cuite artisanale	Paroi de four ou foyer	2	
103	Commune	Réductrice	3	
	Amphore	Ibérique	1	
	Amphore	Indéterminée	2	
	Métal	Scorie	1	
	Terre cuite artisanale	Paroi de four ou foyer	1	
104	Métal	Scorie	2	
105	Métal	Scorie	2	
201	Commune	Réductrice	1	
	Amphore	Italique	3	
	Terre cuite artisanale	Paroi de four ou foyer	3	
	Lithique	Minerai	9	Fragments de minerai grillé.

Tab. 16 : Inventaire du mobilier de Berni.



Altitudes (NGF):
1: 550,77 m
2: 550,96 m
3: 550,37 m
4: 550,43 m
5: 550,42 m
6: 550,49 m
7: 550,51 m

Sondage 1. L'US 104 passe sous l'US 105, qui passe elle-même sous l'US 106.

Altitudes (NGF):
1: 550,24 m
2: 550,34 m
3: 549,85 m
4: 549,87 m
5: 549,77 m
6: 549,62 m
7: 549,76 m

Sondage 3. L'US 304 passe sous l'US 307. La relation avec l'US 306 n'est pas définie.

Fig. 142 : Vue des sondages 1 et 3 en fin de fouille.

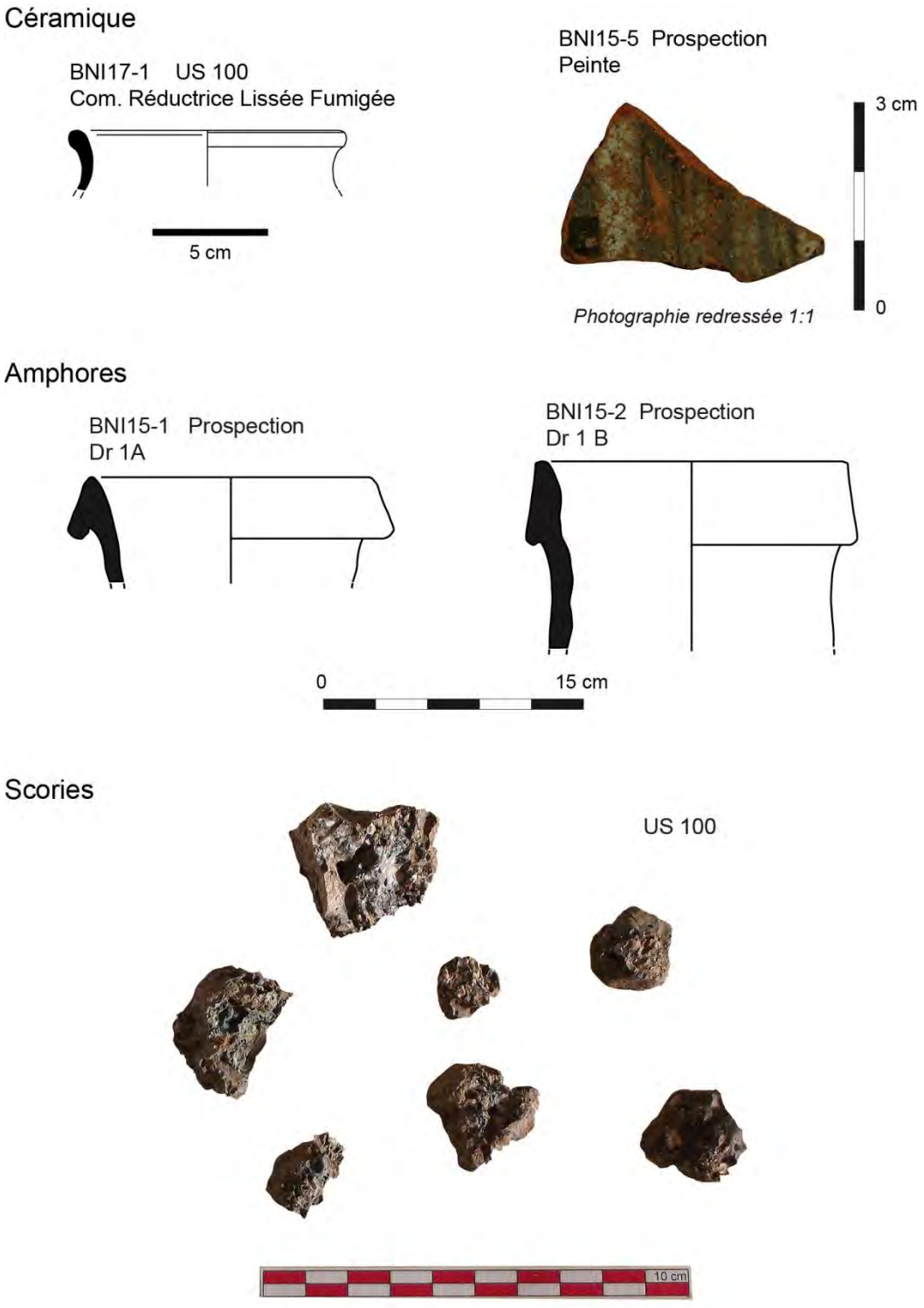


Fig. 143 : Mobilier de l'atelier de Berni.

Les éléments fournis par la stratigraphie ne permettent pas de restituer le fonctionnement de l'atelier, qui date du I^{er} s. av. n. è. selon le mobilier, plutôt de la seconde moitié si l'on s'en tient aux tessons d'amphore de Bétique. Les fragments de parois de four ou foyer sont trop petits pour proposer une quelconque restitution des structures. On signalera qu'ils sont scorifiés sur une face. Ces sondages confirment tout de même qu'une

fouille en extension pourrait être entreprise sur cette parcelle, avec toutefois la difficulté de respecter les travaux agricoles. Cela fait partie des perspectives ouvertes par cette thèse.

Trois petites scories noires vitreuses recueillies lors de la prospection ont cependant pu être analysées par la fluorescence X portable par M. Lopez. Cette analyse ne permet pas d'identifier la composition précise de la scorie ni de différencier les phases qui la composent, mais elle montre la présence des éléments majeurs qu'elle contient. Le baryum (Ba) et l'antimoine (Sb) sont des éléments que l'on trouve dans le cuivre gris qui a pu être exploité au Coffre. Le cuivre apparaît également, bien qu'à des teneurs relativement faibles, confirmant le traitement d'un minerai cuivreux, que l'on pouvait supposer à partir de quelques traces d'oxydes de cuivre sur certaines scories. Mais les deux éléments qui retiendront notre attention ici sont le plomb et l'argent. Car même si la chaîne opératoire permettant l'extraction de l'argent dans les cuivres gris n'est pas bien connue, on sait qu'elle fait appel à un ajout de plomb, qui a des affinités avec l'argent (Domergue & Tollon 2002, pp. 64-76 ; L'Héritier 2012, p. 190 ; Renzi 2013, pp. 216-219). La mise en évidence de ces deux métaux dans les trois scories analysées est un indice intéressant pouvant confirmer une production d'argent sur ce site, à partir des minerais locaux de cuivre gris au cours du I^{er} s. av. n. è.

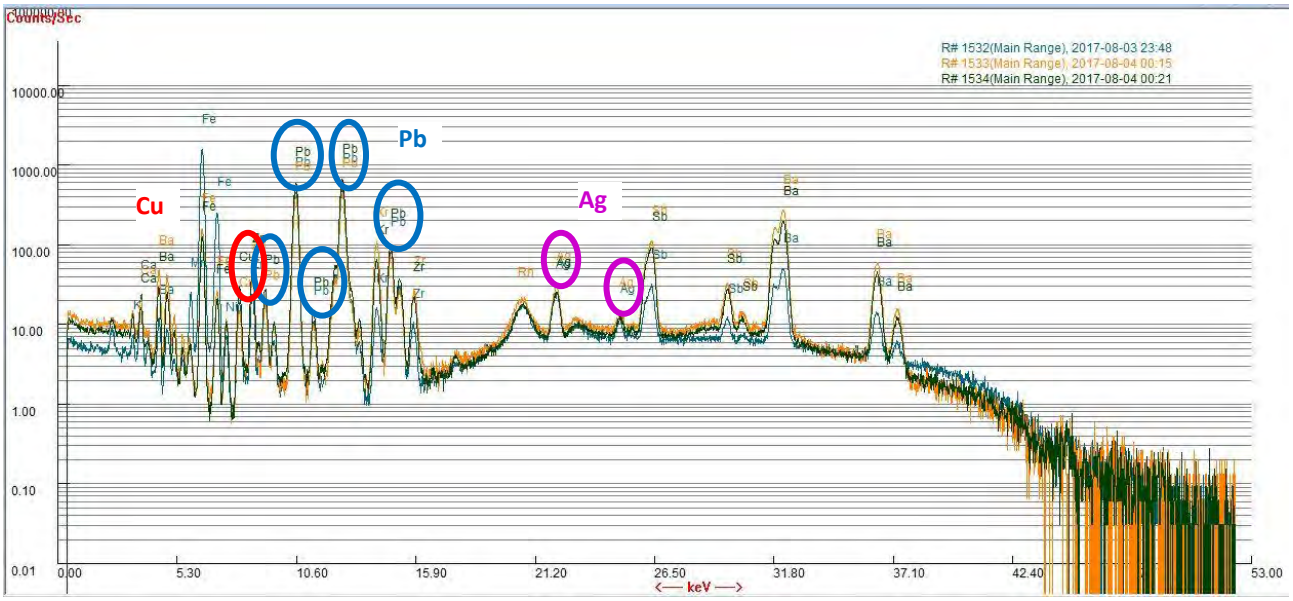


Fig. 144 : Spectre de l'analyse par la fluorescence X (M. Lopez).

Échantillon	Ba	Sb	Ag	Pb	Cu
Scorie 1	11670,19 (± 230,32)	1785,06 (± 51,50)	20,92 (± 7,40)	37910,54 (± 403,38)	1693,96 (± 49,68)
Scorie 2	/	6294,94 (± 114,87)	Non détecté	27048,27 (± 353,16)	1166,4 (± 53,60)
Scorie 3	63703,95 (± 917,52)	6282,51 (± 99,01)	73,96 (± 8,85)	44149,22 (± 436,16)	2415,1 (± 53,84)

Tab. 17 : Valeurs des principaux éléments (ppm) mesurés par fluorescence X.

III. D. 2. L'atelier des Atiels – berge du Pézègues

La prospection du cours du ruisseau Pézègues a permis de localiser, à environ 60 m en aval de l'entrée du réseau principal, un atelier de traitement du minerai de cuivre recouvert par le colluvionnement issu du versant en surplomb (Fig. 52, p. 162). Une crue avait emporté une partie de la berge et mis au jour les niveaux inférieurs de l'atelier, ainsi que du mobilier céramique et des scories. Des niveaux archéologiques stratifiés visiblement en place ont ainsi pu être observés ainsi que la base d'une structure en argile rubéfiée, située au niveau du lit actuel du ruisseau (Fig. 146). Après un relevé photographique, elle a été recouverte pour la protéger en attendant que les niveaux accumulés au-dessus puissent être dégagés en fouille.

Ces éléments prometteurs ont motivé la réalisation d'un sondage, sous la direction de B. Cauuet[88]. Deux tranchées parallèles, T1 et T2, ont été ouvertes, reliées par une tranchée transversale T3 (Fig. 147). La surface fouillée atteint 38 m^2. Les niveaux de remblais supérieurs, correspondant au glissement d'éléments provenant de plus haut sur le versant, étaient particulièrement riches en mobilier céramique et amphorique, indiquant la présence d'un habitat vers l'est. Il n'a pas pu être localisé précisément malgré les prospections, le milieu n'étant pas favorable au repérage de vestiges (taillis de buis dense non entretenu). L'inventaire du mobilier, qui se caractérise par sa variété (Tab. 18 et 19), permet de fixer les jalons chronologiques de cette occupation dans la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. On constate en effet l'association d'amphores italiques Dr 1 à la chronologie large avec des éléments un peu plus tardifs comme les Dr 2-4 ou les amphores de Bétique ou de Tarraconaise. Pour la céramique, peu de formes ont pu être attribuées précisément (fragments de panses principalement et de petite taille). Si la céramique commune peut correspondre aux deux derniers siècles avant notre ère, voire au début du suivant, les importations méditerranéennes, parmi lesquelles on trouve de la sigillée précoce, peuvent se situer au début de la période augustéenne. Les fragments de lampes, présents dans presque toutes les US, sont eux aussi trop petits pour déterminer un type précis. On peut indiquer qu'il s'agit dans plusieurs cas de lampes à grènetis, qui correspondrait au type Dressel 2, diffusé au cours du I^{er} s. av. n. è. mais avant la période augustéenne (Ricci 1973, pp. 182-193). On notera la présence d'amphores à huile de Bétique et de Tripolitaine, qui ont pu fournir le combustible pour ces lampes. Bien qu'aucune niche à lampe n'ait été identifiée dans les quelques mètres de réseau ancien conservé dans la mine proche, il est possible que les mineurs aient utilisés ce mode d'éclairage. L'ensemble du mobilier mis au jour correspond toutefois à la sphère domestique.

[88] Rapport en cours de rédaction. Un inventaire détaillé du mobilier a été effectué par F. Olmer pour les amphores et G. Verrier pour la céramique. Les données stratigraphiques n'ont pas encore été analysées et seuls les tessons significatifs mis en évidence lors de la prospection sont dessinés à ce jour.

				H.S.	T1 - US 2	T1 - US 3	T1 - US 5	T2 - US 2	T2 - US 3	T2 - US 4	T2 - US 5	T2 - US 7
Origine	**Région**	**Type**	**Denrée**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**
Italie	Côte tyrrhénienne	Dressel 1	Vin	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Campanie	Dressel 2-4	Vin	1				1				
	Adriatique	Lamboglia 2	Vin - Huile	1		1		1	1			
Péninsule Ibérique	Tarraconaise	Léétanienne 1	Vin			1	1					
		Pâte rouge	Vin	1				1	1			1
		Pâte beige	Vin	1							1	1
		Pascual 1	Vin	1	1		1				1	1
	Bétique	Dressel 7-11	Sauce Poisson	1		1	1		1			
		Dressel 9	Sauce Poisson	1								1
		Dressel 20	Huile	1	1	1	1	1	1		1	1
		Oberaden 83	Huile	1								
Gaule	Bram		Vin					1				
Afrique	Tripolitaine	Tripolitaine I ancienne	Huile	1	1			1	1			
Amphore indéterminée				1	1							
Total NMI				12	5	5	5	7	5	1	4	4

Tab. 18 : Amphores du sondage sur l'atelier du Pézègues – Les Atiels (F. Olmer et B. Cauuet).

	H.S.	T1 – US2	T1 – US3	T1 – US4	T1 – US5	T2 – US2	T2 – US3	T2 – US4	T2 – US5	T2 – US7	T2 – US8
	NMI	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**	**NMI**
Parois fines	1	1			3	1	1	2		1	1
CampanienneB	1	1		1	1						
CRA	1						1			1	1
ERP	1	1				1					
Sigillée italique	1	1					1			1	
Com. italique	2					1				1	
Non tournée	4	1			4	3	1	1	1	1	1
Com. ALF	2	2	1	2	4	1	4		1	2	
Com. A	4	1	1	1	2	5	2	2	1	3	
Peinte	1			1	1				1		
Com. BLF	3	1		1	1	1	2	1	4	1	
Com. B				1		1			1		
Lampe	6	1		1	1	3	1			1	
Unguentarium	1										
Total NMI	28	10	2	8	17	18	13	6	9	12	3

Tab. 19 : Céramique du sondage de l'atelier du Pézègues – Les Atiels (G. Verrier et B. Cauuet).
CRA : céramique à revêtement intérieur argileux. ERP : céramique à enduit rouge pompéien. ALF : cuisson oxydante lissé et fumigée. A : cuisson oxydante. BLF : cuisson réductrice lissée et fumigée. B : cuisson réductrice.

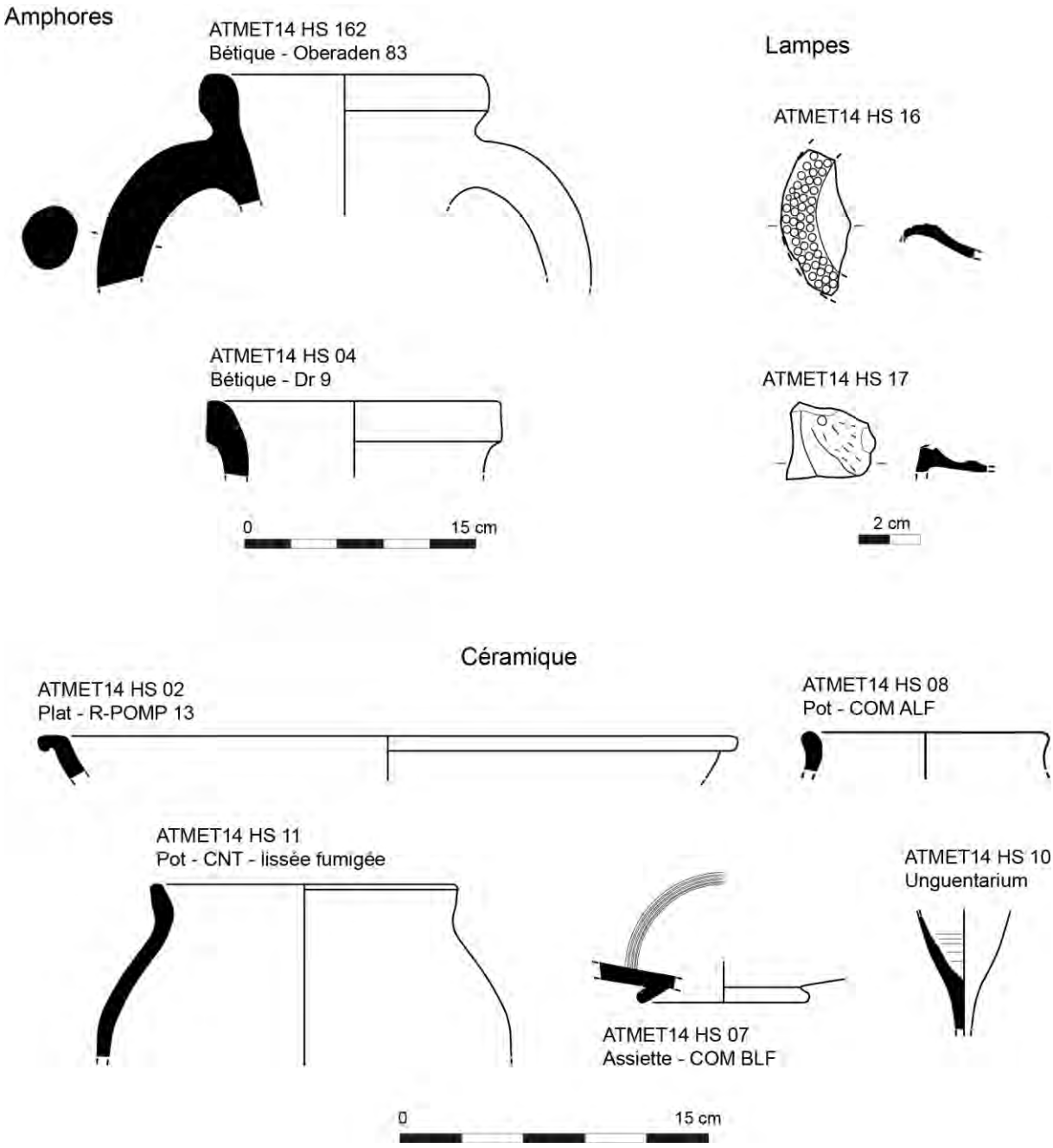


Fig. 145 : Mobilier de l'atelier du Pézègues – Les Atiels.

L'épaisseur du colluvionnement accumulé sur les niveaux archéologiques a fait que seules les US d'abandon de cet atelier ont pu être fouillées. On peut tout de même restituer une disposition de l'atelier en terrasse appuyée contre la pente. Un niveau de sol a ainsi été dégagé sur une bande étroite à l'est de la tranchée T1 alors que seuls des remblais ont été identifiés vers l'ouest. Les niveaux en place visibles dans la berge lors de la prospection n'ont pas été atteints lors du sondage. Sur le sol de la tranchée T1, localement riche en charbons, une petite fosse marque l'emplacement d'un petit foyer, simplement creusé dans le sol. Un bloc lithique rubéfié renforce une paroi de cette petite fosse. Il s'agit de la seule structure identifiée en plus de celle localisée au niveau du lit du ruisseau. Ces éléments ne permettent pas de restituer le fonctionnement de l'atelier.

Fig. 146 : Berge du ruisseau lors de la prospection et détail de la structure en argile rubéfiée.

Les nombreuses scories recueillies dans ce sondage apportent quelques données supplémentaires. Sept catégories de scories ont été déterminées en fonction de critères macroscopiques externes :

Catégorie 1 : scories grises avec des inclusions de minerai.

Catégorie 2 : scories grises denses.

Catégorie 3 : scories grises plates.

Catégorie 4 : scories de forge.

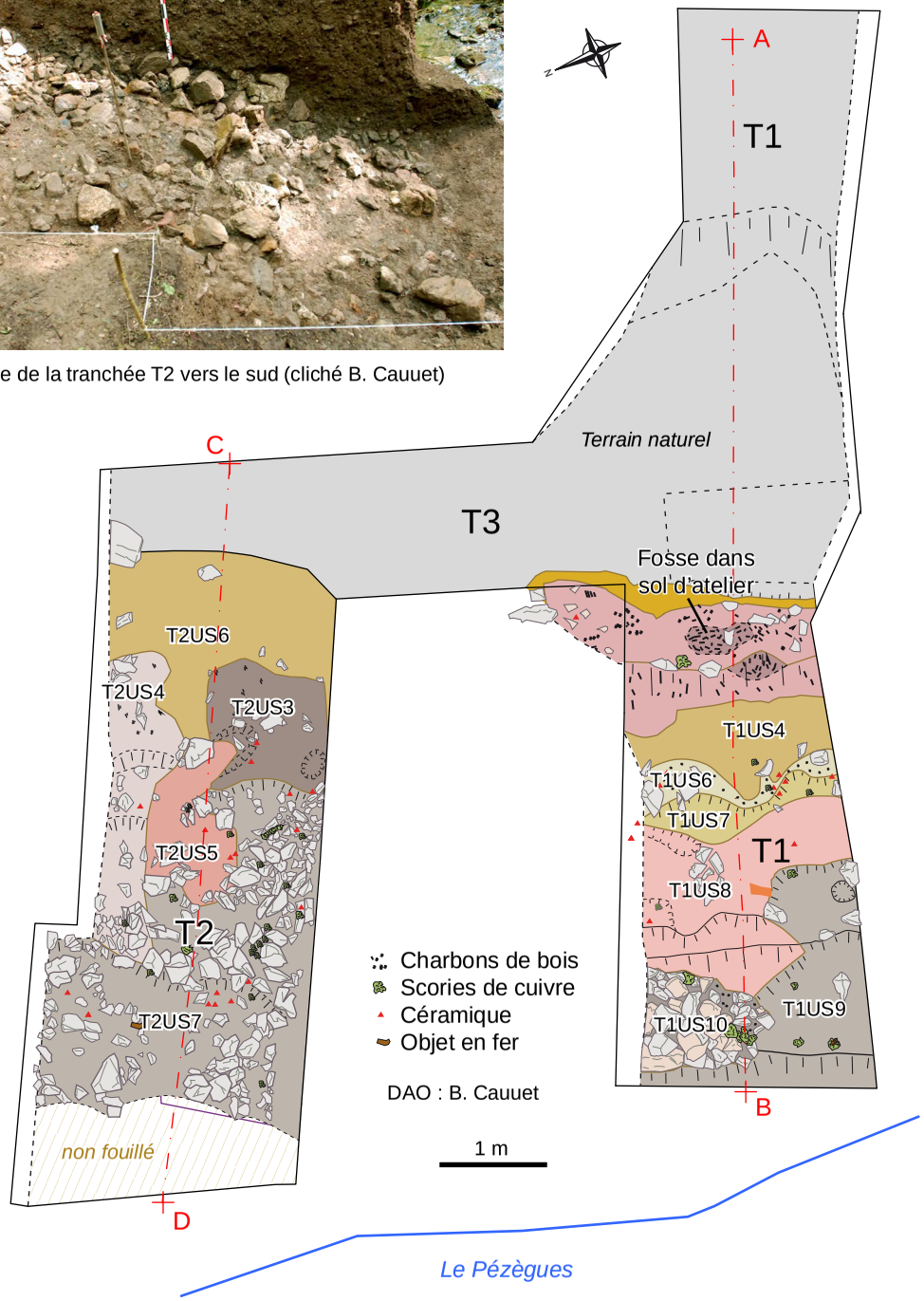
Catégorie 5 : scories avec présence importante d'oxydes de cuivre en surface.

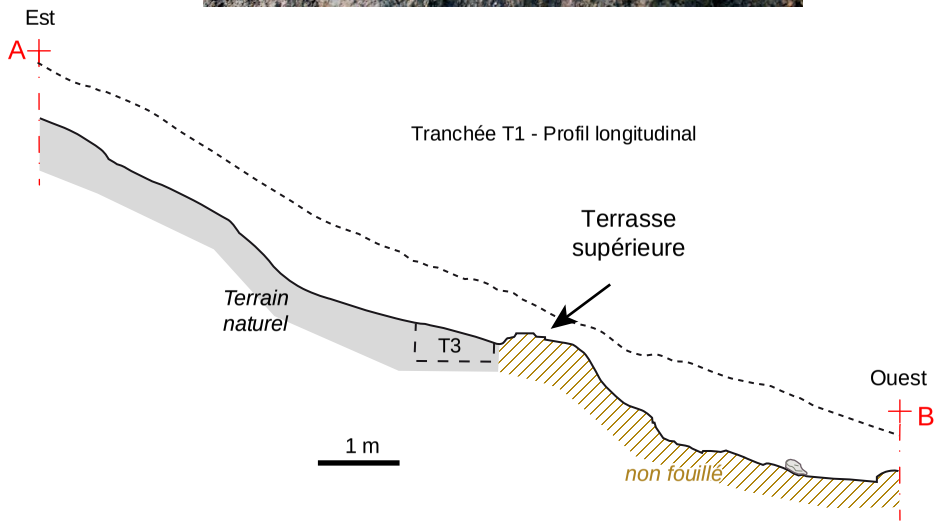
Catégorie 6 : scories grises très bulleuses.

Catégorie 7 : fragments de paroi scorifiés.

Vue de la tranchée T2 vers le sud (cliché B. Cauuet)

Vue de la fosse dans le sol de la tranchée T1 vers l'est (cliché B. Cauuet).





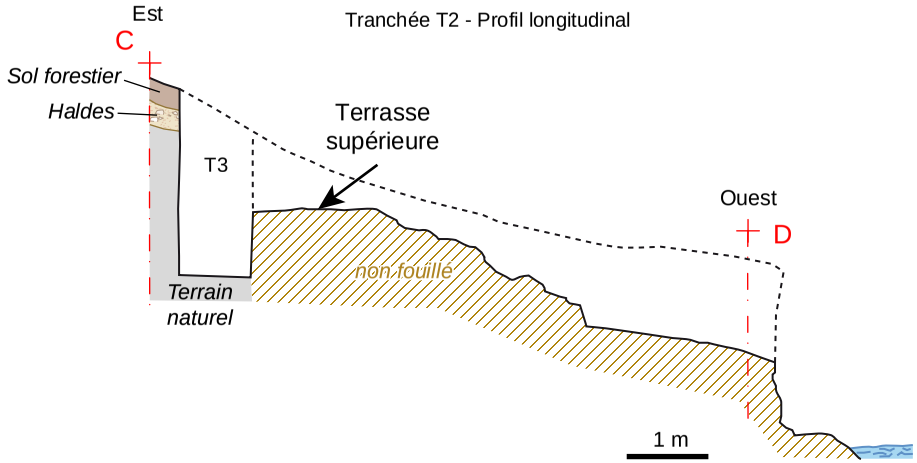


Fig. 147 : Le sondage sur l'atelier du Pézègues (B. Cauuet).

Un individu de chaque groupe a été sélectionné pour être analysé, excepté dans la catégorie 5 : la petite taille des scories de ce groupe a obligé à en sélectionner deux, dénommées par la suite 5a et 5b. Chaque scorie a été sciée par la moitié et observée au microscope optique sous la direction de Marguerite Munoz. Cela a permis de voir que les catégories 1, 2, 3 et 6 étaient en réalité très proches. Des analyses quantitatives élémentaires ont tout de même été réalisées pour chacune des sept catégories, sur une moitié des scories sciées et sur la scorie 5b. Ce type d'analyse permet uniquement de connaître la composition chimique globale des scories. Pour avoir une idée des processus métallurgiques mis en œuvre, il faut pouvoir observer la structure de la scorie et faire porter les analyses sur les phases identifiées visuellement au microscope. Deux scories ont donc été choisies pour des analyses au MEB et à la microsonde électronique[89], ainsi qu'un fragment de paroi scorifié. En fonction des premières observations, les scories 3 et 5a ont été sélectionnées pour ces analyses complémentaires.

Le détail des données analytiques est disponible en annexe 3. Nous ne présenterons ici que les éléments permettant d'illustrer nos propositions concernant la chaîne opératoire des cuivres gris. Les données provenant de l'analyse élémentaire d'un échantillon de minerai de la mine des Atiels (réalisées par C. Tămaş) sont indiquées à titre de comparaison.

Les analyses élémentaires quantitatives montrent que si les mêmes éléments majeurs se retrouvent d'une scorie à l'autre, leurs proportions varient fortement (Tab. 20). La scorie de forge présente une composition clairement individualisée, comme on pouvait s'y attendre. Les éléments présents dans le fragment de paroi (catégorie 7), correspondent à ceux que l'on peut s'attendre à voir impliqués dans la métallurgie extractive. On remarquera que la plus forte teneur en argent provient de ce fragment de paroi.

Elément	**Ag**	**As**	**Cu**	**Fe**	**Ni**	**Pb**	**Sb**
Unité	**ppm**	**ppm**	**%**	**%**	**ppm**	**ppm**	**ppm**
Scorie 1	46,5	191	1,06	33,7	1865	2340	6230
Scorie 2	15,55	50,8	0,74	19,65	1220	841	1380
Scorie 3	30,1	116,5	1,05	22,1	1120	4410	3370
Scorie 4	1,94	350	0,17	>50	155	36	266
Scorie 5b	69,6	48,8	3,45	47,1	955	189	2010
Scorie 6	36,6	112,5	0,67	19,25	711	1200	3840
Paroi 7	74	121,5	1,60	5,31	593	1640	424
Minerai	805	2080	2,55	0,67	758	207	>10000

Tab. 20 : Quantification des éléments chimiques majeurs des scories et du minerai des Atiels.

Les scories 3 et 5a sont par contre clairement différenciées par l'analyse au MEB (Tab. 21 et Fig. 148). La scorie 3 contient, hormis la phase vitreuse, des billes de sulfures, des phases résiduelles du minerai et ponctuellement des oxydes de fer et de cuivre. Les sulfures sont tous cuprifères. Ils sont plus ou moins complexes et on y retrouve les éléments métalliques présents dans le minerai. La microsonde a révélé la présence d'argent en traces, associé à la

[89] MEB : Microscope électronique à balayage, couplé à un système EDS, Energy Dispersive Spectrometry, pour l'identification des éléments. Analyses réalisées par Marguerite Munoz.

chalcocite entre 0,12 et 0,25 %. Les oxydes identifiés peuvent résulter d'une altération secondaire de la scorie. La scorie 5a contient quant à elle uniquement de la chalcocite et des alliages métalliques. La chalcocite présente des teneurs en argent entre 0,1 et 1,68 %. Les alliages, exempts de soufre, sont à dominante cuivreuse et avec la présence d'argent à des teneurs situées entre 0,2 et 0,96 %. Le fragment de paroi renferme des phases issues du minerai, des sulfures cuprifères plus ou moins complexes dont la chalcocite avec des teneurs en argent entre 0,13 et 0,19 % et également des billes d'alliage métallique à base cuivre avec des teneurs en argent entre 0,05 et 0,1 %.

	Phase minérale	**Minerai**	**Scorie 3**	**Scorie 5a**	**Paroi**
Phases du minerai	Cuivre gris $(Cu, Fe, Ag)_{12}$ $(Sb, As)_4$ S_{13}	X			
	Chalcopyrite ($CuFeS_2$)	X			X
	Pyrite (FeS_2)	X	X		
	Pyrrothite (FeS_{1-x})		X		
	Galène (PbS)	X			
	Sphalérite (ZnS)	?			
	Baryte ($BaSO_4$)		X		X
Phases liées à la métallurgie	Covellite (CuS)		X		
	Chalcocite (Cu_2S) *Ag en traces*		X	X	X
	Sulfure Pb-Cu-Fe		X		X
	Sulfure Pb-Cu				X
	Sulfure Ni-Pb-Sb-As-Cu-Fe-Co				X
	Sulfure Cu-Fe		X		X
	Sulfure Cu-Ni-Fe		X		
	Alliage Cu-Sb-Ni-Ag			X	X
Phases d'altération	Oxyde de Fe		X		
	Oxyde de Cu		X		

Tab. 21 : Compraison des compositions des scories et du fragment de paroi.

Les deux scories correspondent probablement à deux phases distinctes du traitement du minerai. L'absence d'alliage métallique dans la scorie 3 semble indiquer une phase plus précoce. Les différents types de sulfures montrent un passage de sulfures complexes associant cuivre et fer (parfois avec du nickel) à des sulfures de cuivre ou de fer (Fig. 148, A). L'objectif de cette étape de la chaîne opératoire pouvait être l'élimination du fer contenu dans le minerai. Des analyses de scories issues du traitement de la chalcopyrite ont révélé une séparation similaire entre sulfures de fer et de cuivre (Colpani *et al.* 2009, p. 370 ; Artioli *et al.* 2015, p. 80). La scorie 5a contient du cuivre sous forme d'alliage et d'un seul sulfure, la chalcocite, qui est le sulfure simple le plus riche en cuivre parmi ceux identifiés ici. Cela correspondrait à un affinage du produit de la phase précédente, au cours duquel le fer avait été éliminé. Le résultat est maintenant un alliage métallique cuivreux avec des impuretés en antimoine, nickel et argent en traces. Les résidus de chalcocite nous montrent qu'il s'agit du traitement d'un sulfure (Fig. 148, B). Quant au fragment de paroi, le fait qu'il contienne des éléments de chaque catégorie de phase peut indiquer que les mêmes structures métallurgiques servaient à plusieurs étapes du traitement, ou que toutes les étapes avaient

lieu l'une après l'autre au cours d'un même processus. La suite de la fouille de l'atelier et la multiplication des analyses permettront de le confirmer ou non.

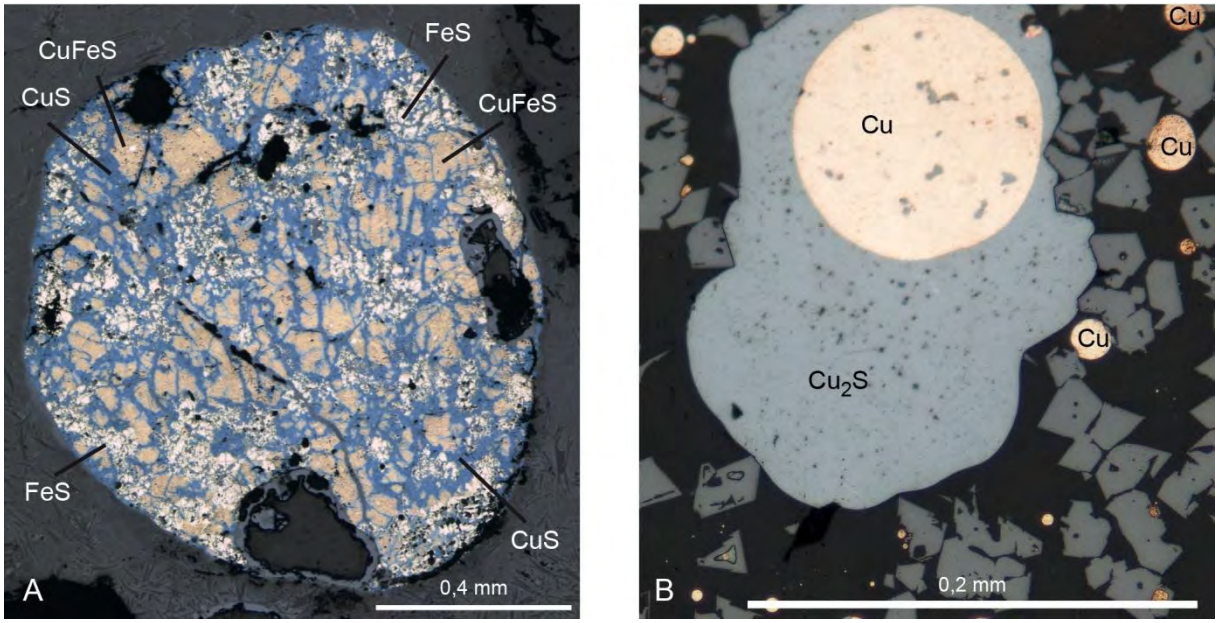


Fig. 148 : Cliché MEB des scories 3 (photo A) et 5a (photo B).
A : La bille de composés sulfurés de la scorie 3 montre le passage d'un sulfure complexe CuFeS (en beige) à des sulfures simples à cuivre (covellite, CuS, en bleu) et à fer (FeS, en blanc).
B : Les billes de cuivre de la scorie 5 (en jaune) sont prises dans une matrice vitreuse, la plus grande étant entourée de chalcocite (Cu2S, en gris), un sulfure enrichi en cuivre.

L'origine des traces d'argent identifiées est cependant une autre question importante. Deux possibilités sont envisageables. Il peut s'agir d'un élément résiduel du minerai, qui n'aurait pas fait l'objet d'un traitement spécifique pour extraire l'argent, perdu dans les scories au fil des réactions. Il pourrait aussi indiquer que l'argent a déjà été extrait et que seules des traces sont encore décelables à la fin du processus. La présence de plomb, minoritaire mais tout de même fréquent, amène à envisager ces deux mêmes options. Il pourrait être lui aussi un héritage du minerai, mais aussi un témoin du processus d'extraction de l'argent, comme cela a été indiqué à propos des scories de Berni. Les teneurs en plomb des scories 1, 2, 3 et 6 sont bien supérieures à celle du minerai. Si une seule analyse disponible actuellement sur le minerai oblige à rester prudent, on peut signaler que ces valeurs hautes dans les scories pourraient refléter un ajout volontaire de plomb lors du traitement métallurgique.

Les deux scories analysées ici ne représentent pas toutes les étapes de la production et il est difficile de savoir ce qui manque tant que la fouille n'est pas plus avancée. Les reconstitutions de la chaîne opératoire du cuivre argentifère proposées notamment par F. Tollon sur le site de La Loba (Espagne) incluent des ajouts de plomb lors du traitement du minerai de cuivre argentifère puis une phase finale de production de cuivre (Domergue & Tollon 2002, p. 77). Si la même chaîne opératoire a été suivie aux Atiels, les deux scories analysées correspondraient plutôt à ses dernières étapes, pour la production de cuivre. On

remarquera cependant que les teneurs en argent sont très faibles comparées à celles mesurées par J. Mantenant sur les scories provenant du Camp del Oliu, un atelier de traitement du cuivre argentifère des Corbières où la production d'argent a été attestée. Les analyses à la microsonde des scories de ce site font état en plusieurs points d'argent associé au cuivre entre 1,11 et 84,06 % (Mantenant 2014, vol. 1, p. 234 ; Mantenant & Munoz 2017, pp. 167-169 et 172-174).

Les données provenant de l'atelier de la berge du Pézègues ne permettent pas de se prononcer clairement sur une production d'argent, mais ne s'y opposent pas non plus. L'atelier du Camp del Oliu montre que la connaissance de cette chaîne opératoire était disponible dans la région à la même période. La forte teneur en plomb des scories de Berni constitue un indice local de la mise en œuvre de ce procédé. Les données sont cependant bien trop lacunaires pour le moment. Elles montrent surtout le potentiel de ces deux sites du district de l'Arize pour une caractérisation future de la chaîne opératoire du cuivre gris argentifère.

IV. Exploitation minière et environnement : quelques données

Les informations concernant l'environnement des mines anciennes du district de l'Arize sont de deux types. D'un côté, l'étude pédo-anthracologique préliminaire de la coupe réalisée dans la berge du Pézègues apporte un premier éclairage sur l'environnement de la mine des Atiels, à l'échelle de son bassin versant et dans la longue durée. D'autre part, les identifications anthracologiques réalisées par C. Dubois dans plusieurs sites du district (Dubois 1996, pp. 39-41) fournissent quelques données sur le bois utilisé par les mineurs pour l'abattage de la roche ainsi que sur deux sites de surface (habitat de Nescus et occupation au pied de la mine du Goutil). Les charbons identifiés préalablement aux datations réalisées dans le cadre de cette thèse peuvent compléter ponctuellement ces informations.

IV. A. Pédo-anthracologie dans le bassin versant du Pézègues

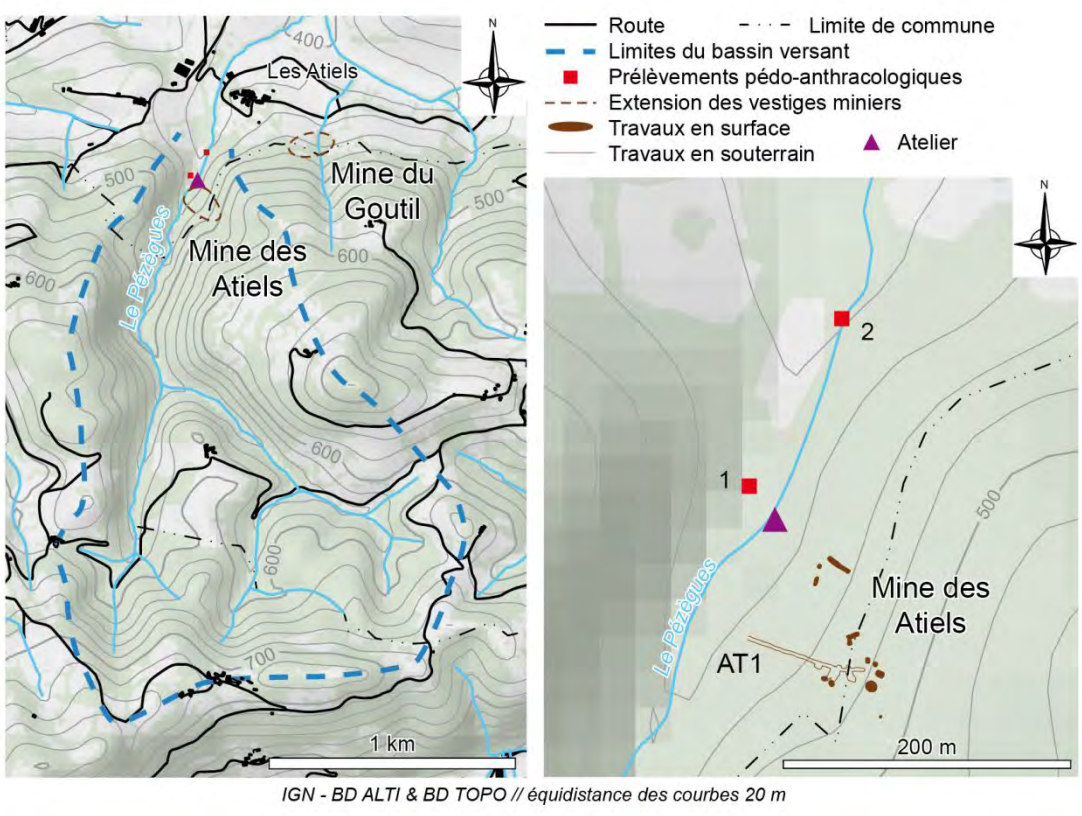


Fig. 149 : Bassin versant du Pézègues et localisation des coupes pédo-anthracologiques.

Deux coupes exploratoires ont été réalisées en aval des travaux miniers des Atiels (Fig. 149), dans le petit cône de déjection que le ruisseau de Pézègues a construit au débouché sur le piémont. Le bassin versant, qui culmine vers 750 m pour une superficie d'environ 240 ha, est taillé essentiellement dans les calcaires et calcschistes du Dévonien et les calcaires et pélites du Carbonifère. Jusqu'aux années 1950, les versants abrupts du bassin versant du Pézègues étaient boisés, mais tous les plateaux et replats en amont étaient en cultures, prairies de fauche et pâturages, dont une grande partie s'est enfrichée et boisée au

cours des dernières décennies. Les terrains du cône de déjection sont encore aujourd'hui des pâturages. Les boisements actuels sont des chênaies mixtes, avec du hêtre et de nombreuses essences de forêts pionnières (saule, noisetier, frêne, tilleul, bouleau, merisier, aulne le long des eaux). Le buis est fréquent dans les sous-bois et les fourrés. Le sapin est aujourd'hui totalement absent.

La première coupe, localisée près de l'apex du cône, à une vingtaine de mètres de l'atelier métallurgique de la deuxième moitié du I^{er} s. av. n. è., a été réalisée dans un fossé de drainage profond de 0,9 m max. qui rejoint le ruisseau. La seconde se situe dans la berge en rive gauche du ruisseau, à environ 200 m en aval de l'entrée du réseau AT1. L'accumulation de sédiments atteint 2,1 m à cet endroit.

Fig. 150 : Coupe pédo-anthracologique 1 (jalon : 1 m).

La succession stratigraphique observée dans la première coupe comporte quatre niveaux, à texture argileuse (Fig. 150). Le niveau 1 (0-10/20 cm) est un horizon brun humifère, argilo-limoneux, à texture plastique et un peu granuleuse. Il y a beaucoup de racines mais aussi un grand nombre de charbons millimétriques, visibles à l'œil nu.

Le niveau 2 (20-40/55cm) est granuleux, brun ocre à inclusions noires, avec de nombreux graviers de dimensions inférieures à 5mm, et quelques blocs de 10cm.

Le niveau 3 (40/55-70/75cm) est argileux, gris bleuté, avec des cailloutis de 5-10mm devenant de plus en plus nombreux vers le bas.

Le niveau 4 est argilo-granuleux, avec des cailloutis de 5-10mm et des inclusions noires schisteuses. Au mois d'août l'eau affleurait encore à ce niveau, provenant de la zone de mouillère proche en amont ; la coupe n'a pas été poursuivie plus bas.

Les échantillons prélevés dans cette coupe n'ont pas été étudiés ni datés, mais comme les sédiments se superposent aux vestiges d'un mur qui renforce la berge, bien plus récent que

les travaux miniers antiques. On peut donc supposer que leur dépôt est postérieur à l'exploitation de la mine.

La seconde coupe comporte cinq niveaux stratigraphiques (Fig. 151 et Fig. 152, à gauche). Le niveau 1 (0-50 cm) est un sol de prairie, très humifère, brun un peu rouge, mélangé de cailloutis <1cm et de cailloux grossiers > 5-10cm. C'est un sol limono-argileux à texture un peu granuleuse. Il y a beaucoup de racines.

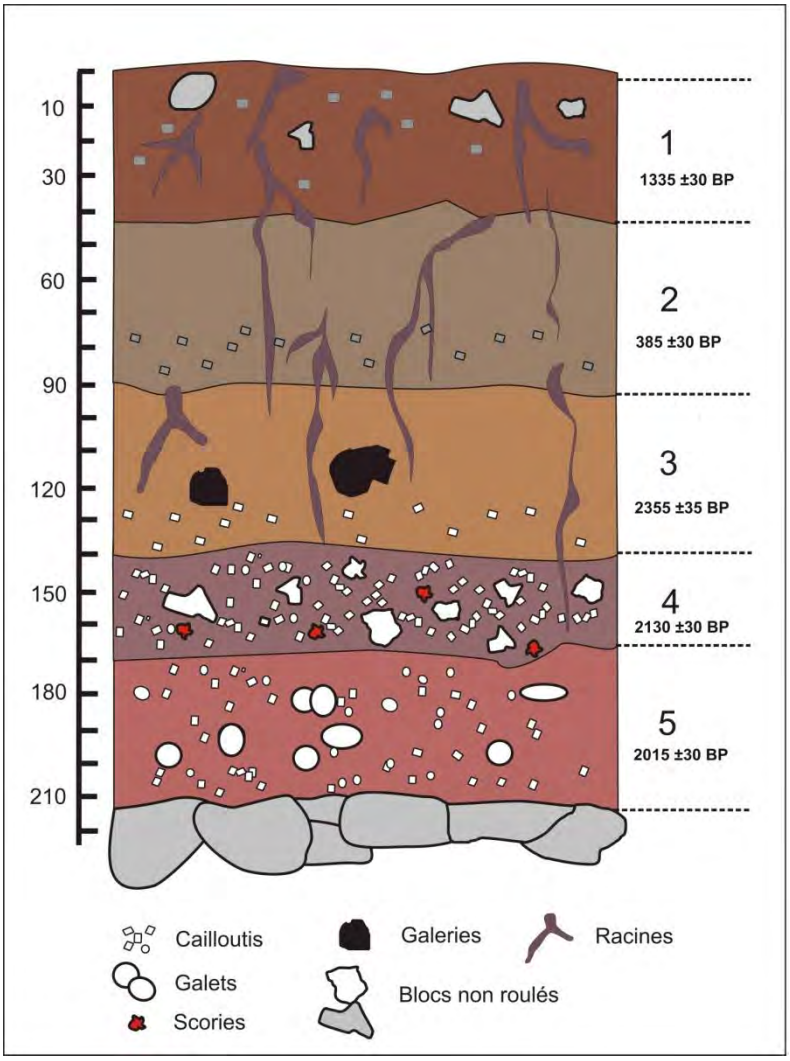


Fig. 151 : Coupe pédo-anthracologique de Pézègues-2 (J.-P. Métailié).

Le niveau 2 (50-90 cm) est assez semblable au niveau 1 ; il y a de grosses racines. On relève une zone de cailloutis petits et abondants vers le niveau 80 cm.

Le niveau 3 (90-140 cm) est limono-argileux, brun rouge, avec une texture plus argileuse que dans les niveaux supérieurs. On trouve encore des racines nombreuses, ainsi que des galeries de rongeurs. Les cailloutis sont abondants surtout dans la couche 120-130 cm.

Le niveau 4 (140-170 cm) présente un mélange d'argile rouge/lie de vin avec des cailloutis et résidus d'altération, ainsi que des cailloux et blocs anguleux, de dimensions 1 à 10cm, souvent altérés (blancs avec vésicules noires). Il y a encore quelques racines. On trouve aussi

de petites scories qui proviennent très probablement de l'atelier en amont (éléments de 0,5 à 4 cm de côté). Ce niveau est le seul qui ait livré du mobilier archéologique. On peut en conclure que sa formation est au plus tôt contemporaine du fonctionnement de l'atelier ou postérieure de peu à son abandon, dans le dernier tiers du I^{er} s. av. n. è.

Le niveau 5 (170-210 cm) est composé d'une argile fine, rouge à ocre rouge, très plastique, en mélange avec des cailloutis petits et altérés, ainsi que des galets de 5-20 cm, souvent arrondis, roulés et provenant des calcaires dolomitiques. Il n'y a pas de racines. Cette couche argileuse, bien reconnaissable, atteint une grande épaisseur (1,50 m) non loin de là en amont.

Fig. 152 : Coupe pédo-anthracologique 2 et blocs massifs immédiatement en amont.

Il faut également signaler que le lit du ruisseau est encombré de blocs de grande taille (entre 20 et 60 cm de côté), élément caractéristique des phénomènes de crues et laves torrentielles (Fig. 151 et Fig. 152, à droite). Cela a également été observé à la base de la stratigraphie des terrasses alluviales du Volvestre et a été mis en relation avec des phases de déboisements intensifs (Métailié *et al.* 2016, p. 351). L'épaisseur de la sédimentation accumulée aux niveaux 3 et 2 montrerait, comme dans le cas du Volvestre, que les sols sont restés sensibles à l'érosion après l'arrêt de l'exploitation minière antique (Cunill *et al.* 2015, p. 46). Les accumulations sédimentaires en fond de vallon ont aussi été identifiées par exemple en Allemagne comme des indicateurs de l'érosion des versants et mises en relation avec une activité humaine ayant eu un impact sur le couvert végétal (Bork & Lang 2003, p. 235 ; Dreibrodt *et al.* 2009, p. 494). Lorsque les sols environnants ont été de nouveau

stabilisés, l'apport de sédiments s'est arrêté et le ruisseau a donc entaillé les dépôts jusqu'au niveau visible aujourd'hui, comme cela a été indiqué pour le Volvestre (Cunill *et al.* 2015, p. 47).

Tous les niveaux de cette coupe renfermaient du charbon[90] (Fig. 153). La mesure complète de l'anthracomasse a été effectuée et donne des résultats assez élevés (entre 100 et 200 mg/kg), cohérents pour des registres sédimentaires ; dans le Volvestre (Cunill et al. 2015), ils peuvent être quatre à six fois plus élevés. Les niveaux 2 et 4 en contenaient près du double par rapport aux niveaux 1, 3 et 5 (Fig. 153). La présence de charbon dans les sols est un indicateur des feux qui ont eu lieu à l'échelle du basin versant. Ils peuvent être liés aussi bien à des phénomènes naturels qu'à des actions anthropiques (Bal *et al.* 2010, pp. 1794-1795 ; Bal *et al.* 2011, pp. 187-188 ; Cunill *et al.* 2015, pp. 45-46). L'agriculture sur brûlis est un des facteurs anthropiques principaux de la production de charbons, avec l'utilisation du feu pour maintenir des espaces ouverts, et ce encore récemment (Métailié & Faerber 2003, p. 39). Dans notre cas, on peut supposer que les activités métallurgiques et minières ont également contribué à la production de charbons, que l'on retrouve dans les sédiments. Cependant, différencier la part des charbons produits par les activités humaines de celle que l'on doit à des phénomènes naturels ne peut se faire sans une étude plus vaste. La palynologie, qui permet d'identifier des plantes liées aux activités agro-pastorales (céréales, plantains, oseille, …) ou encore des analyses géochimiques, qui permettent de détecter les pics de pollutions métalliques, sont habituellement croisées avec les études anthracologiques pour préciser l'origine de ces charbons (Davasse *et al.* 1997, p. 580 ; Galop 2005, p. 319 ; Baron *et al.* 2010, pp. 153-156 ; Bal *et al.* 2011, pp. 179-180). Dans le cas du Séronais et du versant nord du massif de l'Arize, aucun site palynologique exploitable n'a pu être encore identifié.

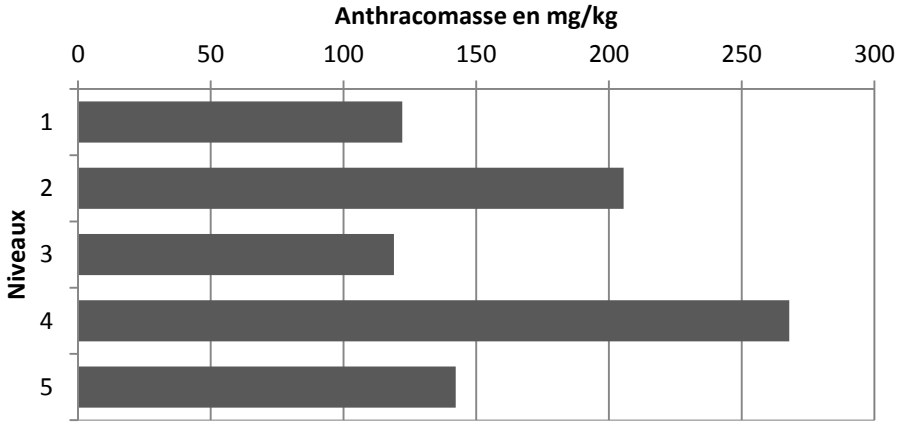


Fig. 153 : Antracomasse sécifique par niveau (R. Cunill).

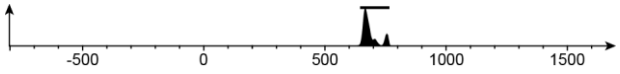
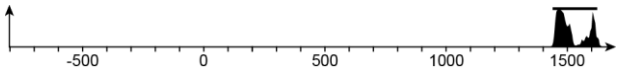
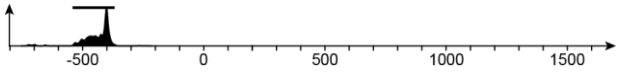
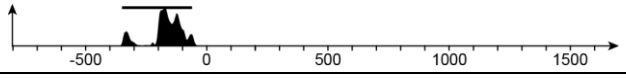
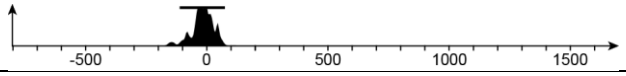
La chronologie des charbons datés dans chacun de ces niveaux, qui ne suit pas un ordre cohérent avec la succession stratigraphique, appelle quelques commentaires (Tab. 22). Tout

[90] Charbons étudiés par Raquel Cunill, pédo-anthracologue, GEODE.

d'abord, il faut rappeler que ce sont les charbons qui sont datés, et non les niveaux sédimentaires ou pédologiques. Les petits fragments de pédo-charbons peuvent migrer à l'intérieur du sédiment en fonction de l'action des racines ou de la faune (vers de terre, galeries et terriers de mammifères, etc.). Par ailleurs, la durée de vie des sapins, taxon des charbons datés dans les niveaux 2 et 3, peut aller jusqu'à 500 ans. Comme aucun des charbons identifiés ne présentait d'écorce, il est possible que les fragments datés proviennent du cœur de l'arbre et vieillissent ces niveaux de manière artificielle. Enfin, le cône de déjection reçoit des sédiments correspondant à l'ensemble du bassin versant, et les phénomènes érosifs peuvent à un moment donné transporter des charbons d'époques bien plus anciennes.

En particulier, les scories présentes dans le niveau 4 impliqueraient que ce dernier et tous ceux qui se sont déposés au-dessus soient postérieurs au I^{er} s. av. n. è. Les dates obtenues dans les niveaux 4 et 3 sont cependant plus anciennes. Ainsi, on pourrait imaginer que les métallurgistes de la deuxième moitié du I^{er} s. av. n. è. aient utilisé des vieux sapins présents autour des mines pour alimenter leurs fours, et que ces charbons aient été transportés de la même manière que les scories peu après l'abandon de l'atelier. Dans le cas du niveau 3, le fait que le charbon ait donné une date encore antérieure inviterait à considérer qu'il puisse s'agir d'une remobilisation de niveaux plus anciens situés auparavant en amont ou plus haut sur les pentes.

Ces hypothèses trouveraient une confirmation dans la date plus récente du niveau 5, pourtant formé avant tous les autres. Son intervalle calibré se situe en effet entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le deuxième tiers du I^{er} s. de n. è., soit à une période contemporaine de l'exploitation de la mine des Atiels, selon la date obtenue dans un niveau de circulation dans le réseau (plus haut dans ce chapitre, point III. B. 1.c, p. 173). L'aulne ayant une durée de vie de 80 ans, le vieillissement potentiel de la date est moindre que pour le sapin. De plus, l'absence de scorie dans ce niveau indiquerait même qu'il s'est formé avant le milieu du I^{er} s. av. n. è. Sa localisation à la base de la stratigraphie, sur le substrat naturel, pourrait indiquer qu'il s'agit de la première phase de colluvionnement de sols fragilisés par le déboisement dû à l'activité minière et/ou aux activités agro-pastorales touchant le bassin versant. Une fois les terrains autour de la mine et en amont altérés durablement par l'utilisation massive des ressources forestières, les épisodes pluvieux vont continuer à entraîner des sédiments vers l'aval, atteignant les couches plus anciennes en amont à mesure que les sols sont emportés.

Niveau	Identification taxonomique	Qté	Datation ^{14}C[91] (échantillon daté) *Chronomodel 1.5.0 Ref : intcal 13.14c*
1 (0-50 cm)	*Fagus sylvatica*	2	1335 ±30 BP (*Pomoideae*) 646-717 cal AD et 742-766 cal AD 
	Pomoideae	2	
	Alnus sp	3	
	Angiospermeae type Betula	1	
	Angiospermeae	1	
	Indéterminé	1	
2 (50-90 cm)	Quercus sp	1	385 ±30 BP (*Fagus*) 1442-1524 cal AD, 1559-1564 cal AD et 1569-1631 cal AD 
	Betula sp	3	
	Fagus sylvatica	5	
	Angiospermae type Fraxinus	1	
3 (90-140 cm)	*Fagus sylvatica*	2	2355 ±35 BP (Abies) 702-698 cal BC et 541-368 cal BC 
	Rosaceae/ Maloideae	4	
	Abies sp	3	
	Quercus	1	
4 (140-170 cm)	Abies sp	6	2130 ±30 BP (Abies) 350-308 cal BC et 210-52 cal BC 
	Alnus sp	3	
	Rosaceae/ Maloideae	1	
5 (170-210 cm)	Alnus sp	9	2015 ±35 BP (Alnus) 111 cal BC - 68 cal AD 
	Rosaceae/ Maloideae	1	

Tab. 22 : Identifications taxonomiques et datations de la coupe 2 du Pézègues.

Le niveau 2, avec la date la plus récente de la séquence, nous emmène directement à la fin du Moyen Âge ou au début de l'époque Moderne, avec une date calibrée entre mi-XV^{e} et mi-XVII^{e} siècle. Là encore, on constate une inversion chronologique par rapport au niveau 1, daté entre les VII^{e} et VIII^{e} s. de n. è. par un charbon de *Pomoideae*. Cette sous-famille d'arbres qui renferme par exemple les pommiers, poiriers ou encore les aubépines, a une durée de vie qui peut varier de 60 à 400 ans selon que l'on se trouve face à un pommier ou à une aubépine. Cependant, même en rajeunissant cette date de quatre siècles, l'inversion chronologique ne disparaît pas. Si le transport de charbons anciens mis à découvert par l'érosion des sols en amont est toujours possible, un autre élément à prendre en compte ici pourrait être une migration du charbon plus récent depuis la couche supérieure sous l'action des racines par exemples (Bal *et al.* 2010, p. 1795). En effet, on peut observer leur présence dans le niveau 2 (Fig. 152, à gauche). Les données disponibles actuellement ne permettent pas de trancher. On peut seulement supposer que la stabilisation des sols autour de la mine se soit produite entre le VII^{e} s. de n. è. et le XVII^{e} siècle. À partir de ce moment, le ruisseau n'a plus apporté de matière mais a commencé à inciser la stratigraphie jusqu'à revenir au niveau du substrat naturel actuel. Or, la bibliographie ancienne mentionne une activité

[91] N5: Poz-88053 ; N4: Poz-88052 ; N3: Poz-88051 ; N2 : Poz-97141 ; N1: Poz-94773.

minière au début du XVIII^{e} siècle sur ce site et des reprises sont attestées au XIV^{e} siècle dans trois autres mines. On peut alors en déduire que les occasions de perturber le couvert forestier se sont multipliées au fil du temps. L'agriculture et l'élevage ont aussi pu provoquer leur part de fragilisation des terrains pendant les périodes où la mine ne fonctionnait pas.

En faisant un parallèle avec la séquence enregistrée dans la forêt de Ste-Croix/Montbrun (Cunill *et al.* 2015 ; Métailié *et al.* 2016), on peut proposer à titre d'hypothèse un schéma d'évolution à grands traits du bassin versant du Pézègues. La phase d'érosion intense, datée du Moyen Âge dans le Volvestre, a pu démarrer dès la fin de l'âge du Fer ici, sous l'action des travaux miniers (décapage du terrain pour repérer les affleurements, déboisements des alentours immédiats de la mine). L'impact sur les sols se poursuit de manière intensive jusqu'aux XIII^{e} et XIV^{e} siècles, avec des décapages et remaniements des sols par l'érosion. Les trois niveaux inférieurs, riches en charbons incluant du sapin, ont pu se former durant cette période. À partir des XVIII^{e} et XIX^{e} siècles, l'accumulation sédimentaire s'arrête et le cône est incisé par le ruisseau.

En synthèse, l'interprétation de la stratigraphie et des datations conduit à identifier deux grands épisodes sédimentaires : les niveaux 3-4-5 signalent une phase d'érosion pendant les travaux miniers et métallurgiques de l'Antiquité, avec probablement des activités agricoles et forestières, remaniant les versants de façon assez brutale. Les niveaux 1 et 2 correspondent à une phase d'érosion plus modérée mais étalée sur tout le Moyen Âge et probablement l'époque Moderne. Les dates obtenues ici demanderaient à être multipliées pour valider ce schéma. Il présente cependant une cohérence avec les données historiques générales.

En ce qui concerne les espèces identifiées, leur nombre réduit ne permet pas une interprétation fiable du couvert arboré environnant, mais l'analyse anthracologique donne une première image générale de la végétation et de son évolution qui a là aussi une certaine cohérence avec les données éco-historiques existantes (Tab. 22). Le plus ancien niveau est largement dominé par l'aulne, ce qui correspond à un environnement humide cohérent avec les abords d'un cours d'eau. La présence de sapins dans le niveau 4 pourrait être une conséquence de l'exploitation minière, qui a conduit à leur utilisation pour les besoins de l'exploitation, et/ou des défrichements. Les aulnes y sont toujours présents. Dans le niveau 3, l'aulne a disparu et le hêtre et le chêne font leur apparition alors que le sapin se maintient encore. Le hêtre est une espèce dont le développement est souvent associé au défrichement de forêts de sapins, bien que des facteurs climatiques entrent en jeu (Galop & Jalut 1994, 225 ; Cunill *et al.* 2015, p. 46). Rejetant de souche, contrairement au sapin, il résiste mieux par la suite aux coupes répétées, au détriment de ce dernier. Dans notre cas, le sapin a en effet complètement disparu dans les niveaux supérieurs, alors que le hêtre se maintient jusqu'au niveau 1. Le chêne quant à lui fait partie des espèces naturellement dominantes à des altitudes inférieures à 800 m dans les Pyrénées depuis la fin de la dernière glaciation (Galop & Jalut 1994, p. 225). Le trouver dans les niveaux 3 et 2 n'est donc pas forcément surprenant. La présence de bouleau, dans les niveaux 2 et 1, et de l'aulne de

nouveau dans le niveau 1 montre le retour d'une végétation qui apprécie l'humidité et la lumière, tout comme le type *fraxinus*. Le bouleau est également une espèce de recolonisation et indiquerait une régénération forestière, peut-être liée à l'arrêt de l'activité minière (Galop 2005, p. 323). Les Rosaceae/Maloideae des niveaux 5, 4 et 3 et les Pomoideae du niveau 1 appartiennent à une même famille dont il est difficile de différencier les espèces. La variété des taxons potentiellement concernés ne permet pas de proposer d'interprétation quant à leur présence, mais ces espèces sont habituellement associées aux forêts clairièrées et aux bocages.

L'apparition puis le développement du hêtre aux dépens du sapin est un phénomène observé de façon générale dans les Pyrénées, corrélé à l'activité humaine (Jalut *et al.* 1982, pp. 349-350 ; Jalut *et al.* 1998, p. 79 ; Cunill *et al.* 2015, p. 46). Les données issues de l'identification anthracologique des charbons de mines et des sites de surface permettent de compléter les observations réalisées dans cette coupe pédo-anthracologique.

IV. B. Identification de charbons liés à l'exploitation minière

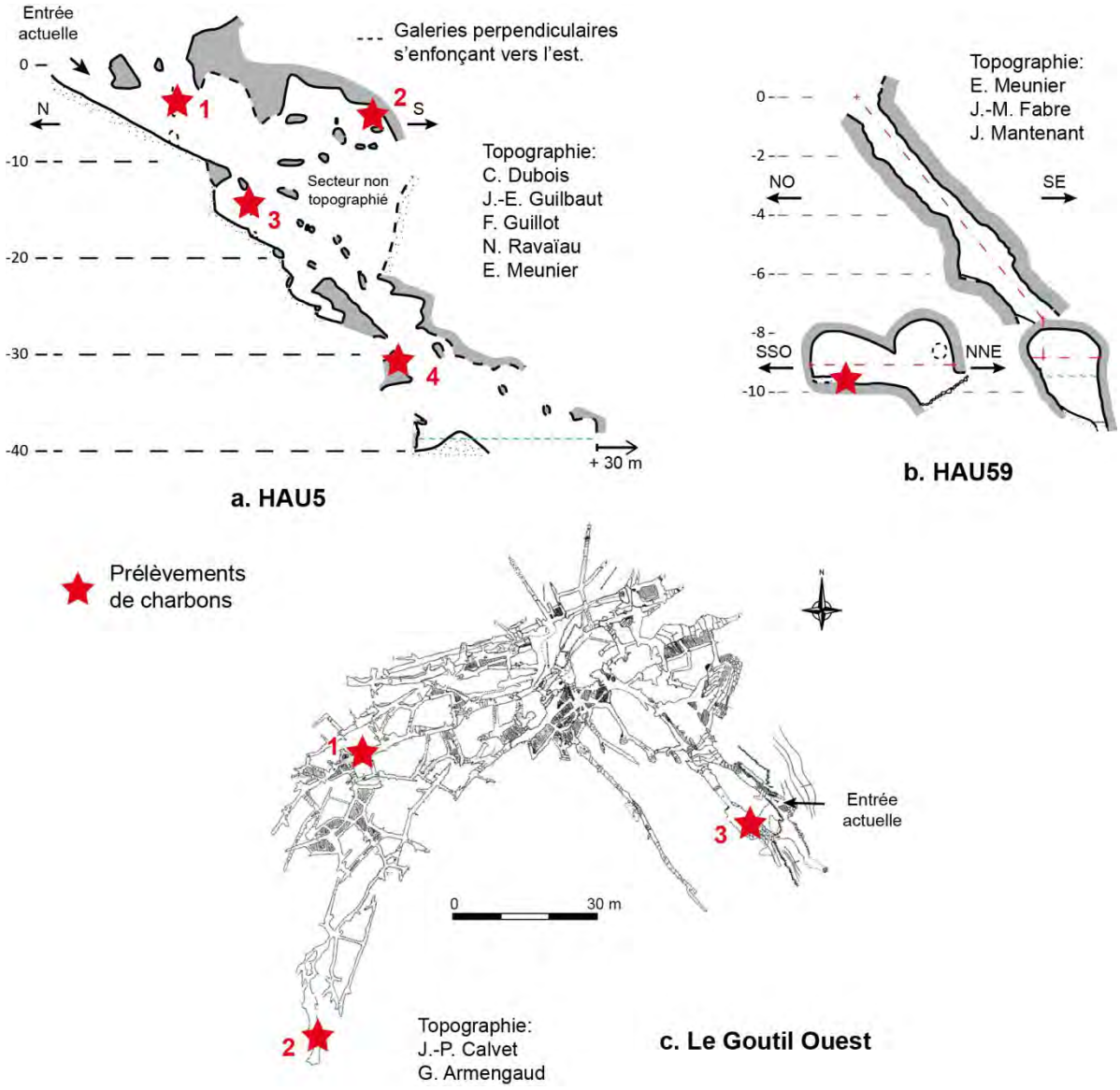


Fig. 154 : Localisation des prélèvements de charbons en mine pour identification anthracologique.

Les charbons pris en compte ici ont été prélevés par C. Dubois dans les réseaux miniers de Hautech 5, Hautech 9 et le Goutil Ouest (Fig. 154), ainsi que dans une fosse de l'habitat de Nescus et dans une autre fosse liée à l'occupation de surface au pied de la mine du Goutil (sondage 2, US 6, Fig. 124). Les derniers échantillons proviennent d'un sondage réalisé dans le hameau des Atiels, sur le crassier de l'atelier métallurgique de la période augustéenne (Dubois 1992, p. 292) Les échantillons prélevés en mine sont constitués de résidus d'abattage au feu. Dans la mine d'Hautech 5, quatre prélèvements ont été réalisés : deux dans des galeries perpendiculaires au chantier principal (1 et 3), un à l'extrémité sud du haut du chantier et le dernier sur un petit replat à la cote -31,3 m. Dans le chantier Hautech 9, les charbons proviennent du renfoncement de la salle du niveau inférieur. Au Goutil Ouest, enfin, trois prélèvements ont été étudiés : le premier est issu de l'ouest du réseau, le second de la galerie la plus éloignée du jour au sud-ouest, et le troisième près d'une des anciennes

entrées du réseau, au sud-est (Dubois 1992, p. 290 ; Dubois & Métailié 1992, p. 35 ; Dubois 1996, pp. 39-41).

En termes de chronologie, on peut accepter les dates fournies par le mobilier archéologique pour les deux lots de charbons issus des sites de surface, soit la première moitié du I^er^ s. av. n. è. pour Nescus et la seconde moitié de ce même siècle pour le Goutil (Dubois & Métailié 1992, pp. 36-37 et 73-75). Il en va de même pour l'atelier augustéen des Atiels. Pour les lots de charbons miniers, un seul avait fait l'objet d'une datation par C. Dubois : celui de l'extrémité sud-ouest du Goutil Ouest, qui s'est avéré du XIV^e^ ou début du XV^e^ siècle (Dubois 1996, p. 39). Pour le chantier HAU9, une datation a été réalisée dans le cadre de cette thèse sur un charbon provenant du même niveau de résidus d'abattage au feu encore en place. Elle est là aussi médiévale, du XIV^e^ siècle. Le chantier HAU5 n'est pas daté. La présence d'amphores en surface autour du réseau ne peut pas être considérée comme un argument suffisant pour attribuer l'ensemble de l'ouvrage à la période tardo-républicaine. On connaît en effet, outre la reprise médiévale, une datation des IV^e^ et le III^e^ s. av. n. è. pour HAU9 également. Le même problème se pose pour les charbons récoltés au point 2 dans le réseau du Goutil Ouest, qui pourraient être autant tardo-républicains que médiévaux, voire même dater eux-aussi des IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è. Pour le lot 3 de ce même réseau, la présence de tessons d'amphores associé aux charbons, pris tous ensemble dans de la calcite tendrait à confirmer la chronologie tardo-républicaine, sans toutefois pouvoir l'assurer précisément. L'image de l'environnement minier que l'on obtient de ces charbons correspond donc au XIV^e^ siècle pour deux cas, au I^er^ s. av. n. è. pour trois autres, et n'est pas datée dans les cinq derniers cas.

	HAU 5				**HAU9**	**Goutil O.**			**Nescus**	**Goutil**	**Atiels**
Taxon	**1**	**2**	**3**	**4**		**1**	**2**	**3**	**Fosse**	**SD2, US6**	**SD hameau**
Hêtre	38	28	97	74	30	146	97	3,5	1	61	8
Sapin			1			1		5	29	16	
Noisetier	40						2				
Quercus sp	4			1				3,5			11
Peuplier	4		1								
Aulne	2						1				15
Buis						2				22	
Pirus sp	1										
Pommier		2									
Merisier	4										
Châtaignier	3										14
Noyer	1										
Prunus sp	1										
Genévrier											2
If								8			
Indéterminé	1		1			1				1	
Total	100	30	100	75	30	150	100	20	30	100	50

Tab. 23 : Charbons identifiés en contexte archéologique (d'après Dubois 1996 ; 1992 et Dubois & Métailié 1992).
En bleu, lots du I^er^ s. av. n. è. ; en orange, lots du XIV^e^ siècle ; en noir, lots non datés.

C. Dubois attribuaient l'ensemble des charbons miniers, à part ceux du prélèvement 2 du Goutil Ouest dont il avait la date, à des résidus de l'extraction du I^er^ s. av. n. è. (Dubois 1996, p. 39) Sur cette base, les charbons les plus proches des entrées étaient considérés comme les plus proches du démarrage du chantier et ceux du fond comme des reflets de phases plus avancées, mais toujours dans le cadre d'une exploitation unique à la période tardo-républicaine, en fonction du mobilier (Dubois 1992, p. 298). Dans ce contexte, il restituait une utilisation indistincte des arbres proches de la mine au démarrage de l'exploitation (HAU5-1), puis une utilisation sélective des ressources boisées avec une préférence pour le hêtre (HAU5-2 à 4, HAU9, Goutil O-1).

Les sapins en plus grande proportion parmi les charbons des sites de surface attestent leur présence à proximité des sites au I^er^ s. av. n. è. Cela correspond en partie à la chronologie du sapin daté dans le niveau 4 de la coupe du Pézègues (voir ci-dessus). La préservation du sapin toutefois accompagné du hêtre est un premier signe d'une action anthropique sur le milieu forestier, dont l'ampleur ne peut être précisée avec ces seules données, mais qui pourrait être modérée. La présence d'ifs dans le 3^e^ lot du Goutil, qui indiquerait sa présence ancienne à faible altitude, correspondrait à une forêt plutôt préservée de l'impact humain (Dubois 1992, p. 290 ; Uzquiano *et al.* 2015, p. 239). Les espèces variées identifiées dans le premier prélèvement du site d'Hautech donnent par contre des indices plus nets d'une anthropisation du milieu, avec la présence de pommiers, merisiers, noisetiers, noyers et châtaigniers notamment (Dubois 1996, p. 41). Les buis indiquent aussi une dégradation du milieu forestier sur les terrains calcaires, qui leur profite (Jalut *et al.* 1998, p. 79).

La chronologie des cinq prélèvements non datés pose cependant un problème lorsqu'il s'agit d'attribuer ce paysage anthropique à une période ou à une autre. Nous avons déjà évoqué le cas du chantier HAU9, dont la partie basse est médiévale. Pour le chantier HAU5, il est également possible que les galeries perpendiculaires au chantier principal lui soient postérieures et correspondent à des reprises. Quant au réseau du Goutil, nous avons vu plus haut qu'il était particulièrement complexe de proposer une chronologie des ouvrages sur la simple base de la morphologie des galeries ou même du mobilier résiduel lorsqu'il y en a. Les lots 1 et 2 de ce réseau provenant de points éloignés de l'entrée, on peut simplement considérer qu'ils ne correspondent pas au démarrage de l'exploitation. Pour le lot 3, la question est plus complexe en l'absence de description stratigraphique précise, mais sa localisation près d'une entrée serait cohérente avec une chronologie ancienne.

Les taxons identifiés peuvent apporter quelques éléments de réflexion complémentaires. Le noyer (HAU5-1) en particulier est une espèce dont l'introduction sur le versant nord des Pyrénées est attribuée à une action anthropique, car il s'agit d'un arbre cultivé (Jalut *et al.* 1998, 81 ; Galop 2005, p. 318). Identifié au plus tôt à la période romaine, son introduction ne s'est cependant pas faite partout à la même période et des séquences palynologiques montrent que dans plusieurs points des Pyrénées, il faut attendre l'Antiquité tardive ou le début du Moyen Âge pour l'identifier (Galop 2005, p. 319). Sa présence aux IV^e^ ou III^e^ s. av.

n. è. semble bien exclue. Le châtaignier (HAU5-1), attesté ponctuellement entre 5000 et 4000 BP en Ariège, est également un arbre dont le développement est favorisé par des pratiques culturales. À l'échelle de l'ensemble du massif pyrénéen, sa présence est régulière depuis le Moyen Âge, mais pas impossible pour des périodes antérieures (Jalut *et al.* 1998, p. 81 ; Ejarque *et al.* 2009pp. 1247 et 1250). La présence de ce taxon dans le sondage de l'atelier de réduction de fer des Atiels irait toutefois dans le sens d'une présence précoce. Quant à l'if, nous avons vu qu'il reflèterait plutôt un peuplement ancien peu affecté par les actions anthropiques.

La question se pose différemment pour les lots comportant presque exclusivement du hêtre (HAU5-2 à 4, Goutil O-1). C. Dubois signalait la préférence des mineurs pour l'utilisation de bois de feuillus pour l'abattage au feu (Dubois 1996, p. 41). Il est vrai que les conifères produisent plus de fumée, ce qui est un inconvénient non négligeable dans ce type de contextes (de Blas Cortina 2014, p. 54). Or, on sait par le lot provenant de la fosse de surface du Goutil que le hêtre et le sapin cohabitent à proximité au moins depuis la deuxième moitié du I^{er} s. av. n. è. Les quelques charbons dont l'essence a pu être identifiée préalablement aux datations réalisées dans le cadre de cette thèse nous indiquent que le hêtre était utilisé par les mineurs dès les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. à Rougé (Tab. 24). On le retrouve pour la période tardo-républicaine à La Coustalade et au XIV^{e} siècle à Hautech 9. Sa présence ne constitue pas un argument discriminant en termes de chronologie des exploitations. Par contre, elle peut refléter une atteinte plus ancienne que l'exploitation minière sur la forêt, conduisant à l'apparition d'une hêtraie-sapinière. Les mineurs auraient alors pu prélever uniquement les hêtres de cet ensemble. L'intensité de l'exploitation n'est pas connue car la mine du Goutil n'est pas suffisamment bien datée pour l'heure. On sait pourtant que l'exploitation s'est faite au moins en deux phases, entre la période tardo-républicaine et le XIV^{e} siècle, avec peut-être une phase préalable dès le IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. Cela serait cohérent avec une exploitation modérée à laquelle le prélèvement de petits bosquets de hêtres parmi la sapinière aurait suffi.

Taxon	**Localisation**	**Datation**
Hêtre	Rougé, US 111	2285 ±30 BP
	Rougé, US 203	2190 ±30 BP
	La Coustalade, US 203	2120 ±30 BP
	Hautech 9, coupole inférieure	627 ±27 BP
Sapin	Mine des Atiels, US 104	2090 ±35 BP
Aulne	Le Goutil Ouest, US 102	622 ±27 BP
Noisetier	Rougé, US 105	645 ±30 BP

Tab. 24 : Taxons identifiés avant datation 2014-2017.

Pour conclure sur ces aspects environnementaux, il faut rappeler que les données disponibles actuellement sont très partielles. Si l'on s'en tient aux éléments les mieux caractérisés, on peut proposer pour la période des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. la présence d'une sapinière (Pézègues, N4) attestée dès le premier âge du Fer (Pézègues, N3), qui se maintient vraisemblablement jusqu'à la fin du I^{er} s. av. n. è. (Pézègues, N5 ; fosses de Nescus et du

Goutil). Cette sapinière serait mêlée à une hêtraie dès les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. (Rougé, US 111 et 203), hêtraie qui se maintiendrait dans le paysage jusqu'au XIV^e^ siècle (La Coustalade, US 203 ; HAU9 ; Goutil O-2). Les buis recensés dans la fosse de surface du Goutil dans la deuxième moitié du I^er^ s. av. n. è. (et ceux du point Goutil O-1 non daté ?) ne sont pas surprenants dans une forêt sur un substrat rocheux calcaire, surtout si les affleurements fréquents, comme c'est le cas ici, contribuent à éclaircir la forêt. Le cas est le même pour les ifs non datés du point 3 du Goutil Ouest. Enfin, le prélèvement 1 du site HAU5 concentre les indices d'anthropisation les plus variés. C. Dubois écrivait que ces indices révélaient une présence humaine locale plus ancienne que les mines (sous-entendu que le I^er^ s. av. n. è.), suffisamment importante pour avoir déjà imposé sa marque sur l'environnement forestier (Dubois 1992, p. 299). Cette présence ancienne est aujourd'hui confirmée par les datations des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. obtenues sur trois mines du secteur. Cependant, on peut se demander si les indices d'impacts anthropiques les plus flagrants ne seraient pas à attribuer au Moyen Âge (comme pour le noisetier de l'US 105 de Rougé), une autre période d'activité reconnue à l'échelle du district. Dans ce cas, la mise en place de terroirs agricoles avec une forte présence d'arbres fruitiers, de noyers et de châtaigniers pourrait être postérieure à la période augustéenne, lors de la reconversion des populations minières après l'arrêt de l'activité extractive. Cette hypothèse ne pourra pas être validée sans de nouvelles études sur le paléo-environnement dans la diachronie.

CHAPITRE 3. Du Massif de l'Arize au Sud-Ouest de la Gaule

Nous l'avons vu dans le premier chapitre : une exploitation minière est un système complexe qui s'inscrit dans un contexte socio-économique, politique et environnemental large, déterminé par la chronologie de l'activité (Fig. 10, p. 76). L'analyse des caractéristiques de l'exploitation se doit de prendre en compte ce contexte élargi, défini par les vestiges archéologiques non miniers contemporains des phases d'extraction. De même, la comparaison avec les autres mines connues pour la même période permet d'évaluer l'activité pratiquée dans un district et fournit des éléments pour réfléchir aux débouchés possibles de la production. Ces aspects vont être abordés dans ce dernier chapitre, qui ouvre la discussion aux contextes archéologiques et historiques à l'échelle régionale du Sud-Ouest de la Gaule. Cette région renferme plusieurs districts miniers au-delà du Massif de l'Arize, dans le reste de la chaîne pyrénéenne mais aussi au sud du Massif Central et dans les Corbières. Des études menées ces dernières années sur ces secteurs ont renouvelé les données disponibles et il est possible aujourd'hui de mettre en évidence des dynamiques régionales, que l'on peut comparer à ce qui est connu dans d'autres régions. La caractérisation de l'exploitation minière contribue ainsi à préciser, au cours des différentes phases identifiées, ce qu'il en est des sociétés qui la mettent en pratique.

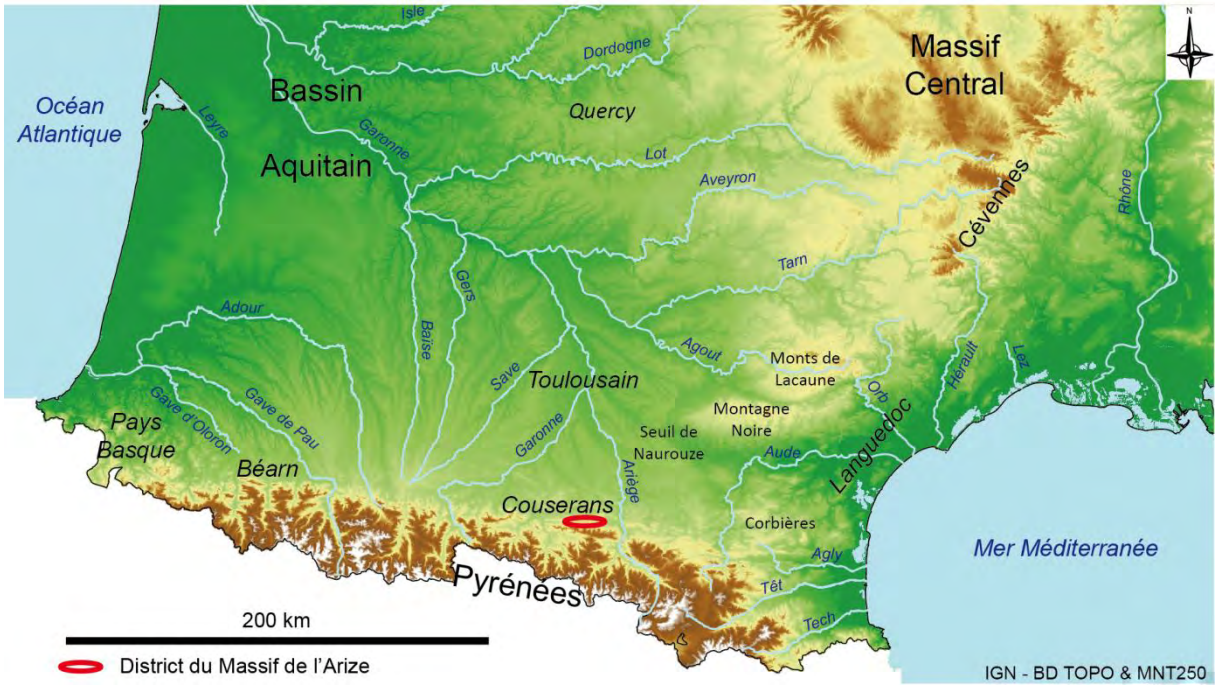
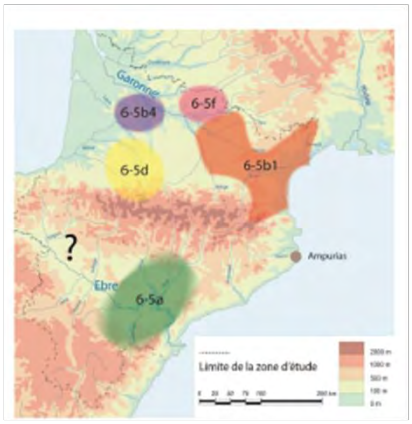


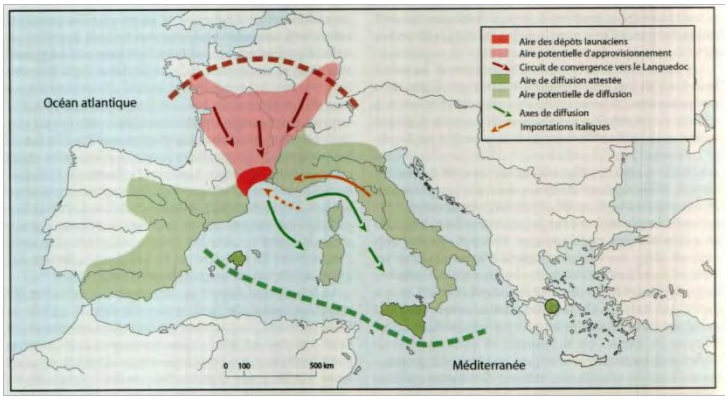
Fig. 155 : Carte physique du Sud-Ouest de la Gaule.

Le Sud-Ouest de la Gaule, délimité au sud par les Pyrénées, à l'ouest par l'océan Atlantique, à l'est par la Méditerranée et au nord par l'axe Aude-Garonne, est une région vaste aux profils variés, autant culturellement que géographiquement (Fig. 155). Grandes vallées fluviales, aires littorales ou régions de montagne marquent des espaces aux potentiels distincts, habités par différents groupes et traversés par des courants d'échanges de direction et d'ampleur diverses. Cette variété culturelle est visible dès la fin de l'âge du

Bronze et au cours du premier âge du Fer (Fig. 156). Par exemple, les traditions funéraires jusqu'au premier âge du Fer (Adroit 2014, p. 214), les pratiques de dépôt de mobilier métallique du Launacien (Guilaine *et al.* 2017, pp. 349-351) ou encore, à la charnière avec La Tène, les premiers monnayages en circulation illustrent ces différences (Bats 2011, pp. 106-108). Pour le second âge du Fer, le Sud-Ouest est une région qui est aussi définie par contraste avec la Gaule intérieure (Fichtl 2012, pp. 17-18 et 165-166), distinction accentuée par des héritages historiographiques (Colin & Verdin 2013, p. 235 ; Gardes 2017, p. 191). Le morcellement interne de cette grande région est toujours marqué pour cette période (Fichtl 2006, pp. 51-52). Le fait que Strabon, dans sa description de la Gaule, indique la différence ethnique entre Aquitains et Celtes renforce le rôle frontière de la Garonne (Strabon, *Géographie*, IV, 1, 1 et IV, 2, 1). La diversité interne sera peu à peu atténuée par la mainmise de plus en plus forte des Romains sur ce territoire, avec l'intégration de la moitié orientale de cet espace à la province de Narbonnaise. Après la conquête césarienne, mais surtout suite aux réformes augustéennes, le Sud-Ouest est désormais totalement absorbé dans l'orbite de Rome et soumis aux obligations de l'Empire. Certaines spécificités culturelles au sein de cette région trouveront plus tardivement un moyen d'expression, sur le plan administratif, avec la création de nouvelles provinces et cités dans le cadre des réorganisations de l'Empire, notamment sous Dioclétien.



Groupes funéraires identifiés au VIe s. av. n. è., d'après Adroit 2015, fig. 187



Aire des dépôts launaciens et relations entretenues avec cette région, d'après Guilaine *et al* 2017, 354.

Fig. 156 : Morcellement et aires d'influences dans le Sud-Ouest au premier âge du Fer.

Ce chapitre donnera l'occasion d'interroger les relations entre les exploitations minières et l'évolution historique de la région. Entre le IV^{e} s. av. n. è. et la fin de l'Empire romain, les situations ont beaucoup changé. Les types d'organisations politiques reconnues sur cette période vont de la chefferie plus ou moins complexe, à un véritable état. Les territoires concernés recouvrent de l'ordre du petit millier de km^2 à des espaces s'étendant sur plusieurs milliers de kilomètres dans différentes directions (Brun 2007, p. 383). Dans des contextes si divers, l'organisation de l'exploitation des ressources naturelles, et minières en particulier, n'a pas pu être uniforme.

I. Les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. : une période méconnue

La période qui correspond à La Tène B et C1 constitue une phase de transition majeure à l'échelle européenne, définie seulement à grands traits par la relative rareté des données pour le territoire de la Gaule (Brun 2007, p. 377). Des raisons historiographiques expliquent cet état de fait : les recherches se sont centrées sur les périodes antérieures ou postérieures, faisant des IV^e^ et III^e^ siècles les parents pauvres des études sur l'âge du Fer, malgré des renouvellements récents (Mennessier-Jouannet *et al.* 2007, p. 5 ; Buchsenschutz *et al.* 2012, p. 295). Une autre particularité de cette période est la faiblesse du nombre de sites attestés, phénomène accentué par les choix de recherche, longtemps centrés sur les nécropoles et les sites fortifiés de hauteur (Vidal 1987). Constatée dans l'ensemble de notre zone d'étude[92], cette situation pourrait être en partie liée à des mobiliers archéologiques peu caractéristiques, du fait de la rareté des importations méditerranéennes (Gruat & Marty 2000 ; Garcia *et al.* 2007, p. 227). Malgré cela, les recherches récentes ont livré de nouvelles données qui permettent de dégager des tendances dans l'évolution des sociétés, dont les aboutissements seront bien perçus à partir de la fin du III^e^ siècle et surtout au II^e^ s. av. n. è.

I. A. Des dynamiques régionales endogènes nourries d'influences multiples

Cette période de transition peut être abordée à travers différents thèmes, qui seront déclinés selon les espaces concernés et permettront d'en identifier les particularités mais aussi de relever leurs traits communs. Les premiers éléments utilisés pour définir ces zones d'influence sont les mobiliers archéologiques, en particulier céramiques. L'identification et la quantification des objets importés permettent de mettre en évidence les relations entre chaque zone et les espaces extérieurs. Les différents courants d'échanges caractérisés marquent le degré d'insertion de chaque secteur dans des sphères plus larges. Un deuxième aspect est celui des formes d'occupation du territoire, qui illustrent l'organisation des espaces. De même, les modes de construction et les formes d'urbanisme révèlent des choix et des préférences que l'on combine avec la culture matérielle pour définir des zones particulières. Enfin, les premières émissions de monnaies locales sont abordées pour éclairer les formes de l'assimilation par les populations du Sud-Ouest de ce nouveau moyen d'échange venu de l'extérieur.

I. A. 1. Culture matérielle et réseaux d'échanges

Le premier élément qui est relevé dans l'ensemble du Sud-Ouest est la raréfaction des importations méditerranéennes, à l'exception de la frange côtière du Roussillon et du Languedoc. Ce phénomène est constaté pour l'ensemble de l'Europe occidentale et centrale

[92] Ce phénomène est observé sur la zone côtière méditerranéenne (Garcia 2002, pp. 96-98 ; Py 2012, p. 188), dans le Sud du Massif Central (Fages 2000, p. 57 ; Gruat & Marty 2000, p. 40 ; Dedet 2003, p. 200), pour le toulousain (Py 2012, p. 200 ; Gardes & Grizeaud 2013, p. 7) ou encore dans le bassin audois (Rancoule & Schwaller 1994, p. 225).

et tranche avec les relations soutenues établies avec l'Italie en particulier à la période précédente (Milcent 2003, p. 365 ; Adam 2007, p. 255). Les réseaux d'échanges antérieurs sont modifiés. La circulation des objets méditerranéens se fait désormais de manière isolée. Les rares importations de ce type identifiées dans les sites de cette période, à l'exclusion du littoral méditerranéen, se trouvent dans le bassin de la Garonne, autour de Toulouse et ponctuellement près d'Agen. Il s'agit de céramique fine et dans quelques cas d'amphores massaliètes (Adam 2007, fig. 1).

Cette rareté relative du mobilier méditerranéen ne signifie par pour autant un arrêt des échanges à longue distance. Car cette période des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. correspond à l'expansion de peuples Celtes depuis le centre de l'Europe vers le sud, l'est et l'ouest. Les textes classiques relatent certaines de ces incursions, l'épisode de la prise de Rome vers -390 étant le plus connu, parmi d'autres (Buchsenschutz *et al.* 2012, pp. 296 et 311-319). Des mercenaires celtes ont fréquemment été employés au cours des IV^{e} et III^{e} siècles par les Macédoniens, les Carthaginois, les Romains ou encore par le tyran Denys l'Ancien de Syracuse (Lejars 2006, p. 79 ; Péré-Noguès 2007 ; Buchsenschutz *et al.* 2012, pp. 319-320). Au-delà de ces épisodes guerriers, le développement de la culture laténienne se traduit par une grande homogénéité dans les mobiliers céramiques ou métalliques (fibules, armes) que l'on retrouve des côtes atlantiques de la Gaule jusqu'à la Mer Noire (Buchsenschutz *et al.* 2012, p. 301). La diffusion et l'adoption rapide des nouveautés à l'échelle de ce vaste espace montrent le dynamisme des contacts de cette période.

Le mobilier de faciès laténien est aussi présent dans le Sud-Ouest de la Gaule aux IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. Dans le Toulousain, l'utilisation de fibules et de vaisselle céramique relevant de cette culture matérielle montre l'adoption dans le quotidien, par toutes les franges de la population, de ces nouveaux artefacts (Milcent 2006, p. 49). L'Aquitaine septentrionale est elle aussi bien intégrée dans ce mouvement, tout comme le Massif Central, avec l'adoption des céramiques à enduit rouge (Gomez de Soto *et al.* 2007, p. 84-85). Enfin, le Languedoc Occidental adopte également des vases tournés de type celtique, au détriment des vases de type grec et en parallèle avec les types ibériques (Janin & Py 2012, p. 153). Les parures métalliques du bassin audois reflètent également des influences continentales (Rancoule & Schwaller 1994, p. 224-225). L'apparition de fours à céramique à sole rayonnante à partir du IV^{e} s. av. n. è. près de l'estuaire girondin est également une nouveauté de cette période (Le Dreff 2011, p. 39-40). Les exemples de fours à céramique connus entre les IV^{e} et III^{e} siècles sont très rares mais la Garonne semble être l'axe de diffusion du type à sole rayonnante, avec un exemple mal daté à St Michel du Touch (Haute-Garonne). A partir du II^{e} siècle, on le retrouvera tout au long de l'isthme gaulois, jusque dans la vallée de l'Aude.

En Aquitaine, la différence entre le piémont pyrénéen jusqu'à la vallée de l'Adour et la vallée de la Garonne est progressivement plus marquée. Les habitats de cette zone sont peu connus, les nécropoles ayant fait l'objet de recherches plus assidues. Celles de la vallée de la Garonne sont abandonnées à partir de la fin du IV^{e} siècle alors que celles du piémont pyrénéen montrent une continuité entre les V^{e} et III^{e} s. av. n. è. (Gardes 2001, p. 121-122).

Les échanges avec la Celtique sont perceptibles dans cette zone plus méridionale mais les relations se font surtout avec l'Ibérie et le Languedoc. Les éléments laténiens sont, pour l'instant, moins bien représentés au-delà des proches affluents de la Garonne.

Les particularités de la zone littorale languedocienne, où la fréquence de mobilier importé reste soutenue, sont dues à un contexte marqué par les contacts étroits avec des populations méditerranéennes d'origines diverses. Les Étrusques ont été à l'origine d'un commerce actif dans cette région, depuis le VII^e^ siècle mais surtout au VI^e^ s. av. n. è. Leur influence est visible par la circulation d'amphores vinaires provenant d'Étrurie, de vaisselle en *bucchero nero* et de vaisselle de bronze de même provenance. Les mobiliers importés sur les sites terrestres jusqu'en Gaule interne et la cargaison de l'épave de Grand Ribaud F, au large de la presqu'île de Giens, en sont des exemples. Les Étrusques ont su profiter de leur proximité géographique pour mettre en place des réseaux d'échanges réguliers avec le Sud et l'intérieur de la Gaule par la vallée du Rhône notamment (Séjalon *et al.* 2008, pp. 57-58 ; Bats 2011, p. 95 ; Janin & Py 2012, p. 143 ; Py 2012, pp. 107-110). Leur installation dans un quartier du comptoir de *Lattara* (Lattes), au moment de sa fondation vers 500 av. n. è., en cohabitation avec les populations locales, apparaît comme la suite logique de leur implication commerciale avec cette région (Daveau & Py 2015, pp. 37-42). Les Grecs n'ont pas tardé à leur faire concurrence, tout d'abord avec la fondation de *Massalia* autour de -600. Leur influence s'étend progressivement le long de la côte et va conduire à la mise en place d'un quasi monopole. Ainsi, le récent quartier étrusque de Lattes est détruit vers -475. À la fin du V^e^ siècle, les Grecs de *Massalia* ont pris le dessus, ce que l'on constate par la présence majoritaire (mais non pas exclusive) d'amphores micacées sur les sites indigènes, qui servent au transport de leur production de vin (Bats 2011, p. 101). La fondation du comptoir d'*Agathè* (Agde) vers 425 marque l'extension de leur domaine en limite de l'aire ibéro-punique qui s'étend sur les territoires côtiers languedociens depuis l'Espagne. Les productions puniques atteignent en effet le Languedoc Occidental depuis le VII^e^ siècle et sont abondantes au cours des VI^e^ et V^e^ s. av. n. è. jusque dans la vallée de l'Aude. Le rôle des négociants d'Ampurias (Catalogne), fondée vers 580, dans la diffusion de ces produits est très probable à partir du milieu du VI^e^ siècle. La présence d'Ibères sur certains sites du littoral languedocien tel Pech Maho (Sigean, Aude) dès le V^e^ s. av. n. è. aurait également contribué à dynamiser les échanges entre le Nord-Est ibérique et le Languedoc (Py 2012, pp. 110-116 ; Gorgues 2016, p. 188). La situation en Languedoc Occidental découle donc de sa position de carrefour géographique ayant accès à la Méditerranée, au Massif Central, à la voie vers l'Atlantique, au massif pyrénéen ainsi qu'à l'aire catalane.

I. A. 2. Occupation du territoire et habitats

La mise en évidence de ces relations multiples via le mobilier ne doit pas occulter les dynamiques locales. Si la stimulation des zones périphériques (en l'occurrence de l'arrière-pays littoral) par la demande méditerranéenne est certaine, les réponses apportées dans le Languedoc Occidental ne sont pas imposées par l'extérieur et reflètent des traditions solides

que l'on peut percevoir jusqu'à la mise en place de la domination romaine (Py 2012, p. 180). Plusieurs sites relais indigènes se développent entre les VI^e^ et V^e^ s. av. n. è. le long du littoral, signe de la participation active des populations locales dans ces dynamiques commerciales (Fig. 157). La nécropole à incinération du site d'Ensérune (Nissan-lez-Ensérune, Hérault) est un bon exemple de ces influences multiples intégrées à des pratiques plus anciennes. On connaît en effet dans les tombes des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. des armes caractéristiques de la panoplie celtique laténienne, adoptées sans décalage chronologique par rapport aux zones d'origine de ces modèles. Ces éléments continentaux sont intégrés aux pratiques locales alors même que les similitudes avec le faciès ibéro-languedocien sont renforcées. Le fait que l'armement soit toujours abondant dans les tombes du III^e^ s. av. n. è. alors qu'il diminue ailleurs dans l'aire celtique est interprété comme la poursuite de traditions funéraires locales, en lien avec le statut des guerriers dans cette société (Schwaller *et al.* 2001, pp. 182-183).

Fig. 157 : Sites liés aux échanges entre les VI^e^ et V^e^ s. av. n. è. (d'après Bats 2010, p.103).

Le V^e^ s. av. n. è. avait vu la mise en place dans l'ensemble de cette zone d'un urbanisme plus régulier dans les *oppida* accompagné de la généralisation de la construction en pierres et non plus en bois sur poteaux porteurs, à part quelques exceptions vers l'intérieur des terres (Py 2012, p. 188). L'utilisation de l'adobe ou de la terre banchée pour monter des murs sur solins de pierres devient courante et reflète aussi bien des influences grecques qu'étrusques ou ibériques. Au IV^e^ siècle, l'évolution dans l'occupation de l'habitat sera différente selon que l'on se trouve dans la zone héraultaise et vers l'est ou dans la vallée de l'Aude et vers le sud. Les secteurs plus proches de *Massalia* vont connaître une restructuration plus forte de la trame des habitats, avec des sites de plaine qui disparaissent. Il semble que cela traduise une concentration de la population dans les habitats groupés qui perdurent plutôt qu'un dépeuplement (Garcia 2002, p. 97 ; Py 2012, p. 297). C'est le cas de Lattes, dont l'occupation se poursuit au IV^e^ siècle et qui connaît un fort développement urbain avec une augmentation de la surface occupée. À la suite de la fondation de la colonie

d'*Agathè*, D. Garcia propose de restituer certains changements dans l'organisation du territoire. Il semblerait ainsi que dans ce secteur, les indigènes se seraient déplacés vers des sites un peu à l'intérieur des terres alors que les Grecs s'approprient une partie du territoire côtier (Garcia *et al.* 2007, pp. 230-231). Les transformations de l'*oppidum* de La Ramasse (Clermont-l'Hérault) entre le IV^e^ et le milieu du III^e^ s. av. n. è. (construction d'un rempart contre lequel s'appuient des maisons à pièce unique, construites en pierres) ont lieu dans ce contexte. Le plan des fortifications, qui suit un tracé à crémaillère dont l'origine se trouve dans le monde grec, montre les relations entre ces deux mondes indigènes et grecs. Cet exemple d'utilisation d'un modèle grec pour un rempart du Sud-Ouest de la Gaule est à ce jour unique (Garcia 1993, pp. 122-126).

Pour la zone allant de la vallée de l'Aude vers le sud, la situation au IV^e^ siècle est plutôt celle de la continuité par rapport aux formes d'habitat mises en place à partir du V^e^ s. av. n. è., malgré une raréfaction des sites de plaine. Les *oppida* qui se maintiennent semblent jouir de bonnes conditions économiques : les produits méditerranéens sont toujours présents et les surfaces occupées progressent (Garcia *et al.* 2007, p. 231 ; Py 2012, pp. 193-196). Une phase d'instabilité pourrait être reconnue au III^e^ s. av. n. è., avec des restructurations sur plusieurs sites et certains abandons. Cependant, les datations de ces évènements ne permettent pas d'y voir une origine unique. Si la destruction de Pech-Maho, qui se produit aux alentours de -225 (Gailledrat 2010, p. 334), correspond bien à un épisode militaire violent, il n'est pas possible à l'heure actuelle de généraliser cette explication à l'ensemble des sites.

Dans cet arrière-pays méditerranéen, en relation étroite avec la péninsule Ibérique, il est cependant envisageable que les signes d'instabilité relevés vers la fin du III^e^ siècle soient des conséquences, au moins partielles, des conflits entre Rome et Carthage. Les importations précoces de productions italiennes dans le Narbonnais pourraient aller dans le sens d'une forme d'ingérence romaine sur la région, dans le prolongement de leur mainmise sur le Nord-Est ibérique dans le dernier tiers du III^e^ s. av. n. è. (Py 2012, p. 199). La fin du III^e^ s. av. n. è. marque aussi la fin de la véritable indépendance des populations de cette frange méditerranéenne, qui vont ensuite être incluses dans les grands ensembles méditerranéens (Gorgues 2010, p. 88).

Les régions situées à l'intérieur des terres (Toulousain, Pyrénées, Aquitaine) sont malheureusement moins bien connues et il est difficile de proposer un schéma d'occupation du territoire pour les IV^e^ et III^e^ siècles. La raréfaction des sites attribués à cette chronologie est une constante. Dans la basse vallée de l'Ariège, non loin de sa confluence avec la Garonne, le site de Manivièle (Le Vernet) a livré des indices d'un habitat rural du IV^e^ s. av. n. è. (Grizeaud *et al.* 2010, pp. 189-190). Seuls un puits, un sol de galets et un chenal ont été identifiés sur ce site, ce qui ne permet pas de préciser son organisation, mais le lot de céramiques est l'un des plus importants connus pour cette période. Le profil laténien très marqué des productions, avec des parallèles dans le centre de la Gaule, est à noter. Des indices d'occupation ont également été décelés sur le site de hauteur de La Sioutat

(Roquelaure) dans le Gers, trop ténus cependant pour préciser les formes de l'habitat à cette période (Gardes 2017, p. 193). Le III^e^ siècle est aussi le moment de l'apparition d'agglomérations de plaine ouvertes, avec une forte composante artisanale (Barral 2016), telles que Lacoste en Gironde ou Aulnat dans le Puy-de-Dôme (Mennessier-Jouannet 2013 ; Sireix 2013b). Ces sites ont été révélés relativement récemment par l'archéologie préventive et leur configuration pour ces périodes hautes n'est pas toujours bien connue. On les retrouve dans l'ensemble de l'aire laténienne, dans le Centre et l'Est de la Gaule, mais aussi jusqu'en Hongrie, avec le site de Sajopetri par exemple (Colin & Verdin 2013, p. 241 ; Marion 2013, p. 366 ; Barral & Lallemand 2014, p. 205). Ces éléments sont les premiers indices de la densification de l'occupation du territoire que l'on percevra au cours du II^e^ s. av. n. è.

I. A. 3. Les premiers monnayages : l'adaptation d'un modèle

Un dernier élément à prendre en compte à partir du dernier tiers du III^e^ s. av. n. è. est l'apparition des monnayages gaulois, en argent dans le Sud-Ouest de la Gaule. Ils font suite à des premières frappes, caractérisées elles aussi par l'utilisation de l'argent, qui imitaient les monnaies grecques (drachmes d'*Emporion* et de *Rhodè*) en circulation à cette période (Feugère & Py 2011, p. 235 ; Callegarin & García Bellido 2012, pp. 127-128). L'arrivée de ces premières monnaies est mise en relation avec la participation de mercenaires gaulois à des conflits impliquant des peuples méditerranéens (Péré-Noguès 2007, p. 353). La Garonne fait office de frontière pour l'utilisation des monnaies d'argent, caractéristiques du Sud de la Gaule, face à l'utilisation de l'or au Nord et dans le Centre, suivant le modèle des statères de Philippe II de Macédoine. Après l'imitation, les types locaux originaux prennent forme. Le long de l'isthme gaulois, on trouve les premières monnaies à la croix qui vont se retrouver dans tout le Sud-Ouest à la période suivante. Ces monnaies forment la série la plus importante parmi les monnaies gauloises (Feugère & Py 2011, p. 235 ; Hiriart 2016, pp. 151-152). En parallèle, d'autres types se développent en Aquitaine à partir du dernier tiers du III^e^ siècle également. Il s'agit de la série au cheval émise par les Sotiates (à l'ouest de la Baïse, Fig. 176) et de la série aquitaine à protubérances. Leur datation dans le dernier tiers du III^e^ s. av. n. è. est confirmée par leur association à d'autres monnaies méditerranéennes ainsi qu'à des monnaies à la croix dans des dépôts ibériques datés de la deuxième Guerre Punique (Callegarin *et al.* 2013, pp. 190-193). Les auteurs attribuent la présence de ces monnaies gauloises à des déplacements de mercenaires depuis le nord des Pyrénées, dans le cadre de ce conflit militaire. Mais l'utilisation des monnaies dans le cadre du mercenariat n'est pas exclusive. Leur diffusion dans les sites ouverts à vocation commerciale ou artisanale qui s'installent à partir du milieu du III^e^ s. av. n. è. près de grands axes de circulation montre que les monnaies sont progressivement intégrées en tant que moyen d'échanges (Gruel & Haselgrove 2006, p. 132).

Il est intéressant de noter que des ajustements de la métrologie de ces émissions gauloises sont perceptibles dès les premières frappes monétaires. Les premières monnaies, plus lourdes (autour de 4,7 g), suivent les étalons des colonies grecques de Catalogne

(Ampurias et *Rhodè*). Un ajustement un peu plus léger, autour de 3,6 g, a lieu dans les dernières années du III^e^ siècle, en parallèle avec les dévaluations opérées par les Romains, Grecs et Carthaginois sur leurs propres monnaies pour financer les campagnes des Guerres Puniques (Bats 2011 ; Callegarin & García Bellido 2012, p. 134). L'application de ces dévaluations par les Gaulois montre d'une part leur intégration dans le système monétaire de la période et d'autre part une pratique suffisamment courante de l'usage de la monnaie pour que la valeur faciale soit reconnue indépendamment du poids de métal utilisé (Callegarin *et al.* 2013, p. 192). Ces éléments vont dans le sens de pouvoirs locaux solides, qui peuvent garantir la valeur de leurs émissions. Ils ont aussi pu fournir un cadre de confiance pour les échanges basés sur le troc entre des groupes indépendants dont les systèmes de valeurs de base n'étaient pas les mêmes, tels que décrits pour l'aire languedocienne (Gorgues 2016, p. 171).

Dans le Languedoc occidental, on distingue le groupe languedocien des monnaies à la croix, émis entre le troisième quart du III^e^ s. av. n. è. et qui disparaît dès le début du siècle suivant (Feugère & Py 2011, p. 239). Ensuite, plusieurs séries de monnaies montrent de claires affinités avec les modèles ibéro-puniques et en particulier emporitains, témoignant une fois encore des relations étroites tissées entre les communautés des rivages méditerranéens. Ces monnaies ont aussi la particularité de porter des légendes inscrites en écriture ibérique qui témoignent de l'existence de peuples inconnus par ailleurs. Cela serait le cas des Longostalètes, avec un centre émetteur qui pourrait se trouver à Ensérune, actif à partir de -250 (Feugère & Py 2011, pp. 301-302). Une autre série d'oboles émise à partir de la même période porte le nom des *Neronken*, dont le centre émetteur se trouverait près de l'embouchure de l'Aude (Feugère & Py 2011, pp. 305-308). Ces deux peuples continueront d'émettre des monnaies jusque dans le premier quart du I^er^ s. av. n. è., indiquant une certaine pérennité de ces entités, dont l'importance est révélée par ces frappes précoces.

Les relations à longue distance indiquées par le mobilier, la structuration des territoires autour de sites de hauteur souvent fortifiés dans tout le Sud-Ouest et les spécificités relevées dans les différentes zones montrent une organisation poussée de ces sociétés, qui gardent leurs identités tout en intégrant des éléments d'origines aussi diverses que la Celtique, l'Ibérie, l'Italie ou encore le monde grec.

I. B. Dans les mines : une phase cachée mise en lumière par le ^{14}C

L'exploitation du district à cuivre argentifère de l'Arize dès les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. a été mise en lumière par la réalisation de fouilles dans les réseaux et la datation de charbons correspondant à une phase de travail dans le secteur sondé, à l'exception de l'US 203 de la mine de Rougé, niveau de remblai montrant une activité dans un secteur proche. Trois mines peuvent ainsi être attribuées avec certitude à cette période du début du second âge du Fer : Rougé, La Coustalade et Hautech 9. Sans la réalisation de datations au radiocarbone, cette phase d'activité n'aurait pas pu être mise en évidence : le mobilier est absent et les caractéristiques techniques ne permettaient pas *a priori* d'attribuer les ouvrages à une chronologie précise.

Ce district n'est pas le seul dans ce cas. Les recherches en archéologie minière menées depuis le début des années 2000 ont révélé pour plusieurs autres sites une activité qui remonte à cette période, en particulier dans l'aire pyrénéenne et au sud du Massif Central. D'ouest en est, on connaît ainsi une exploitation entre les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. dans le Pays Basque pour le fer, dans les Pyrénées Centrales et au sud de l'Ariège pour le plomb argentifère, dans les Corbières pour du cuivre et dans la Montagne Noire pour du cuivre argentifère. Les données disponibles pour ces périodes anciennes sont très ponctuelles sur certains sites et bien plus substantielles pour d'autres, comme nous allons le voir. Ces éléments nous permettront de définir les caractéristiques techniques du district étudié au regard de ce que l'on connaît pour les mines contemporaines du Sud-Ouest de la Gaule. Les exemples bien caractérisés d'autres régions seront également pris en compte pour évaluer et comparer les modalités techniques des exploitations.

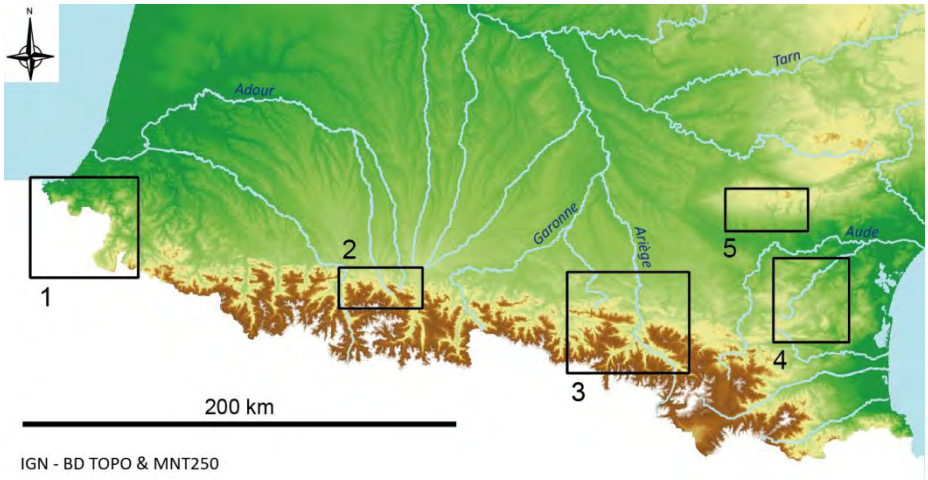


Fig. 158 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule avec une activité aux IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è.
1 : Pays Basque, 2 : Pyrénées Centrales, 3 : Pyrénées Ariégeoises, 4 : Corbières, 5 : Montagne Noire.

I. B. 1. Les mines du Sud-Ouest aux IV^e^ et III^e^ s. av. n. è.

a. Le Pays Basque

Le Pays Basque renferme de nombreux gisements aux minéralisations variées, qui ont fait l'objet d'exploitations anciennes (Fig. 159). Les recherches en archéologie minière sur ce secteur ont réellement démarré dans les années 1990, à la suite de premiers repérages par des spéléologues (Parent 2006, p. 272 ; Parent 2010, p. 9). Les travaux menés par A. Beyrie dans le cadre de sa thèse et poursuivis par la suite ont porté principalement sur l'exploitation du fer, attestée pour la fin de l'âge du Fer et le début de la période romaine (Beyrie 2003 ; Beyrie & Kammenthaler 2008). La mine de cuivre antique de Banca a constitué un autre pôle de recherches important entre les années 1990 et le début des années 2000 (Parent 1997 ; Ancel *et al.* 2001). Des prospections menées par G. Parent dans la vallée de Baïgorry et ses alentours proches, suivies par des campagnes de sondages et datations, ont permis de préciser récemment les phases de l'activité minière de ce secteur (Parent 2010, pp. 11-12 ; Parent *et al.* 2016). Juste de l'autre côté de la frontière, le district minier d'*Oiasso* (Irún) représente un autre pôle majeur d'investigation de l'activité minière dont l'étude archéologique a commencé dans les années 1980. Plusieurs kilomètres de réseau cumulés sont aujourd'hui accessibles et en cours d'étude (Urteaga Artigas 2012, p. 212). Il faut ajouter à cela des recherches sur le paléo-environnement qui ont mis en évidence différents pics de pollutions liés à la métallurgie ancienne, d'origine locale ou régionale (Galop *et al.* 2002, pp. 165-166).

Tous les métaux exploités aux périodes anciennes sont présents dans ce secteur, à l'exception de l'étain. L'activité minière y a été intensive au XVIII^e^ siècle et, dans bien des cas, les chantiers anciens ont souffert de cette activité. De ce fait, un certain nombre de sites sont attribués à l'exploitation récente ou ne sont pas datés. D'autre part, le nombre important de vestiges et leur découverte relativement récente font qu'ils n'ont pas tous pu faire l'objet d'études aussi poussées. Pour la période des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è., seule l'exploitation du fer près de la confluence entre la Nive et la Nive des Aldudes est connue à ce jour. Nous aborderons les autres sites plus bas dans ce chapitre aux périodes qui leur correspondent.

Les vestiges liés à l'exploitation du fer sont très nombreux et résultent en grande partie d'une activité intense au Moyen Âge et à l'époque Moderne, entre les XIV^e^ et XIX^e^ siècles (Beyrie 2003, pp. 105-126). Pour les phases plus anciennes, l'activité est mieux connue par les ateliers métallurgiques que par les chantiers miniers. Les mines anciennes, souvent à ciel ouvert, sont en effet difficiles à caractériser sans fouille mobilisant de gros moyens et les efforts des chercheurs se sont concentrés sur la métallurgie primaire. Les vestiges anciens d'extraction ont toutefois été localisés. Ils sont constitués par des fosses et des tranchées pour l'exploitation de filons d'hématite ou de sidérite, ou de la goethite des chapeaux de fer (Beyrie 2003, pp. 131-133). Les travaux miniers se développaient en souterrain à Larla et peut-être à Ursuya, mais les rares indications chronologiques qui leur sont associées ne se

réfèrent pas à la première moitié du second âge du Fer (Beyrie 2015, p. 128). Nous y reviendrons donc plus loin.

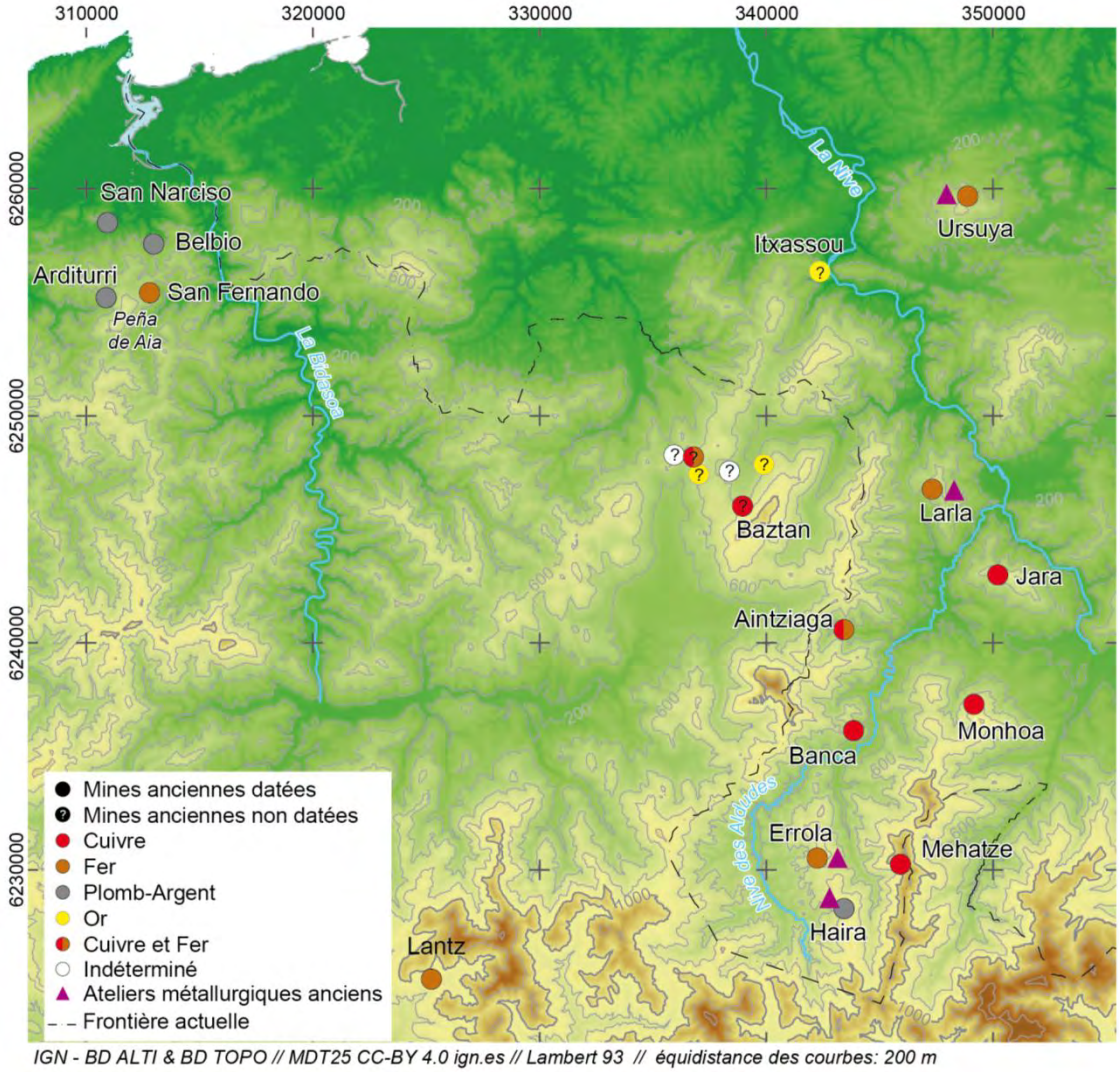


Fig. 159 : Mines anciennes du Pays Basque (d'après Parent 2010, Beyrie 2003 et Urteaga 2014).

Les ateliers de Larla sont ceux dont le démarrage apparaît le plus ancien, avec des dates de fonctionnement que l'on peut situer dès le IV^{e} s. av. n. è. (Beyrie & Kammenthaler 2005, p. 29). Les ateliers se trouvent immédiatement au pied des mines pour une moitié d'entre eux et à environ 1 km de distance sur le versant sud-est pour les autres (Fig. 160). Les ferriers sont nombreux (près d'une quarantaine repérés), mais de taille modeste (Beyrie 2003, p. 134). Chacun des bas fourneaux fonctionne de manière indépendante, il n'y a pas d'organisation en batterie. Les éléments appartenant aux fourneaux qui ont été retrouvés en sondage montrent également que le type de structure est le même d'un atelier à l'autre et quelle que soit la chronologie sur cet ensemble de Larla. Les données technologiques montrent que les procédés sont maîtrisés dès le début de l'activité et ne varient pas jusqu'à son arrêt au III^{e} s. de n. è. (Beyrie & Kammenthaler 2005, p. 34).

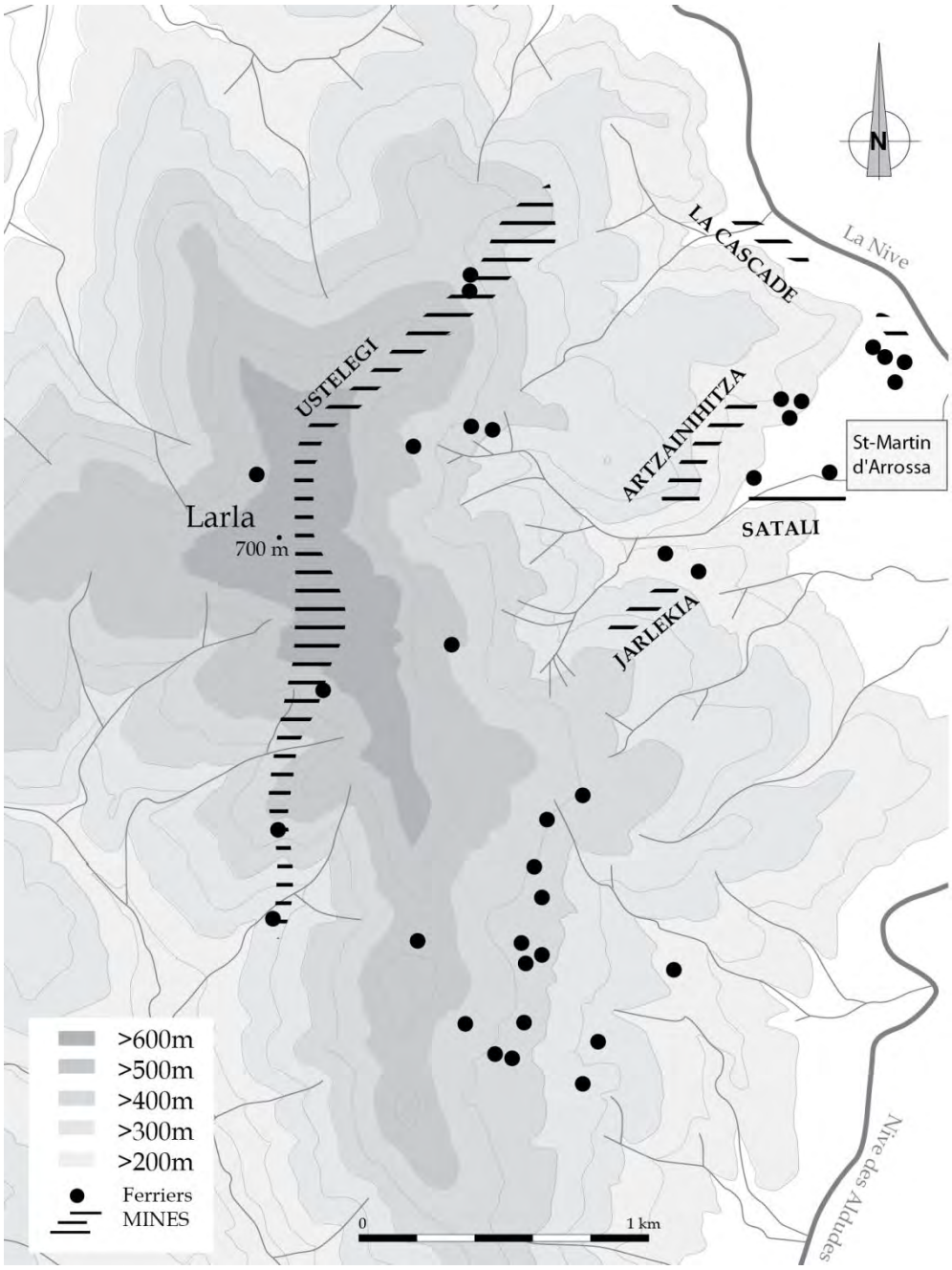


Fig. 160 : Plan des vestiges miniers et métallurgiques de Larla (Beyrie 2003, vol. 2, fig. 27).

b. Les Pyrénées Centrales

Dans les Hautes Pyrénées, deux secteurs miniers anciens ont été étudiés : le Massif du Montaigu pour le plomb argentifère et celui des Hautes Baronnies pour le fer (pour ce dernier district voir plus bas dans ce chapitre le point III. B. 1.b, p. 433). Les recherches dans le Massif du Montaigu ont été menées par J. Girard dans le cadre d'une thèse, non soutenue, à la fin des années 2000. Autour de ce massif, les minéralisations à plomb argentifère sont nombreuses et l'ancienneté des travaux est probable pour plusieurs d'entre eux (Fig. 161). C'est le cas des chantiers d'Arribaou sur la Montagne de Nerbiou (Beaucens), ou encore, plus près de la frontière, de ceux de l'Atgéla (Aragnouet) ou d'Espujos (Arras-en-Lavedan), à l'ouest du Gave du Pau. La morphologie des ouvrages repérés en prospection l'atteste en

effet avec des traces d'ouverture au feu ou à la pointerolle (Girard *et al.* 2010, p. 236). Mais les reprises postérieures et le remblaiement des chantiers n'ont généralement pas permis de préciser les chronologies, qui pourraient inclure également le Moyen Âge. Les recherches se sont donc centrées sur les travaux des communes de Gazost et Germs-sur-l'Oussouet qui avaient livré des éléments de datation et dont les travaux étaient accessibles en grande partie. Ce sont ces derniers que nous allons présenter ici.

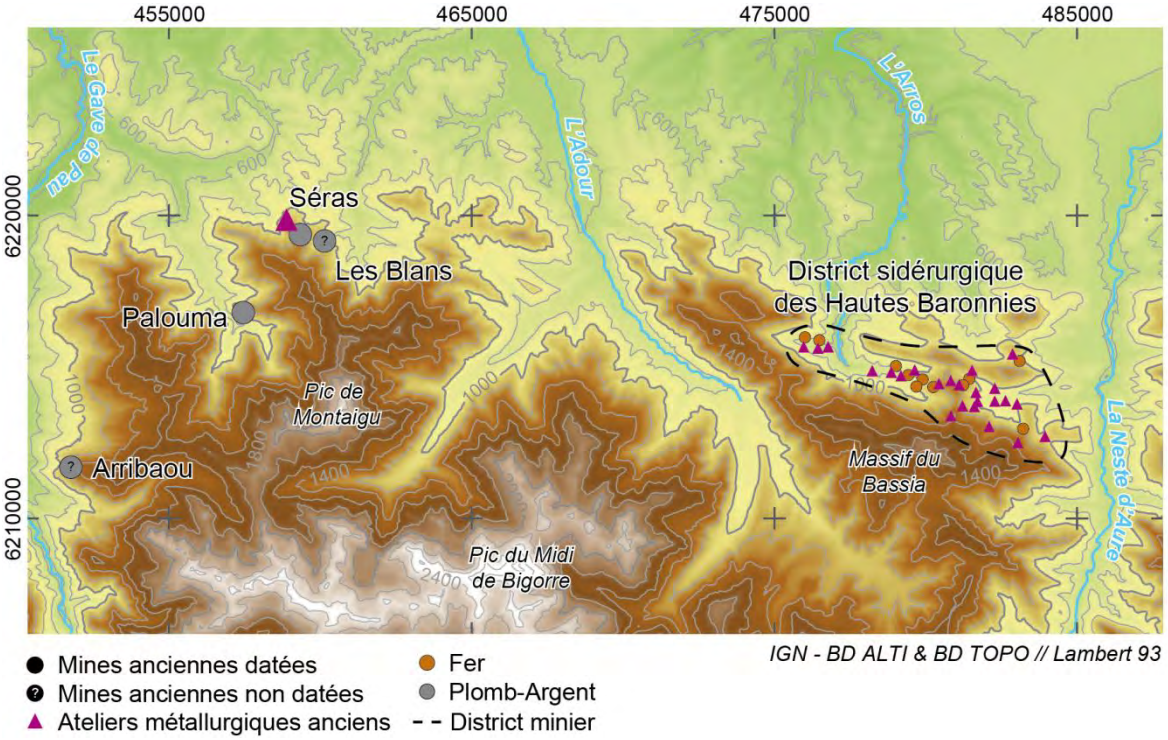


Fig. 161 : Secteur minier des Hautes-Pyrénées (d'après Girard 2003 et Beyrie *et al.* 2000).

Les travaux miniers étudiés se situent au nord du Massif du Montaigu. Le premier ensemble de travaux est celui de Palouma (Gazost). Il s'agit d'une exploitation sur des filons encaissés dans des calcaires du Dévonien inférieur, située entre 850 et 1100 m d'altitude (Fig. 162). Elle est formée par plusieurs chantiers alignés, visibles sur près de 300 m en surface et orientés globalement OSO-ENE. Trois réseaux (baptisés 235, 330 et 333 par J. Girard) ont pu être explorés et datés par le radiocarbone. D'autres départs de chantiers sont visibles mais les reprises ou les remblaiements limitent les possibilités d'étude. Pour les réseaux étudiés, il s'agit de dépilages subverticaux et globalement étroits (0,8 m de large), partant de l'affleurement et se développant dans l'allongement du filon. Des salles d'exploitation plus larges correspondent aux zones d'enrichissement de la minéralisation mais des éboulements ont aussi déformé les volumes originels (Girard 2004, pp. 16-48 ; Girard 2005, pp. 30-56 ; Girard 2006, pp. 11-24).

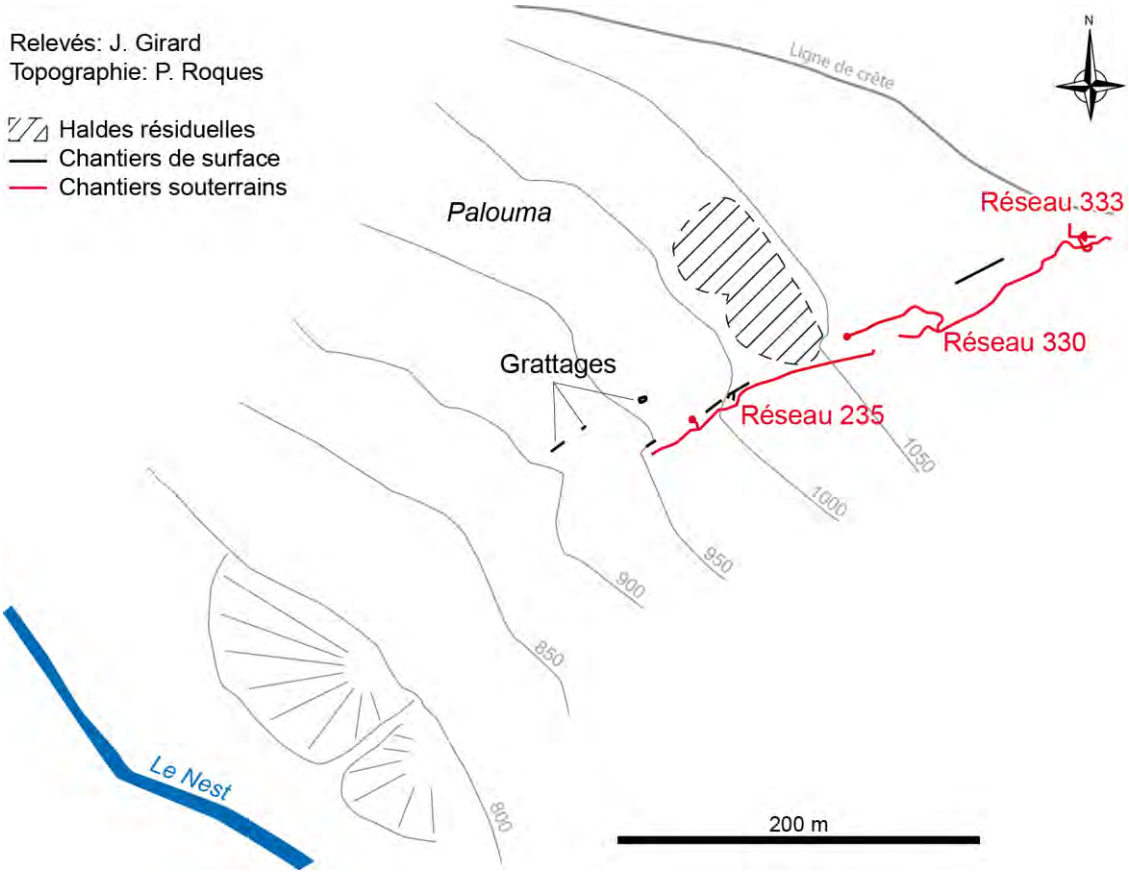


Fig. 162 : L'ensemble minier de Palouma (d'après Girard 2006, p. 10).

Le réseau 235 a été ouvert au feu et à l'outil mais a souffert de reprises à l'explosif. On signalera dans ce chantier une longue galerie de recherche (88 m), élargie lors de la reprise, mais sans doute tracée dès la phase d'exploitation ancienne, d'après le profil intact des derniers mètres, qui correspond au reste des travaux anciens. Les datations au radiocarbone, obtenues pour plusieurs points à l'intérieur du réseau, indiquent une exploitation principalement entre les II^{e} s. av. n. è. et I^{er} s. de n. è. (Girard 2007, p. 8). Cependant, comme le précise l'auteur, le chantier a pu démarrer plus tôt car les sondages ayant livré les charbons analysés étaient éloignés des entrées (Fig. 163). Nous souscrivons tout à fait à cette interprétation.

Le réseau 330 communique avec le réseau 333, totalisant 239 m d'extension est-ouest et 313 m de développement (Fig. 163). Aucune trace d'explosif n'y a été repérée et le creusement, principalement à la pointerolle, se limite à la zone minéralisée, sans ouvrage d'assistance. Des effondrements ont toutefois scellé la partie basse des travaux à plusieurs reprises. Des encoches de boisage sont visibles à plusieurs endroits et deux puits internes, dans le réseau 333, étaient encore équipés de rondins pour en faciliter l'escalade. Des sondages près de l'entrée et à l'intérieur du réseau ont livré des charbons qui ont fait l'objet de datations, tout comme des échantillons de bois prélevés sur les équipements en place des deux puits. Le charbon de l'entrée date un remblai postérieur déversé devant ce réseau et provenant de chantiers plus haut sur le versant. Il ne correspond donc pas au démarrage de l'exploitation et indique une phase d'activité à proximité, entre le milieu du II^{e} s. av. n. è.

et le début du I^er^ s. de n. è. Les charbons issus des sondages à l'intérieur du réseau correspondent à une phase avancée des travaux, de par leur éloignement depuis l'entrée. Ils donnent un intervalle couvrant le I^er^ s. av. n. è. et le I^er^ s. de n. è. Les bois du réseau 333 donnent quant à eux des fourchettes plus larges, allant de la fin du IV^e^ s. av. n. è. au milieu du I^er^ s. de n. è. (Girard 2004, p. 34 ; Girard 2007, p. 8).

Malgré les datations récentes obtenues sur la majorité des échantillons, un démarrage des travaux au moins au III^e^ s. av. n. è., si ce n'est au IV^e^, peut être sérieusement envisagée. En effet, la plupart des charbons analysés proviennent du fond des travaux, et ne correspondent donc pas à son démarrage. D'autre part, les chantiers de surface n'ont pas été datés et peuvent aussi correspondre à des phases d'activité antérieures. Enfin, la chronologie obtenue dans le second ensemble de travaux, comme nous allons le voir, confirme la précocité de l'activité minière dans ce secteur.

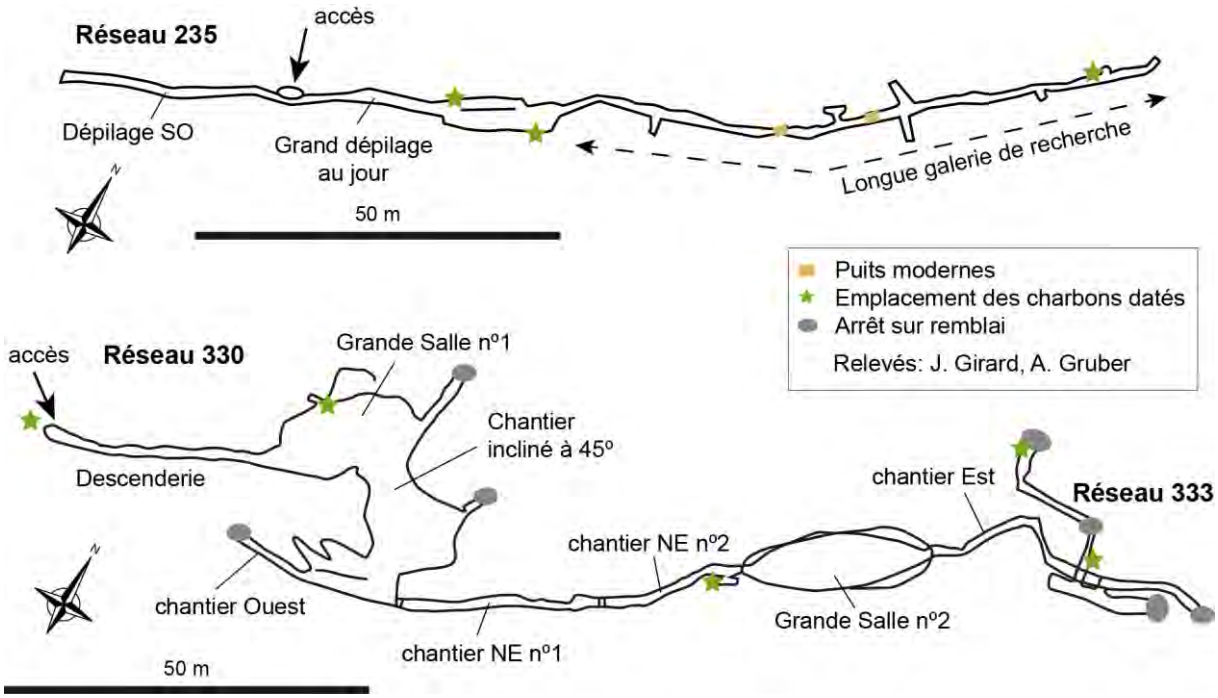


Fig. 163 : Plans des réseaux 235, 330 et 333 de Palouma (d'après Girard 2006, pp. 12 et 22).

Le second groupe de travaux se trouve sur la commune de Germs-sur-l'Oussouet. Des minières colmatées sont visibles au lieu-dit Séras (1050 à 1250 m d'altitude). Sur cette même commune, une autre minière, colmatée elle aussi, se trouve aux Blans (autour de 950 m d'altitude). Seul un tesson d'amphore y a été collecté en prospection. Les travaux de Séras ont suivi une faille minéralisée en zinc à plomb argentifère encaissée dans des calcaires primaires. Ces minières n'ont pas été fouillées et peu de choses peuvent être dites de l'exploitation dont elles résultent. Il faut tout de même prendre en compte une datation radiocarbone effectuée sur un bois de mine, qui constitue à ce jour la date la plus ancienne pour une mine de plomb argentifère dans les Pyrénées : 2480 ±100 BP, soit 810-395 cal BC.

Cet élément a été daté en 1976 à la demande du SNEAP[93], lors de recherches en vue d'une reprise non avenue (Girard 2004, p. 48). Le résultat correspond au plateau radiocarbone du Hallstatt (Hajdas 2008, p. 16).

Le démarrage de l'activité minière de ces deux ensembles n'est pas bien daté, mais les boisages de la mine de Palouma peuvent faire remonter l'exploitation au moins au III^e^ s. av. n. è. et même au premier âge du Fer pour Séras. Si l'ancienneté de Séras apparaît comme un élément isolé, dont le contexte archéologique très mal défini incite à la prudence, la date du III^e^ s. av. n. è. reste dans le domaine du probable. En effet, la distance entre les entrées et les emplacements des sondages, dans des secteurs profonds des réseaux, confirme que l'exploitation n'en était plus à son démarrage au I^er^ s. av. n. è. Par ailleurs, l'ampleur de ces réseaux, l'existence de travaux de surface non étudiés à Palouma, ainsi que les indices d'exploitations anciennes non datés mais nombreux dans les environs, indiquent que l'exploitation minière était une activité localement importante, qui a mobilisé une main-d'œuvre non négligeable et peut refléter un investissement de longue date dans la production du plomb et de l'argent.

c. Les Pyrénées Ariégeoises

Les Pyrénées Ariègeoises recèlent une multitude de traces d'activité minière et les exploitations récentes, postérieures au XVIII^e^ siècle, y sont nombreuses. Ces reprises laissent planer le doute quant à la nature de vieux travaux cités parfois dans la bibliographie du XIX^e^ siècle (par exemple Mussy 1870). Des vestiges anciens ont tout de même pu être caractérisés dans plusieurs secteurs, depuis le début des années 1980 et jusqu'à très récemment (Fig. 164). C. Dubois et J.-E. Guilbaut ont été très actifs dans ce secteur et leurs prospections ont permis de localiser de nombreux sites (Dubois & Guilbaut 1982, 1986 ; Dubois *et al.* 1997 ; Dubois 2000). Récemment, F. Téreygeol a repris l'étude du district d'Aulus-les-Bains (Téreygeol *et al.* 2016). Des opérations ont été menées par V. Py dans le Haut Vicdessos et les territoires limitrophes du Couserans (Py-Saragaglia *et al.* 2017). Enfin, les mines d'or de l'Assaladou ont été étudiées par B. Cauuet (Cauuet 2001a). L'atelier de Carbon est le seul site daté de la transition Bronze final – premier âge du Fer pour les Pyrénées Ariégeoises (Simonnet 1970, p. 216). Il s'agit d'un site d'habitat dans lequel un atelier de traitement du minerai pour la production de haches en bronze a été identifié.

Pour la période des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è., trois mines du district à cuivre argentifère de l'Arize sont connues par les datations radiocarbone. Il s'agit de Rougé, Hautech et La Coustalade, présentés au chapitre précédent. Aucun autre site proche n'est connu pour cette période : ni atelier, ni habitat.

[93] SNEAP : Société Nationale Elf Aquitaine Production

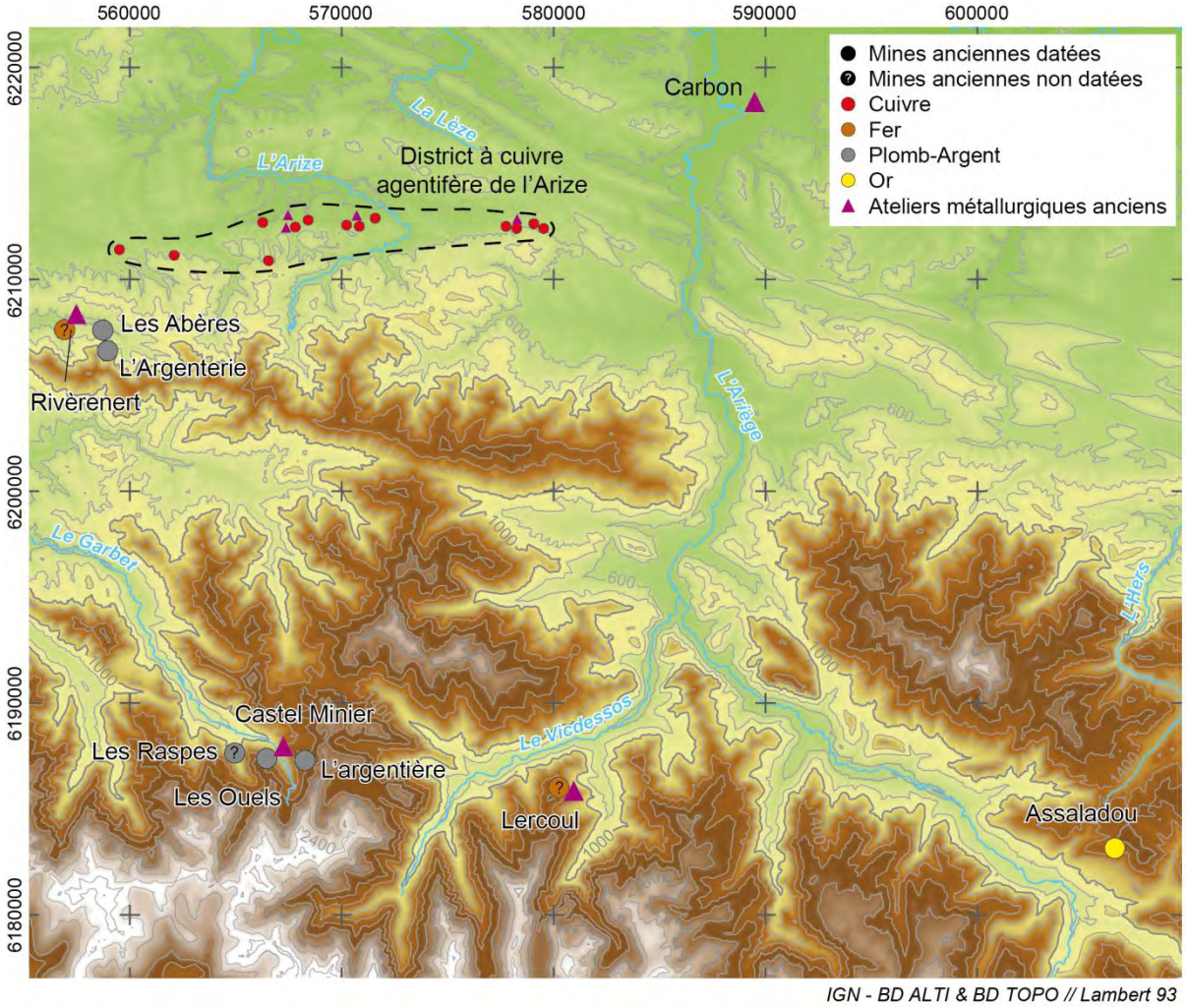


Fig. 164 : Mines anciennes des Pyrénées Ariégeoises (d'après Dubois & Guilbaut 1986 ; Dubois 1999, 2000 et Cauuet 2001).

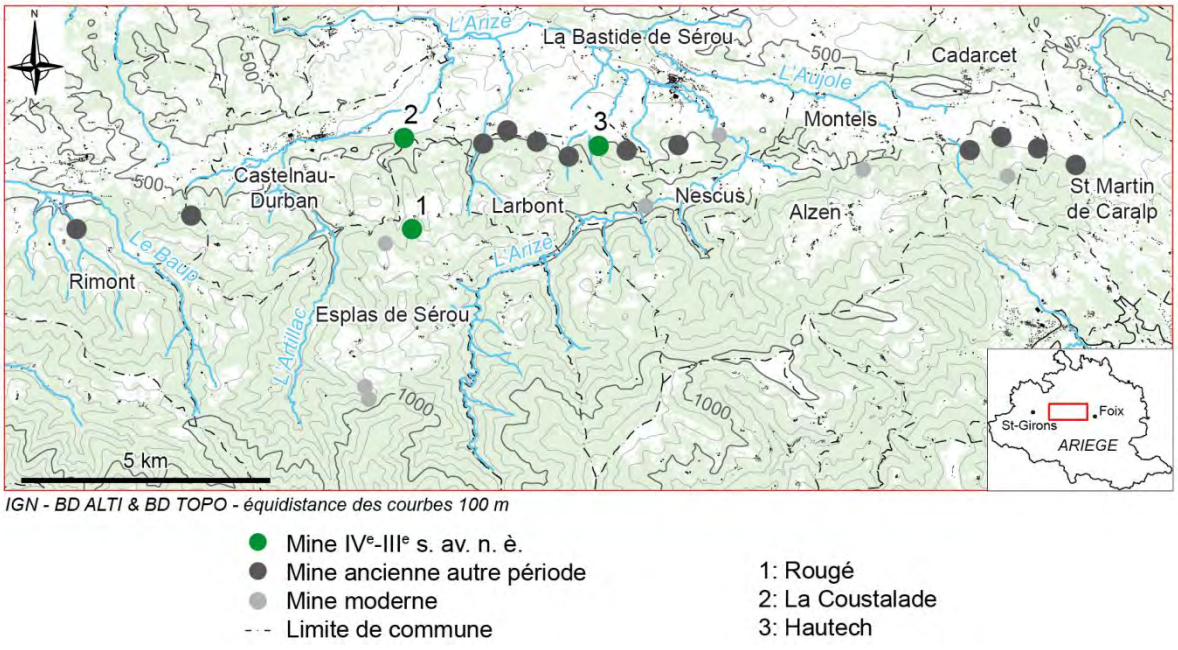


Fig. 165 : Sites des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. du district à cuivre de l'Arize.

Outre ces trois mines, un seul autre exemple est connu à ce jour pour la même période. Il s'agit de la mine de l'Argentière, dans la haute vallée du Garbet (Aulus-les-Bains). Le district polymétallique de la Haute vallée du Garbet est dominé par les minéralisations de plomb, principalement de la galène argentifère, mais on y trouve aussi du zinc, qui a fait l'objet de reprises récentes, et du cuivre gris. Les vestiges miniers recensés sont nombreux (Fig. 166). Des recherches avaient été menées dans ce secteur par C. Dubois et J.-E. Guilbaut au début des années 1980. Actuellement, F. Téreygeol y dirige des recherches sur les sites médiévaux (XIII^{e}-XVI^{e} siècles) de Castel-Minier et des Ouels (Bonnamour *et al.* 2007 ; Florsch *et al.* 2011 ; Téreygeol *et al.* 2016). Les travaux anciens des Raspes (traces de coups de pointerolles) n'ont pas pu être étudiés au-delà d'une simple exploration pour des raisons de sécurité. Ils ne sont donc pas datés (Dubois 1999b, p. 204).

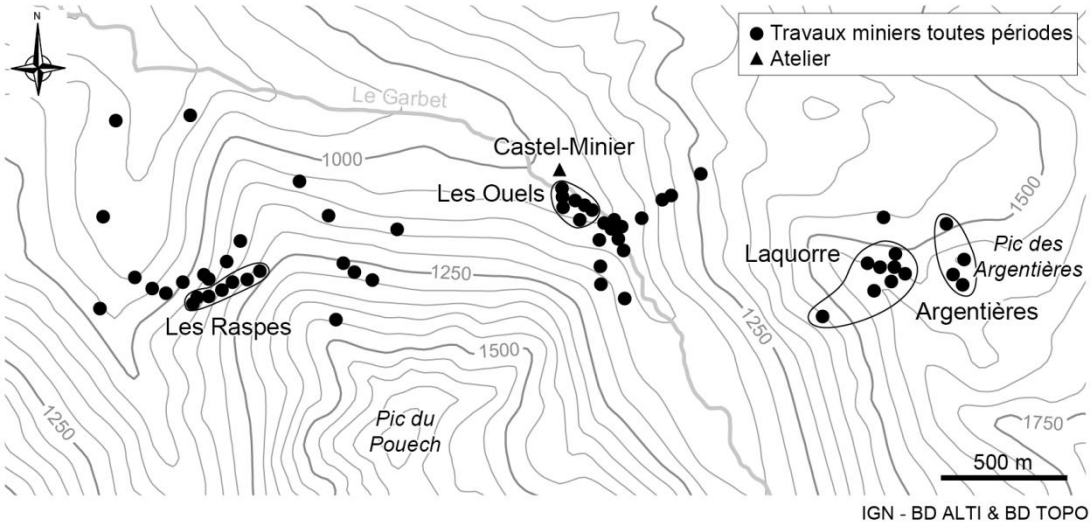


Fig. 166 : Plan d'ensemble des vestiges miniers de la haute vallée du Garbet (d'après Dubatik 1981, fig. 2 et Py *et al*. 2013, fig. 23).

Les travaux anciens de l'Argentière, à près de 1600 m d'altitude, sont quant à eux mal conservés et identifiés par des coupoles d'ouverture au feu résiduelles au parement du fond d'une tranchée à ciel ouvert. Les travaux de Laquorre situés à proximité sont datés principalement des XVIII^{e} et XIX^{e} siècles, mais deux dépilages verticaux étroits, ouverts depuis le jour sans utilisation d'explosif, y sont signalés (Py *et al.* 2013, pp. 35-43). Des tessons d'amphores avaient été recueillis par un ingénieur des mines lors de travaux aux Argentières, permettant de penser à une première phase d'exploitation attribuable à l'Antiquité romaine (Dubois 1999b, p. 203). Les recherches récentes menées sous la direction de V. Py sur l'évolution du couvert forestier de ce secteur ont confirmé la chronologie ancienne de cette exploitation (Py-Saragaglia *et al.* 2017, pp. 148 et 155). En effet, un sondage dans les haldes en contrebas de la tranchée présentant les vestiges d'ouverture au feu des Argentières a livré des charbons dont la datation permet de reconnaître deux périodes d'activité avant les reprises récentes. La plus ancienne se situe entre le milieu du IV^{e} et le III^{e} s. av. n. è. et la plus récente entre le milieu du II^{e} s. av. n. è. et

le milieu du I^er^ s. de n. è.[94]. L'état de conservation des chantiers anciens ne permet pas d'en préciser les caractéristiques (Py 2015, p. 33).

d. Les Corbières

Le Massif des Corbières est une autre zone riche en ressources métalliques et minérales qui a fait l'objet d'une exploitation jusqu'au milieu du XX^e^ siècle. Il s'agit de terrains de basse montagne situés dans une zone d'interface entre la Méditerranée, la péninsule Ibérique, le Narbonnais et la Gaule interne. Le polymétallisme est une des principales caractéristiques de ce massif, lié à une histoire géologique complexe qui a vu plusieurs épisodes métallogéniques se succéder (Mantenant & Munoz 2017, pp. 155-156).

Les recherches archéologiques sur les mines et la métallurgie primaire y ont été assez limitées jusqu'à la fin des années 2000. Dans les années 1970, les travaux de prospection de G. Rancoule et Y. Solier, orientés sur le peuplement des Corbières à l'âge du Fer, leur permettent d'aborder quelques-uns des principaux secteurs miniers (Rancoule & Solier 1977). Par la suite, des travaux universitaires menés dans les années 1980 par C. Cambon, G. Langlois, P. Marsac et E. Krawszyk viennent compléter les prospections et conduisent à l'identification de nouveaux sites miniers et métallurgiques (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 82-83). Enfin, les années 1990 voient de nouvelles recherches conduites sur la métallurgie du fer par B. et P. Pauc. Les prospections représentent la plus grande part du travail effectué.

Les nouvelles recherches de terrain menées entre 2008 et 2012 par J. Mantenant dans le cadre de sa thèse (Mantenant 2014) sont venues compléter l'inventaire des sites anciens et préciser certaines modalités de l'exploitation des ressources métallifères des Corbières. Les sondages ont là encore été très limités dans les mines (trois) et un peu plus fréquents sur les ferriers (sept)[95]. Des fouilles menées par la suite sur le site métallurgique du Camp del Oliu (Duilhac-sous-Peyrepertuse) apportent des données supplémentaires sur le traitement des minerais de cuivre argentifère pour la période antique, procédé toujours mal connu (Mantenant 2014, vol.1, pp. 225-247 ; Mantenant & Munoz 2017, pp. 163-174).

Les secteurs où la répartition de vestiges anciens est la plus dense sont ceux du plateau de Lacamp et du Sarrat de Germa (Fig. 167). Les reprises modernes souvent intensives ont fortement altéré les chantiers anciens et les mises en sécurité appliquées à de nombreuses mines de fer limitent les possibilités même d'en rechercher les traces, malgré les prospections réalisées. Même en gardant à l'esprit ces conditions d'étude défavorables, la méthodologie suivie par les différents archéologues ayant étudié ce secteur, basée sur des prospections, n'est pas sans poser de problème quant à la validité des chronologies

[94] Datations Poz-77848 : 2200 ±30 BP soit 366-192 cal BC et Poz-68041 : 2095 ±30 BP soit 151 cal BC - 55 cal AD (Py-Saragaglia *et al.* 2017, p. 148).

[95] Sur les trois sondages effectués en mine, l'un n'a pas livré d'élément de datation (mine de cuivre-argent de La Caunetta 8), un autre n'a livré que des éléments récents (mine de fer de Montredon) et le troisième (mine de cuivre-argent de La Caunetta 6) a livré du mobilier et des charbons qui ont pu être datés (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 198 et 260).

proposées pour l'exploitation. J. Mantenant est bien conscient dans sa récente synthèse des limites que cela implique (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 207-209, 278-281, 300 et 325). Les résultats obtenus sur la mine de la Caunetta 6 font donc figure d'exception.

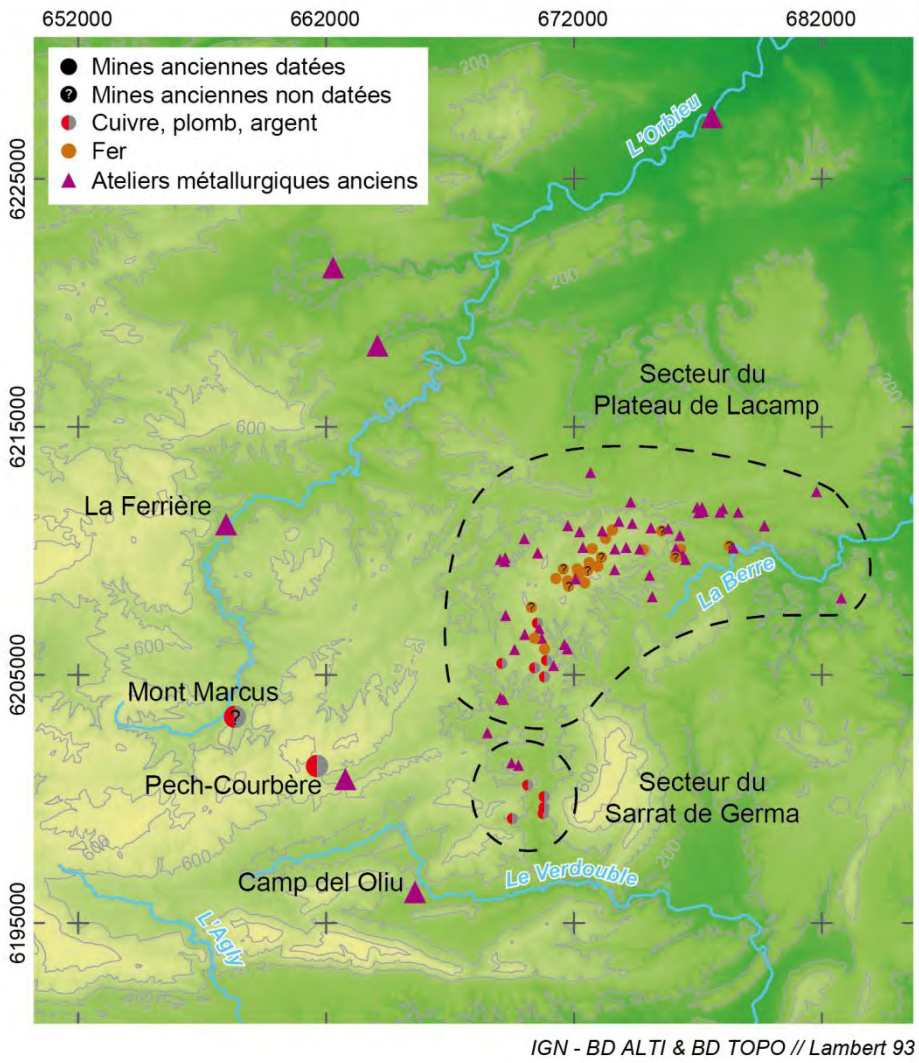


Fig. 167 : Les mines et ateliers métallurgiques anciens des Corbières (d'après Mantenant 2014 et Rancoule & Solier 1977).

La mine de La Caunetta 6 fait partie du secteur du Sarrat de Germa. Il s'agit d'un chantier peu étendu ponctué de piliers et cloisons de roche stériles, topographié sur une surface de 12 m sur 13, avec des prolongations vers le sud (Fig. 168). Un premier sondage a été réalisé au sommet de la halde, près de l'entrée du réseau, et le second au fond de la partie accessible (Mantenant 2014, vol. 1, p. 198 et vol. 2, fig. 167 et 168). Le sondage réalisé sur la halde, épaisse d'un peu moins de 0,5 m, a permis d'atteindre le sol naturel. Sous la couche d'humus, deux niveaux de rejets miniers ont été identifiés, contenant des débris d'abattage au feu. Le niveau supérieur contenait du mobilier. Le sondage réalisé à l'intérieur du réseau a permis de dégager une stratigraphie conservée sur plus d'1,5 m, comportant neuf US de remplissage. Les quatre US supérieures sont postérieures à l'activité minière. Les US inférieures correspondent à des déblais d'abattage au feu et à l'outil, et concernent donc

l'activité dans ce réseau. L'US au sommet de la stratigraphie a livré du mobilier. Des charbons de bois ont été prélevés dans l'US reposant sur la sole ainsi que dans celle qui correspondait à la phase d'activité la plus tardive pour être datés.

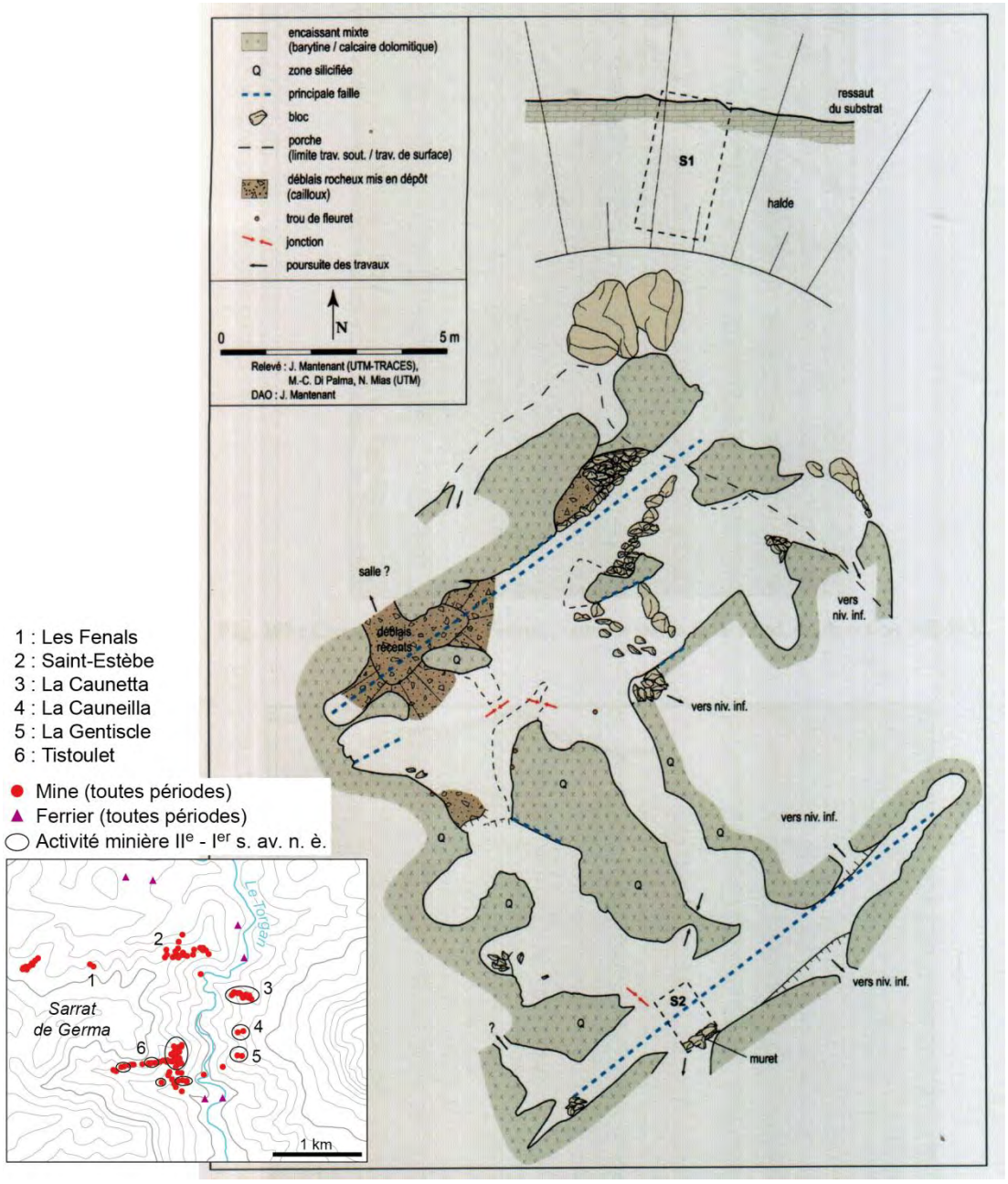


Fig. 168 : Mine de La Caunetta 6 (Mantenant 2014, vol. 2, fig. 162 et Mantenant *et al*. 2017, fig. 2).

Le mobilier provenant de la halde est similaire à celui du niveau supérieur de remblai dans le réseau. Il s'agit d'amphores italiques et de céramique commune à cuisson oxydante. Ces éléments peuvent se situer dans la deuxième moitié du II^{e} s. av. n. è. ou au I^{er} s. av. n. è. Le charbon provenant des résidus d'abattage les plus tardifs donne un intervalle de dates calibrées qui est cohérent avec ce mobilier : 185 cal BC - 4 cal AD[96]. Le second charbon, qui provient des débris d'abattage les plus anciens, directement sur la sole, donne une date

[96] Datation Poz-47144 : 2070 ±35 BP (Mantenant 2014, vol.1, p. 198).

antérieure : 365-171 cal BC[97]. L'identification des charbons préalable à leur datation permet d'assurer l'absence d'effet « vieux bois ».

Il est vrai que la seconde date intègre le début du II^{e} s. av. n. è., ce qui ne présenterait pas une différence importante avec les éléments céramiques et amphoriques identifiés sur ce même site ou dans les environs. Mais l'intervalle recouvre toutefois une bonne partie du IV^{e} et tout le III^{e} s. av. n. è. Cette chronologie apparaissant isolée dans l'ensemble des Corbières (Mantenant & Munoz 2017, p. 159), l'auteur reste très prudent concernant l'éventualité d'un démarrage de l'exploitation des ressources locales dans la première moitié du 2nd âge du Fer. Cette mine, de dimensions assez réduites pour ce qui en est encore accessible, ne présente pourtant pas de caractéristiques techniques ou morphologiques qui seraient incompatibles avec une exploitation plus ancienne que le II^{e} s. av. n. è. La localisation du sondage 2 indiquerait que toute la partie topographiée aurait pu être exploitée dès le IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. Ouvert au feu et à l'outil suivant des amas minéralisés en sulfosels et carbonates de cuivre, ce chantier a suivi la minéralisation de près, donnant un profil et des contours irréguliers à l'ensemble. Des piliers et massifs stériles ont été laissés en place par les mineurs (Mantenant 2014, vol. 1 p. 198 et vol. 2, fig. 162 à 166). Le mobilier tardo-républicain pourrait tout à fait correspondre à une reprise ou à la prolongation d'une exploitation démarrée un peu plus tôt.

e. La Montagne Noire

La Montagne Noire, terminaison méridionale du Massif Central, a fait l'objet d'une intense activité minière bien connue pour les périodes récentes, notamment avec la mine d'or de Salsigne, découverte au XIX^{e} siècle. Cette mine a été l'une des plus importantes d'Europe et son exploitation a cessé dans les années 2000. Les exploitations minières anciennes (Fig. 169), qui concernent le fer, l'argent, le cuivre et le plomb, sont moins bien connues, même si divers indices ont été relevés ça et là, sur le terrain comme dans les textes médiévaux (Beyrie *et al.* 2011, p. 41 ; Mantenant 2014, vol. 1, pp. 175-181). Parmi celles-ci, la mine des Barrencs (Lastours et Fournes-Cabardès) est la seule à avoir livré des vestiges des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è.

[97] Datation Poz-51740 : 2185 ±30 BP (Mantenant 2014, vol1, p. 198).

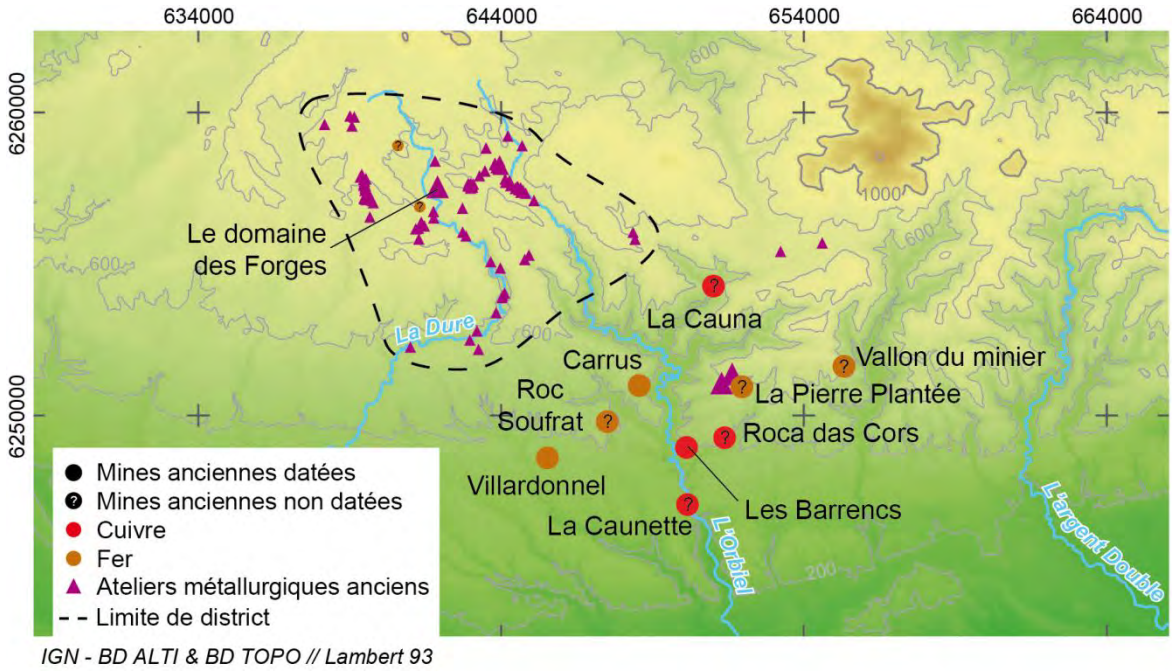


Fig. 169 : Mines et ateliers métallurgiques anciens de la Montagne Noire (d'après Rico 2016 et Mantenant 2014).

Cette mine est constituée d'un ensemble de travaux répartis le long de deux groupes filoniens (Munteanu *et al.* 2016, p. 164). La plupart des vestiges miniers anciens sont actuellement comblés. Entre 2009 et 2012, un programme de recherche a été développé par une équipe de TRACES avec pour objectif d'étudier l'une des exploitations les plus importantes du secteur : les travaux du Mourral de la Grave. Les tentatives malheureuses de reprises d'exploitation du XX^{e} siècle, avec en particulier le creusement d'un grand travers-banc qui permet d'accéder aujourd'hui à la partie basse des travaux anciens, avaient livré deux informations principales. D'une part, l'ampleur des travaux a été mise en évidence, avec un développement reconnu sur plusieurs centaines de mètres à l'horizontale et plusieurs dizaines de mètres à la verticale. D'autre part, le mobilier céramique qui jalonnait les travaux, des fragments d'amphores italiques en particulier, avait conduit à attribuer cette exploitation à la fin de l'époque républicaine.

L'étude archéologique (Beyrie *et al.* 2011 ; Fabre *et al.* 2012a ; Mantenant *et al.* 2013) a permis de confirmer rapidement la première information relative à l'ampleur des travaux (Fig. 170). En effet, ce sont bien des centaines de mètres de galeries, dépilages ou autres chantiers que l'on peut parcourir, avec toutefois l'obligation de recourir aux techniques spéléologiques de progression verticale. Ces travaux d'une grande ampleur, qui ont suivi au plus près des structures filoniennes subverticales, ne sont que très peu encombrés de déblais, évacués à l'extérieur dans leur grande majorité.

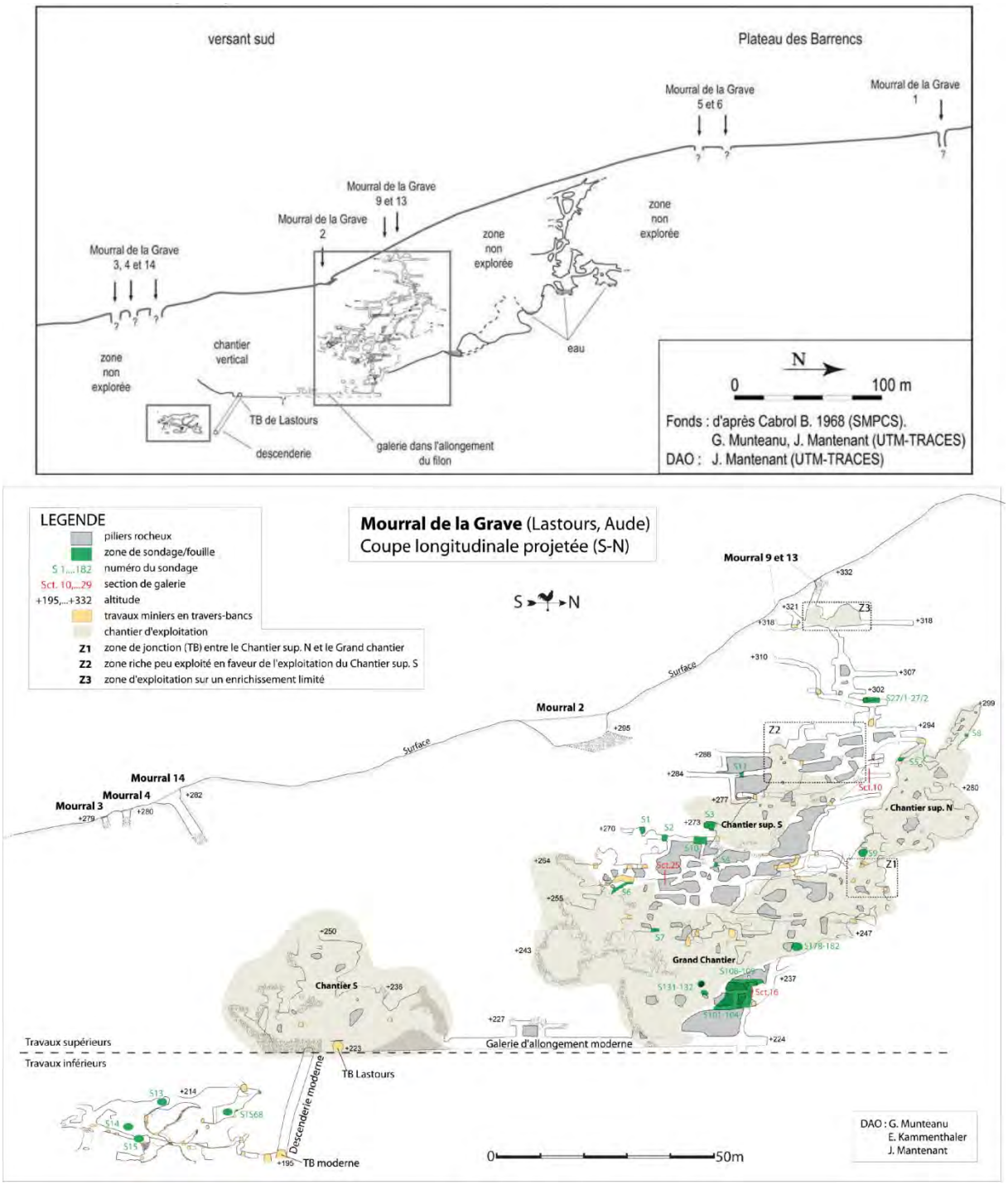


Fig. 170 : Coupe du chantier du Mourral de la Grave (Mantenant *et al.* 2013, fig. 4 et 7).

L'étude gîtologique a permis d'identifier les trois filons sur lesquels ont porté les travaux, ainsi que les différentes minéralisations qui ont été exploitées (Munteanu *et al.* 2016, pp. 168-177). Il s'agit du cuivre, de l'argent et du plomb, présents sous différentes formes, principalement des sulfures. Dans les zones d'enrichissement de la partie basse des travaux, les concentrations peuvent être relativement importantes, avec par exemple plus de 10 000 gr/t pour le cuivre et le plomb ou plus de 1 000 gr/t pour l'argent. La présence de l'or est attestée mais reste anecdotique. La plupart des échantillons prélevés pour analyse proviennent des ponts de roche destinés au soutènement, car le filon a été scrupuleusement

récuré dans les moindres recoins par les anciens mineurs. Cette exploitation très soigneuse de la minéralisation a contribué à la sauvegarde des ouvrages : les tentatives de reprises postérieures ont buté sur ce chantier totalement vidé par les Anciens, du moins pour ce que l'on peut en voir dans la partie qui n'est pas ennoyée. Cela a aussi permis aux auteurs de mener une étude technique approfondie des types d'ouvrages existants, qui montrent une organisation poussée de l'exploitation et un niveau technique évolué (Beyrie *et al.* 2011, p. 49 ; Mantenant *et al.* 2013, pp. 40-41). Cette organisation pensée à l'échelle de la mine transparaît de plusieurs manières. La chronologie relative des ouvrages de certains secteurs montre que l'exploitation de zones riches a été retardée pour permettre la réalisation de travaux de recherches sans porter préjudice à la dynamique d'exploitation générale (Beyrie *et al.* 2011, p. 49). Des jonctions à différents niveaux entre les secteurs d'exploitation montrent que plusieurs équipes ont travaillé en même temps, de façon coordonnée (Mantenant *et al.* 2013, p. 40).

Le démarrage de l'exploitation s'est fait depuis l'affleurement, à plusieurs niveaux sur le versant, et s'est déroulée du haut vers le bas (Beyrie *et al.* 2011, p. 48). Le feu et l'outil ont été utilisés pour l'abattage de la roche, selon sa dureté. La prospection et la reconnaissance de la minéralisation semblent avoir été réalisées de façon systématique par le biais de puits ou de petites galeries de recherche réparties régulièrement sur la hauteur des travaux, dans le filon. Des ouvrages de recherche en travers-banc au-delà des épontes des filons sont également identifiés. Le gabarit des galeries de recherche est régulier, entre 0,8 et 1,35 m de hauteur pour une largeur allant de 0,6 à 1,1 m. Cela ne permet pas de circuler debout et montre un souci de contenir l'investissement dans des ouvrages non productifs (Mantenant *et al.* 2013, p. 37).

La subverticalité des filons a conduit les mineurs à mener l'exploitation suivant la technique des gradins droits, c'est-à-dire de gradins descendants, dont on observe les reliquats des différents niveaux en couronne. La largeur des gradins varie de 1 à 5 m et montre la maîtrise des mineurs dans la conduite du feu aussi bien sur des volumes réduits que larges, mais également pour conduire l'abattage vers le bas (Mantenant *et al.* 2013, p. 38). L'utilisation du feu justement impliquait que l'aérage soit efficace et maîtrisé. La configuration générale des travaux, verticaux et avec des entrées à plusieurs niveaux, favorisait la création de courants de convexion. En plus de cette circulation naturelle, des encoches dans les parois d'une galerie permettent de penser qu'une porte avait pu y être installée pour contrôler la ventilation (Beyrie *et al.* 2011, p. 50).

L'exhaure ancienne de cette mine n'est pas connue. Le fond des travaux étant noyé, les auteurs supposent qu'une galerie destinée à cet effet se trouve dans les niveaux inaccessibles. La topographie à l'extérieur des travaux permet de supposer que cette galerie d'exhaure aurait débouché en bordure du plateau, près de l'Orbiel (Beyrie *et al.* 2011, p. 50).

Plusieurs sondages réalisés dans les travaux ont permis de récolter des charbons liés à l'abattage au feu à différents niveaux du chantier. Les datations réalisées, au nombre de quinze, situent l'exploitation entre les IV^{e} et I^{er} s. av. n. è. (Mantenant *et al.* 2013, pp. 39-40).

Six d'entre elles sont centrées sur les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è., trois autres couvrent une période allant du milieu du IV^{e} s. av. n. è. à la fin du II^{e} s. av. n. è. et les six dernières sont centrées sur le II^{e} s. av. n. è. et la première moitié du siècle suivant, avec pour cinq d'entre elles une probabilité plus faible d'une datation dans la seconde moitié du IV^{e} s. av. n. è. (Fig. 171).

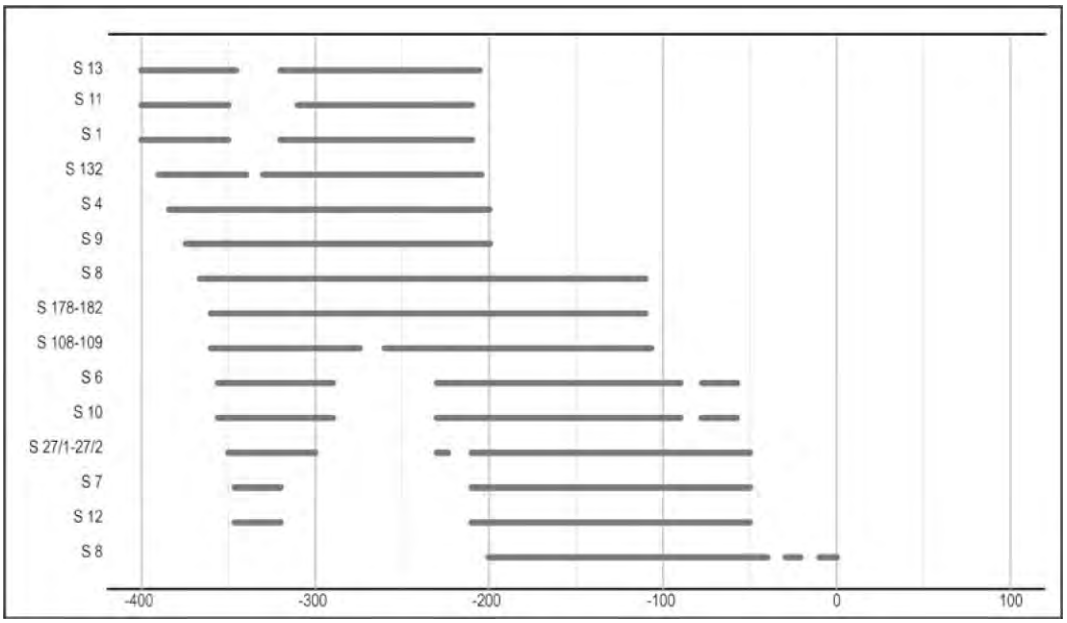


Fig. 171 : Datations des charbons de la mine des Barrencs (Mantenant *et al*. 2013, fig. 12).

S'il y eut bien une activité à l'époque romaine sur ce site des Barrencs, celle-ci n'est qu'une reprise ponctuelle, ou de moindre ampleur, de travaux nettement antérieurs à la présence coloniale. L'analyse chrono-typologique des ouvrages, où l'outil a été utilisé en complément du feu, ne permet pas à l'heure actuelle de discriminer les travaux à l'intérieur de l'intervalle chronologique allant du IV^{e} au I^{er} s. av. n. è. La dynamique de production indique tout de même que la plus grande partie des travaux d'extraction est antérieure au II^{ème} s. av. n. è., avec des charbons datés des IV^{e} et III^{e} siècles provenant des niveaux parmi les plus profonds accessibles aujourd'hui (Beyrie *et al.* 2011, p. 51).

Le fait qu'aucun site de traitement métallurgique n'ait été étudié dans le secteur ne permet pas de proposer d'évaluation quantitative ou qualitative des différents produits de cette mine. Toutefois, la minéralisation polymétallique associant cuivre, argent et plomb dans des minéraux complexes conduit les auteurs à considérer comme peu probable que l'un des métaux ait été ignoré lors de la métallurgie primaire (Munteanu *et al.* 2016, p. 179). L'adéquation de l'exploitation avec les structures minéralisées montre la maîtrise géologique des anciens mineurs, qui ont su tirer profit de toutes les zones d'enrichissement, même de faible volume (Munteanu *et al.* 2016, p. 178). Cette capacité à évaluer les teneurs de la minéralisation est d'ailleurs cohérente avec la maîtrise de procédés de traitement métallurgique complexes.

I. B. 2. Techniques et organisation des exploitations

Les éléments disponibles à propos des mines du Sud-Ouest de la Gaule des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. sont assez limités. En dehors du district de l'Arize[98], seule la mine des Barrencs a fait l'objet d'une étude suffisamment poussée pour permettre de caractériser les techniques employées pour cette période. Dans le cas du fer du Pays Basque, les ateliers sont connus mais pas les mines. Pour les Pyrénées Centrales, les travaux de Séras ne sont pas connus et ceux de Palouma ont fait l'objet d'une étude partielle, où les niveaux datés à partir du II^{e} s. av. n. è. sont les mieux caractérisés. La mine de l'Argentière (Aulus-les-Bains) ne conserve que des lambeaux de paroi et des haldes pour les phases anciennes d'exploitation. Enfin, la mine de la Caunetta 6 est un chantier que nous pensons pouvoir attribuer à cette période, mais qui a probablement fait l'objet d'une reprise au II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. dont l'ampleur n'est pas précisée. Il est donc indispensable de prendre en compte d'autres mines mieux étudiées (Fig. 172) pour évaluer les exploitations de cette période.

Pour la Gaule, le district aurifère du Limousin est l'un des rares districts dans lequel plusieurs mines ont pu faire l'objet de fouilles exhaustives dans le cadre de l'archéologie préventive (Cauuet 1999, 2004b ; Toledo I Mur *et al.* 2005). Les connaissances acquises sur ces sites dépassent donc largement ce que l'on obtient par des petits sondages ponctuels, même multipliés, dans des réseaux abordés en opération programmée. Six mines de ce district ont livré des vestiges des IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. Il s'agit de Les Lanvers, les Fouilloux, Cros-Gallet, Lauriéras, La Fagassière et Le Puy des Angles. Mais le démarrage de l'exploitation de l'or de cette région est plus ancien : deux mines ont livré des vestiges résiduels de l'âge du Bronze et quatre révèlent une activité dès le I^{er} âge du Fer (Cauuet 2004b, pp. 27-29). En dehors du Limousin, d'autres chantiers ont ponctuellement livré des chronologies des IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è., notamment la mine de plomb argentifère de La Rodde (Ally), dans le Massif Central (Vialaron 2016, p. 134). La datation de cette période provient d'un boisage à la base d'un puits dont l'intervalle calibré couvre une chronologie large, entre -338 et -45. Le fait que des boisages datés du premier âge du Fer par le radiocarbone aient été recueillis dans le fond de travaux miniers en tranchée sur le même site permet d'accepter la probabilité d'une exploitation à la fin du IV^{e} siècle ou au III^{e} s. av. n. è. Cependant, les autres éléments datés fournissent des chronologies qui peuvent être bien plus récentes (du II^{er} s. av. n. è. au VI^{e} s. de n. è.), ce qui pose problème au moment d'attribuer des caractéristiques techniques à cette période des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. (Vialaron 2016, pp. 134-146). Nous tenterons tout de même de faire le point sur les données disponibles pour cette période, en nous centrant sur les sites les mieux étudiés.

[98] Rappelons que les mines de Rougé, Hautech 9 et La Coustalade ont livré des datations dus IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. dans ce district.

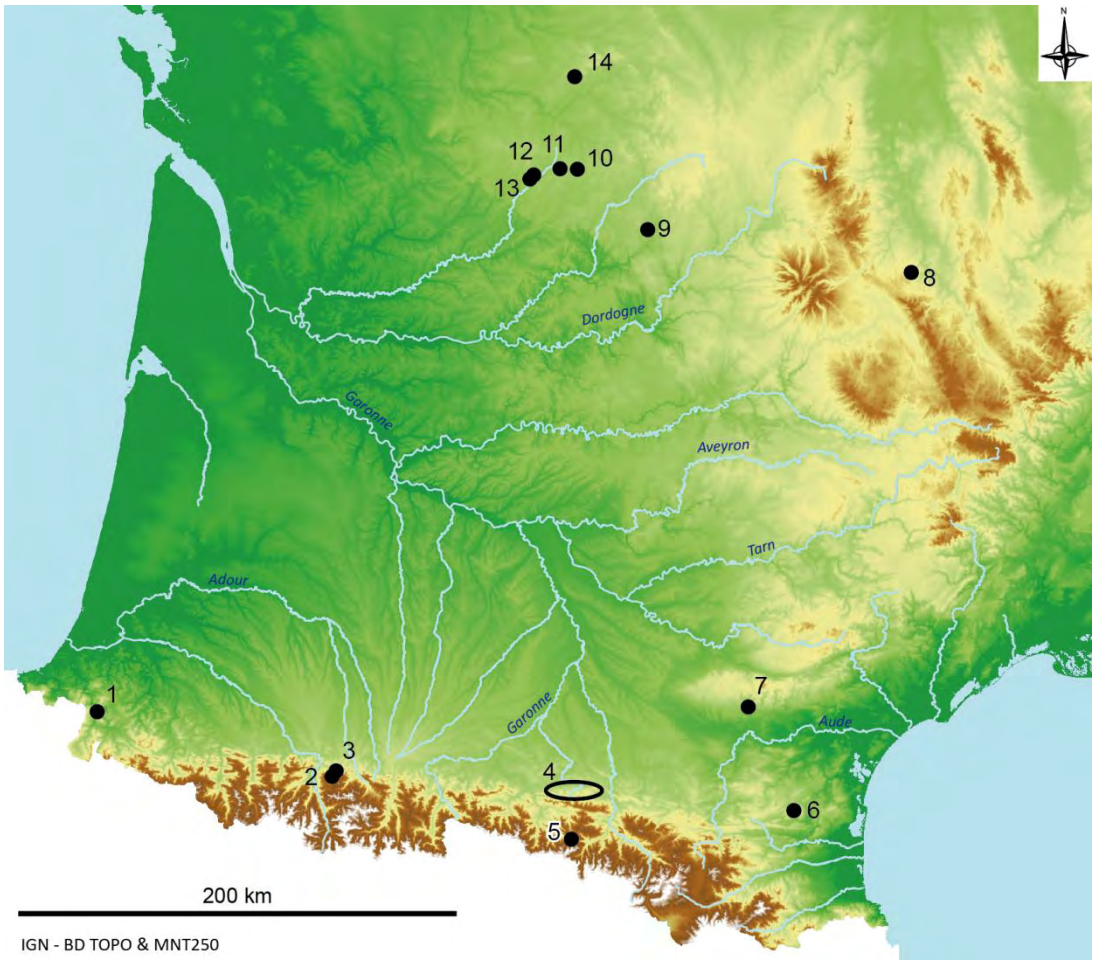


Fig. 172 : Mines des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. citées dans le texte.
1 : Larla, 2 : Palouma, 3 : Séras, 4 : district de l'Arize, 5 : L'Argentière, 6 : La Caunetta 6, 7 : Les Barrencs, 8 : La Rodde, 9 : Le Puy des Angles, 10 : La Fagassière, 11 : Lauriéras, 12 : Cros-Gallet, 13 : Les Fouilloux, 14 : Les Lanvers.

a. Types de chantiers et connaissances géologiques des mineurs

La morphologie des chantiers étudiés dans les différents districts montre à chaque fois une adéquation entre les creusements et les corps minéralisés, suivis de près par les mineurs. Les excavations suivent l'inclinaison des filons ou leur verticalité (Arize, Barrencs, Limousin) et les formes des travaux sont irrégulières dans le cas d'exploitations d'amas (La Caunetta 6). Cela montre que les mineurs se sont « laissés guider » par la minéralisation, pour reprendre une expression utilisée à propos du chantier des Barrencs, reflétant les connaissances empiriques acquises dans l'exploitation (Munteanu *et al.* 2016, p. 179).

Une différence réside toutefois dans le choix de maintenir l'exploitation en ouvrage à ciel ouvert autant que possible ou de passer rapidement à des travaux en souterrain. La première option a été préférée dans le Limousin où les chantiers se présentent sous la forme de fosses ou de tranchées, d'autant plus larges que l'exploitation est profonde (Cauuet 1999, p. 44 ; Cauuet 2004b, p. 40-41). Des poursuites de travaux en souterrain depuis le fond des fosses lorsque les filons sont toujours riches sont observées à partir du milieu du III^e^ s. av. n. è., lorsque les fosses dépassent les 10 m de profondeur (Toledo I Mur *et al.* 2005, pp. 183-

191 ; Cauuet *et al.* 2018, p. 17). Le choix de conduire l'exploitation à ciel ouvert est lié au fait que les terrains superficiels, arénisés, sont plus facile à abattre, ce qui permet d'élargir l'excavation et évite les inconvénients du souterrain, avec des travaux plus étroits. En profondeur, la roche moins altérée est plus difficile à attaquer et les mineurs ont limité leurs efforts en réduisant la largeur des chantiers et en évoluant vers des ouvrages souterrains. Les mines de fer du site de Larla, dont l'exploitation doit être contemporaine des ateliers et donc démarrer dès le IV^{e} s. av. n. è., se présentent également sous la forme de mines à ciel ouvert, en fosses ou tranchées.

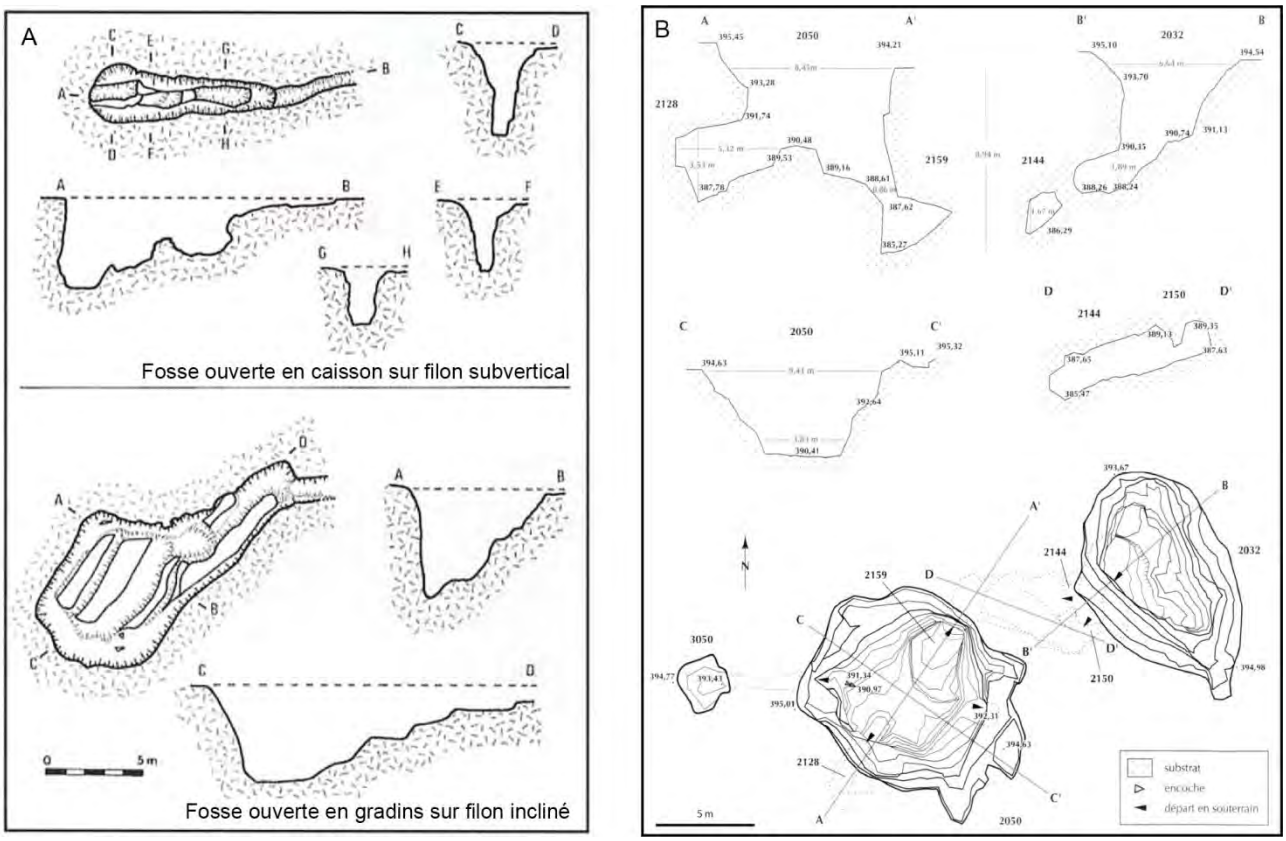


Fig. 173 : Mines à ciel ouvert du Limousin. A : Cros-Gallet nord (Cauuet 1999, fig. 18). B : Le Puy des Angles (Toledo I Mur *et al.* 2005, fig. 8).

Pour les autres sites, l'exploitation s'est développée directement en souterrain. Des indices d'exploitation de surface, sous la forme de fosses ou tranchées comblées, sont visibles autour des ouvrages d'exploitations principaux aux Barrencs, à Palouma et dans le Massif de l'Arize. Ils n'ont pas été étudiés et demeurent donc non datés. Ils s'apparentent cependant à des ouvrages de prospection, identifiés également dans le district aurifère du Limousin. Le décapage extensif du terrain autour des mines du Puy des Angles, de Cros-Gallet et des Fouilloux a permis de mettre au jour de nombreuses excavations de taille réduite qui ont suivi des filons visibles à l'affleurement (Cauuet 2004b, pp. 38-39 ; Toledo I Mur *et al.* 2005, p. 177). Cela permettait aux mineurs de reconnaître la puissance et l'orientation des filons, et de tester leurs teneurs. Les plus riches ont donné lieu à de véritables exploitations et les autres ont été abandonnés.

L'ouverture des chantiers depuis les affleurements est aussi une constante des mines de cette période. Cela permettait une rentabilité rapide des travaux d'exploitation, localisés dans les zones riches. Les travaux du Massif de l'Arize datés de cette période montrent que les mineurs s'en sont tenus assez scrupuleusement aux structures suivies depuis l'affleurement, ne se donnant pas la peine de vérifier par des galeries de recherche dans le stérile si d'autres structures minéralisées pouvaient se retrouver après les pincements des minéralisations ou en parallèle au filon principal. Cela dénote un manque d'audace de cette entreprise minière ou une volonté absolue d'assurer la rentabilité des creusements. Le chantier de La Caunetta 6 ne semble pas non plus avoir été accompagné de recherches, mais ses dimensions réduites rendent difficile une généralisation. Pour la mine de Palouma, la description des travaux ne permet pas d'attribuer de galerie de recherche à la période des IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. Les mineurs du Limousin ont quant à eux plus volontiers ouvert des galeries de recherche, guidées par des petits filons croiseurs ou parallèles à la minéralisation principale (Cauuet 2004b, p. 49 ; Toledo I Mur *et al.* 2005, p. 178). Aux Barrencs, c'est une recherche systématique qui est réalisée aux différents niveaux de l'exploitation (Beyrie *et al.* 2011, p. 48). Les mineurs ont préféré dans ces cas-là prendre le risque d'un creusement non rentable plutôt que celui de passer à côté d'une zone riche. La logique n'est pas la même.

Enfin, les volumes exploités varient aussi d'un site à l'autre. Le site des Barrencs est de loin le plus grand connu pour cette période dans la région. La partie topographiée s'étend sur plus de 200 m nord-sud et la profondeur des travaux atteint au moins 85 m depuis la surface du versant. Et il ne s'agit que d'une partie de l'exploitation. Ensuite, les travaux du Limousin, par le nombre de chantiers connus, représentent une exploitation encore plus importante, mais les chantiers pris individuellement sont plus modestes. Pour les phases d'exploitation comprises entre le V^{e} et le milieu du III^{e} s. av. n. è., les fosses d'exploitation, hors prospection, atteignent 3 à 5 m de large, 8 à 16 m de long et de 2 à 10 m de profondeur (Cauuet *et al.* 2018, p. 16). À partir du milieu du III^{e} siècle, des chantiers en activité sont approfondis et commencent à atteindre des profondeurs allant jusqu'à 20 ou 30 m. Dans le Massif de l'Arize, les chantiers datés des IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. ont des dimensions variables. Hautech 9, le moins développé, atteint 4 à 6 m de long pour 9 m de profondeur, et sa largeur varie de 1 à 1,8 m. La mine de La Coustalade atteint 12 m de long en cumulant les deux chantiers anciens et une dizaine de mètres de profondeur, la largeur des travaux étant inférieure au mètre dans le premier chantier et de près de 5 m dans le second. Enfin, celle de Rougé est la plus développée avec au minimum 30 m de profondeur atteinte à la fin du III^{e} s. av. n. è. (40 m max.) et une longueur de 16 m. La largeur du chantier oscille entre 0,8 et 2 m. On signalera également que les boisages de la mine de Palouma dont la datation peut remonter au III^{e} s. av. n. è. se trouvaient en place dans un puits dont la profondeur au jour n'est pas précisée mais que l'on rejoint après un parcours traversant plusieurs dépilages de 10 à 15 m de profondeur (Girard 2004, p. 34-44).

Les techniques de travail souterrain dans des chantiers profonds sont bien maîtrisées aux Barrencs. Pour le district de l'Arize, les profondeurs sont plus faibles, mais cela semble être

dû à la taille plus réduite des minéralisations plutôt qu'à des contraintes techniques. Les recherches minières récentes ont en effet montré que les chantiers anciens n'avaient pas laissé de minerai en place dans les zones exploitées. Lorsque les travaux ont pu passer sous les ouvrages anciens, à la fin du XIX^{e} siècle ou au début du XX^{e} siècle, c'est que les anciens mineurs n'avaient pas cherché à dépasser les pincements de la minéralisation par des recherches dans le stérile, comme à la Coustalade par exemple. La profondeur du secteur ayant livré les bois anciens de la mine de Palouma indique que cette maîtrise technique était acquise également par les mineurs des Pyrénées Centrales. Par contre, pour le Limousin, il semble que les mineurs se soient contentés d'exploiter les gisements moins profonds jusqu'au milieu du III^{e} s. av. n. è. Ce n'est qu'à la fin de ce siècle que les chantiers évoluent vers un travail véritablement souterrain, avec un système de boisages complexes à tenons et mortaises (Cauuet *et al.* 2018, p. 17). L'abondance des ressources plus faciles d'accès est sans doute la cause de ce choix d'exploitation prioritairement en surface.

b. Mode d'abattage

Dans le Massif de l'Arize, les travaux datés des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. sont tous caractérisés par l'utilisation presque exclusive du feu pour abattre la roche. Des traces d'outil sont ponctuellement visibles à la couronne dans les niveaux intermédiaires de Rougé, entre les cotes -8,94 et -9,88. Le profil courbe de la couronne à cet endroit peut cependant indiquer une utilisation secondaire de l'outil après un passage au feu, comme cela a pu être observé aux Fouilloux ou à la Fagassière (Cauuet 2004b, pp. 47-48), ou éventuellement correspondre à une reprise plus tardive. La mine de L'Argentière et le réseau 235 de Palouma sont eux aussi ouverts principalement au feu (Girard 2004, pp. 16-32). Par contre, on trouve une combinaison de l'utilisation du feu et de l'outil sur les sites des Barrencs, à La Caunetta 6, dans le réseau 330 de Palouma et dans le Limousin (Cauuet 2004b, pp. 45-46 ; Girard 2004, pp. 34-36 ; Toledo I Mur *et al.* 2005, pp. 198-199). Les mineurs ont dans ces cas-là adapté le mode d'abattage à la dureté de la roche encaissante (Beyrie *et al.* 2011, p. 50).

Ces différents modes d'attaque ont des implications sur les besoins annexes de la mine. En effet, l'utilisation principale du feu confère plus d'importance à la gestion des ressources boisées. L'abattage des arbres doit être prévu à l'avance pour que les mineurs disposent de bûches sèches pour leur travail (Dubois 1990, p. 49). Dans le cas de travaux à l'outil, il faut approvisionner les mineurs en pics et/ou pointerolles en fer, ainsi que de masses, et donc disposer d'une production sidérurgique parallèle à l'exploitation qui permette de répondre aux besoins des mineurs. La fabrication ou réparation des outils, soumis à de fortes contraintes, pouvait rendre nécessaire la présence sur place d'une forge (Cauuet 2004b, p. 46). L'usure des outils devait être rapide : des éclats de métal retrouvés lors des fouilles dans la mine des Barrencs en témoignent (Mantenant *et al.* 2013, pp. 37-38).

Ces éléments confirment que le mode d'abattage ne peut pas en principe être utilisé comme un critère chronologique. Toutefois, dans des ouvrages où une technique est clairement privilégiée, les différences observées ponctuellement ou dans des secteurs précis

des travaux, sans variation de l'encaissant, peuvent indiquer une différence chronologique. C'est ce que nous pouvons supposer pour les étages de Rougé compris entre les cotes -24 et -26, seul secteur de la mine ouvert totalement à l'outil, avec un profil anguleux qui diffère du reste des travaux (Fig. 75 b). La mine de L'Argentière est trop mal conservée pour envisager ce genre de comparaison, mais le réseau 235 de Palouma pourrait s'y prêter.

c. Soutènement et ouvrages d'assistance

Dans le Massif de l'Arize, le soutènement est assuré par des piliers faiblement minéralisés ou des cloisons de roche stériles laissées en place (Rougé, Hautech 9). De fait, ces massifs rocheux représentent autant une économie de creusement dans des zones peu minéralisées que des éléments de soutènement à proprement parler. La solidité de la roche encaissante, que l'on peut constater par l'absence d'éboulements dans ces chantiers les plus anciens, rendait ces dispositifs moins importants que dans d'autres contextes. D'ailleurs, le chantier incliné CA1 de La Coustalade ne conserve aucun pilier transversal qui aurait pu exercer cette fonction. Le chantier CA2 du même site, avec un simple pont de roche dans la partie haute, dans le sens longitudinal, ne dispose pas non plus d'élément lié à un quelconque dispositif d'étayage. Le site de La Caunetta 6, ponctué de piliers et cloisons, semble suivre le même schéma : les mineurs ont délaissé les zones stériles entre les amas de minerai et n'ont pas eu besoin d'éléments de soutènement supplémentaires.

Dans la mine des Barrencs, des piliers de roche assurent le soutènement de l'ouvrage. Ils sont en général minéralisés et ont été volontairement laissés en place par les mineurs (Munteanu *et al.* 2016, p. 178). Dans le Limousin, les chantiers des IV^{e} et III^{e} siècles, à ciel ouvert pour la plupart, ont un profil évasé vers le haut qui limite les besoins en soutènement. Lorsque les chantiers ont des parois plus verticales, comme dans certaines fosses de Cros-Gallet Nord par exemple, des ponts de roche transversaux ont pu être laissés en place, délimitant des caissons approfondis pour leur part (Cauuet 2004b, pp. 41 et 53). Les parties souterraines identifiées sur le site du Puy des Angles, qui ont pu être atteintes à la fin du III^{e} s. av. n. è. ou au début du suivant, correspondent à un type d'exploitation en chambre et piliers : le soutènement était assuré par les massifs rocheux en place. Dans les parties donnant accès aux souterrains, des encoches de boisage ont été identifiées. De forme quadrangulaire (L : 20 cm, l : 15 cm, prof : 15 cm), elles ont servi à caler des bois en travers du chantier (Toledo I Mur *et al.* 2005, p. 202). Un soutènement par boisage a également été retenu dans la mine de Palouma. Les deux dates qui couvrent les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. proviennent d'ailleurs du boisage à la base d'un puits dans le réseau 333 de ce site. Dans cette mine, la roche encaissante, des calcaires dévoniens, n'offrait pas une solidité suffisante et les explorations archéologiques se sont heurtées à plusieurs zones éboulées (Girard 2004, pp. 34-46 ; Girard 2007, p. 8). Le soutènement par pilier n'aurait pas été efficace. On rappellera également que la date du premier âge du Fer de la mine de Séras a été obtenue sur un bois d'étayage. Le boisage des travaux pouvait donc être habituel dans ce secteur depuis des périodes hautes.

Si l'utilisation de massifs de roche pour le soutènement faisait économiser du volume de creusement aux mineurs, d'autres ouvrages nécessaires à l'exploitation leur demandaient au contraire un investissement supplémentaire. Il s'agit des galeries ou puits d'aérage et des galeries d'exhaure. S'assurer d'une bonne circulation de l'air était nécessaire pour permettre le travail des mineurs en souterrain mais aussi pour la combustion des bûchers d'abattage et l'évacuation des fumées. Dans le Massif de l'Arize, seule la mine de Rougé a livré des galeries creusées entièrement dans le stérile, qui pouvaient participer à l'aérage du chantier et faciliter la circulation des mineurs entre les différents niveaux. Le fait que les chantiers aient démarré de l'affleurement et soient restés largement ouverts au jour permettait de ventiler naturellement les travaux. La mine des Barrencs et les ouvrages du Limousin, ouverts au jour eux aussi, pouvaient également être facilement ventilés (Beyrie *et al.* 2011, p. 50). Sur le site du Puits des Angles, les chantiers qui se développent en souterrain associent une mine en fosse et un puits, reliés par des galeries en profondeur. Les puits ne sont pas destinés uniquement à l'aérage car ils ont été foncés en suivant des minéralisations, certes d'ampleur inférieure aux fosses. Cela permettait de créer un courant d'air, activé si nécessaire par la présence de foyers dans les puits (Toledo I Mur *et al.* 2005, pp. 201-202).

Les galeries d'exhaure ne sont pas connues dans le Massif de l'Arize. Aux Barrencs, ce type d'ouvrage doit exister dans la partie la plus profonde mais il n'a pas pu être étudié car inaccessible (noyé et colmaté) et sa chronologie n'est donc pas connue. Dans le Limousin, des galeries d'exhaure sont connues à La Fagassière et aux Fouilloux. Leur mise en place est située dans la seconde moitié du III^{e} s. av. n. è. et ce type d'équipement, qui évacuait l'eau remontée par une vis sans fin, devient une norme d'équipement des chantiers dès leur démarrage. On peut le constater avec le site de La Fagassière où la galerie d'exhaure a été percée mais n'a pas dû servir beaucoup, du fait de l'épuisement du gisement à faible profondeur (Cauuet 1997, pp. 204-206 ; Cauuet *et al.* 2018, p. 35). On est alors passé, à la fin du III^{e} s. av. n. è., à un mode d'exploitation pensé dès le départ pour durer, avec une vision à long terme.

d. Ergonomie des travaux

Les ouvrages du Massif de l'Arize, nous l'avons vu, ne facilitent pas, pour ce que l'on a pu en observer, les déplacements des mineurs en souterrain. Les chantiers inclinés ont des parois presque lisses à Rougé, La Coustalade et au niveau de l'entrée d'Hautech 9, la hauteur des ouvrages ne permet pas toujours de s'y tenir debout et la largeur des galeries ou étages d'exploitations horizontaux ne permet pas à deux personnes de se croiser. Quelques exceptions sont à noter, comme les étages -6 à Hautech 9 ou-3,87 à Rougé, mais l'économie de creusement a semble-t-il primé sur le confort de travail. Le fait que les mines n'aient pas été totalement vidées permet de penser que d'autres secteurs étaient assez larges pour que les mineurs soient à l'aise, mais il faut sans doute attribuer ces élargissements aux caractéristiques de la minéralisation plutôt qu'à un souci du confort des mineurs. À Rougé, la largeur réduite (0,4 à 0,6 m) de la galerie d'assistance creusée entre les étages -16 et -21 dans le schiste stérile, une roche tendre pourtant très facile à attaquer, va dans ce sens.

Les données de la mine des Barrencs révèlent également que le confort des mineurs a été mis au second plan au profit d'une économie de moyens dans les nombreuses galeries de recherches. Les dimensions moyennes de ces ouvrages sont de 1,03 m x 0,83 m, ce qui ne permet pas de s'y tenir debout (Beyrie *et al.* 2011, p. 49). Dans les zones d'exploitation, les élargissements des creusements sont toujours liés à des enrichissements de la minéralisation ou à des variations de sa puissance (Munteanu *et al.* 2016, p. 178). Si les nombreuses galeries de recherche de cette mine montrent une plus grande facilité que dans le Massif de l'Arize à investir dans le creusement d'ouvrages dont la rentabilité n'est pas immédiatement assurée, les conditions de travail des mineurs ne semblent pas pour autant avoir été au centre des préoccupations.

Dans le Limousin, les choses sont différentes par le choix qui a été fait de conduire les exploitations à ciel ouvert. Ces chantiers sont nécessairement plus larges et se tenir debout ne pose pas de problème dans ce contexte. Les galeries en travers-banc qui relient les parties profondes des mines du Puy des Angles sont sommairement décrites. Certaines ne permettent qu'un passage accroupi alors que d'autres permettent de circuler légèrement penché ou debout (Toledo I Mur *et al.* 2005, pp. 200-201). Les données disponibles ne permettent pas de savoir si ces différences sont liées à la nature de la roche encaissante, à la présence éventuelle de filon croiseurs dans ces galeries, ou peut-être à une différence chronologique.

e. Organisation de l'exploitation

Dans le Massif de l'Arize, nous avons vu que deux équipes pouvaient travailler en même temps dans les mines de Rougé, La Coustalade, et Hautech 9. Aux Barrencs, le travail simultané de plusieurs équipes peut être déduit des jonctions repérées notamment entre un puits foncé depuis le jour dans la partie haute et des travaux ouverts depuis un point plus bas du versant (Mantenant *et al.* 2013, p. 35). Le volume et l'architecture du réseau sont également caractéristiques d'un chantier organisé pour un travail en plusieurs équipes. Dans le Limousin, les sites miniers sont composés de plusieurs chantiers qui ont selon toute probabilité été exploités par différentes équipes. Le fait que plusieurs sites soient contemporains indique de toute façon que plusieurs groupes de mineurs étaient investis dans les différentes exploitations. Pour les mines de Palouma et de La Caunetta 6, les données ne permettent pas de se prononcer, mais les chantiers ont une architecture qui permet un travail concomitant de plusieurs équipes.

L'archéologie ne nous livre pas de détail sur la composition de ces équipes et sur leur fonctionnement, mais le bon déroulement des opérations, qui suppose un certain degré d'anticipation et une vision globale des travaux, devait reposer sur un chef-mineur ou un petit groupe de mineurs expérimentés, qui pouvaient diriger les chantiers. Une autre question à laquelle on ne peut répondre en l'état concerne les relations entre ces différentes équipes en dehors du chantier minier. Dans le cas du Massif de l'Arize et du Limousin, on peut se demander si chaque mine était exploitée par un groupe indépendant ou si tous les

groupes de mineurs appartenaient à une même communauté plus large et étaient soumis à une autorité supérieure. Les données sur le contexte archéologique sont trop lacunaires à l'heure actuelle pour se prononcer. Un début de réponse pourrait toutefois être donné par deux exemples précis : celui des ateliers sidérurgiques de Larla et celui de l'habitat minier de Cros-Gallet Nord.

Pour Larla, A. Beyrie indique tout d'abord que les ateliers se trouvent juste à côté des mines ou à une distance de moins de 1 km pour les plus éloignés (Beyrie 2003, vol. 1, pp. 166-168). La chaîne opératoire complète de la mine au métal se déroulait au même endroit et pouvait être contrôlée par les mêmes individus. D'autre part, les ateliers identifiés ont des dimensions modestes et aucun regroupement de fourneaux en batterie n'a été observé. Chaque atelier est resté indépendant, formant une unité autonome (Beyrie 2003, vol. 1, pp. 173). On ne perçoit pas ici d'autorité supérieure qui organiserait la production.

À Cros-Gallet, un habitat de mineurs daté entre les V^{e} et IV^{e} s. av. n. è. a été fouillé sur le carreau de la mine. Le plan d'une cabane sur sablières basses avec murs en torchis a pu être dégagé et d'autres bâtiments incomplets sont signalés à proximité. Les résultats de l'étude montrent que les mineurs et leurs familles vivaient sur place. Les éléments mobiliers relevant de la sphère domestique sont en effet présents sur place : vaisselle céramique et pots pour la cuisine, fusaïole et pesons pour le tissage, fibules et bracelets pour la parure (Cauuet 2004b, p. 86). Des analyses carpologiques ont montré la présence de céréales et de plantes sauvages, correspondant à une exploitation du terroir proche pour l'alimentation (Cauuet 2004b, p. 87). Cela correspond à un fonctionnement autonome d'une population investie dans l'activité minière. Si l'on peut raisonnablement supposer que la production des différentes mines de ce vaste district était à un certain moment rassemblée, la phase de production semble avoir été laissée entre les mains de groupes relativement indépendants, du moins jusqu'au milieu du III^{e} s. av. n. è. Un seul exemple d'habitat fouillé pour cette période oblige à rester prudent, mais il semblerait que la stratification sociale ne soit pas très poussée dans ce contexte. Cela correspond à un modèle de société segmentée qui est l'une des options proposées pour cette période (Hill 2006, p. 179). À partir de la seconde moitié du III^{e} s. av. n. è., l'activité répond à une demande plus forte, avec des améliorations techniques dans le traitement du minerai tels que le grillage et un broyage à la meule rotative (Cauuet *et al.* 2018, p. 17). Des bassins permettent de stocker de l'eau à proximité des mines pour réaliser le traitement minéralurgique. Cette intensification de l'activité s'accompagne d'un contrôle accru sur la production, dont les acteurs demeurent inconnus. La présence d'un petit poids en bronze (1,8 g) dans un niveau daté des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. à quelques mètres du bord de la mine du Chazal (St-Clément), témoigne de ce contrôle du métal produit[99] (Cauuet *et al.* 2018, pp. 38-39).

[99] Aucun parallèle n'est connu pour ce type de poids à l'âge du Fer en Gaule. Les exemples les plus proches proviennent de sites du Portugal ou du Sud-Ouest de l'Espagne et sont datés de l'âge du Bronze. Ils sont associé à l'étalon phénicien du shekel d'Ougarit. Le poids du Limousin correspondrait à 1/5 de ce shekel, sa plus petite division, utilisée pour les métaux précieux (Cauuet *et al.* 2018, p. 39).

f. Conclusions

La variabilité des techniques et des façons de conduire les chantiers reconnue à travers ces différents exemples montre qu'il n'y a pas un modèle minier unique pour les exploitations de cette période, bien que des points communs puisent se trouver entre certaines mines. Cependant, à l'échelle d'un district, il est possible de repérer des caractéristiques morphologiques et techniques particulières et de proposer ainsi une chronologie pour des ouvrages dans lesquels on ne dispose pas de datation absolue. Dans le district de l'Arize, les caractéristiques reconnues pour les ouvrages des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. se retrouvent dans les mines non datées d'Hautech et du Goutil. Le chantier Hautech 16 se présente ainsi sous la forme d'un chantier incliné étroit ouvert au feu qui suit la minéralisation et ne laisse pas voir de vestiges de marches ou d'encoches pour la circulation des mineurs (Fig. 130). Des piliers résiduels sont assez similaires à ceux que l'on observe dans la mine de Rougé ou d'Hautech 9, laissant des passages étroits entre deux niveaux d'exploitation (Fig. 174).

Fig. 174 : Piliers de roche entre deux étages d'exploitation à Hautech 16 (gauche) et Rougé (droite).

Le chantier HAU5, vertical, pourrait sembler à première vue différent. Cependant, l'exploitation au feu conduite par étages horizontaux successifs, avec là encore l'absence d'aménagements liés à la circulation verticale des mineurs et une largeur des ouvrages réduite pour limiter les attaques dans le stérile, correspond au schéma reconnu dans les autres mines des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. de ce district. Le chantier HAU3, bien qu'ayant été élargi par la suite, présente des fronts de taille suspendus qui correspondent au gabarit de ceux que l'on observe dans le chantier HAU5, mais aussi dans le chantier CA1 de La Coustalade (Fig. 175). Seuls quelques vestiges de planchers à Hautech 5 présentent une petite originalité. Dans le cas du chantier du Goutil, la morphologie particulière de la minéralisation limite les comparaisons des schémas d'exploitation. Cependant, au moins dans le réseau Est, des galeries étroites ouvertes au feu pourraient correspondre au type d'ouvrage des IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è.

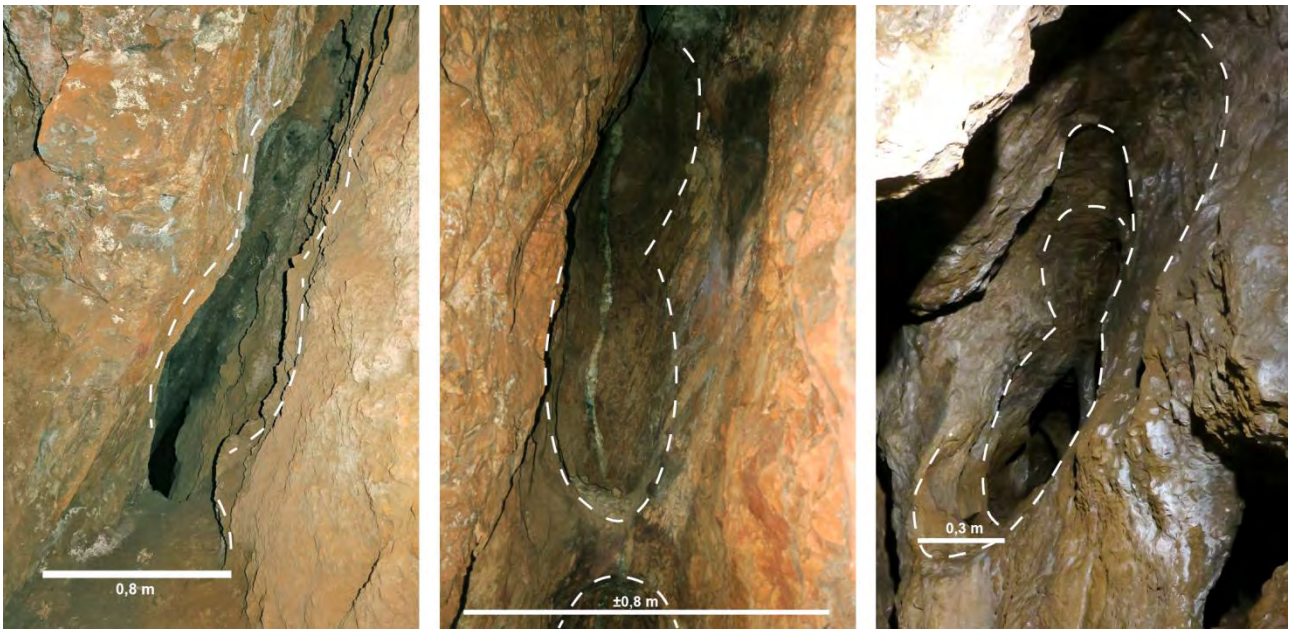


Fig. 175 : Négatifs des étages d'exploitation à La Coustalade (gauche), Hautech 5 (centre) et Le Goutil Est (droite).

Ces éléments nous conduisent à proposer une exploration généralisée des ressources minières du district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize dès les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. et une mise en exploitation concomitante de plusieurs mines. Cela dénote une activité d'une certaine intensité, qui est à rapprocher de ce que l'on observe aux Barrencs ou encore dans le Limousin, bien que ce dernier secteur ait connu une exploitation à une échelle bien supérieure. Tout cela a des implications quant à l'organisation des communautés minières et au contexte économique dans lequel ces productions s'insèrent.

I. C. En filigrane : éléments de portraits des communautés minières

Les caractéristiques des mines que nous venons d'évoquer, dans le contexte archéologique qui est le leur, dessinent en filigrane quelques traits des sociétés qui ont mis en pratique cette activité. Dans le Massif de l'Arize, on se trouve face à des indices, avec la possibilité d'une exploitation de plusieurs mines à la fois avec plusieurs équipes, d'une recherche de productivité. Les mineurs auraient cherché à tirer parti au maximum des ressources minérales disponibles. Cela sous-entendrait l'existence d'une demande en métal suffisamment forte, qui dépasserait le cadre local. Le débouché de la production serait alors assuré par l'insertion du district minier dans des réseaux d'échanges. Sans être catégorique sur cette possibilité, les données des sites contemporains nous incitent tout de même à prendre en compte la mise en place d'une exploitation intensive.

Ainsi, la mine des Barrencs, où du cuivre argentifère a également été exploité, constitue un chantier dont le volume est cohérent avec une production visant une échelle au moins régionale. Cela montre que la demande existe dans l'aire géographique à laquelle appartient le district de l'Arize. D'autre part, une augmentation de la production a pu être perçue dans les mines du Limousin à partir du III^{e} s. av. n. è. C'est en effet à partir de cette période que les chantiers miniers atteignent des profondeurs impliquant le passage en souterrain. Il s'agit alors de production d'or, qui ne répond pas à la même demande que le cuivre argentifère, mais s'inscrit dans un mouvement de fond de développement des activités économiques, que l'on observe également en dehors du domaine minier, au III^{e} s. av. n. è. (Buchsenschutz *et al.* 2012, pp. 310 et 323 ; Mennessier-Jouannet 2013, p. 371 ; Fichtl & Guichard 2016) La création des agglomérations de plaine ouvertes évoquées plus haut, où la part de l'artisanat permettait une production excédentaire, en est l'un des exemples les plus clairs (Marion 2013, p. 366). On peut ajouter à cela la recherche d'une plus grande efficacité attestée dans d'autres domaines comme l'agriculture avec l'introduction du soc et de la faux, la production de sel avec de nouveaux types de fours ou encore dans la production sidérurgique avec les premiers fourneaux à scorie piégée réutilisables qui permettent une intensification de la production (Marion 2013, p. 364).

En dehors de ces éléments économiques, on connaît peu de choses du fonctionnement des sociétés gauloises des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. Dans le Nord et l'Est de la Gaule, le III^{e} siècle se présente pourtant comme la période de mise en place des sanctuaires qui deviendront des éléments structurants des territoires et des sociétés jusqu'à la fin de l'indépendance gauloise (Fichtl 2007, p. 283 ; Buchsenschutz *et al.* 2012, p. 309). Les structures politiques sont mieux connues pour les siècles suivants, notamment grâce à certaines sources classiques. Une synthèse récente de S. Fichtl sur les peuples gaulois fait le point sur les apports de l'archéologie confrontés aux sources classiques et en particulier aux écrits de César. Il y décrit une société bien organisée, dotée de structures politiques pouvant être complexes dont la genèse remonte au moins au III^{e} siècle, sinon au IV^{e} s. av. n. è. (Fichtl 2012, pp. 152-158 et 167-168). La zone prise en compte exclut malheureusement tout le Sud de la Gaule. La région méditerranéenne correspondant à la future Transalpine « présente en

effet une organisation et une évolution différentes » de celles des zones internes. L'Aquitaine, « plus complexe » est également laissée à part tout au long de l'ouvrage (Fichtl 2012, pp. 65 et 165-166).

Des processus de structuration des sociétés peuvent toutefois être mis en évidence également dans le Sud-Ouest dès les IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è. Nous avons vu que les territoires s'organisent autour d'*oppida*, qui jouent le rôle de centres de pouvoir et peuvent impliquer une certaine hiérarchisation. Ce phénomène est d'autant mieux défini que l'on se rapproche de la Méditerranée et que l'on avance dans le temps. L'affirmation de pouvoirs territoriaux est confirmée par les émissions de monnaies gauloises, qui démarrent dans le dernier tiers du III^e^ s. av. n. è. (Callegarin *et al.* 2013, pp. 188-190). Ces émissions, bien qu'irrégulières au départ, indiquent rapidement la capacité des entités émettrices à obtenir le métal nécessaire d'une part et à garantir leur insertion dans un système de valeurs plus large d'autre part.

Dans un autre domaine, les fortifications dont sont munis les *oppida* connus dans le Sud-Ouest sont autant d'exemples d'investissements dans des activités non productives. Elles sont en cela révélatrices de la capacité des autorités locales à susciter des opérations collectives d'envergure et à afficher leur puissance (Brun 2007, p. 381). Leur érection ou réfection a pu être datée dans certains cas des IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è. Pour le Languedoc Occidental, mieux connu, le site de Pech Maho, dont le système de fortifications est complètement repensé dans le dernier quart du IV^e^ s. av. n. è., en est un bon exemple (Gailledrat & Beylier 2009, p. 119). Les auteurs de l'étude soulignent la main-d'œuvre conséquente qui a dû être mobilisée pour réaliser ces modifications. Cet aspect est également cité à propos de la fonction des remparts de sites de hauteur de la vallée de l'Hérault, comme celui de La Ramasse évoqué plus haut (Garcia 1993, p. 127). Dans le Toulousain ou l'Aquitaine, les chronologies d'édification des remparts des sites de hauteurs sont très mal caractérisées en l'absence de fouilles, mais plusieurs d'entre elles sont attribuées au second âge du Fer (Gardes 2009, pp. 55-56). Cela autorise à penser que dans ces secteurs moins bien connus, les communautés disposaient tout de même de moyens de mobiliser une main-d'œuvre importante pour des travaux collectifs d'envergure et très coûteux. Dans le cas de la construction de remparts, cette mobilisation était exceptionnelle. Elle constitue tout de même un exemple d'activité qui sort du cadre de la production vivrière. Cet aspect est à prendre en compte car l'exploitation minière est également une activité non vivrière. Or, la création de sites à enclos observée à l'échelle de la Gaule au III^e^ s. av. n. è. est mise en relation avec un accroissement de la population et une meilleure productivité de l'agriculture et de l'élevage (Colin & Verdin 2013, p. 240), qui permettrait de dégager des surplus (Brun 2007, p. 381). Mais les activités agro-pastorales occupent toujours la majeure partie des populations (Perrin 2006, p. 160).

Le développement d'artisanats qui sortent de la sphère domestique, entre les mains de personnes exemptées des travaux agricoles, commence à être perçu grâce aux dernières avancées de la recherche pour ces périodes hautes. Les agglomérations à vocation artisanale

impliquées dans des réseaux d'échange supposent la possibilité de s'approvisionner en biens vivriers dans les campagnes proches (Marion 2013, p. 366). Cela rejoint ce qui a été observé par exemple en Île de France, à partir de la fin du IV^e^ s. av. n. è., où les personnes qui ne produisent pas de denrées alimentaires (artisans, soldats, clergé) sont progressivement plus nombreuses (Marion 2007, pp. 111-112). La gestion des relations entre ces différents groupes fait partie intégrante de l'organisation des sociétés, et le clergé aurait alors joué un rôle dans la légitimation du pouvoir politique (Brun 2007, p. 382). On ajoutera la proposition de prendre en compte le rôle moteur probable du milieu aristocratique dans la création des agglomérations ouvertes artisanales, qui peut aller dans le sens d'une structuration renforcée des sociétés de cette période (Barral & Lallemand 2014, p. 225).

Or, la mise en œuvre d'une exploitation minière, lorsqu'elle atteint une certaine intensité, implique le soutien d'une organisation solide pour pouvoir se développer. La mine demande en effet la mise à disposition d'une équipe de mineurs pour l'extraction, mais le travail ne s'arrête pas là. Le tri et le concassage du minerai occupent également de la main-d'œuvre, ainsi que la métallurgie primaire. Le charbon nécessaire à cette opération doit également être préparé à l'avance. Les opérations d'archéologie expérimentale de pratique du charbonnage ont montré qu'il s'agissait d'un processus long, demandant un savoir-faire et une maîtrise poussés (Dubois 1998, pp. 98-102 ; Dubois 1999c ; Fabre 2016b, p. 429)[100]. L'approvisionnement en bois pour la production de charbon, et pour la mine lorsque le feu est utilisé, demande aussi une gestion de l'abattage des arbres. Nous avons évoqué pour le travail à l'outil la nécessité d'assurer un approvisionnement en fer. Tout cela peut conduire à une spécialisation d'une partie de la population dans l'une ou l'autre des opérations liées à la mine. Dans le cas de communautés qui ont fait le choix de s'investir dans une exploitation minière intensive, la spécialisation d'une partie de la population dans cette activité non vivrière a pu accélérer leur passage vers une organisation sociale plus structurée. De même, l'insertion nécessaire dans des réseaux d'échanges de portée au moins régionale, pour écouler la production métallique et en obtenir des bénéfices, place les acteurs de ces échanges dans une position de force par rapport au reste de leur communauté et contribue à asseoir une hiérarchie au sein des groupes concernés.

La mise en évidence de zones de production minière intensive entre les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. dans le Sud-Ouest de la Gaule permet de préciser la vision que l'on a de ces sociétés, peu connues par les autres domaines de l'archéologie. Il apparaît ainsi que la structuration politique croissante mise en évidence en Gaule interne ou sur le pourtour méditerranéen pour cette période se retrouve dans le Sud-Ouest, qui est intégré au même mouvement de fond de développement économique et de mutation sociale. Les districts miniers du sud de la Montagne Noire et de l'Arize pour l'exploitation de cuivre argentifère en sont les deux exemples les plus clairs. Il est également possible que les mines de plomb argentifère des

[100] Voir aussi la vidéo en ligne sur les expérimentations menées à Lercoul : https://www.canal-u.tv/video/universite_toulouse_ii_le_mirail/les_bas_fourneaux_de_lercoul_claude_dubois.4336 [consulté le 30/04/2018].

Pyrénées Centrales, au nord du Massif du Montaigu, correspondent à la même dynamique. La possibilité est également ouverte pour la production sidérurgique du Pays Basque. Dans les autres secteurs miniers du Sud-Ouest, les données concernant cette période sont trop limitées pour se prononcer.

À l'instar de S. Fichtl qui proposait de voir dans le III^{e} s. av. n. è. le contexte ayant favorisé la genèse des entités politiques gauloises, on peut se demander quel a été le rôle de l'exploitation minière dans ce processus. En mettant à disposition de certains groupes des ressources métalliques à forte valeur ajoutée et en stimulant la structuration politique des communautés engagées dans cette exploitation, les mines peuvent apparaître comme un catalyseur des processus de mutations sociales (Stöllner 2012, pp. 444-445). Les résultats de ces mutations aux causes multiples seront bien visibles à partir du II^{e} s. av. n. è., notamment avec l'identification de peuples contrôlant des territoires étendus. Leurs noms nous sont parvenus par le biais des auteurs classiques, notamment César (*B.G.*, au fil du texte) et Strabon (*Géographie*, IV, 1, 13), qui reprend Posidonios. Les Volques Tectosages contrôlaient un territoire vaste dont les limites exactes ne sont pas connues mais qui s'étendait entre les contreforts sud du Massif Central, les Corbières et les Pyrénées, sans qu'ils semblent avoir eu une prise directe sur les territoires montagnards en eux-mêmes (Domergue *et al.* 2002, p. 82 ; Thollard 2009, p. 155 ; Moret 2015c). Les ressources minières exploitées entre les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. dans le Massif de l'Arize, peut-être également celles des Barrencs ou même le gisement de l'Argentière dans la haute vallée du Garbet ont pu contribuer à enrichir les Tectosages et à affirmer leur puissance sur ce territoire. Hors du Sud-Ouest, on sait que les Lémovices occupent le territoire où se trouvent les nombreuses mines d'or du Limousin, exploitées également à cette période. Nul doute que l'exploitation des ressources minières locales a aussi eu son importance dans l'histoire de ce peuple.

II. Les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. : la multiplication des données

À partir du II^{e} s. av. n. è., la nette augmentation des données permet de mieux distinguer les différents espaces composant notre zone d'étude. Les monnayages, évoqués plus haut, se développent. Les sites connus sont mieux répartis sur l'ensemble du territoire et les données plus précises. C'est aussi la période à partir de laquelle les sources écrites antiques évoquent la Gaule et ses peuples, posant d'ailleurs plus de questions qu'elles n'apportent de réponses. Mais surtout, la matérialisation des processus amorcés au cours des deux siècles précédents va devenir bien visible. La structuration des sociétés gauloises apparaît plus nettement et le développement économique est perceptible à travers l'ensemble de la région. Cela n'est pas propre au Sud-Ouest mais se retrouve à l'échelle de la Gaule, montrant en cela qu'il s'agit bien de phénomènes dont la cause première n'est pas à rechercher dans une influence romaine. Les activités qui sortent du cadre de la production domestique deviennent également plus nombreuses et des vestiges d'exploitations minières de cette période se retrouvent dans tous les districts miniers du Sud-Ouest.

Ces deux siècles ne forment toutefois pas un ensemble uniforme, principalement du fait des différentes étapes de la prise de pouvoir de Rome sur les territoires qui nous concernent. Cela commence avec la fin de la deuxième Guerre Punique, en -202, qui affermit le contrôle romain notamment sur les territoires du Nord-Est ibérique, avec lesquels le Languedoc Occidental entretenait des relations privilégiées depuis plusieurs siècles. Le règne d'Auguste, qui clôture cette période, parachève le processus avec l'application de réformes administratives qui imposent pour plusieurs siècles la marque de Rome sur ce qui est devenu un empire. La chronologie à l'intérieur de cet intervalle aura donc une importance particulière.

II. A. L'avancée progressive de Rome

II. A. 1. Le saut quantitatif dans les échanges avec la Méditerranée

Les caractéristiques de cette période découlent des situations précédentes. La pluralité des traditions dans le Sud-Ouest se maintient jusqu'à la conquête romaine, même si des réorganisations commencent à avoir lieu à partir de la fin du II^{e} s. av. n. è., imposées par Rome. Car la particularité de cette phase charnière est bien la mise en place de la domination romaine (Py 2012, p. 200), qui se fait progressivement, dans le sillon du mouvement amorcé en péninsule Ibérique, à la suite des Guerres Puniques. Le développement du commerce avec la Méditerranée et l'Italie en particulier en est l'élément le plus visible (Gruat & Marty 2000, p. 46 ; Gardes 2001, pp. 125-126 ; Domergue *et al.* 2002, p. 81 ; Gardes & Colléoni 2007, pp. 202-203 ; Christol 2010, pp. 37-39). Encore modéré dans la première moitié du II^{e} s. av. n. è., il se développe de façon exponentielle à partir de la seconde moitié de ce siècle et tout au long du suivant. La création de la province de Transalpine n'est pas étrangère à cette évolution. Le vin italique, dont la diffusion est révélée par les nombreuses amphores qui jalonnent les voies de communication, va s'imposer assez

rapidement face aux productions de Marseille ou de l'aire Ibéro-punique (Bats 1986, p. 394 ; Benquet 2007, pp. 444-446). La céramique campanienne à vernis noir est une autre composante forte de ce commerce, à partir de la seconde moitié du II^e^ s. av. n. è. (Rancoule 1985 ; Roman & Roman 1997, pp. 581-583 ; Olmer *et al.* 2013, p. 218). Le port de Narbonne devient la porte d'entrée de ces marchandises (Gayraud 1981, pp. 189-191).

La présence de mobilier d'origine méditerranéenne ne doit pas occulter les dynamiques locales très actives dans ces échanges. À ce titre, les variations entre les différents espaces du Sud-Ouest sont révélatrices, tout comme les évolutions selon la chronologie au fil de ces deux siècles. Nous avons vu pour la période précédente que le littoral méditerranéen était un cas particulier de par sa proximité avec les sphères d'influences étrusque (jusqu'à la fin du V^e^ siècle), massaliète, ibérique, punique et ampuritaine. Les contacts se sont maintenus tout au long des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. dans ce secteur, alors qu'ils avaient nettement diminué ailleurs (Bats 1986, p. 404). C'est aussi sur cette frange littorale que l'on ressent le plus tôt une influence romaine. En effet, à la suite de la création de la province d'Hispanie Citérieure après la deuxième Guerre Punique, les relations actives de longue date entre le Nord-Est ibérique et le Languedoc ont favorisé une diffusion des productions italiennes de l'autre côté des Pyrénées, depuis la Catalogne (Benquet 2007, pp. 445-447). Mais les Romains ont surtout pu profiter d'un réseau commercial déjà bien en place et dynamique dans toute cette région (Sanchez 2009a, p. 22 ; Py 2012, pp. 275-276). Ainsi, la distribution des premières amphores gréco-italiques (puis Dressel 1) dans la sphère d'influence massaliète (soit la bande côtière méditerranéenne) recouvre la zone de diffusion des productions de *Massalia*, prenant progressivement le dessus jusqu'à devenir presque exclusive à la fin du II^e^ siècle (Bats 1986, p. 394). Le réseau des sites côtiers indigènes impliqués dans les échanges depuis la période précédente est toujours actif, à l'exception de Pech Maho, détruit peu avant 200. La fondation de la colonie de Narbonne en 118 permet aux Romains de confirmer leur contrôle sur un carrefour commercial bien structuré et efficace de longue date (Gayraud 1981, p. 140).

En dehors de la frange côtière, la répartition des amphores vinaires suit principalement l'axe Aude-Garonne. Cette voie, secondaire lors de la phase précédente, va jouer un rôle primordial dans la structuration des échanges, faisant bientôt office de colonne vertébrale de la diffusion des marchandises importées et irradiant ensuite le long d'axes de pénétration qui suivent les affluents des deux fleuves. Les nombreux établissements qui jalonnent l'itinéraire, fondés au cours du II^e^ siècle, en sont la manifestation la plus évidente (Passelac 2002b). On assiste ainsi à l'apparition d'habitats groupés de grande taille, tournés vers des activités de production et d'échange. Les sites de La Lagaste (Aude), Vieille-Toulouse (Haute-Garonne) ou encore Lacoste (Gironde) en sont des exemples (Rancoule & Schwaller 1994, pp. 228-229). Pour autant, tout n'est pas uniforme le long de l'isthme gaulois. De fait, dès que l'on s'éloigne des axes principaux et des grands sites qui centralisent les échanges, la pénétration du mobilier méditerranéen est bien moindre, et il faudra attendre l'extrême fin du II^e^ ou le début du I^er^ s. av. n. è. pour que les secteurs un peu à l'écart soient

approvisionnés en produits méditerranéens. La diffusion de la vaisselle métallique italienne en est un bon exemple (Olmer *et al.* 2013, p. 683).

II. A. 2. Une double dynamique indigène et italienne

Deux sites occupent une place centrale dans ces échanges. Près de la Méditerranée, l'*oppidum* de Montlaurès (Narbonne, Aude) prend une importance particulière en tête de la future voie d'Aquitaine. Ce site, dont la fondation remonte au VI^{e} s. av. n. è., a été abandonné autour de -300 et connaît une réoccupation dans la seconde moitié du II^{e} siècle, sans doute à partir de -130. L'abandon définitif du site a lieu au milieu du I^{er} s. av. n. è. (de Chazelles & Ugolini 2015, pp. 69-70). Cette dernière phase d'occupation du site coïncide avec la fondation de la ville de Narbonne, première colonie romaine de civils hors d'Italie, en -118. Elle s'inscrit dans la poursuite du programme social des Gracques de redistribution de terres aux citoyens pauvres (Gayraud 1981, pp. 138-140 et 159). L'abandon de l'*oppidum* de Montlaurès coïncide avec la deuxième déduction coloniale de Narbonne, en -46/-45, concernant cette fois-ci des vétérans (de Chazelles & Ugolini 2015, p. 576).

À l'intérieur des terres, l'*oppidum* de Vieille-Toulouse (occupé aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è.) et le site de plaine de Toulouse Saint-Roch (II^{e} s. av. n. è.) font office d'exception dans la mesure où les importations y sont plus précoces et plus nombreuses qu'ailleurs, ce qui les rend comparables aux sites du littoral dès le II^{e} siècle (Benquet 2007, p. 446 ; Gorgues 2014, pp. 305-306 ; Moret 2015b ; Verrier 2017, p. 149). Plus à l'ouest, les mobiliers méditerranéens importés sont encore très rares. Le lien particulier entre Vieille-Toulouse/Toulouse St-Roch et l'orbite romaine est aussi perceptible dans les monnaies en circulation entre la fin du II^{e} siècle et la première moitié du I^{er} s. av. n. è. D'une part, on relève la variété des provenances identifiées, couvrant tout l'Occident méditerranéen. D'autre part, on souligne la domination parmi les monnaies exogènes de celles de type romain. Ces monnaies ne sont pas arrivées de proche en proche car elles sont absentes sur les sites intermédiaires depuis la mer mais se retrouvent à Narbonne. Cela montrerait une connexion directe avec Rome à travers la présence de négociants italiens, pouvant se trouver sur place dès le II^{e} siècle (Hiriart 2015, p. 297). La colonie de Narbonne apparaît comme le relais principal de cette relation privilégiée, avec des circuits spécifiquement italiens, ce que l'absence de numéraire régional semble confirmer (Gayraud 1981, p. 199 ; Hiriart 2015, p. 303). Mais l'élément le plus caractéristique de ce lien privilégié entre Rome et Toulouse est l'existence d'une alliance entre ces deux cités, rompue lors du soulèvement de la ville en 107/106. Cette alliance remonterait probablement à la création de la province de transalpine, en 118 (Moret 2008, p. 300). Cela témoigne de la puissance régionale des Tectosages, capables d'apporter des garanties à Rome, qui tient à maintenir la sécurité de la voie terrestre entre les péninsules Italique et Ibérique (Roman 1991, pp. 37-38). La présence de vétérans des armées romaines à Toulouse aussi bien qu'à Narbonne, rappelés personnellement par Crassus puis par César en -56 et -52, confirme les liens étroits de ces deux villes entre elles et avec Rome (Gayraud 1981, pp. 170-171).

Les deux sites toulousains permettent aussi de prendre la mesure de la vivacité des relations forgées lors des phases précédentes, indépendamment de toute intervention romaine. En effet, les produits d'origine italique et les monnaies romaines ne représentent que l'un des faciès que l'on peut observer sur place. En ce qui concerne les relations à moyenne ou longue distance, il faut souligner les liens forts entretenus avec l'Ibérie. La présence de céramiques de la zone de Gérone, attestée à Vieille-Toulouse, est un premier élément indiquant des relations directes entre ces deux zones, par les cols pyrénéens, car elles sont absentes du littoral méditerranéen. Des marques en écriture ibère sur des amphores gréco-italiques datées autour de -150 ont été identifiées aussi dans le toulousain, et semblent indiquer que des Ibères se trouvaient sur place. Cette présence ne correspond pas forcément à un comptoir commercial tels qu'on les connaît sur la côte, mais reflète des liens politiques ou personnels suprarégionaux bien établis de part et d'autre des Pyrénées (Gorgues 2014, pp. 309-311). Les fouilles récentes de la ZAC Niel dans le quartier Saint-Roch ont apporté des éléments complémentaires sur cette présence ibérique avec des inscriptions (partielles) sur amphores et céramiques. Des inscriptions en caractères grecs ainsi que la vaisselle de cuisine d'origine massaliète reflèteraient également une installation sur place de négociants grecs, au moins entre 125 et 100 av. n. è. (Moret *et al.* 2015, p. 413). Des affinités avec le domaine de la Gaule centrale sont aussi identifiées par la circulation de monnaies provenant de ces régions et du Massif Central (Hiriart 2015, p. 300) ainsi que de céramiques fines tournées, polies ou engobées, qui correspondent à des types celtiques dont les origines sont plus septentrionales (Gorgues 2007, pp. 429-430). Ces relations à relativement longue distance sont un des aspects des sites de Vieille-Toulouse comme de St-Roch, l'autre étant un fort ancrage local et régional, perceptible par les mobiliers céramiques mais aussi à travers les émissions monétaires. Les monnaies à la croix, caractéristiques du couloir Aude-Garonne, sont en effet dominantes sur ce site (Hiriart 2015, pp. 297 et 304). Le lien apparaît dans ce cas plus fortement avec l'*oppidum* de Montlaurès, dépourvu de monnaies romaines, pour un circuit parallèle à celui provenant de Narbonne et aux mains des populations locales, que l'on peut suivre à travers le réseau d'agglomérations apparues à cette période. La cohabitation de séries monétaires de diffusion locale avec d'autres types diffusés plus largement montre les différentes échelles des échanges auxquels le site prend part.

Si l'on s'éloigne un peu des axes de circulation majeurs et de la côte méditerranéenne, les dynamiques locales restent à l'œuvre au moins jusqu'à la conquête césarienne et sans doute jusqu'aux réformes augustéennes. Les monnayages émis par des autorités gauloises en sont un exemple. Leur multiplication à la fin du II^{e} s. av. n. è. avec des centres émetteurs multiples et des diffusions à des échelles variées (régionale, locale) témoigne de la fragmentation du territoire à l'intérieur des grands ensembles que sont la frange languedocienne, le couloir Aude-Garonne et l'Aquitaine (Callegarin 2007, pp. 213-215 ; Callegarin *et al.* 2013, pp. 193-194). Cette fragmentation n'est pas équivalente à la fermeture des différents territoires, car le respect d'une métrologie cohérente à large échelle montre au contraire une intégration effective dans les divers circuits d'échanges en place à cette période. L'apparition d'amphores vinaires et de céramique fine italique (mais aussi catalane ou ibérique peinte)

sur les sites de plus en plus reculés entre les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. témoigne de l'ouverture des différentes sous-régions (Gruat & Marty 2000, p. 46 ; Gardes & Colléoni 2007, pp. 204-205 ; Gruat & Izac-Imbert 2011, pp. 145-146). Les nombreuses émissions de monnaies à diffusion réduite montrent une appropriation de ce nouveau moyen d'expression par des pouvoirs locaux, qui affirment ainsi leur identité. Par exemple, les monnaies à la croix du groupe négroïde qui alimentent l'axe Aude-Garonne peuvent être divisées en plusieurs sous-types qui ont dû être émis dans des centres distincts (Feugère & Py 2011, p. 251). La conquête césarienne ne met pas fin immédiatement à ce processus, mais l'influence romaine est perceptible : les émissions en bronze se développent, les types sont moins variés. Les légendes de certaines monnaies comportent des noms de chefs gaulois en caractères latins (*Adietuanus* au sud de la Garonne, *Contoutos* et *Anniccoios* entre la Gironde et les Charentes). Ces monnaies émises en petit nombre ont une aire de répartition limitée mais se retrouvent encore dans quelques contextes du début du I^{er} s. de n. è. (Callegarin *et al.* 2013, pp. 207-212).

II. A. 3. Structure du territoire et entités politiques

La fondation de nouveaux sites d'habitat à cette période va restructurer le territoire, avec un maillage plus dense, qui peut être observé sur l'ensemble de la région (Mauné 2000, pp. 241-242 ; Gardes 2002, p. 56-57 ; Py 2012, p. 201). Ces nouveaux habitats semblent aller de pair avec une hiérarchisation du territoire dont les *oppida*, souvent occupés depuis la phase précédente près de la Méditerranée, occupent la place centrale. Cette évolution vers une structure plus hiérarchisée a été mise en évidence pour l'ensemble de la Gaule et le Sud-Ouest poursuit en cela un mouvement amorcé aux IV^{e} et III^{e} siècles et mieux perçu en Gaule intérieure (Gruat & Izac-Imbert 2002, p. 80 ; Fichtl 2007 ; Marion 2007, pp. 111-112 ; Colin & Verdin 2013, pp. 241-243). Cela accompagne le développement d'une frange de la population qui ne produit pas ses propres ressources alimentaires (Rancoule & Schwaller 1994, p. 228). Nous avons vu que ce phénomène avait démarré au moins au III^{e} siècle mais il s'accentue au cours des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. Des indices d'un artisanat spécialisé sont identifiés plus fréquemment, notamment sur les sites ouverts de plaine, proches des voies de circulation.

La nouvelle structuration du territoire avec des centres qui contrôlent des zones plus étendues semble correspondre avec les quelques données fournies par les sources classiques sur le fonctionnement politique des Gaulois. Les *civitas* dont parle César à de nombreuses reprises dans ses *Commentaires de la Guerre des Gaules* pourraient donc bien correspondre à ce système centré sur des *oppida* qui font office de chef-lieu (Brun 2007, pp. 381-382 ; Garcia 2011, pp. 117-118 ; Fichtl 2012). On peut comparer ces *civitas* à des états archaïques, dans lesquels la complexification sociale s'est développée. Ces grandes entités sont plutôt caractéristiques de la Gaule interne (Fichtl 2006). Nous avons vu que la côte méditerranéenne, sous influence grecque et ibéro-languedocienne, constituait un cas à part. L'Aquitaine, identifiée comme une zone singulière, n'est pas pour autant uniforme et

on n'y décèle pas de pouvoir central. Les Pyrénées sont assez mal connues de ce point de vue et auraient été occupées par plusieurs petits peuples dont on ne connaît pas toujours le nom (Rico 1997, p. 44 ; Christol 2009, p. 32). Des tentatives de restitution des petites entités politiques préexistantes dans ces zones de marge ont été faites sur la base des textes de César, de Strabon et de Pline (par exemple, Rico 1997, pp. 81-122 ; Barruol 2000 ; Gardes 2002). Seul le premier est contemporain de cette période, ceux de Strabon et Pline étant écrits respectivement au début du I^{er} s. de n. è. et dans le troisième quart de ce même siècle. Ils font toutefois état de situations antérieures, par l'utilisation de documents plus anciens aujourd'hui disparus, comme les *Histoires* de Posidonios (Rico 1997, p. 40 ; Moret 2001, pp. 17-18). Au-delà de l'imprécision de ces données, le morcellement ethnique aussi bien des Pyrénées que de l'Aquitaine est flagrant. La carte de la Fig. 176 regroupe les restitutions des localisations de ces peuples.

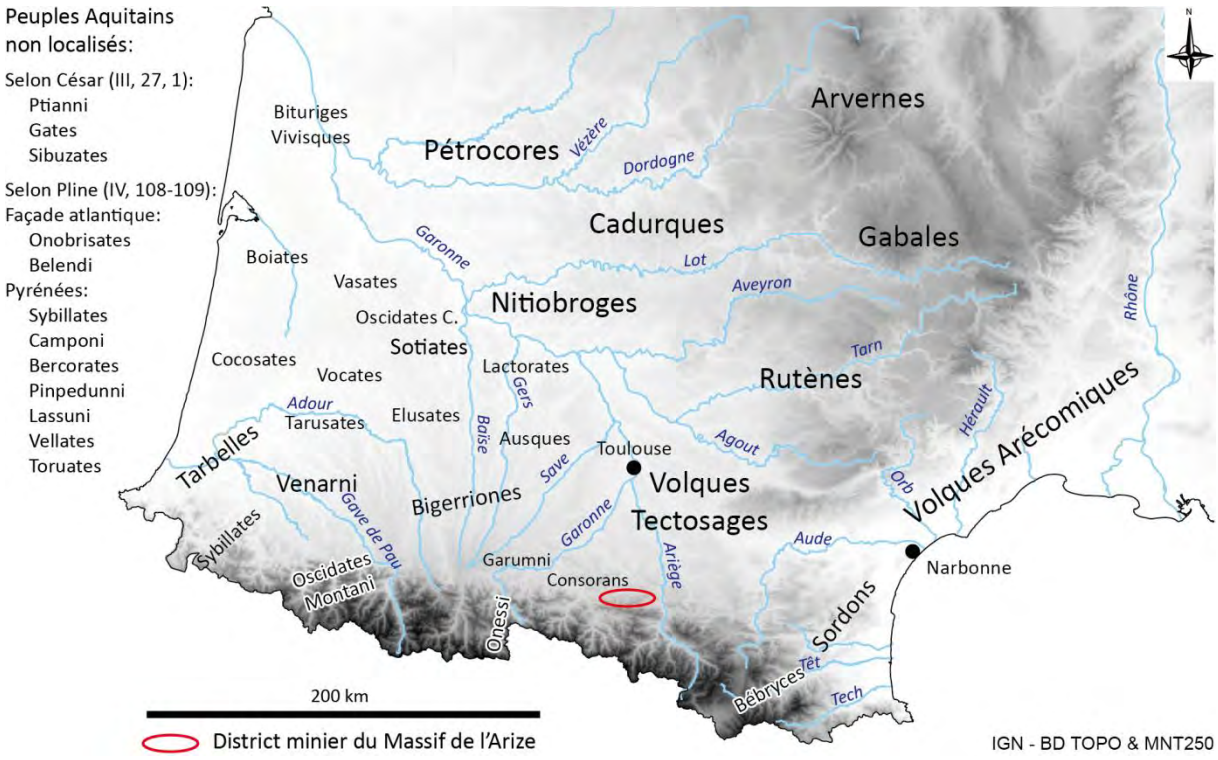


Fig. 176 : Restitution des localisations des peuples préromains du Sud-Ouest, d'après Rico 1997, Barruol 2000 et Gardes 2002.

Pour la zone intermédiaire entre Aquitaine et Languedoc, territoire attribué aux Volques Tectosages (Fig. 176), on ne sait pas vraiment quelle est la nature de son administration. Les textes ne le précisent pas et on ne dispose pas d'épigraphie comme cela peut être le cas chez les Volques Arécomiques voisins (Moret 2015c, p. 40). La possibilité qui est actuellement retenue est celle d'une confédération ethnique (Milcent 2015, p. 34). Selon Posidonios, repris par Strabon, on peut situer le territoire des Tectosages entre les Corbières et le Sud du Massif Central vers le nord et les Pyrénées au sud, la Garonne faisant office de limite occidentale (Domergue *et al.* 2002, p. 82 ; Thollard 2009, pp. 155-157). Cependant, on ne connaît pas précisément les limites de leur emprise vers les Pyrénées, ni vers la

Méditerranée (Sablayrolles 2009, p. 42 ; Moret 2015c, pp. 43-47). D'autre part, suite à leur révolte en -106, leur territoire est démantelé et passe donc sous le contrôle de Rome.

Environ 25 ans plus tard, la région entre Méditerranée et Garonne va redevenir le théâtre d'interventions militaires romaines dans le cadre des guerres sertoriennes, qui ont lieu en Espagne entre -80 et -72. Pompée est envoyé par Rome pour lutter contre Sertorius et doit faire face à l'opposition gauloise sur son passage (Barruol 2000, pp. 8-9). La route permettant de relier l'Espagne par la vallée de la Garonne a eu beaucoup d'importance dans les opérations menées par Pompée, pour qui la voie littorale était coupée. Les territoires situés entre la Méditerranée et la Garonne ont été mis à contribution pour l'approvisionnement des troupes de Pompée (Gourdiole & Landes 2002, p. 280). À son retour vers Rome après la mort de Sertorius en -72, il fonde ainsi *Lugdunum Convenarum* (Saint-Bertrand-de-Comminges), qui devient un avant-poste de la présence romaine dans cette région jusqu'alors en marge (Rico 1997, p. 142 ; Sablayrolles 2009, p. 48). De l'autre côté des Pyrénées, la fondation de *Pompaelo* (Pampelune) marque l'autre extrémité de la zone atteinte lors de ces campagnes. Après cette date, la vallée de la Garonne entre Toulouse et sa source est supposée appartenir au domaine romain de la province de Transalpine. Mais le fait est que l'on sait peu de choses sur la ville de *Lugdunum Convenarum* ou sur les territoires environnants jusqu'à la période augustéenne. Seuls quelques tessons, identifiés notamment sous le *macellum*, peuvent appartenir au I^{er} s. av. n. è., mais il n'y a pas de structures connues pour cette période (Sablayrolles & Beyrie 2006, p. 257 ; Fabre & Paillet 2009, p. 33). Toutefois, la mise en place rapide de l'exploitation marbrière pourrait aller dans le sens d'une mainmise romaine effective dans tout ce secteur peu de temps après la fin des opérations de Pompée. L'édification du trophée d'Auguste à St-Bertrand-de-Comminges entre 13 et 10 av. n. è. montre en effet que les carrières locales étaient déjà en activité (Boube 1996, pp. 43-44). La vallée de la Garonne devait être d'une manière ou d'une autre sous contrôle pour la diffusion des productions, par voie terrestre le long du fleuve pour les petites pièces ou par voie fluviales pour les plus massives (Fabre & Sablayrolles 2002, pp. 72-74). Il est plus difficile d'estimer ce qu'il en est à l'écart de cette voie de pénétration principale, et notamment vers l'est, jusqu'à la vallée de l'Ariège.

Les secteurs situés à l'ouest de la Garonne seraient restés préservés de l'action romaine jusqu'à la conquête de la Gaule par César. Leur intégration dans l'orbite romaine s'accompagne du rattachement de *Lugdunum Convenarum* à la nouvelle province d'Aquitaine. La date de ce transfert n'est pas claire, entre l'organisation césarienne ou les réformes augustéennes (Rico 1997, pp. 184-185 ; Sablayrolles & Beyrie 2006, p. 63). Nous allons voir comment l'exploitation minière se développe le long de la chaîne pyrénéenne au cours de ces deux siècles et dans quelle mesure elle peut refléter les différents rythmes de la prise de pouvoir de Rome sur les territoires provinciaux.

II. B. Une activité minière à réévaluer

La place prépondérante donnée aux travaux miniers de cette période est due à plusieurs facteurs. D'un côté, comme cela a pu être le cas dans le district à cuivre argentifère de l'Arize, les tessons d'amphores sont surreprésentés parmi le mobilier archéologique identifié en prospection. D'autre part, les traditions historiographiques font que les mines antiques ont été bien plus étudiées que celles d'autres périodes. En particulier pour le Sud-Ouest de la Gaule, l'implication des chercheurs de l'Université de Toulouse, fortement marqués par une tradition de recherche sur l'Antiquité romaine, a conduit à privilégier les contextes relevant de cette période au détriment des autres. Mais l'activité dans les mines au II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. n'est pas qu'une illusion provoquée par des tessons d'amphores trop bien conservés. Les recherches récentes ont aussi montré que des phases d'activité se sont bien déroulées à cette période. Des datations dans les mines des Atiels et de La Coustalade, par exemple, correspondent à une activité qui s'est déroulée aux II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. Les intervalles calibrés sont alors bien moins précis que la typo-chronologie du mobilier que l'on peut trouver sur ces sites. Selon que le mobilier en question se trouvera dans des US correspondant à une phase d'exploitation ou à une phase d'arrêt de l'activité (remblai), on pourra resserrer l'intervalle donné par la date ^{14}C.

Les districts dans lesquels se trouvent des mines des II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. sont nombreux et les chantiers sont mieux caractérisés que pour les deux siècles précédents. Les ressources métalliques du Pays Basque, des Pyrénées Centrales, de l'Ariège, des Pyrénées Orientales, des Corbières et de la Montagne Noire ont été exploitées à cette période (Fig. 177). Les parallèles sont nombreux hors de cette zone, à commencer par les exploitations proches du sud du Massif Central, autour de la haute vallée de l'Orb en particulier. Le Limousin est toujours actif, et des points de comparaison sont aussi offerts par les mines ibériques notamment. Plusieurs districts contemporains sont en effet connus dans la péninsule, où le contexte de prise de pouvoir de Rome sur ces territoires est comparable avec ce qu'a connu le Sud-Ouest de la Gaule.

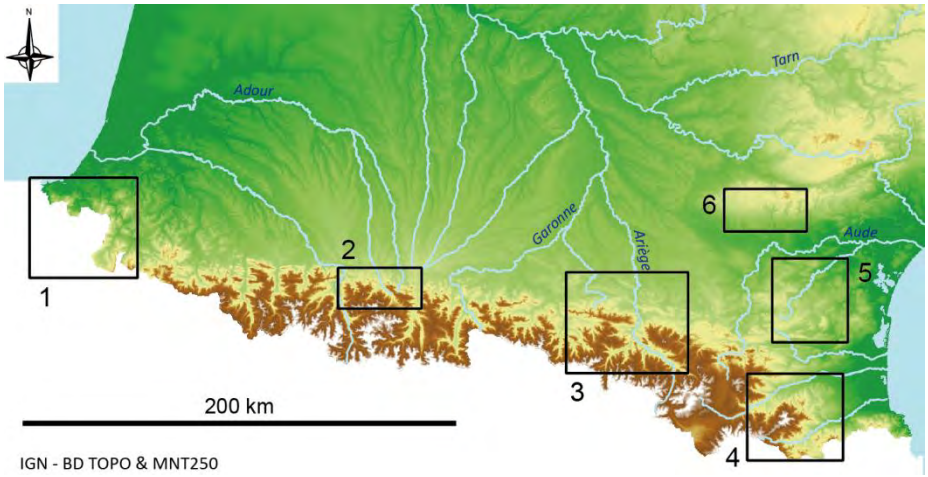


Fig. 177 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule avec une activité aux II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. 1 : Pays Basque, 2 : Pyrénées Centrales, 3 : Pyrénées Ariégeoises, 4 : Pyrénées Orientales, 5 : Corbières, 6 : Montagne Noire.

II. B. 1. Les mines du Sud-Ouest aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è.

a. Le Pays Basque

Après les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. où seule l'exploitation du fer de Larla était reconnue, l'activité minière et métallurgique semble se développer progressivement aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è. L'exploitation du fer se poursuit à Larla et apparaît à Errola, et des mines de cuivre sont désormais connues à Monhoa et Mehatze (Fig. 159, p. 322). Pour cette période encore, les ateliers de production de fer sont mieux connus que les mines. La maîtrise technique constatée dès la période précédente à Larla est constante et aucune variation dans l'organisation ou les modes opératoires n'a été constatée sur ce site (Beyrie 2015, p. 135). Pour l'ensemble d'Errola, situé en retrait des voies de circulation principales et un peu plus en altitude (700 à 800 m), on dénombre sept ferriers de petite taille (Beyrie 2003, pp. 133-135). Les travaux miniers de ce site semblent se limiter à des exploitations de surface en petites fosses et tranchées, qui ne nécessitaient pas de connaissance minière très pointue (Beyrie 2003, p. 204). Par contre, la technique métallurgique est bien maîtrisée. La répartition des crassiers est cohérente, comme à Larla, avec des petits ateliers indépendants. La première phase d'activité à Errola se situe entre le II^{e} s. av. n. è. et le début du I^{er} s. de n. è. et une seconde aura lieu entre la seconde moitié du I^{er} s. de n. è. et le III^{e} siècle[101] (Beyrie 2003, p. 193).

Pour le cuivre, les travaux de Monhoa (St-Étienne-de-Baïgorry) ont livré des vestiges anciens dont la chronologie, établie par des datations au radiocarbone, s'étend du II^{e} s. av. n. è. au milieu du I^{er} s. de n. è. (Parent 2010, pp. 13-15). Le filon à gangue de quartz est encaissé dans des quartzites et des grès de l'Ordovicien (Parent 2010, fig. 1). Le feu et l'outil ont été utilisés selon la dureté de l'encaissant pour l'avancement du chantier. Cette mine se développe sur deux niveaux, reliés par un chantier incliné suivant le pendage du filon. Ses dimensions sont assez réduites (une trentaine de mètres de longueur pour 20 m de profondeur) et elle n'a fait l'objet que d'une timide tentative de reprise au XVIII^{e} siècle, qui n'a affecté que partiellement sa partie basse (Fig. 178). Les reliquats d'anciennes soles percées près de l'entrée supérieure indiquent cependant plusieurs phases d'activité anciennes. Le développement relativement limité de ces travaux, étalé sur plus de deux siècles, plaide également pour une exploitation discontinue. Les profils des travaux ne sont pas décrits systématiquement mais les relevés présentés montrent des largeurs proches d'un mètre ou supérieures, ce qui pourrait indiquer une certaine prise en compte de l'ergonomie du chantier. Enfin, ce sont des travaux de basse altitude, accessibles en principe toute l'année.

[101] Datations LY-10658: 2040 ±30 BP, soit 148 cal BC – 48 cal AD; LY-10659: 2095 ±30 BP, soit 197 – 4 cal BC; Beta-159176: 1910 ±70, soit 50 cal BC – 250 cal AD.

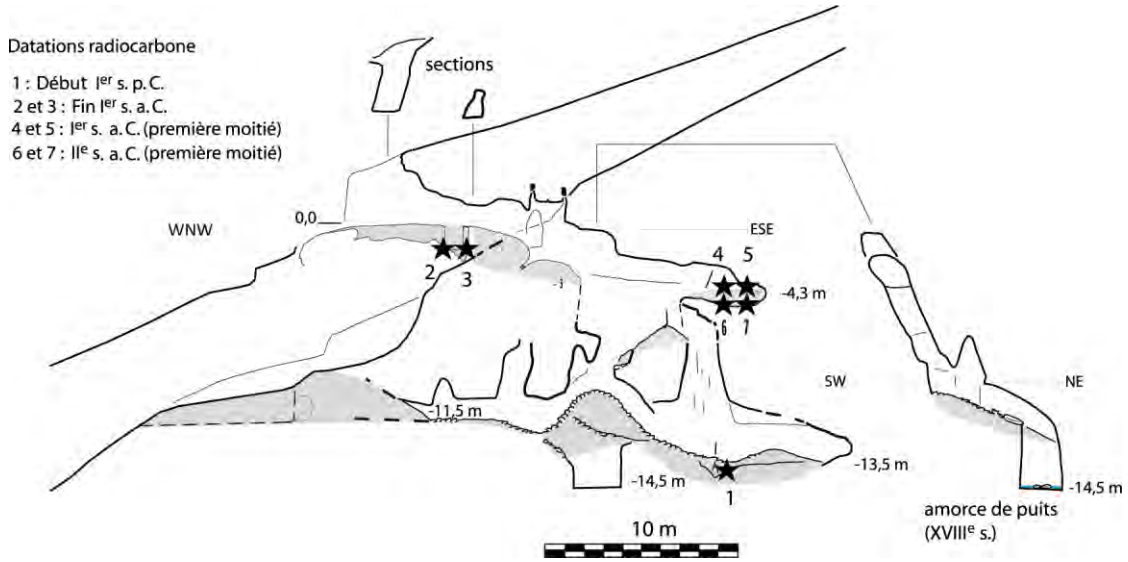


Fig. 178 : Mine de Monhoa : coupe des travaux (Parent 2010, fig. 4).

Le site de Mehatze constitue un pôle d'exploitation minière ancienne d'envergure. Les travaux, identifiés par des départs depuis l'affleurement en surface, des entrées de travers-bancs et des haldes nombreuses, ont été menés sur des minéralisations filoniennes polymétalliques composées principalement de sidérite et chalcopyrite encaissées dans les quartzites et les schistes de l'Ordovicien. Des cuivres gris argentifères sont aussi présents (Parent *et al.* 2016, pp. 157-159). Les travaux souterrains topographiés (Fig. 179) totalisent près de 200 m, incluant de longs ouvrages d'assistance (galerie d'accès et recherche en descenderie), mais une grande partie de l'exploitation, comblée depuis la surface, n'est plus accessible en l'état (Parent *et al.* 2016, pp. 163-164). La chronologie des travaux connus jusqu'à maintenant s'étend entre le I^{er} s. av. n. è. et le I^{er} s. de n. è. Des fragments de lampes à huile, de présigillée et des morceaux de verre à double paroi sont les éléments dont les datations sont les plus précises. Ils sont accompagnés de tessons d'amphores de Bétique Dr. 20, dont la chronologie, cohérente avec une activité au I^{er} s. de n. è., peut s'étendre jusqu'à la fin du III^{e} s. de n. è. (Parent *et al.* 2016, pp. 179-183). Une fouille devant l'entrée d'un travers-banc à la base des travaux et des sondages dans les parties basses accessibles ont livré des charbons qui ont été datés. Un premier ensemble de dates s'étend du II^{e} s. av. n. è. au I^{er} s. de n. è. et un second se rapporte à la période médiévale, du XI^{e} au XIII^{e} siècle. La provenance des charbons les plus anciens, pré-augustéens, pose problème aux auteurs dans la mesure où l'un d'eux se trouvait dans une descenderie dont le profil est caractéristique pour cette région des chantiers plus tardifs, et l'autre dans un niveau de circulation devant l'entrée du travers-banc, en position stratigraphique plus haute que les niveaux datés du I^{er} s. de n. è. et en net décalage avec le mobilier de la même couche (Parent *et al.* 2016, pp. 173-176).

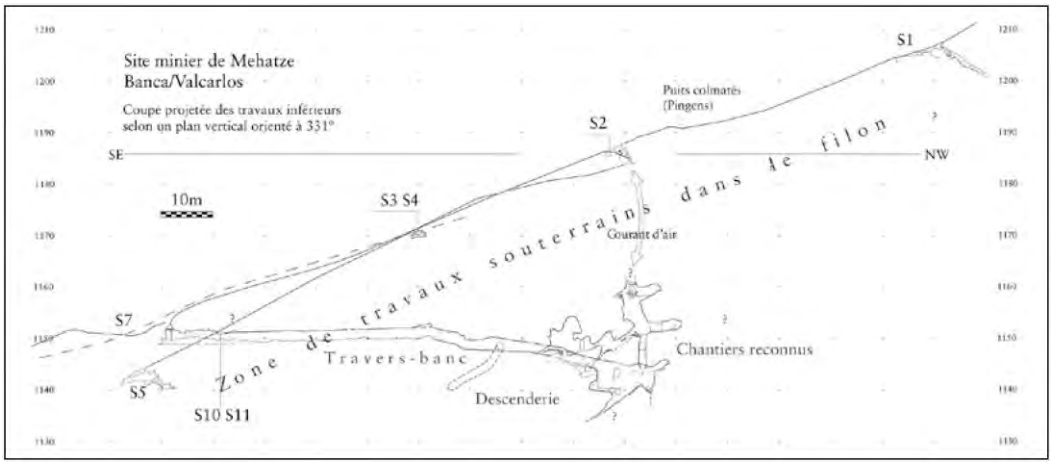


Fig. 179 : Coupe des travaux souterrains de Mehatze étudiés (Parent *et al* 2016, fig. 3)

Cette configuration rappelle les difficultés que l'on rencontre pour dater les mines. Les déplacements de matériaux de remblai sont une source fréquente de perturbation des chronologies. Dans ce cas, les auteurs décrivent justement les US situées devant l'entrée du travers-banc comme des apports de matière permettant de pallier à l'accumulation de l'eau dans ce secteur encaissé en bas de pente. Il est donc possible que des déblais anciens aient été déplacés à cette occasion. L'envergure des travaux permet tout à fait d'envisager un démarrage de l'exploitation dès le II^{e} s. av. n. è. dans les parties hautes, ouvertes sur l'affleurement à plus de 40 m au-dessus du travers-banc. Les mineurs auraient atteint les niveaux inférieurs seulement au I^{er} s. de n. è. comme l'indiquent le mobilier et les datations plus récentes dans l'entrée du travers-banc[102]. Quant aux datations médiévales, les auteurs les considèrent au mieux comme des indices d'une exploration ponctuelle, étant donné leur position stratigraphique. L'absence de reprise moderne sur ce site offre des perspectives tout à fait stimulantes pour préciser la chronologie de l'évolution de l'exploitation, depuis l'affleurement dans les parties hautes jusqu'au creusement des travers-bancs plus bas, technique en principe associée à la présence romaine, comme nous le verrons plus bas (Parent *et al.* 2016, p. 191).

Les autres travaux anciens identifiés pour les non-ferreux dans la vallée des Aldudes sont nettement moins bien conservés ou n'ont pas fait l'objet d'étude détaillée du souterrain, pour ce que les publications permettent d'en juger. On signalera tout de même le cas du site de Jara (St-Étienne-de-Baïgorry et St-Martin-d'Arossa), série de travaux menés sur une brèche de faille minéralisée en chalcopyrite et sidérite, au contact discordant entre les calcaires du Dévonien et les grès du Permo-Trias. Les reprises récentes et le remblaiement des chantiers en ont limité l'étude. Cependant, une attaque au feu descendante, décrite comme un ouvrage « ample » bien que court, a pu être entièrement fouillée sur le groupe de travaux de Jara 1. Les charbons récoltés sur la sole de cette galerie situent l'exploitation vers

[102] Le fait que les auteurs ne précisent pas si les charbons datés ont fait l'objet d'une identification anthracologique laisse aussi la possibilité d'un effet « vieux bois », c'est-à-dire un vieillissement apparent dû à l'utilisation de pièces de bois provenant d'arbres au moins centenaires.

le milieu du I^er^ s. av. n. è. L'exploitation s'est poursuivie au I^er^ s. de n. è. sur cet ensemble, comme l'attestent d'autres datations sur des niveaux liés à l'abattage au feu (Parent 2010, pp. 12-13). D'autres sites pourraient donc correspondre à cette même période et les exemples connus aujourd'hui sont significatifs de l'état de la recherche. Ainsi, les prospections menées sur le district aurifère d'Itxassou (Fig. 159, p. 322) ont révélé des vestiges de travaux en alluvions, non datés pour l'heure (Cauuet 2001a, pp. 32-40). Le fait que Strabon (*Géographie*, IV, 2,1) cite la richesse des mines d'or des Tarbelles, qui occupaient ce secteur avant la conquête romaine, appuierait une chronologie de ces travaux de la fin de l'âge du Fer.

b. Les Pyrénées Centrales

Si les données concernant l'exploitation des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. sont assez ténues dans les mines de Palouma et de Séras, les choses se précisent par la suite. Le I^er^ s. av. n. è. est en effet bien représenté dans les datations de la mine de Palouma. Les intervalles de dates calibrées incluent pour certaines le II^e^ s. av. n. è. et d'autres débordent sur le I^er^ s. de n. è. (Girard 2007, p. 8). La phase d'activité principale de ces chantiers correspond donc à cette période. Elle est illustrée par deux dates dans le réseau 330, au niveau de son accès[103] et juste en amont de la grande salle nº2[104] (Fig. 163, p. 326). Cette dernière correspond à une phase avancée de l'exploitation, ce qui indique que ce chantier a pu être ouvert au II^e^ s. av. n. è. ou au moins dans la première moitié du I^er^ s. av. n. è., si ce n'est dès le III^e^ siècle comme proposé plus haut. Dans le réseau 235, deux dates obtenues dans le grand dépilage au jour couvrent la seconde moitié du I^er^ s. av. n. è. et les trois premiers quarts du I^er^ après[105]. Même si le début du Haut-Empire est mieux représenté par ces dates, la localisation des charbons invite encore une fois à considérer un démarrage de l'exploitation de ce réseau très probablement au début du I^er^ s. av. n. è., si ce n'est plus tôt.

De plus, un atelier métallurgique a également été identifié en prospection à Hourcade, en contrebas du site de Séras (Fig. 180). Il a été repéré par la présence de scories en surface, mais n'a pas pu être fouillé suite à l'opposition des propriétaires. Une prospection géophysique a révélé des anomalies magnétiques pouvant correspondre à des fours ou à des crassiers. Des datations de charbons prélevés à la tarière à l'emplacement de ces dernières semblent indiquer un fonctionnement de l'atelier centré sur le I^er^ s. av. n. è., en accord avec le mobilier de surface (Girard 2007, pp. 19-20 ; Girard *et al.* 2010, p. 237).

[103] Datation Lyon 3795 SacA-6296 calibrée : -155 / +23 (Girard 2007, p. 8).

[104] Datation Lyon 3794 SacA-6295 calibrée : -85 / +57 (Girard 2007, p. 8).

[105] Datation Lyon 3798 SacA-6299 calibrée : -41 / +77 au fond du dépilage et datation Lyon 3797 SacA-6298 calibrée : -39 / +82 au niveau d'un front de taille suspendu près du toit des travaux (Girard 2007, p. 8).

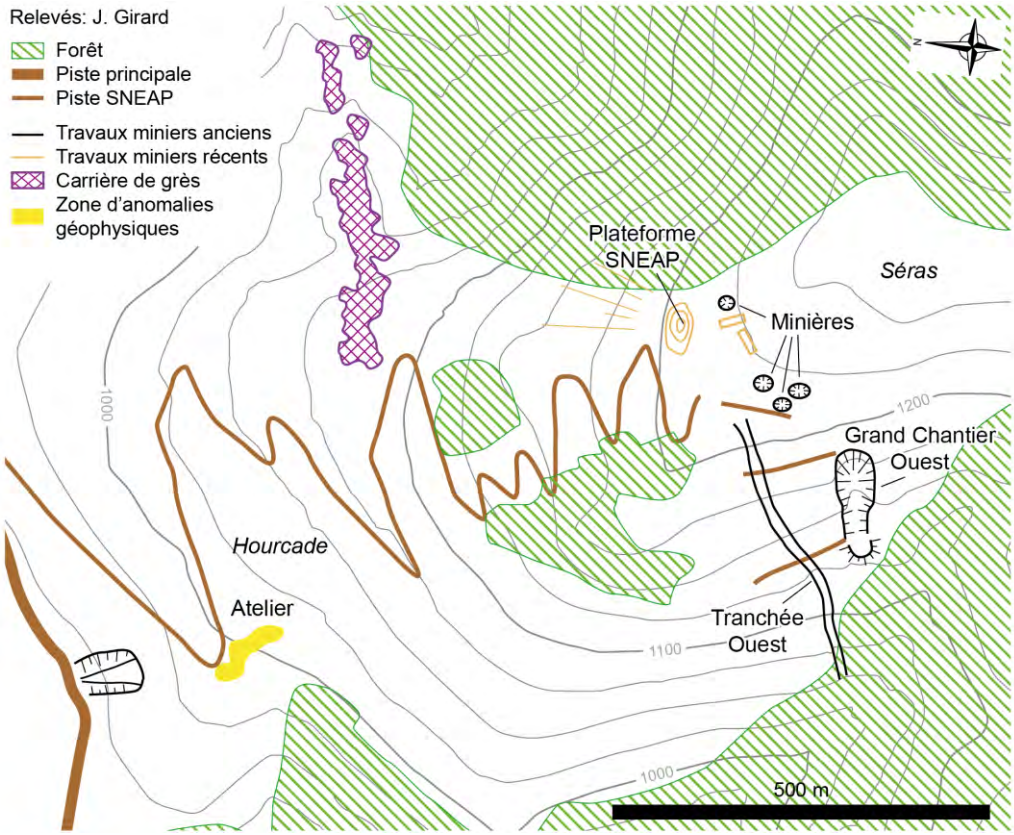


Fig. 180 : L'ensemble minier et métallurgique de Séras – Hourcade (d'après Girard 2006, 25).

La relation isotopique établie entre les minerais de Palouma, de Séras et des scories prélevées à Hourcade confirme l'existence d'un pôle de production d'argent actif au moins depuis le début du I^er^ s. av. n. è. et dont l'activité se poursuit au I^er^ s. de n. è. L'atelier d'Hourcade aurait centralisé le traitement des produits des deux mines citées ici, et peut-être d'autres chantiers non étudiés pour l'heure (Girard *et al.* 2010, p. 239).

c. Les Pyrénées Ariégeoises

De deux pôles d'activité minière connus aux IV^e^ et III^e^ s. av. n. è., on passe à trois zones d'activité pour les II^e^ et I^er^ s. av. n. è. Les travaux des Abères et de l'Argenterie, sur la commune de Rivèrenert, viennent rejoindre ceux de l'Arize et de la haute vallée du Garbet (Fig. 164, p. 328). C. Dubois et J.-E. Guilbaut ont étudié ces travaux au début des années 1980. Il s'agit d'une exploitation de galène argentifère à gangue bréchique de quartz et barytine dans des terrains de l'Ordovicien. Des reprises récentes importantes ont altéré une partie des travaux anciens, qui sont actuellement en partie comblés (Dubois & Guilbaut 1986, pp. 96-101). Plusieurs départs de galeries, étagés entre 700 et 950 m d'altitude, sont répertoriés. Ils correspondent à différents filons (Fig. 181).

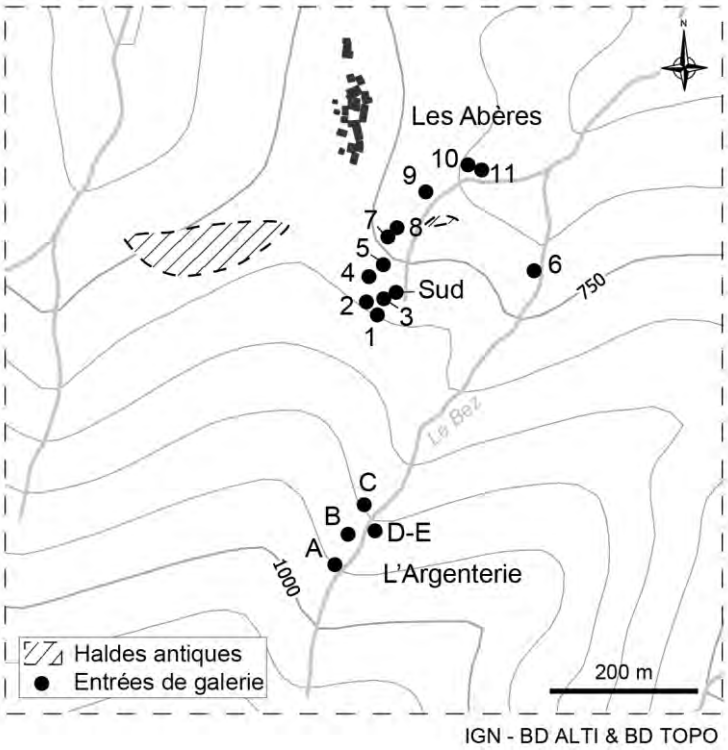


Fig. 181 : Plan d'ensemble des vestiges de L'argenterie et des Abères (d'après Dubois & Guilbaut 1986, fig. 2).

Des traces d'ouverture à l'outil sont visibles dans plusieurs galeries, qui ont parfois des sections ovoïdes, et les déblais livrent fréquemment des tessons d'amphores. Ces tessons se trouvent également dans des niveaux remobilisés lors des travaux récents et déplacés dans des galeries qui n'ont quant à elles rien d'ancien. La galerie nº 7 du groupe des Abères donne cependant accès à un petit chantier d'exploitation incliné ancien, encore intact. Ce chantier, ouvert à la pointerolle en remontant, se développe sur 15 m de long, 7 m de haut et 1 m de large (Fig. 182, a). Des piliers horizontaux permettent le soutènement et des séries d'encoches de 3 à 5 cm de section correspondent très certainement à des calages de boisages qui facilitaient la progression verticale. Dans une autre galerie récente, un puits ancien a été recoupé à sa base et des déblais contenant des amphores sont tombés sur la sole moderne. La datation ne peut pas être précise avec ces éléments mais le contexte antique est bien marqué.

Enfin, à faible distance, les travaux de l'Argenterie, dans le même contexte géologique, présentent aussi des vestiges attribuables à l'Antiquité. Ils sont représentés par une longue galerie taillée à l'outil et deux tessons d'amphores reconnus à la surface des remblais. Cette galerie longue de plus de 130 m, au tracé irrégulier et creusée dans le stérile, correspondait probablement à une galerie d'exhaure (Fig. 182, b). De l'eau s'en écoulait toujours à la sole lors des prospections menées par C. Dubois et J.-E. Guilbaut (Dubois & Guilbaut 1986, pp. 105-106).

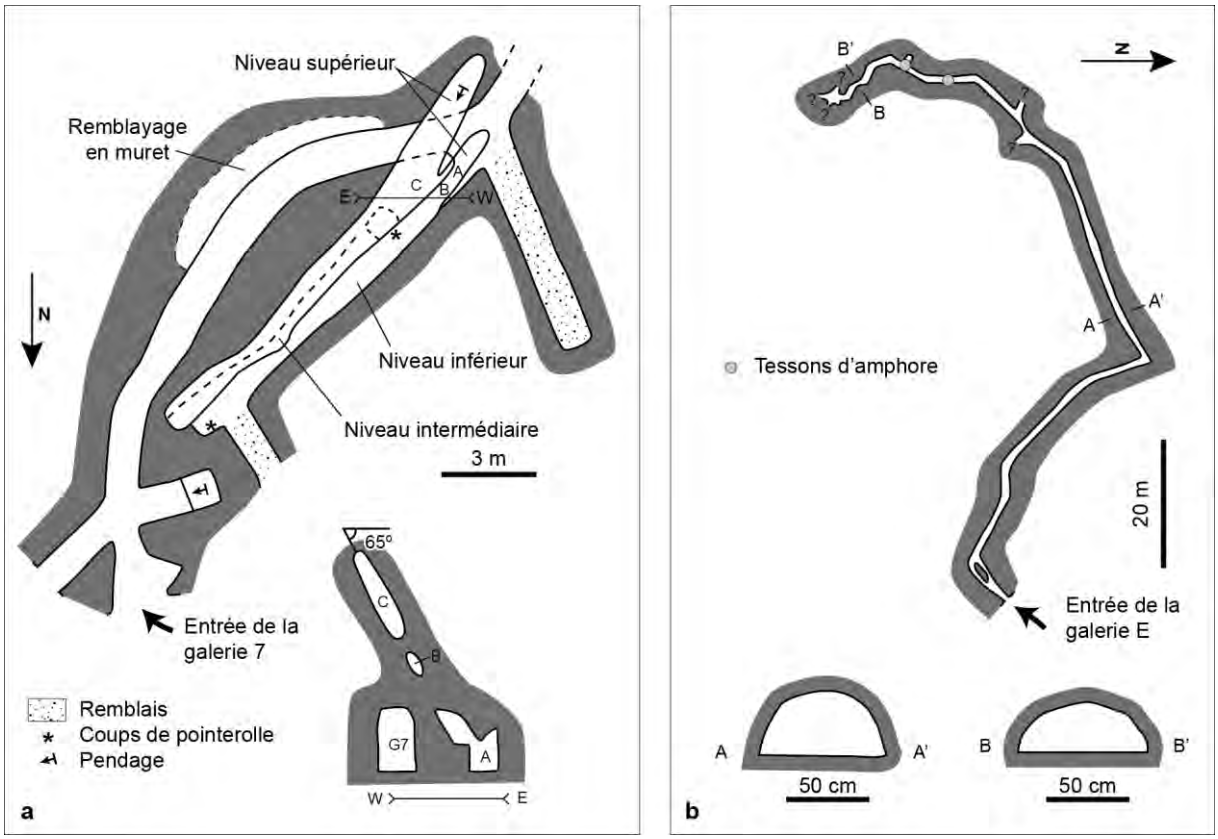
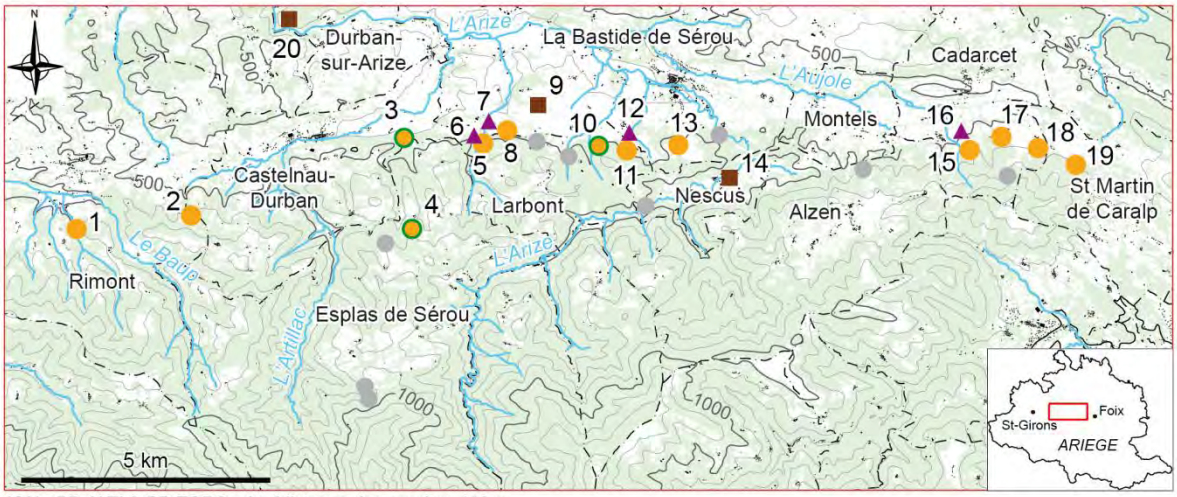


Fig. 182 : a- Le dépilage ancien des Abères ; b- la galerie d'exhaure de l'Argenterie (d'après Dubois & Guilbaut 1986, fig 5 et 6).

Les amphores identifiées correspondent à des Dr 1A ou 1C et les Dr 1B sont absentes (Dubois & Guilbaut 1986, pp. 108-109). Ceci nous situerait plutôt dans les deux premiers tiers du I^{er} s. av. n. è. Il est difficile avec les éléments disponibles de se faire une idée de l'organisation de l'activité et de son intensité. Selon les auteurs de l'étude, les archives indiquent assez fréquemment que de vieux travaux ont été recoupés par les exploitations récentes. Cela pourrait témoigner d'une activité ancienne soutenue. Cependant, en l'absence de données chronologiques précises, on ne peut écarter l'idée que ces ouvrages soient assez étalés dans le temps et puissent se rapporter au Moyen Âge par exemple. L'extension limitée des vieux chantiers préservés ne permet pas de repérer d'éventuelles variations morphologiques significatives en termes de chronologie relative. Les reprises récentes importantes sont ici une limite à la caractérisation des travaux anciens.

La deuxième phase ancienne d'activité sur le site des Argentières (Aulus-les-Bains), présenté plus haut, se situe entre le milieu du II^{e} s. av. n. è. et le milieu du I^{er} s. de n. è. La datation a été réalisée sur des charbons résiduels d'abattage par le feu provenant d'une halde proche des travaux (Py-Saragaglia *et al.* 2017, p. 148). Si cela confirme bien l'activité de cette mine à cette période, les vestiges sont trop ténus pour caractériser l'exploitation au-delà du mode d'abattage. Cette datation pourrait être cohérente avec les tessons d'amphores, malheureusement de type inconnu, trouvés par un prospecteur du BRGM sur ce site (Dubois 1999b, p. 203).

Pour le district à cuivre de l'Arize, tous les sites anciens ont livré des éléments chronologiques se rapportant aux II^e^ ou I^er^ s. av. n. è. Toutefois, il s'agit principalement de mobilier récolté en prospection. Le mobilier des sondages confirme cette activité pour Hautech, Le Goutil, Rougé, Le Coffre et Gayet et des datations radiocarbone aux Atiels et à La Coustalade correspondent aussi à cet intervalle. Quatre ateliers de métallurgie primaire sont datés du I^er^ s. av. n. è. Celui de Berni, qui aurait traité le cuivre gris de la mine du Coffre, a connu une activité au cours de la première moitié du I^er^ siècle, mais l'imprécision des mobiliers identifiés en stratigraphie (Dr 1 et céramique commune) et des éléments plus variés dans la couche de labours sus-jacente (Campanienne A, amphores de Tarraconaise) pourraient étendre cette chronologie à la fin du II^e^ s. av. n. è. et jusqu'au début du I^er^ s. av. n. è. au moins. L'atelier de traitement du cuivre gris des Atiels est scellé par des remblais datés entre 50 et 30 av. n. è. par l'assemblage de mobilier identifié. Les couches les plus anciennes de l'atelier n'ont pas été atteintes. Enfin, deux ateliers ont pu démarrer leur activité à la fin du I^er^ s. av. n. è. avec du mobilier augustéen (Pascual 1 et Dr 20) : il s'agit des ateliers de traitement du cuivre gris de Sourre et de réduction de fer des Atiels. Trois sites d'habitats contemporains sont connus : Nescus et Bugnas au cœur du district et le site du château de St-Barthélémy à quelques kilomètres au nord. Nous y reviendrons plus bas.



IGN - BD ALTI & BD TOPO - équidistance des courbes 100 m

- Mine II^e^-I^er^ s. av. n. è.
- Mine depuis les IV^e^-III^e^ s. av. n. è.
- Mine moderne
- Atelier I^er^ s. av. n. è.
- Habitat antique fin II^e^-I^er^ s. av. n. è.
- Limite de commune

1: La Calotte
2: Douach
3: La Coustalade
4: Rougé
5: Les Atiels - mine
6: Les Atiels - atelier Cu
7: Les Atiels - atelier Fe
8: Le Goutil
9: Bugnas - habitat
10: Hautech
11: La Tuilerie
12: Sourre - atelier
13: Lagarde
14: Nescus - habitat
15: Le Coffre
16: Berni - atelier
17: Moutou
18: Gayet
19: Matet
20: St Barthélémy - habitat

Fig. 183 : Sites du district à cuivre de l'Arize des II^e^ et I^er^ s. av. n. è.

d. Les Pyrénées Orientales

La partie orientale des Pyrénées est une zone riche en gisements miniers et a suscité une activité sidérurgique intense à la période Moderne et aux XIX^e^ et XX^e^ siècles. Le développement du procédé de réduction dit « à la catalane » au début de l'époque Moderne

montre bien l'importance de cette activité dans la région (Dabosi 2004). Les terrains métamorphiques du Massif du Canigou, caractérisés par des schistes, micaschistes ou calcaires, affectés de nombreuses failles et chevauchements, fournissent de nombreuses minéralisations principalement ferrifères (Mut 2001, pp. 143-144). Les oxydes de fer, très riches, ont pu être exploités facilement à l'affleurement et le couvert forestier fournit un combustible abondant, assurant les conditions d'une exploitation sur le long terme.

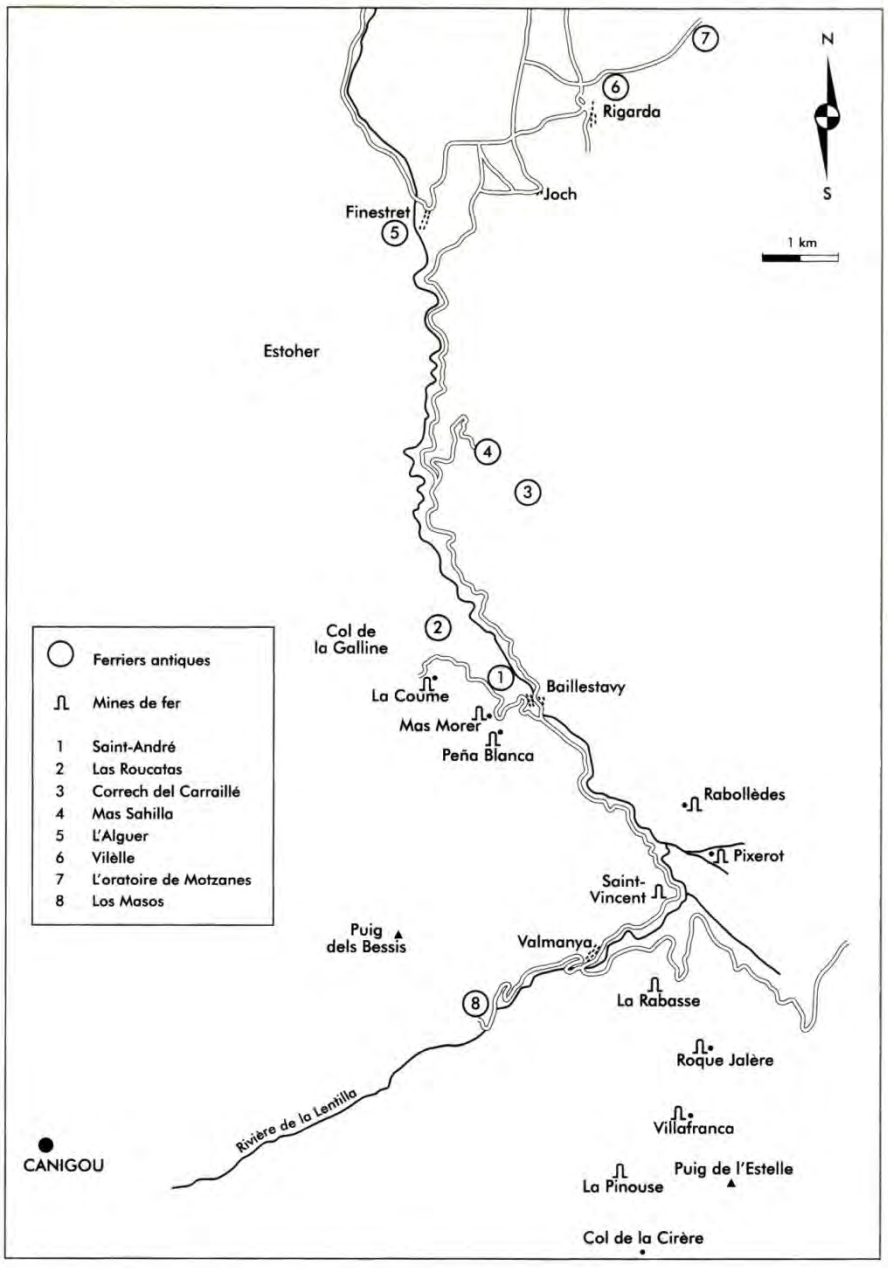


Fig. 184 : Vestigés liés à l'exploitation sidérurgique de la vallée de la Lentilla (Mut 2001, fig. 1).

Les recherches archéologiques sur ce sujet ont démarré par des prospections dans les années 1950, qui ont permis d'identifier de nombreux crassiers (Fig. 185). Dans les années 1980 et 1990, des travaux de recherche universitaires ont poursuivi les investigations avec de nouvelles prospections et quelques sondages (Barrouillet *et al.* 1989 ; Izard 1999 ; Mut

2001). Les périodes antiques et médiévales ont été abordées, ainsi que les aspects environnementaux liés au charbonnage. Un programme de recherche pluridisciplinaire, *Mines et fonderies préindustrielles des Pyrénées-Orientales*, a ensuite été mis en place sous la responsabilité de G. Mut entre 2005 et 2007 (Mut & Kotarba 2007, p. 144). Ce programme, destiné à mieux connaître la métallurgie antique et médiévale, a aussi donné lieu à des études d'archéologie minière sur des mines de fer de la vallée de la Lentilla, à Baillestavy (Fig. 184), poursuivies par G. Munteanu lors d'un travail de master (Munteanu *et al.* 2017, p. 269). Une datation du premier âge du Fer (VIII^{e} - V^{e} s. av. n. è.)[106] a alors été obtenue dans la mine de Mas Bourras, unique témoin minier d'une exploitation antérieure au II^{e} s. av. n. è. à ce jour. Le charbon daté se trouvait dans un niveau de remblai déplacé lors des phases postérieures de l'exploitation. Aucune datation des II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. n'a été obtenue dans ces chantiers, mais les techniques employées ne s'opposent pas à une exploitation à cette période. Un tesson d'amphore de type Dr 2-4 indiquerait des travaux légèrement postérieurs sur ce site, exploité en continu ou par intermittence depuis le premier âge du Fer. Les nombreux ferriers de cette vallée représentent toutefois un témoignage indirect de l'exploitation tardo-républicaine, car le mobilier qui leur est associé couvre dans chaque cas la même période : II^{e} s. av. n. è. – fin du I^{er} s. de n. è. (Mut 2001, p. 147).

Depuis 2014, des recherches sont en cours sous la direction de G. Pagès. Le programme, intitulé *Le fer antique et médiéval du Massif du Canigou*, a pour objectif de caractériser l'évolution de l'exploitation du fer entre la conquête de la Gaule et le Moyen Âge. Ce programme pluridisciplinaire est basé sur de nouvelles prospections assorties de sondages pour dater les sites et sur un volet analytique pour caractériser les productions (Pagès 2015, 2016). Seuls des éléments liés à la méthodologie sont publiés à ce jour (Pagès 2017). On dispose donc d'une carte de répartition des vestiges assez fournie, surtout pour les vestiges d'ateliers, mais les données précises sur les mines anciennes sont rares.

Quelques autres chantiers miniers avec une phase d'activité entre les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. sont connus sur le secteur (Fig. 185), mais les indications chronologiques se limitent à du ramassage de mobilier en surface, dans les galeries ou dans les haldes[107]. Les reprises médiévales et plus récentes ne facilitent pas non plus l'identification des anciens ouvrages. Quatre sites miniers sont ainsi attribués à la période tardo-républicaine, mais seuls trois d'entre eux sont identifiés précisément. Le dernier correspond à d'anciennes mentions imprécises, sur la commune de Sahorre. Des mines de ce secteur auraient livré des outils romains selon des mentions du XIX^{e} siècle (Kotarba *et al.* 2007, p. 540).

[106] Datation ETH-36403 : 2435 ±50 BP soit 755-678 cal BC, 669-603 cal BC ou 598-404 cal BC. Branchette de pin de quelques cernes.

[107] Nous ne prendrons pas en compte ici les mentions de vieux travaux sans aucune précision chronologique, ni les indications de mobilier proches de mines mais sans lien direct avec elles (hors des haldes ou des travaux).

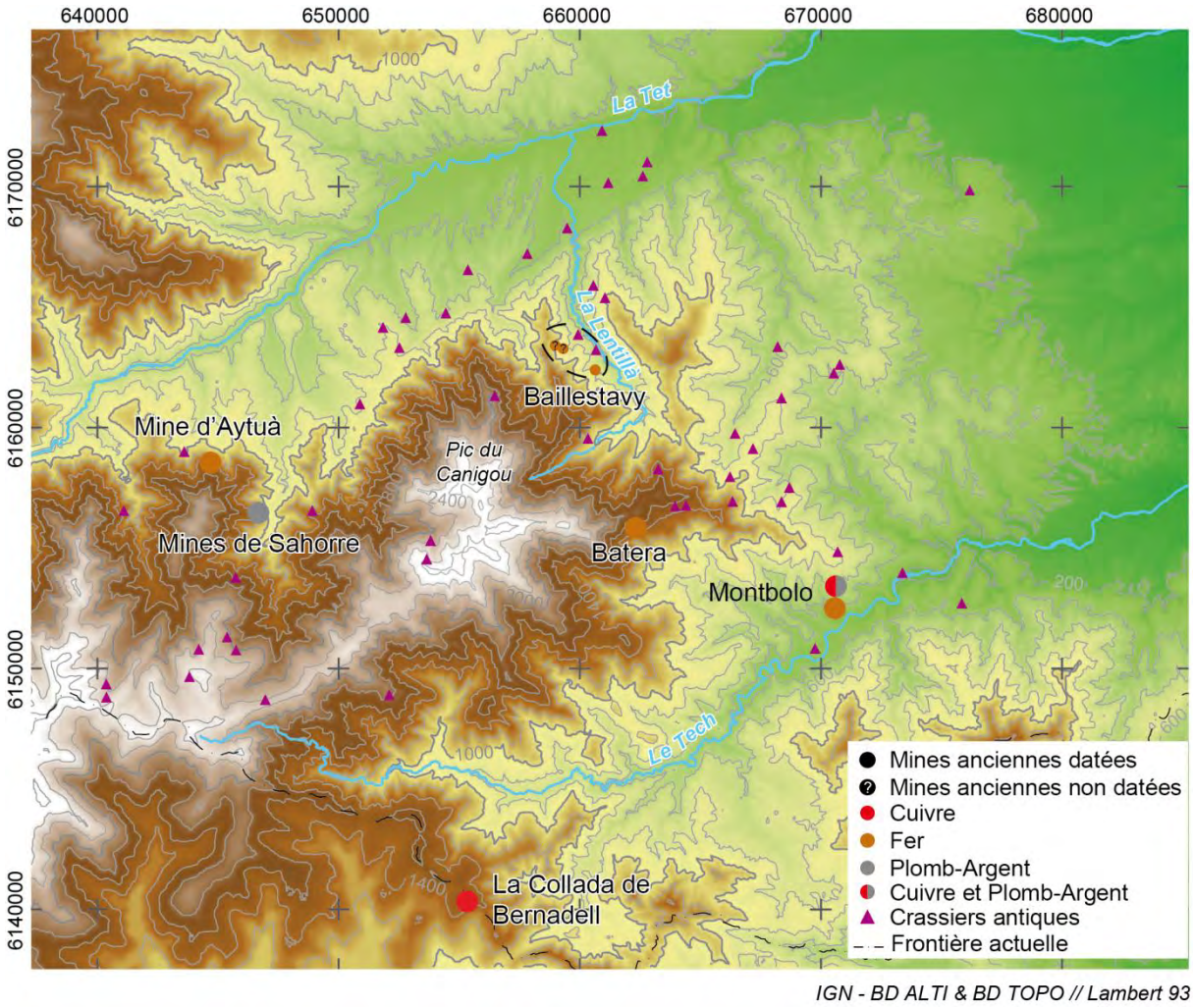


Fig. 185 : Les mines anciennes des Pyrénées Orientales (d'après Kotarba *et al*. 2007).

Les premières mines que l'on connaît un peu mieux se trouvent sur la commune de Corsavy. Le secteur minier de Batera a livré de nombreux vestiges mobiliers d'époque tardo-républicaine et augustéenne, recueillis en prospection par J. Kotarba. Les travaux anciens signalés dans les mines ne sont pas datés par eux-mêmes, mais le mobilier observé dans les haldes et autour des travaux est bien à rattacher à une phase d'exploitation et non de fréquentation postérieure (Kotarba *et al.* 2007, p. 317). Pour la commune de Montbolo, deux mines anciennes sont signalées. La première aurait livré des tessons d'amphores au propriétaire du mas dans la cave duquel la galerie débouche, selon les indications d'un ingénieur du BRGM. Pour la seconde, dans une zone de minéralisations à cuivre et plomb argentifère, les tessons d'amphore de type Dr 1A sont abondants dans les haldes et sur les remblais dans les galeries. Cela indique vraisemblablement une phase d'activité autour de la fin du II^{e} s. av. n. è. et du I^{er} s. av. n. è. (Kotarba *et al.* 2007, p. 417). Enfin, le dernier site ancien connu avec un peu de précision est celui de la Collade de Bernadell, qui s'ouvre juste de l'autre côté de la frontière espagnole actuelle. Des tessons d'amphore Dressel 1A et de sigillée y ont été recueillis (Barrouillet *et al.* 1989, p. 24). Nous avons eu la possibilité d'en visiter la partie supérieure en 2014, avant qu'une grille ne soit installée devant l'entrée pour

éviter les pillages de minéraux (fermeture en 2016[108]). Les reprises récentes sont bien visibles aux alentours par les aménagements encore en place (bâtiments abandonnés, cuves, haldes). Les travaux anciens forment un réseau complexe qui demanderait une étude poussée pour être appréhendée. Il est possible que l'exploitation ait démarré par des grattages de surface. Les archives font aussi référence à une exploitation médiévale. Les travaux souterrains ont fait l'objet de relevés par les minéralogistes (Fig. 186) mais il n'y a pas eu d'étude d'archéologie minière à ce jour (Rosell *et al.* 2014).

Fig. 186 : Mine de la Collade de Bernadell, modélisation 3D des travaux (source : capture d'écran à 10:00 – vidéo en ligne https://www.youtube.com/watch?v=_s8B-PhlMzo - RosellsMinerals).

Dans ce secteur des Pyrénées Orientales, le nombre de crassiers attribués à l'Antiquité est en très net décalage avec les rares mines de fer connues pour la même période. Il est évident que l'extraction minière ancienne a été bien plus importante que ce que l'on en perçoit aujourd'hui. Cependant, en l'absence de sites identifiés sur le terrain et de leur étude archéologique, il n'est pas possible d'aborder cette question autrement que par des conjectures. Les données concernant les ateliers, obtenues principalement en prospection, apportent tout de même des indications concernant la chronologie et l'organisation de l'activité.

Les crassiers nombreux et souvent imposants sont datés par le mobilier qui y est associé, majoritairement des tessons d'amphores pour la période qui nous intéresse. La chronologie générale de l'activité est donc attestée entre les II^{e} s. av. n. è. et I^{er} s. de n. è., certains sites étant encore actifs durant l'Antiquité tardive (Mut 2001, p. 145 ; Mut & Kotarba 2007, p. 149). Les sites médiévaux sont aussi représentés, mais en moindres proportions. Les

[108] Article du journal NacióRipollès en ligne, consulté le 19/01/2018 : https://www.naciodigital.cat/elripolles/noticia/27766/restringeixen/acc/mina/ferreres/rocabruna

ferriers peuvent se trouver aussi bien à flanc de versant que dans des agglomérations. Ils sont constitués majoritairement de scories coulées, mais recèlent également des parois de fours et des tuyères. Leur volume peut atteindre plusieurs centaines de milliers de mètres cubes pour les plus imposants (Mut 2001, pp. 146-147 ; Mut & Kotarba 2007, pp. 148-153). On relèvera également la présence de môles de scories agglomérées qui dépassent le mètre de hauteur et peuvent atteindre jusqu'à plus de 20 m de longueur. Ce type de vestige est à ce jour uniquement connu dans le Canigou et associé à la période tardo-républicaine. On les retrouve sur des terrains en forte pente et ils sont souvent groupés par 3 à 5, ce qui peut indiquer des ateliers en batterie en amont. Leur processus de formation n'est pas clairement défini à ce jour (Mut & Kotarba 2007, p. 151 ; Pagès 2017, pp. 257-258).

Les analyses des scories montrent qu'elles renferment encore autour de 45% de fer sous forme d'oxyde, certains crassiers ont donc été réexploités au XX^{e} siècle (Mut & Kotarba 2007, p. 148). Cet aspect est à prendre en compte lorsque l'on s'intéresse au volume des crassiers, et donc de la production ancienne. Des aires à scories qui semblent aujourd'hui très réduites peuvent ne représenter que ce qui a été délaissé lors de ces réexploitations. L'intensité de l'activité perceptible à travers les crassiers de volume important pourrait donc avoir été encore plus forte.

Un schéma d'organisation ressort également de la répartition des sites : les dépotoirs de scories les plus imposants se situent dans les zones de montagne, près des mines. Ces sites de grandes dimensions sont censés produire des demi-produits (barres ou lingots) plutôt que des objets. Leur grande taille reflète par elle-même une activité durable et nécessairement bien structurée : charbonniers, métallurgistes et transporteurs se devaient de travailler en intelligence avec les mineurs pour mener à bien la production (Mut & Kotarba 2007, pp. 148-151). Le mobilier domestique retrouvé mêlé au crassier de St-André à Baillestavy lors de sa fouille indique que des habitats pérennes se situaient à proximité. La provenance du mobilier reflète un approvisionnement régional avec de la céramique du Languedoc, accompagnée par des importations de campanienne A ou encore de céramique arétine, ainsi que des amphores italiques et ibériques (Mut 2001, p. 149). G. Pagès considère le secteur du Massif du Canigou comme une zone de production dispersée formant un grand district (Pagès 2010, p. 25).

Le démarrage de l'activité est une inconnue de taille. Les vestiges mobiliers identifiés se rapportent au plus tôt au II^{e} s. av. n. è. pour ceux dont la chronologie est moins précise, mais les plus caractéristiques se rapportent à la fin de ce siècle ou au début du suivant. G. Pagès propose de voir dans cette chronologie une preuve de l'implication de Rome dans le démarrage de l'exploitation des ressources sidérurgiques régionales, interprétation qu'il étend à l'ensemble de la Gaule méditerranéenne (Pagès 2014, pp. 52 et 61). Cette proposition semble difficile à accepter d'emblée, quand on connaît le faible nombre de crassiers fouillés. Comme le rappellent G. Mut et J. Kotarba : « Évidemment, les premières activités ont été recouvertes par les activités postérieures. […] C'est donc souvent la fin d'activité d'un ferrier qui sera datée […]. » (Mut & Kotarba 2007, p. 150). D'autre part, la

phase tardo-républicaine correspondant bien à une phase de production très intensive, les éventuels vestiges antérieurs auront d'autant plus de risques d'avoir été ensevelis sous des mètres cubes de scories, et de passer totalement inaperçus en prospection. Enfin, on rappellera que les crassiers du Pays Basque datés dès les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. ont été reconnus grâce à des datations par le radiocarbone. Le mobilier recueilli en surface ne faisait pas référence à ces périodes plus anciennes (voir plus haut dans ce chapitre, point I. B. 1.a). Si la phase tardo-républicaine apparaît bien comme une étape importante dans l'exploitation de ce district, il semble tout de même raisonnable de garder un doute sur le démarrage de l'exploitation des ressources en fer du Canigou. La date correspondant au premier âge du Fer obtenue sur la mine de Mas Bourras constitue un indice des ces phases anciennes, malgré son isolement à l'heure actuelle du fait de l'absence de recherches en mines (Munteanu *et al.* 2017, p. 282).

e. Les Corbières

Les nombreuses prospections menées dans les Corbières ont permis de mettre en évidence plusieurs foyers d'activité minière tardo-républicains et des sites isolés. Tous sont situés à des altitudes peu élevées, entre 300 et 600 m, et *a priori* accessibles toute l'année (Fig. 167, p. 331). Cette période est la mieux représentée parmi les vestiges anciens, aussi bien pour la triade cuivre-plomb-argent que pour les mines de fer. Les sites anciens sont pour une très large majorité identifiés par les techniques d'ouverture (au feu ou à l'outil par opposition à l'explosif) et par du mobilier, sur les haldes ou à la surface des remblais dans les chantiers. Les tessons d'amphores vinaires italiques sont les plus fréquents, régulièrement accompagnés de céramique campanienne (type A majoritaire) et de céramique ibérique (type *sombrero de copa*), ainsi que de céramique commune locale ou régionale (Mantenant & Munoz 2017, p. 158). Nous avons déjà indiqué les problèmes posés par ce type de ramassage. Ceci est d'autant plus vrai dans ce secteur où l'on sait par les archives et publications anciennes qu'il y a eu des exploitations médiévales (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 221 et 225), que l'on ne peut distinguer des phases plus anciennes seulement par les techniques de creusement. Tout en admettant la possibilité d'une origine de l'exploitation plus ancienne, comme l'indique la datation haute de la mine de La Caunetta 6, J. Mantenant attribue tout de même à la période comprise entre la fin du II^{e} et le début du I^{er} s. av. n. è. la phase de mise en valeur principale des gisements non-ferreux (Mantenant & Munoz 2017, p. 175). Le bilan proposé concernant les techniques minières anciennes est donc supposé caractériser cette phase tardo-républicaine.

Les mines dédiées à l'exploitation des métaux non-ferreux sont mieux connues car mieux préservées des reprises modernes ou plus récentes, en particulier dans le secteur du Sarrat de Germa (Fig. 167, p. 331). Mais quelques mines de fer ont pu être prospectées, dans le secteur du plateau de Lacamp. Les morphologies des minéralisations jouant un rôle important dans la typologie des ouvrages miniers, il faut tout d'abord signaler que ce sont majoritairement des amas qui ont été exploités pour le fer, ainsi que les zones d'altération superficielles ayant formé les chapeaux de fer. Dans le cas des gisements non-ferreux, les

structures filoniennes ont concentré l'attention des mineurs, mais des amas barytiques ont également été exploités plus ponctuellement. C'est le cas de la mine de la Caunetta 6 présentée plus haut (Fig. 168, p. 332), qui a connu une phase d'activité (prolongation ou reprise) au II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. Les mines ayant exploité des amas se présentent sous la forme de fosses ou d'ouvrages souterrains au profil plus irrégulier ; celles ayant exploité des filons sont globalement allongées et étroites. Les filons ayant également majoritairement un pendage très prononcé tirant vers la verticalité, ils ont donné lieu à des chantiers très inclinés à verticaux. Ces derniers ont été foncés par étages horizontaux d'un à deux mètres de hauteur que l'on identifie par les resserrements observés dans les profils transversaux des chantiers (Mantenant 2014, vol. 1, p. 202 ; Mantenant & Munoz 2017, p. 160). L'exemple d'une galerie de la mine de Tistoulet, dans le secteur du Sarrat de Germa, permet d'observer ce profil caractéristique (Fig. 187). On voit également au toit le filon suivi par les mineurs ainsi que la forme ovoïde provoquée par l'usage du feu.

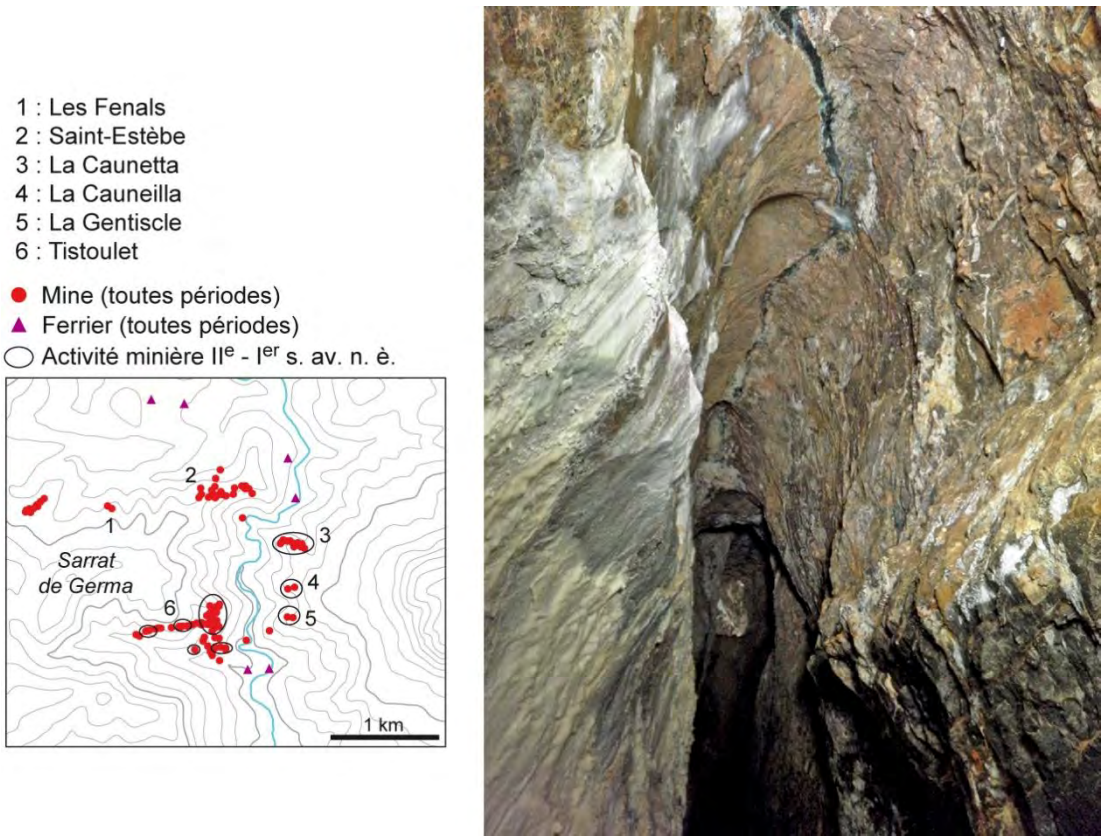


Fig. 187 : Exemple de galeries étagées dans la mine de Tistoulet (Mantenant *et al.* 2017, fig. 5).

Les minéralisations ont toutes été attaquées depuis les affleurements. La silicification, qui se rencontre généralement aux épontes des minéralisations, a entraîné une érosion différentielle affectant d'abord les roches encaissantes stériles et laissant en relief les structures métallifères. Des petits grattages ou encore des tranchées étroites et courtes (1 m de large pour 3 à 4 m de longueur max.) témoignent de prospections et de recherches, parfois associées à du mobilier tardo-républicain, mais la plupart du temps non datées. Certaines galeries de recherche montrent que la géologie était bien comprise par les

mineurs, qui ont tenu compte du pendage des minéralisations en se décalant dans sa direction (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 200-201 et 264).

Les exploitations peuvent se développer aussi bien à ciel ouvert, en fosse ou tranchée, qu'en souterrain. Le comblement fréquent des chantiers ne permet pas toujours de savoir si les chantiers à ciel ouvert se poursuivaient en souterrain ou non. Il semble cependant, pour les chantiers exploitant les non-ferreux et d'après les indications des archives, que les travaux anciens se concentrent dans les zones superficielles, où les altérations des minerais primaires ont provoqué des enrichissements en cuivre et en argent. La préférence pour ces zones enrichies expliquerait la compartimentation de certaines exploitations sur filon interrompues dans les zones moins riches (Mantenant 2014, vol. 1, p. 203). Dans le cas des mines de fer, la plupart des vestiges, bien que non datés, sont des fosses de dimensions limitées ayant suivi des petits amas discontinus. Le comblement des chantiers et les mises en sécurité des ouvrages plus grands ont fortement limité les possibilités d'étude. Les quelques chantiers souterrains ouverts à l'outil, bien que mal datés, sont d'ampleur limitée et les creusements ont suivi au plus près la minéralisation, donnant aux chantiers une morphologie irrégulière correspondant à celle des amas exploités. L'observation des travaux permet parfois de distinguer plusieurs phases d'exploitations, sans toutefois conduire à préciser la chronologie (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 264-265).

Un autre aspect signalé par l'auteur est la rareté des ouvrages d'assistance. Dans le cas de chantiers de faible ampleur, ils n'étaient pas forcément nécessaires. Les réseaux plus importants étant en général remblayés, les possibilités d'observation ont aussi été limitées. Des piliers transversaux laissés en place par les mineurs dans quelques chantiers jouaient toutefois un rôle dans le soutènement et facilitaient la progression dans les ouvrages verticaux (Mantenant 2014, vol. 1, p. 212). En ce qui concerne l'exhaure, l'évacuation pouvait également se faire par des fissures ou par des cavités karstiques (Mantenant 2014, vol. 1, p. 205). Un ouvrage d'exhaure a toutefois été identifié, la galerie de La Canal, au sud du secteur du Plateau de Lacamp, mais il n'est pas daté (Cambon 1989 ; Mantenant 2014, vol. 1, pp. 214-218). Il s'agit d'une longue galerie de plus de 250 m, creusée à l'outil, et attribuée aux Romains selon les archives du XVIII^{e} siècle. Des éboulements empêchent toute exploration des travaux vers lesquels elle conduisait. Cette galerie, large et haute (en moyenne 1,63 m de large sur 1,67 m de haut), présente des proportions inédites dans la région minière des Corbières et montre un investissement important dans le chantier qu'il dessert. L'absence de datation ne permet toutefois pas d'en dire plus, cet ouvrage pouvant aussi être médiéval.

Les vestiges d'ateliers métallurgiques concernent majoritairement le traitement du fer. Seul le site du Camp del Oliu correspond à un site antique de traitement des non-ferreux, en l'occurrence du cuivre argentifère (Mantenant & Munoz 2017, pp. 170-174). La production de cuivre a été confirmée et des indices d'une production d'argent sont également présents, avec l'identification d'un rouleau de litharge (oxyde de plomb) qui renferme des inclusions de cuivre et d'argent (Mantenant & Munoz 2017, p. 172). Cet atelier se trouve à quelques

kilomètres des mines les plus proches, qui sont celles du secteur du Sarrat de Germa (Fig. 167, p. 331). Le mobilier issu des fouilles sur l'atelier situe l'activité entre la fin du II^{e} siècle et le milieu du I^{er} s. av. n. è., qui est donc contemporaine de celle des mines. Il semble ainsi que le traitement du minerai de plusieurs mines du Sarrat de Germa ait pu être centralisé à cet endroit (Mantenant 2014, vol. 1, p. 248).

Dans le cas des ateliers de traitement du fer, l'activité antique s'étend entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le III^{e} s. de n. è., voire le IV^{e}. Les ferriers sont plus nombreux à livrer du mobilier rattaché à la période tardo-républicaine, qui semble ainsi correspondre à une des phases d'activité principale. Cependant, la taille réduite de la majeure partie des ferriers attribués à cette période indiquerait une activité plutôt limitée et disséminée dans des ateliers individuels. Il n'est par ailleurs pas possible de savoir s'ils ont tous fonctionné dans un intervalle de temps court ou s'il s'agit d'une production échelonnée sur plus d'un siècle (Mantenant 2014, vol. 1, p. 281). La période augustéenne semble marquer une évolution vers une concentration de la production, avec des ferriers de plus gros volume mais moins nombreux (Mantenant 2014, vol. 1, p. 325). Le nombre de ferriers mal datés ou sans référence chronologique laisse toutefois une marge d'incertitude un peu trop ample, comme l'a précisé à plusieurs reprises J. Mantenant, pour s'assurer de ces modèles d'organisation.

f. La Montagne Noire

En dehors de la mine des Barrencs, dont l'exploitation se poursuit aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è., les indices de mines en activité à cette période sont rares. Des mentions anciennes de vieux travaux permettent de faire remonter l'exploitation de la mine de La Caunette au XIV^{e} siècle (Fig. 169, p. 334). Sa proximité avec la mine des Barrencs permettait de supposer une activité plus ancienne mais l'état de conservation du site, où une carrière de pierres est installée, n'a pas permis de le vérifier (Mantenant 2014, vol. 1, p. 178). A Roca das Cors, des travaux ouverts à l'outil et au feu signalés dans les archives témoignent d'une chronologie ancienne, mais les ouvrages visibles aujourd'hui sont tous récents. Une petite recherche ouverte à l'outil avec un tesson d'amphore italique sur la halde est l'indice le plus direct d'une activité à la période tardo-républicaine, ce qui reste léger. Un épandage d'amphores à proximité indique la présence d'un site contemporain, mais sa relation avec la mine n'est pas certaine (Mantenant 2014, vol. 1, p. 179). Pour la mine de La Cauna, ce sont aussi des mentions anciennes de vieux travaux et de trouvailles d'amphores qui indiqueraient une activité antique. Cependant, aucun élément attribuable à cette période n'est visible sur le terrain aujourd'hui (Mantenant 2014, vol. 1, p. 180).

L'activité de cette période dans la mine des Barrencs est attestée par du mobilier, notamment des lampes campaniennes (ou fragments) de type « Grand Congloué 2 » selon les publications anciennes. De la céramique campanienne ainsi que des amphores vinaires italiques ont également été recueillies, dans et autour des travaux. Leur étude a permis de resserrer la chronologie entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le premier tiers du siècle suivant. Les datations radiocarbone obtenues dans le réseau s'étendent jusqu'au changement d'ère. Il

n'est cependant pas possible à l'heure actuelle de savoir s'il s'agit de la poursuite de l'exploitation initiée au IV^{e} siècle, d'une reprise dont l'ampleur reste d'ailleurs inconnue, ou de simples opérations de recherche (Mantenant *et al.* 2013, pp. 39-40). Les caractéristiques des travaux ne permettent pas de déceler de changement technique dans le mode d'exploitation, les lampes à huile étant les seuls éléments réellement nouveaux de cette période. Des niches à lampes ont aussi été repérées dans des galeries à différents niveaux (Beyrie *et al.* 2011, p. 52).

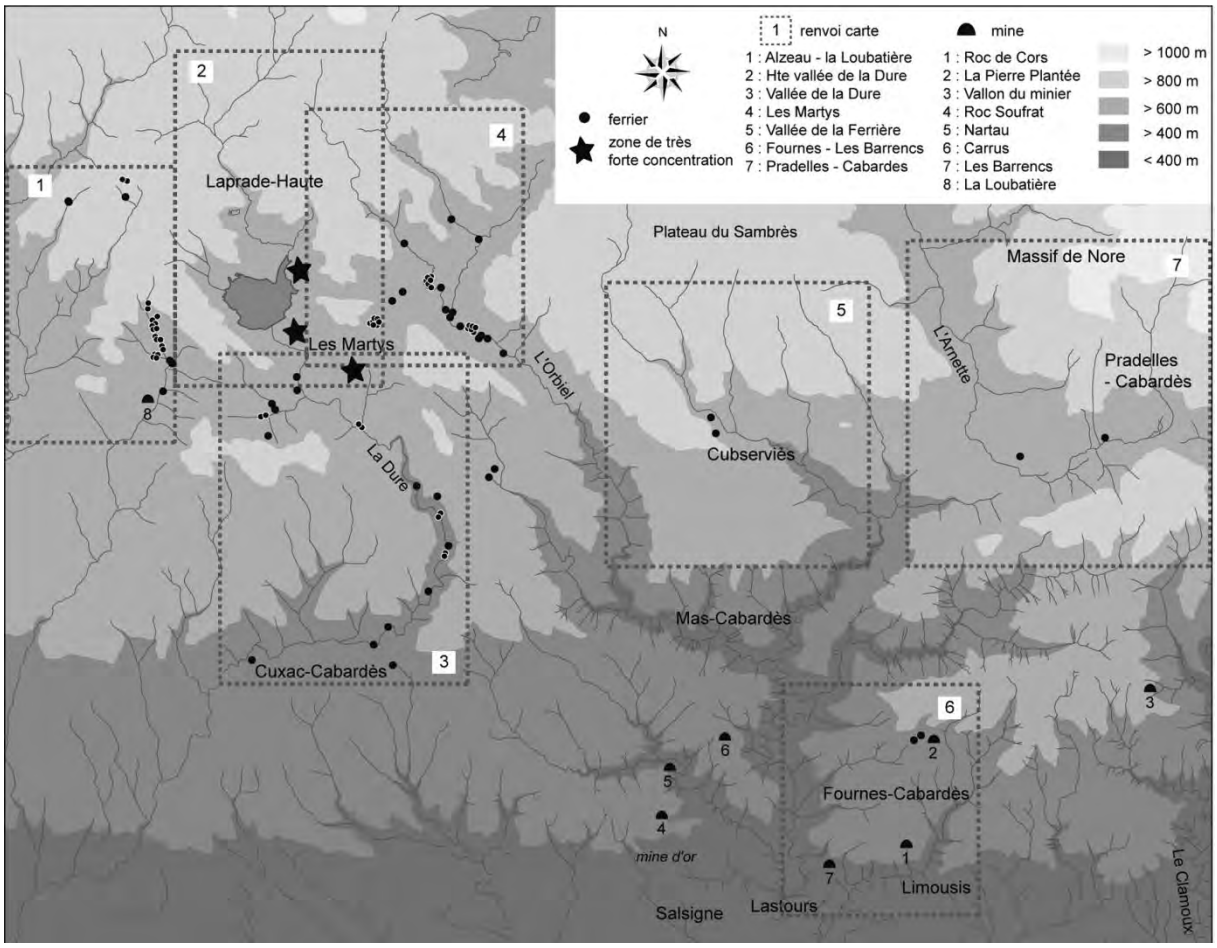


Fig. 188 : Carte détaillée du district sidérurgique de la Montagne Noire (d'après Fabre *et al*. 2016, fig. 236).

En dehors de ces mines, l'Ouest de la Montagne Noire est connu pour l'exploitation sidérurgique intensive qui s'y est déroulée entre le deuxième quart du I^{er} s. av. n. è. et le milieu du III^{e} s. de n. è. (Fabre *et al.* 2016, p. 26). Ce district sidérurgique est une zone minière et métallurgique étudiée de longue date pour ses vestiges imposants de la production de fer, qui ont fait l'objet de plusieurs synthèses (notamment Domergue 1993 ; Decombeix *et al.* 2000 ; Fabre *et al.* 2016). Les études archéologiques ont démarré en 1972 avec la première campagne de fouille sur le Grand Ferrier du domaine des Forges (Les Martys), menées par une équipe de l'Université de Toulouse Le Mirail, sous la direction de C. Domergue. Ces fouilles ont été prolongées par d'autres campagnes sur le même atelier, puis sur celui de Montrouch, distant d'environ 200 m. Des prospections ont également été

menées aux alentours, tout d'abord par J.-E. Guilbaut et C. Landes dans le cadre d'un travail universitaire en 1975. Pour mieux cerner le contexte de l'activité de cet atelier important des Martys, de nouvelles prospections sont mises en place entre 1998 et 2002 (Rico 2016). Le haut bassin de la Dure, qui rassemble les plus gros ferriers, apparaît comme la zone de concentration principale de la production antique (Fig. 188).

Les mines de fer associées à ces ateliers sont très mal connues. Des prospections par photographies aériennes en 1981 avaient permis d'identifier des fosses et dépressions interprétées comme des sites d'extraction, mais les vérifications sur le terrain n'ont pas permis de le confirmer. Lors des prospections élargies menées ultérieurement, les mines du piémont sud de la Montagne Noire ont été prospectées en surface et en souterrain quand l'accès était possible. Les travaux à ciel ouvert, comblés et investis par la végétation, n'ont pas livré de données exploitables. Du mobilier amphorique a été identifié au niveau des mines de fer de Carrus et des vieux travaux non datés sont connus sur les sites de Roc Soufrat, de la Pierre Plantée, du Vallon du Minier et aux alentours du lac de Laprade. Aucune précision n'est cependant disponible sur les modes d'exploitation si ce n'est à Villardonel, où des tranchées de sondages archéologiques de diagnostic ont révélé la présence de deux chantiers exploités en fosse à ciel ouvert (Rico 2016, p. 267).

En ce qui concerne les ateliers, les fouilles menées au domaine des Forges apportent des précisions sur l'organisation de l'activité au cours du I^{er} s. av. n. è. qui sont révélatrices de certains aspects du mode de fonctionnement du district à cette période. Le premier élément à prendre en compte est la mise en place très rapide de batteries de bas fourneaux dès le début de l'activité, entre 80/70 et 60/50 av. n. è. La productivité des ateliers est donc dès le départ un objectif affirmé, après un premier état attesté par cinq fourneaux isolés au Grand Ferrier, interprétés comme des essais menés pour déterminer la morphologie de four la plus à même de répondre aux objectifs de production (Fabre *et al.* 2016, pp. 170-171). Les bas fourneaux utilisés par la suite seront tous du même type, qualifié de « classique » (Fabre *et al.* 2016, pp. 175-181). Il s'agit d'un bas fourneau à scorie écoulée et utilisation multiple, dont la cuve est encastrée dans une terrasse. Deux zones de travail sont ainsi délimitées : la première, sur la terrasse, permet le chargement par la cheminée du charbon et du minerai et la seconde, au pied des structures, donne accès à la cuve fermée par une porte jusqu'à la fin de la réduction. Si au niveau technique l'uniformité prime (Domergue 2016), des différences ont pu être observées entre l'atelier du Grand Ferrier et celui de Montrouch en termes d'organisation.

Le premier montre une segmentation de l'activité entre différentes cellules qui semblent n'effectuer qu'une seule des étapes de la chaîne opératoire de production de métal (Fig. 189, A). L'approvisionnement en matières premières (charbon et minerai) est géré en commun pour les différents fourneaux, comme en témoignent les lieux de stockage de matière première. Le travail de réduction peut être réalisé simultanément dans ces différentes structures puis les loupes de fer sont centralisées dans l'une des cellules où l'épuration a lieu, dans des foyers spécifiques. Le métal épuré peut ensuite intégrer les

circuits de diffusion, peut-être sous forme de barres de fer (Fabre 2016a, p. 183). À l'inverse, à Montrouch, le schéma correspond plutôt à une unité autonome sur toute la chaîne, allant du grillage du minerai à la production de barres de fer, en passant bien sûr par la réduction (Fig. 189, B). Un bâtiment en terre et bois en arrière de la batterie de fourneaux permettait aux ouvriers qui travaillaient sur place de s'abriter et d'avoir à disposition un four domestique et un foyer métallurgique pour des réparations de petits objets (Fabre 2016a, p. 182). Sur ces deux ensembles, l'activité s'arrête peu avant la période augustéenne. Les structures sont abandonnées et s'effondrent, et sont ensuite recouvertes par les scories de nouveaux ateliers (Fabre *et al.* 2016, pp. 27-28).

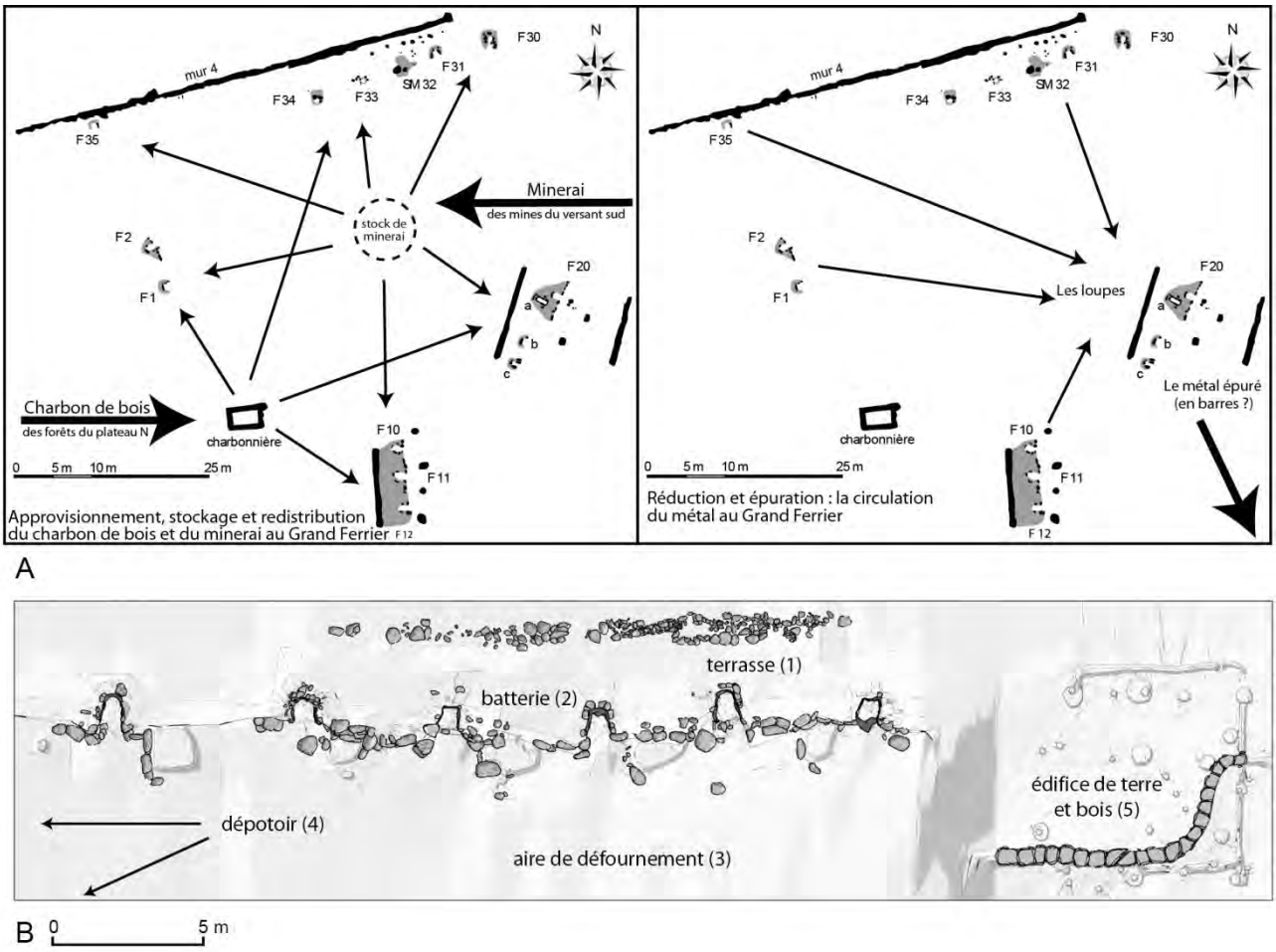


Fig. 189 : Les ateliers du Grand Ferrier (A) et de Montrouch (B) (d'après Fabre *et al*. 2016, fig : 204 et 31).

Seul un peu plus d'un quart des sites identifiés en prospection (46 sur 164) ont livré des éléments de datation, principalement du mobilier céramique ou amphorique. Parmi ceux-ci, 33 correspondent à la période tardo-républicaine, avec des tessons d'amphores Dr. 1 principalement. Les indices plus anciens, comme plus récents d'ailleurs, font entièrement défaut, mais la rareté des sondages sur ces sites oblige à rester prudent sur ce sujet, comme le précisent les auteurs. Il faut signaler aussi que ces sites, de dimensions généralement réduites (vol. < 1000 m^3), ne semblent pas survivre, sauf exception, à la période augustéenne (Rico 2016, pp. 270-271). Sur les 100 à 110 000 t de fer produites dans l'ensemble du district,

les auteurs proposent qu'un tiers ait pu être produit au cours du I^er^ s. av. n. è. (Rico 2016, p. 272). L'activité détectée dans les différentes vallées semble bien avoir démarré au même moment, dans le deuxième quart du I^er^ s. av. n. è. Cela dénote la mobilisation massive d'une main-d'œuvre qui va se spécialiser dans la production sidérurgique dans un même territoire. L'ampleur de cette activité et sa relative soudaineté sont à souligner. La taille réduite des nombreux ferriers de cette période et les modes de gestion différents observés entre l'atelier du Grand Ferrier et celui de Montrouch indiqueraient que chacun des ateliers était indépendant (Rico 2016, p. 273). Des entrepreneurs aux capacités économiques variables se seraient lancés dans l'exploitation des ressources locales abondantes, dans un contexte de développement économique et commercial déjà présenté.

L'identité de ces entrepreneurs du I^er^ s. av. n. è. n'est pas connue : aucune mention épigraphique ne correspond à ce district sidérurgique et les textes antiques n'y font pas référence. Cependant, l'étude du mobilier céramique en particulier révèle une culture matérielle du domaine des Forges fortement marquée par les productions italiennes, dans des proportions rarement atteintes pour cette période (les sites comparables sont ceux de Narbonne ou Vieille-Toulouse/Saint-Roch). L'utilisation de caractères latins sur les quelques récipients marqués, et ce dès la première phase de l'activité, est aussi à noter. L'utilisation conjointe de la céramique indigène indique probablement une mixité de la population des ateliers, qui intègre une composante italienne (Benquet *et al.* 2016, p. 214-216). Tout cela est cohérent avec l'implication d'entrepreneurs italiens dès les années 80 av. n. è. dans l'exploitation de ce district, comme cela a été observé ailleurs dans le bassin méditerranéen au II^e^ s. av. n. è., au fil des conquêtes romaines (Rico 2016, p. 274). Cela concerne les ateliers, et la question reste entière pour les mines. Il est cependant vraisemblable que ces entrepreneurs italiens se soient également investis dans l'exploitation des gisements qui devaient alimenter leurs ateliers.

II. B. 2. Éléments de caractérisation de l'activité minière des II^e^ et I^er^ s. av. n. è.

Les mines du Sud-Ouest connues pour cette période sont plus nombreuses que pour la phase précédente et des districts étendus sont désormais mis en évidence pour la sidérurgie, comme dans le Canigou, la Montagne Noire, ou encore sur le plateau de Lacamp, dans les Corbières. Cependant, là encore, les mines étudiées en détail sont peu nombreuses. Les gisements ayant alimenté les grands districts sidérurgiques sont les moins bien connus, suite à des reprises minières, à des mises en sécurité récentes, ou à la difficulté à repérer les vestiges correspondants. Pour les non-ferreux, la qualité des données présente aussi de nombreuses limites. Nous avons déjà signalé le mauvais état de conservation des travaux anciens de l'Argentière d'Aulus et le fait que les travaux de Séras soient inaccessibles. Ce problème se retrouve dans plusieurs mines du district à cuivre de l'Arize, comblées et connues uniquement par du mobilier ramassé en surface (La Calotte, Le Coffre, Gayet, Douach, …), ou très fortement altérées par les reprises postérieures (La Tuilerie, Les Atiels). Le cas est assez similaire pour les travaux anciens des Abères et de l'Argenterie, à Rivèrenert,

préservés sur des tronçons très réduits. Certaines mines de la période n'ont pas fait l'objet d'une réelle étude d'archéologie minière, comme par exemple celles de l'est des Pyrénées (La Collade de Bernadell, …).

Les données sur les techniques minières sont plus précises sur les sites basques de Monhoa et Mehatze, à Palouma dans les Pyrénées Centrales, aux Barrencs en Montagne Noire ainsi que dans les Corbières. Des données sont ponctuellement disponibles pour les sites à cuivre de l'Arize et pour les mines de Rivèrenert. Au-delà des techniques minières employées, l'organisation de l'exploitation et, parfois, l'occupation du territoire en relation avec les mines peuvent être abordées. Ces éléments permettent d'étudier les contextes socio-économiques de ces exploitations, même si les questions ouvertes sont plus nombreuses que les réponses apportées. Des exemples de mines ou de districts miniers bien caractérisés dans d'autres secteurs viendront nourrir la discussion (Fig. 190). Mais le premier thème à aborder reste celui de la chronologie, qui n'est pas sans poser problème pour cette période.

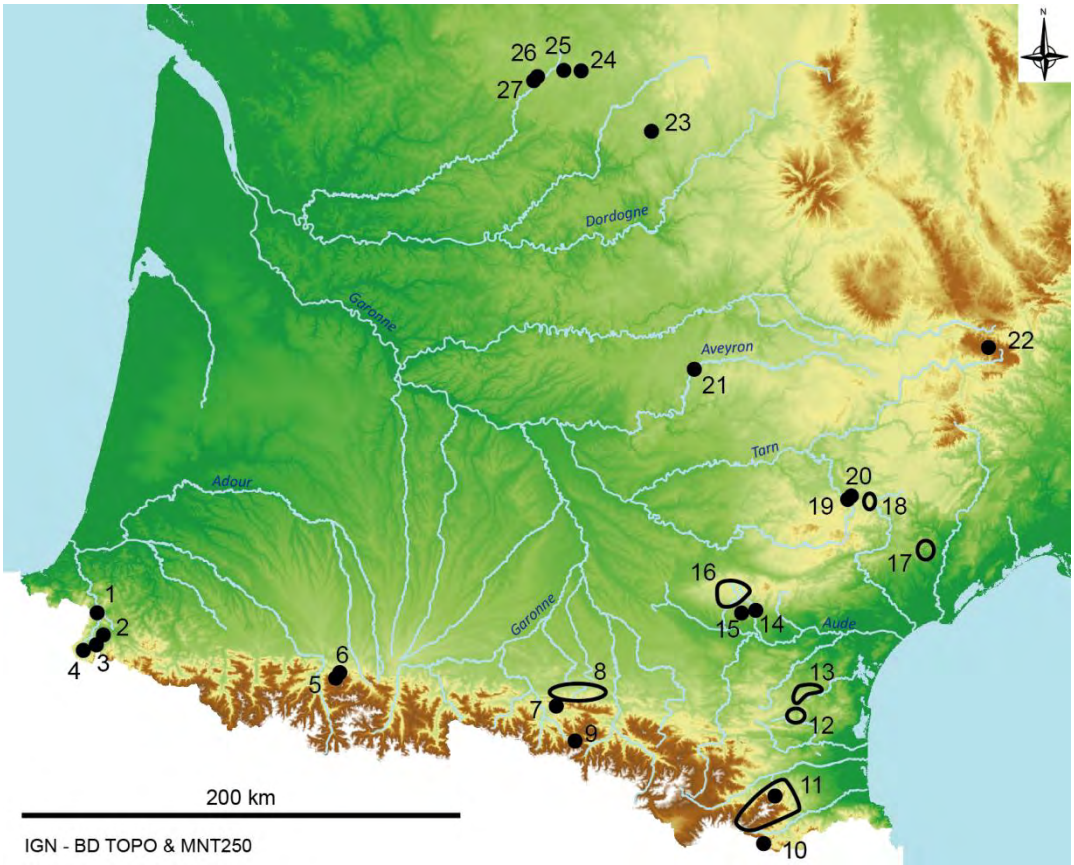


Fig. 190 : Mines de la Gaule des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. citées dans le texte
1 : Larla, 2 : Monhoa, 3 : Mehatze, 4 : Errola, 5 : Palouma, 6 : Hourcade, 7 : Rivèrenert, 8 : district de L'Arize, 9 : L'Argentière, 10 : La Collade de Bernadell, 11 : district du Canigou et Baillestavy, 12 : Sarrat de Germa, 13 : Plateau de Lacamp, 14 : Les Barrencs, 15 : Villardonel, 16 : district sidérurgique de la Montagne Noire, 17 : district de Cabrières, 18 : district du Mont Faulat, 19 : Bouco Payrol, 20 : Labaume, 21 : La Maladrerie, 22 : Mont Lozère, 23 : Le Puy des Angles, 24 : La Fagassière, 25 : Lauriéras, 26 : Cros-Gallet Sud, 27 : Les Fouilloux.

a. Chronologie et intensité de l'activité

Le fait que les mines attribuées aux deux derniers siècles av. n. è. soient datées à la fois par le radiocarbone et par du mobilier conduit à superposer des intervalles chronologiques d'ampleur diverses, ceux fournis par le mobilier étant souvent plus resserrés. D'un autre côté, nous avons vu que le mobilier devait être considéré avec prudence lorsqu'il s'agissait de dater des chantiers miniers. Sa position stratigraphique permet de valider ou non son association à la phase d'activité minière. Lorsque seules des prospections ont été réalisées, cette information n'est pas disponible. La figure 191 synthétise l'origine des données chronologiques dans les mines du Sud-Ouest pour cette période : radiocarbone, mobilier en stratigraphie ou mobilier hors stratigraphie, d'après la bibliographie mentionnée dans la présentation des sites. Les sites indiqués en gris correspondent à des ateliers de métallurgie primaire, complémentaires des chronologies attestées en mine. Les flèches au bout de certains axes indiquent les sites pour lesquels la chronologie s'étend avant ou après les II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. Lorsque deux types de datation sont disponibles, le site est représenté par deux axes.

Le premier élément à noter est la forte proportion des sites datés par du mobilier hors stratigraphie, c'est-à-dire récolté en prospection. Le deuxième élément concerne la chronologie de démarrage de l'exploitation, souvent mal cernée. La « fin du II^{e} s. av. n. è. » est un intervalle imprécis qui correspond à la datation haute attribuée dans la bibliographie aux sites du Sud-Ouest ayant livré des amphores Dr 1 (et/ou de la campanienne A). En l'absence d'autre mobilier, et surtout sans stratigraphie, la date pourrait être un peu plus tardive. Cette option a été retenue pour les crassiers de la Montagne Noire, sur lesquels des tessons de Dr 1 et un tesson de campanienne A ont été recueillis en prospection (Rico 2016, p. 271). Les auteurs de l'étude, sur la base de la fouille réalisée aux Martys, attribuent ce type de mobilier à une phase d'exploitation systématique qui démarre entre -80 et -60.

Du mobilier du II^{e} s. av. n. è. a été identifié plus clairement dans les Corbières. Des amphores gréco-italiques tardives ou de la céramique ibérique de type *sombrero de copa* peuvent faire remonter l'activité au milieu du II^{e} s. av. n. è. Certains tessons peu caractéristiques peuvent aussi être attribués à la première moitié de ce siècle. Les mines des Corbières constituent, avec les ateliers de réduction du Canigou, ceux pour lesquels on pourrait adopter les chronologies les plus hautes sur la base du mobilier. Il s'agit cependant uniquement d'une marge d'incertitude plus grande, ce qui rend les données concernant les sites du II^{e} s. av. n. è. assez fragiles. Parmi ceux-ci, on peut distinguer ceux pour lesquels on observe la poursuite sans discontinuité d'une activité démarrée plus tôt, comme à Larla, Palouma ou Les Barrencs. D'un autre côté, on trouve les sites dont l'activité démarre vraisemblablement au début du II^{e} s. av. n. è., soit Errola, Monhoa, Mehatze et peut-être les Atiels. D'autres sites ont apparemment connu une interruption de l'activité entre la fin du III^{e} siècle et la fin du II^{e} s. av. n. è. C'est le cas de Rougé et peut-être de l'Argentière d'Aulus et d'Hautech. La faible préservation des vestiges anciens de l'Argentière, d'une part, et l'étendue des réseaux non datés d'Hautech, d'autre part, obligent à maintenir des réserves à ce sujet. Les sites de La Coustalade et de La Caunetta 6 pourraient aussi avoir connu une

interruption au cours du II^{e} s. av. n. è., malgré l'apparente continuité des intervalles calibrés des dates radiocarbone. Nous avons en effet vu que l'ampleur de la mine de La Coustalade ne semble pas justifier une activité continue de plusieurs siècles. Pour celle de La Caunetta, la date la plus ancienne provenant du fond des travaux accessibles, il est possible que la date la plus récente ne corresponde qu'à une reprise plutôt qu'à la continuité de l'exploitation.

La charnière entre les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. marque un tournant dans le nombre de sites attestés. Même si l'importance de cette période pourrait être relativisée compte tenu de la fragilité des datations de nombreux sites, les données fiables sont tout de même disponibles sur plus de la moitié du corpus pour le I^{er} s. av. n. è. Cependant, le nombre de sites attestés et l'intensité de l'activité ne sont pas forcément associés. Dans le district à cuivre de l'Arize, la phase précédente, aux IV^{e} et III^{e} s. av. n. è., correspond très probablement à une exploration systématique des ressources et les sites de moindre envergure comme Rougé, La Coustalade ou Hautech 9 ont pu être épuisés ou presque dès la fin du III^{e} siècle. Des sites comme le Goutil ou encore l'ensemble d'Hautech avec ses nombreux chantiers ont pu connaître une activité importante au cours du I^{er} s. av. n. è. Leur étude partielle et l'ampleur des réseaux laissent une place à cette possibilité. Celui des Atiels également pourrait avoir connu une exploitation importante à cette période. L'atelier de traitement du cuivre en contrebas de cette mine, abandonné dans le troisième quart du I^{er} s. av. n. è., confirme cette phase d'activité. Pour les autres mines de cuivre de ce district, les données sont trop ponctuelles pour se prononcer, tout comme pour celles de l'Argentière, les Abères et L'Argenterie.

Pour les Pyrénées Centrales, l'ampleur de la mine de Palouma invite à voir dans la période tardo-républicaine une phase d'activité importante. La chronologie de l'atelier d'Hourcade, centrée sur le I^{er} s. av. n. è., qui a traité du minerai de Séras et de Palouma selon les données isotopiques (Girard *et al.* 2010, p. 239), confirme l'activité de ce pôle de production pour la période. Le mobilier présent sur l'atelier permet de supposer que l'activité a duré plusieurs décennies, ce qui implique une activité similaire pour les mines. Pour le Pays Basque, l'activité à cette période semble aussi montrer une certaine intensité. La mine de Mehatze en particulier présente un développement qui dénote un investissement inscrit dans la durée dans cette mine, et le site de Larla, en activité depuis la phase précédente, continue lui aussi d'alimenter en fer l'extrémité orientale des Pyrénées. Le développement en parallèle du site d'Errola, d'ampleur toutefois plus réduite, indiquerait que la demande en fer est élevée.

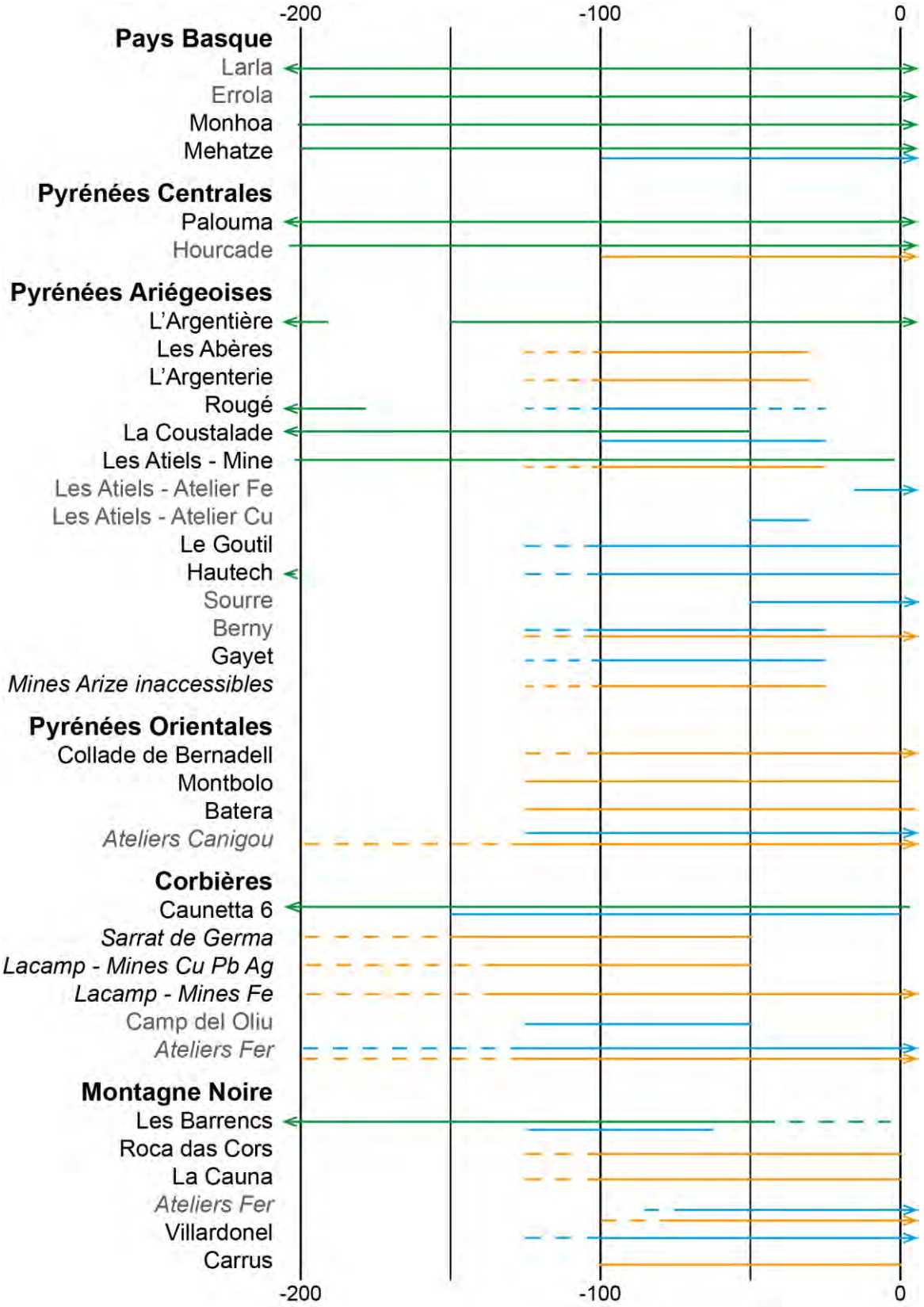


Fig. 191 : Synthèse des datations pour les mines du Sud-Ouest attribuées aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è. Vert : datation radiocarbone ; bleu : mobilier en stratigraphie ; orange : mobilier hors stratigraphie. En italique : secteur rassemblant plusieurs sites. En gris : ateliers.

Dans les sites de la moitié orientale de la région du Sud-Ouest, les situations sont variables. Les mines des Pyrénées Orientales sont trop mal connues pour être évaluées, mais les ateliers de réduction révèlent une activité soutenue à partir du I^er^ s. av. n. è. avec des sites très nombreux. Les moles de scorie agglomérée, attribués à cette période, sont des témoins d'une activité particulièrement intensive (Mut & Kotarba 2007, p. 151). La situation semble mixte dans le district sidérurgique des Corbières. J. Mantenant signale que des petits ferriers datés entre la fin du II^e^ et le I^er^ s. av. n. è. côtoient des ferriers de grande taille dont la chronologie remonte au moins au milieu du I^er^ s. av. n. è., voire un peu plus tôt. Ces grands ferriers, dont la surface au sol peut dépasser les 10 000 m^2, témoignent d'une activité soutenue qui va perdurer pour certains au-delà de la période augustéenne. Les petits crassiers évoquent au contraire des petites exploitations dispersées, qui ne dépassent pas au-delà de la période augustéenne (Mantenant 2014, vol. 1, pp. 280-281). Les données disponibles ne permettent pas de préciser leur relation avec les gros ateliers. Enfin, en ce qui concerne la sidérurgie de la Montagne Noire, les données chronologiques se rapportent principalement au I^er^ s. av. n. è. L'organisation des ateliers fouillés aux Martys, avec les batteries de fourneaux, montrent une volonté d'être productif. Cependant, les autres crassiers repérés en prospection, non datés pour près des 2/3 d'entre eux, ont des tailles très réduites qui ne correspondent pas à des productions très importantes.

En ce qui concerne les non-ferreux, il est plus difficile d'évaluer l'intensité de l'exploitation de cette période. Dans la mine des Barrencs, les niveaux profonds étaient atteints dès le III^e^ s. av. n. è. et il n'est pour l'heure pas possible de distinguer la part de l'exploitation tardo-républicaine. Dans les Corbières, le mobilier semble indiquer que l'activité s'est concentrée entre la seconde moitié du II^e^ siècle et la première du I^er^ s. av. n. è. Mais en l'absence de datation précise sur la grande majorité des sites, et en ayant en tête les exemples des Barrencs et de l'Arize, l'importance réelle de cette phase doit être interrogée. S'il y a bien eu une activité tardo-républicaine dans les mines de non-ferreux des Corbières, son ampleur ne pourra être définie que par de nouveaux sondages dans les chantiers.

Ce panorama concernant les mines du Sud-Ouest aux II^e^ et I^er^ s. av. n. è. montre une certaine diversité des rythmes d'exploitation à cette échelle. À l'est de la Garonne, le poids des amphores souvent hors stratigraphie dans les datations tire la chronologie vers la fin du II^e^ ou le I^er^ s. av. n. è. Cette chronologie basse est pour l'heure confirmée par les quelques données stratigraphiques obtenues sur les sites liés à l'exploitation du fer. La date correspondant au I^er^ âge du Fer obtenue dans la mine de fer de Mas Bourras (Baillestavy, Pyrénées Orientales) doit cependant attirer l'attention quant à la possibilité de voir ce schéma remis en cause. Pour l'exploitation des non-ferreux, les fouilles et sondages ont presque systématiquement fait remonter le démarrage de l'exploitation à la période des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. Poursuite de l'exploitation, reprise ou simple recherche : les trois options sont possibles selon les sites. À l'ouest, dans les Pyrénées Centrales, seule l'exploitation du plomb argentifère est connue à ce jour pour cette période. Là aussi, les datations radiocarbone font remonter le démarrage de l'exploitation avant le II^e^ s. av. n. è. et même

dès le premier âge du Fer pour Séras. On est toutefois assuré ici d'une exploitation réelle et d'une certaine ampleur aux II^e^ et I^er^ s. av. n. è. Pour le Pays Basque, l'exploitation du fer est attestée depuis des dates plus hautes et se poursuit sans faiblir pour ce que l'on peut en observer. Les fouilles et sondages dans les mines de non-ferreux n'ont pour l'instant pas permis de faire remonter l'activité avant le II^e^ s. av. n. è. contrairement à ce que l'on observe pour les mines situées plus à l'est. Les deux derniers siècles av. n. è. semblent donc bien refléter ici une impulsion favorisant l'exploitation du cuivre, si l'on en croit les données de Mehatze et Monhoa.

Tout comme pour les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è., où l'on a pu montrer que l'exploitation des mines s'inscrivait dans un contexte généralisé de développement économique à l'échelle de la Gaule, les exploitations des II^e^ et I^er^ s. av. n. è. ne sont pas limitées au Sud-Ouest. L'exploitation de l'or du Limousin perdure (Cauuet 2004b, pp. 29-32) et s'intensifie sur plusieurs sites (notamment Les Fouilloux et Cros-Gallet Sud), les études plus ponctuelles réalisées dans le Massif Central (Cauuet 2013, pp. 89-93) attestent d'une activité généralisée (non-ferreux), bien qu'elle ne soit pas toujours bien cernée, et les districts situés au sud des Cévennes (Monts de Cabrières, haute vallée de l'Orb) connaissent aussi une activité importante à cette période (Gourdiole & Landes 1998 ; Léchelon 2011), sur des mines de cuivre et cuivre argentifère (Fig. 190). Ainsi, une galerie de recherche foncée au cours du II^e^ s. av. n. è. est connue sur le site de La Maladrerie (Villefranche-de-Rouergue). Elle témoigne d'une activité de prospection dans ce secteur connu pour ses ressources en plomb et cuivre, dont une phase d'exploitation est confirmée pour le I^er^ s. de n. è. (Morasz & Sanchez 2011, pp. 283, 292 et 294). Sur le Mont Lozère, des fouilles sur une minière ont permis de confirmer l'extraction de galène argentifère dès le début du II^e^ s. av. n. è. et jusqu'au début du I^er^ s. de n. è. (Cauuet 2013, p. 92).

Le mobilier associé à ces chantiers miniers et les chronologies établies sont aussi un reflet des relations plus ou moins directes entre les districts miniers et le commerce méditerranéen. Il ne s'agit bien sûr pas d'affirmer qu'un tesson d'amphore dans une mine implique que le métal produit ait été directement exporté en Italie. Mais la diffusion de plus en plus importante du mobilier méditerranéen dans le Sud-Ouest de la Gaule, prioritairement le long de l'axe Aude-Garonne, est l'une des caractéristiques de cette période. Retrouver des tessons d'amphores italiques ou de campanienne A dans des sites qui peuvent apparaître éloignés des principaux centres urbains et commerciaux à des dates encore hautes (fin du II^e^ s. av. n. è. ou début du suivant) est significatif d'une insertion de ces secteurs miniers dans les circuits commerciaux en plein essor à l'époque. De ce point de vue, la présence de mobilier ibérique daté du milieu du II^e^ s. av. n. è. dans les mines des Corbières reflète bien les relations privilégiées existant de longue date entre le Nord-Est de la péninsule et le Languedoc Occidental. La mine des Barrencs et celles du Massif de l'Arize, où une partie du mobilier importé correspond à la fin du II^e^ s. av. n. è., sont également rapidement irriguées par ces marchandises importées. Dans les Hautes Pyrénées, le mobilier méditerranéen ne fait son apparition sur l'atelier d'Hourcade qu'au cours du I^er^ s. av. n. è. Au

Pays Basque, seule la mine de Mehatze a livré du mobilier d'importation méditerranéenne. Il s'agit de présigillée, d'amphores de type Dr 20 et de lampes de type Loeschke I, dont la chronologie se rapporte à la fin du I^{er} s. av. n. è. et au siècle suivant (Parent *et al.* 2016, pp. 180-183). Les sites miniers du Pays Basque restent ainsi tardivement dans un contexte commercial régional.

La chronologie des chantiers miniers, avec la poursuite des exploitations initiées lors des siècles précédents, montre que la demande en métaux s'est au moins maintenue au cours du II^{e} s. av. n. è. dans tout le Sud-Ouest (Larla, Les Barrencs, Palouma, Arize possible). La stimulation économique observée à travers le développement des importations méditerranéennes trouve un écho dans le démarrage (au moins en apparence) de l'exploitation des mines de non-ferreux dans les Corbières au milieu du II^{e} s. av. n. è., puis dans les Pyrénées Orientales (mines de cuivre et sidérurgie), dans les Pyrénées Ariégeoises (Les Abères, L'Argenterie, Les Atiels) et dans la Montagne Noire pour le fer. Cela ne concerne pas que les zones en lien avec la Méditerranée puisqu'un nouveau district sidérurgique et des mines de cuivre du Pays Basque voient leur activité démarrer à partir du II^{e} s. av. n. è. également. À l'est de la Garonne, dans les limites de ce qui devient la province de Transalpine, le développement de la demande en métaux est suffisamment fort pour susciter des tentatives de reprise sur des mines qui avaient été abandonnées près d'un siècle plus tôt (Rougé, La Coustalade, peut-être l'Argentière). L'exploitation sidérurgique du Massif du Canigou semble être intensive dès les premières phases identifiées à ce jour, soit au tournant des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. Pour les Corbières et la Montagne Noire, le démarrage a pu être plus progressif, mais aux alentours du milieu du I^{er} s. av. n. è., les crassiers de grande taille indiquent un changement d'échelle. La poursuite de l'exploitation sidérurgique du Pays Basque à la même période n'atteint pas, et de loin, de telles proportions. Cette différence d'échelle de production illustrerait le poids supérieur des dynamiques économiques dans la sphère d'influence romaine, avec la possibilité d'alimenter un marché dépassant plus facilement le cadre régional.

Il faut enfin signaler que plusieurs mines ou districts voient leur activité s'arrêter autour de la période augustéenne. C'est le cas des sites des Pyrénées Ariégeoises (sauf l'Argentière à Aulus), les mines du district à cuivre de l'Arize pouvant atteindre sans la dépasser la période augustéenne, mais aussi des mines de non-ferreux des Corbières et de la Montagne Noire. Nous reviendrons dans la partie suivante sur ces arrêts (dans ce chapitre, 0), mais on peut d'ores et déjà remarquer que les exploitations évoluent d'une manière différente selon qu'il s'agisse du fer ou des non-ferreux et selon le secteur géographique dans lequel on se trouve.

b. Des techniques peu caractéristiques

Les ouvrages miniers des II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. montrent dans leur ensemble l'utilisation des mêmes techniques que lors de la phase précédente. Les travaux sont toujours ouverts depuis l'affleurement, le feu et l'outil sont utilisés pour l'abattage et les chantiers suivent la

minéralisation de près. Ces caractéristiques ont pu être observées dans les mines des Corbières et du Pays Basque dont l'exploitation antérieure n'est pas connue. De fait, différencier les travaux des II^e^ et I^er^ s. av. n. è. de ceux réalisés auparavant n'est que rarement possible à première vue. L'exemple de la mine des Barrencs, dans laquelle des datations couvrent une période allant du IV^e^ au I^er^ s. av. n. è., en est un bon exemple : les archéologues qui y ont travaillé ne signalent aucune variation dans la façon de conduire le chantier à l'échelle de la mine. C'est aussi pour cela que les travaux datés uniquement par du mobilier récolté en prospection sont facilement attribués à la chronologie des tessons identifiés : les techniques minières employées ne s'y opposent pas.

Les connaissances géologiques qui avaient pu être mises en avant à travers la pertinence des ouvrages de recherche par rapport à la structure de la minéralisation ont également été repérées dans les Corbières, avec des galeries de recherche disposées de façon à suivre le pendage du filon. Des piliers de roche stérile assurent toujours le soutènement. Des témoins de la mise en place de boisages sont également connus à Palouma et Mehatze (Parent *et al.* 2016, p. 176). Les ouvrages d'assistance demeurent rares, la configuration des mines permettant dans l'ensemble d'en limiter les besoins. Des galeries de jonction très courtes entre certains chantiers souterrains et les secteurs à ciel ouvert sont toutefois signalées sur le Sarrat de Germa, dans la mine de Tistoulet – Esquina d'Ase (localisation Fig. 168). Ces galeries avaient pour unique fonction de faciliter la circulation des mineurs pour sortir le produit de l'exploitation (Mantenant 2014, vol. 1, p. 205). Aucune galerie d'exhaure n'est pour l'instant rattachée avec certitude à cette période dans l'ensemble des mines du Sud-Ouest. La galerie de la mine de La Canal, dans les Corbières, n'est pas datée et les quelques tessons d'amphores à la sole de celle de l'Argenterie, dans les Pyrénées Ariégeoises, ne peuvent suffire à assurer son antiquité.

Un des rares changements que l'on peut observer dans le domaine technique est l'introduction des lampes à huile pour l'éclairage des mineurs, qui s'accompagne du creusement de niches dans les parois de certaines galeries. Des niches de ce type ont été identifiées aux Barrencs, mais aussi dans l'une des galeries basses de la mine de Mehatze (Parent *et al.* 2016, pp. 171-171). Les fragments de lampes identifiés à Mehatze sont cependant datés au plus tôt à la fin du I^er^ s. av. n. è., témoignage d'une adoption plus tardive de ce mode d'éclairage. Les lampes des Barrencs ont quant à elles une chronologie plus haute, entre la fin du II^e^ et le I^er^ s. av. n. è. (Mantenant *et al.* 2013, p. 39). Certaines des encoches observées dans les réseaux du Goutil pourraient également correspondre à ce type d'aménagement, mais elles demeurent non datées. Des fragments de lampes à huile ont par ailleurs été identifiés à Hautech (Dubois & Métailié 1991, p. 39) et au Coffre (Dubois & Guilbaut 1982, p. 106), ainsi que dans les niveaux d'abandon de l'atelier de traitement du cuivre gris des Atiels. Pour les deux premiers sites, il s'agit de lampes de type Ricci E, datées entre le milieu du II^e^ s. av. n. è. et le milieu du I^er^ s. av. n. è., alors que pour les Atiels (type Dressel 2), elles proviennent d'un contexte du milieu du I^er^ s. av. n. è. Ces dernières étaient mêlées à des rejets de mobilier domestique. Leur utilisation en mine est vraisemblable mais

les quelques mètres de galeries antiques préservées aux Atiels ne comportaient pas de niche à lampe. Dans les Corbières, des niches à lampes ont été identifiées dans les mines de Tistoulet et de l'Abeilla, et se rapporteraient à la phase d'activité tardo-républicaine[109].

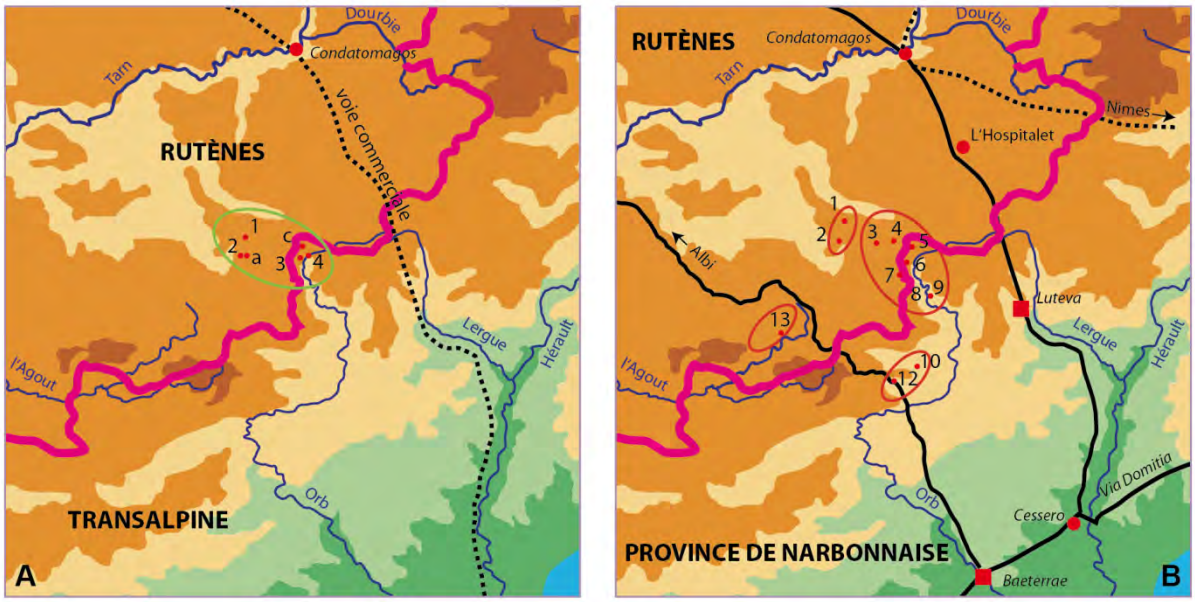


Fig. 192 : Mines des II[e] et I[er] s. av. n. è. du secteur Dourdou-Orb (d'après Léchelon 2011, fig. 9 et 10). **A** : Sites du II[e] s. av. n. è. : 1 : Labaume, 2: Bouco Payrol, 3 : Faulat, 4 : Mange-Hommes, a : Pélissou, c : Bournac. **B** : sites des I[er] s. av. n. è. et I[er] s. de n. è. : 1 : Labaume, 2 : Bouco-Payrol, 3 : Cénomes, 4 : Bayles, 5 : Bournac, 6 : Lascours, 7 : Maynes, 8 : La Rabasse, 9 : Vinas, 10 : Le Pradal, 12 : Lamalou, 13 : Landas.

Ces techniques peu spécifiques ont été observées dans d'autres secteurs miniers de Gaule pour la même période. Parmi les nombreuses mines situées dans les hautes vallées de l'Orb et du Dourdou, en territoire rutène, plusieurs ont pu faire l'objet d'une première caractérisation. Même si l'étude de ces sites demanderait à être approfondie en appliquant les méthodologies actuelles de façon plus systématique (topographie détaillée des chantiers et fouilles ou sondages), les éléments disponibles à ce jour fournissent une base qui permet d'établir des comparaisons, étayée par des datations radiocarbone dans plusieurs chantiers. Les minéralisations exploitées sont des sulfures polymétalliques complexes associant plomb, cuivre et zinc, dans une gangue de quartz ou de barytine, encaissés dans des calcaires dolomitiques. Des cuivres gris sous forme de tétraédrite argentifère sont aussi présents (Léchelon 2011, p. 247). L'activité aux II[e] et I[er] s. av. n. è. est bien attestée sur les gisements cuprifères (Fig. 192) et se poursuit jusqu'à l'Antiquité tardive et même au-delà, avec des différences toutefois selon les sites (Léchelon 2011, fig. 1 et p. 268). Une particularité de ce secteur est d'avoir livré de nombreux maillets en pierre (Bouco-Payrol, Camarès et Labaume, Sylvanès), indiquant une première phase d'exploitation entre la fin du Chalcolithique et l'âge du Bronze Récent, confirmée par une datation radiocarbone dans la mine de Bouco-Payrol[110] (Léchelon 1974 ; Léchelon 2001, pp. 120-124 ; Léchelon 2011, pp. 263 et 265).

[109] Communication orale J. Mantenant.

[110] Datation Beta-221099 : 3950 ± 40 BP, soit 2570-2330 cal BC (Léchelon 2011, fig. 1).

Pour les travaux des II[e] et I[er] s. av. n. è., on observe les mêmes façons d'aborder l'exploitation que dans les autres mines déjà présentées : attaque des gisements depuis l'affleurement, travaux limités aux zones minéralisées qui sont suivies de près. Selon la morphologie des gisements, les travaux se présentent sous la forme de chantiers rectilignes suivant les filons, irréguliers lors de l'exploitation d'amas, ou encore formant de vastes chambres dans les zones enrichies par des croisements de filons ou suivant des stockwerks (Léchelon 2011, p. 252). Des piliers de roche sont laissés en place pour l'étayage dans certaines mines (Cénomes, Montagnol et Bouco Payrol). Des encoches de boisage ont été identifiées dans certains passages ascendants à Bouco-Payrol, permettant probablement d'installer des structures pour faciliter la circulation des mineurs (Léchelon 2011, p. 261). L'ampleur des travaux n'est pas toujours connue car de nombreux chantiers sont comblés (groupe d'une quarantaine de fosses de Faulat à Ceilhes et chantiers proches). Il est possible que certains d'entre eux ne se soient pas développé en souterrain (Léchelon 2011, pp. 252, 257 et 259). Mais la mine de Bouco Payrol, avec des travaux anciens attestés jusqu'à plus de 90 m de profondeur (Fig. 193), montre qu'il n'y avait pas de limitation technique à l'approfondissement des chantiers à cette période.

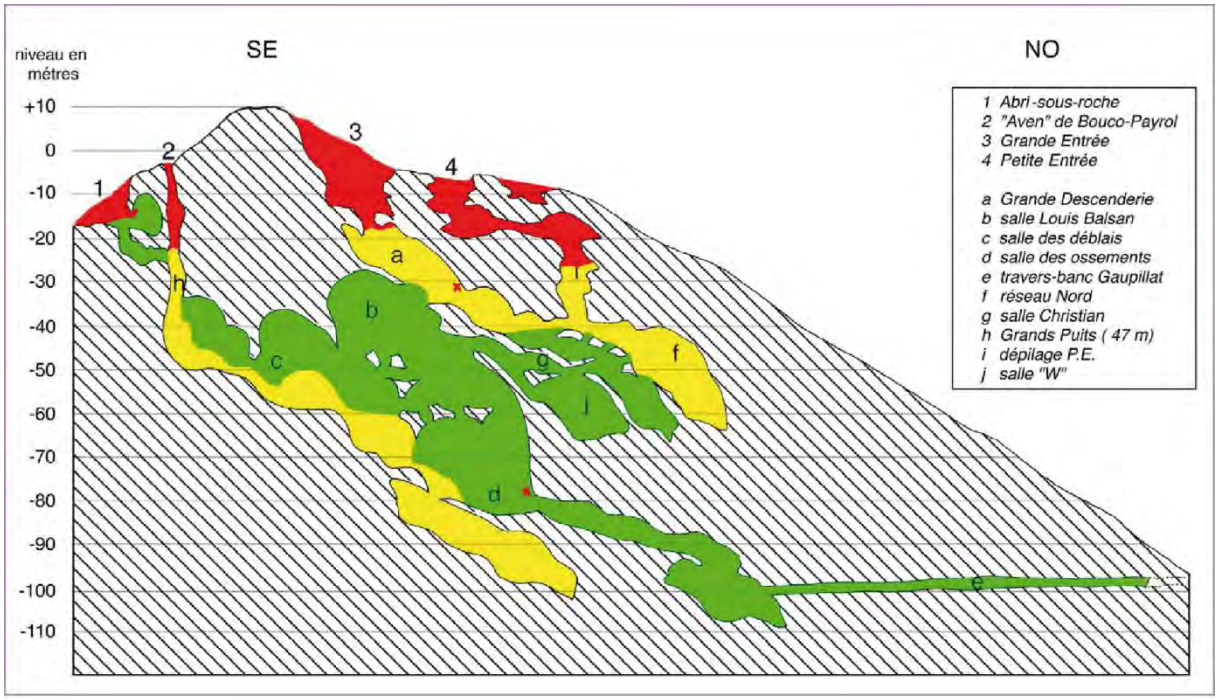


Fig. 193 : Coupe schématique de la mine de Bouco-Payrol (Léchelon 2011, fig. 8).
Rouge : Chalcolithique – âge du Bronze. Vert : début I[er] s. av. n. è. – début I[er] s. de n. è. Jaune : Moyen Âge.

Le feu et les outils sont utilisés pour l'abattage, mais certains secteurs montrent une utilisation exclusive de l'une ou l'autre de ces techniques. Car malgré des éléments peu spécifiques à une échelle générale, des différences peuvent être significatives à l'échelle d'un chantier ou d'un district. Ainsi, B. Léchelon indique que, dans chacune des mines de Cénomes et de Bouco-Payrol, où l'utilisation du feu domine globalement, un secteur présente la particularité d'avoir été ouvert entièrement à l'outil (Léchelon 2011, pp. 256 et

263). Le mobilier localisé dans ces secteurs, notamment des fragments de lampes à huile, ainsi qu'une datation radiocarbone indiquent qu'ils ont été exploités à partir de la fin du I^{er} s. av. n. è. et principalement lors du siècle suivant. Ce changement est d'autant plus significatif que la nature de la roche encaissante reste la même et que les secteurs concernés ne présentent pas de difficulté d'aérage particulière, permettant d'écarter des contraintes techniques à l'origine de ce choix.

Un changement de ce type entre des secteurs ouverts au feu ou à l'outil a pu être documenté dans le Massif de l'Arize. L'utilisation exclusive de l'outil dans le secteur ancien de la mine des Atiels en constitue l'exemple le plus clair. Une datation radiocarbone et le mobilier de surface situent cette activité entre les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. Nous avons vu que la mine du Goutil était creusée à la fois au feu et à l'outil. Les secteurs à l'outil, toujours un peu éloignés des entrées, pourraient alors peut-être correspondre aux secteurs ouverts entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è. (selon le mobilier), après un démarrage préalable avec abattage au feu. Toutefois, le travail au feu est aussi attesté à la Coustalade pour la même période, ce qui ne permet pas de trancher sans datation formelle, mais le changement de mode d'abattage préférentiel pourrait être une indication typo-chronologique valable dans ce district également. Comme le propose B. Léchelon, il indiquerait un changement dans la gestion de l'exploitation. Nous avons vu que l'utilisation du feu ou des outils suppose des circuits d'approvisionnement distincts en matière première (le bois ou le fer). La cause de ce changement pourrait être un épuisement des ressources boisées à proximité immédiate des mines. Si l'exploitation a démarré dès les IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è., comme nous le proposons pour l'ensemble des mines de cuivre argentifère de l'Arize, on pourrait envisager que les forêts les plus proches auraient été trop altérées et que la distance à parcourir pour s'approvisionner en bois soit considérée comme excessive. Cette option est également proposée par B. Léchelon pour les mines du secteur Dourdou-Orb (Léchelon 2011, p. 271). Le changement y serait nécessaire plus tard car l'activité minière de l'âge du Fer ne remonte pour l'heure qu'au début du II^{e} s. av. n. è. Mais une autre possibilité est proposée par cet auteur, sur la base de ce qui a été observé lors de la reprise médiévale à partir du XII^{e} siècle. La technique de l'abattage au feu est de nouveau privilégiée, et cela tant que l'exploitation est entre les mains de l'abbaye de Sylvanès, qui dispose aussi du droit d'utiliser de façon intensive les bois environnants. Lorsque les concessions minières passent aux mains d'entrepreneurs privés au siècle suivant, leurs droits ne couvrent pas l'utilisation des forêts. Ils doivent alors travailler à l'outil, ce qui a été observé dans les chantiers (Léchelon 2011, p. 272). L'auteur fait alors un parallèle entre cette situation et celle de l'Antiquité, où des exploitants auraient disposé à leur guise des ressources boisées entre le II^{e} et la fin du I^{er} s. av. n. è., alors que les suivants n'ont plus un accès facile à ces ressources, le changement s'amorçant à partir de la période augustéenne. Cette possibilité de préciser le lien entre technique d'abattage et contrôle des ressources naturelles d'un territoire ouvre d'autres perspectives, sur lesquelles nous reviendrons plus bas.

Près de ce district, celui de Cabrières (Fig. 190) a connu une exploitation entre la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. et le I^{er} s. de n. è., également après une phase préhistorique entre le Chalcolithique et le début du premier âge du Fer (Ambert 1995, pp. 501-503). L'exploitation a concerné du cuivre gris à antimoine et argent, pris dans des filons de quartz encaissés dans les dolomies ou les schistes (Bailly-Maître *et al.* 1984 p. 327). Les mines de Pioch-Farrus I et IV, des Neuf-Bouches et de La Roussignole correspondent à ces chronologies. L'activité est bien caractérisée surtout à la fin du I^{er} s. av. n. è. et au cours du suivant, mais quelques tessons de campanienne A et amphore italique pourraient faire remonter le démarrage de l'exploitation antique un peu plus tôt au cours du I^{er} s. av. n. è. (Bailly-Maître *et al.* 1984, p. 331 ; Ambert 1999, p. 396 ; Bouquet *et al.* 2006, p. 157). Des lampes à huile du type aux oiseaux à bec en enclume correspondent aussi à la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. L'exploitation a été réalisée principalement à la pointerolle pour ces phases antiques. L'ouverture au feu semble ici caractéristique des phases préhistoriques mais son utilisation ne peut être exclue pour les phases antiques (Ambert 1999, p. 397). Si les mineurs ont là aussi suivi la minéralisation de près en démarrant l'extraction depuis l'affleurement (avec l'indice des travaux préhistoriques), il faut signaler quelques aménagements qui facilitent les déplacements des mineurs. À Pioch-Farrus IV, dont les niveaux antiques sont les mieux connus, des escaliers ont été creusés à la sole dans un passage descendant et des plates-formes de déblais retenues par des murets constituaient des espaces de travail (Landes 1989, p. 225). Un petit bassin (surface de 3m^2 et profondeur de 0,5 m) dans la partie basse des travaux a pu servir de retenue pour la gestion de l'exhaure mais aussi pour laver du minerai sur place. Du sable quartzeux fin se trouvait dans son comblement (Ambert 1999, p. 396).

Dans les mines d'or du Limousin, le développement des chantiers amorcé dans la deuxième moitié du III^{e} s. av. n. è. se poursuit et la taille des ouvrages devient un critère pour identifier les mines les plus tardives, dont l'activité cesse avec l'époque augustéenne. Les chantiers atteignent et dépassent 100 m de longueur, 40 à 60 m de largeur, et 10 à 40 m de profondeur (Cauuet 2004b, p 43-44). Les sites des Fouilloux, de Cros-Gallet Sud, de Lauriéras ou de La Fagassière en sont des exemples. La mine du Puy des Angles, dont l'activité a démarré au III^{e} s. av. n. è., voit son activité s'arrêter au milieu du II^{e} s. av. n. è. (Toledo I Mur *et al.* 2005, p. 207). Elle n'atteint donc pas les proportions des chantiers plus tardifs mais montre que les développements techniques se mettent en place dès la fin du III^{e} s. av. n. è. Tous ces sites ont en effet la particularité de développer de vrais chantiers souterrains, qui ont nécessité la mise en place de boisages complexes pour assurer la stabilité des roches encaissantes et favoriser la circulation des mineurs (Cauuet 1997, pp. 202-204 ; Cauuet 2000). Les chantiers souterrains suivent là aussi la morphologie de la minéralisation, formant des dépilages en gradins le long de filons inclinés ou des chambres sur piliers lorsque la minéralisation était plus développée. Dans la mine des Fouilloux, une chambre de ce type est traversée par une galerie d'exhaure (Cauuet 2004b, p. 50). L'approfondissement des chantiers rend en effet cet aménagement nécessaire pour assurer la poursuite de l'exploitation sous le niveau phréatique. Mais il ne s'agit pas d'une

nouveauté puisque les premiers exemples apparaissent dans la seconde moitié du III^{e} s. av. n. è. De fait, le début du II^{e} s. av. n. è. ne constitue pas un jalon chronologique significatif pour le Limousin. Les exploitations ont démarré plus tôt, les changements techniques sont amorcés dès le milieu du III^{e} s. av. n. è. et l'ampleur remarquable atteinte par les chantiers à la fin du I^{er} s. av. n. è. ne représente que l'aboutissement de plusieurs siècles d'exploitation minière intensive.

De fait, au niveau des techniques minières, les II^{e} et I^{er} s. av. n. è. ne semblent pas apporter de changement majeur dans un grand quart sud-ouest de la Gaule, dans lesquels on remarque surtout une continuité des pratiques existantes lors de la phase précédente. L'éclairage par les lampes à huile, placées dans des niches au parement des galeries, semble être le seul élément qui marquerait une rupture avec les modes opératoires précédents, ces lampes étant de plus des objets importés ou clairement imités de modèles méditerranéens. On peut noter que les lampes potentiellement les plus anciennes (Ricci E) ont été identifiées dans la mine des Barrencs et dans les mines de cuivre de l'Arize, avec une chronologie qui peut remonter au milieu du II^{e} s. av. n. è., mais qui s'étend aussi jusqu'au milieu du I^{er} s. av. n. è. Ensuite, les mines de la haute vallée de l'Orb ont livré des spécimens datés de la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. pour les exemplaires suffisamment bien conservés[111] (Léchelon 2011, pp. 260 et 263). Au Pays Basque, les lampes n'apparaissent qu'à la toute fin du I^{er} s. av. n. è. On n'en connaît pas à ce jour dans les Pyrénées Centrales et les niches à lampes des Corbières ne sont pas datées. On est toutefois loin d'une révolution dans les techniques d'exploitation avec ce nouvel éclairage. Cela implique tout de même d'avoir à disposition des mineurs de l'huile pour alimenter les lampes, ce qui n'était pas nécessaire avec l'emploi de torches.

[111] Il s'agit de lampes dites « aux oiseaux » à bec en enclume de type Dressel 4. Des fragments de trop petite taille sont attribués au I^{er} s. av. n. è. sans précision.

II. C. Mines gauloises, mines romaines : la question du contrôle d'une ressource stratégique

Les chronologies des chantiers miniers fournies par le radiocarbone ou par le mobilier laissent une marge d'incertitude non négligeable quant aux dates de démarrage ou d'arrêt des exploitations. Les techniques mises en œuvre ne permettent pas, en elles-mêmes, de préciser ces chronologies. Les sources historiques atteignent cependant une précision à l'année près concernant des évènements marquants de la période, qui entraînent, à des degrés divers, le transfert du contrôle des territoires depuis les entités gauloises vers la puissance romaine. Le contexte historique fournit le cadre théorique de l'extension des zones qui peuvent être contrôlée par Rome au fil de cette période. Des cas particuliers de sites fouillés permettront de voir quelles sont les caractéristiques archéologiques significatives de l'implication d'Italiens dans ces exploitations. D'autres arguments peuvent au contraire plaider pour un certain maintien de l'implication des populations locales dans la gestion des exploitations. Nous verrons pour finir comment tous ces éléments peuvent contribuer à identifier les exploitants du district de l'Arize.

II. C. 1. Quelques jalons historiques

Les deux derniers siècles av. n. è. constituent une période de transition qui correspond aux dernières décennies d'indépendance des peuples gaulois face à des Romains toujours plus entreprenants. Nous avons vu que la côte languedocienne était rapidement incluse dans les courants commerciaux italiens dès le début du II^{e} s. av. n. è., suite à l'installation romaine dans le Nord-Est de la péninsule Ibérique, après la deuxième Guerre Punique. C. Ebel avait même proposé que le contrôle romain sur le Nord-Est de l'Espagne s'étende jusqu'à l'Hérault, sous l'autorité du gouverneur de l'Hispanie Citérieure, depuis Tarragone (Ebel 1976, p. 42). Le bornage de la voie dite hérakléenne, qui longe la côte méditerranéenne entre Italie et Hispanie, dès le milieu du II^{e} s. av. n. è., est donné comme exemple du contrôle ancien de Rome sur ce secteur, à un moment où les points d'attache romains se trouvent au sud des Pyrénées (Roman 1991, p. 37 ; Rico 1997, pp. 147-150). Ces échanges commerciaux se renforcent progressivement jusqu'à la création de la colonie de Narbonne en -118, qui marque un seuil dans le développement de la présence romaine. Cette fondation a lieu suite à des opérations militaires dans le Sud de la Gaule, entre -125 et -121. Marseille, alliée de Rome, lance un appel à l'aide contre les peuples voisins (Salyens, Voconces, Ligures). Les victoires obtenues par Rome contre ces derniers, puis contre les Allobroges et Arvernes révoltés, conduisent à une extension de l'influence romaine au moins jusqu'au sud du Massif Central (Christol 2010, p. 37 ; Py 2012, p. 301). La région n'est pas pour autant soumise ni complètement pacifiée, comme en témoignent les révoltes connues dans les années qui suivent, notamment celle des Tectosages en -106/-105. Cette révolte conduira au démantèlement de leur territoire et mérite que l'on y prête attention (Moret 2008, p. 319 ; Gorgues 2014, pp. 317-318).

L'évènement est rapporté par Dion Cassius, qui indique que le soulèvement de la ville de *Tolosa*, dans le sillon du conflit provoqué par l'arrivée des Cimbres dans la région, est tué dans l'œuf grâce à l'intervention rapide des Romains, prévenus par une partie des Tolosates restés fidèles à Rome (Lizop 1931, p. 16 ; Barruol 2000, p. 8 ; Moret 2001 p. 17). En représailles, la ville est pillée par le consul Caepio, qui s'empare notamment de richesses provenant du sanctuaire tectosage. On sait par d'autres sources que ce butin est volé lors de son acheminement vers Rome et Caepio connaît ensuite une lourde défaite près d'Orange, face aux Cimbres et aux Teutons, en -104. De retour à Rome, il perd son *imperium*, est exclu du Sénat et fait face à un procès à l'issue duquel il est condamné à mort. Cela fait rapidement naître une légende sur la malédiction de l'or de Toulouse, prétendument issu du pillage du sanctuaire de Delphes, qui ne pouvait qu'apporter le malheur à quiconque tenterait de s'en emparer (Moret 2012, pp. 142-144). Cette légende attire l'attention des auteurs anciens et on dispose du témoignage de Posidonios, qui obtient des informations sur ce sujet lors de son passage en Gaule au début du I^{er} s. av. n. è. Repris par Strabon (*Géographie*, IV, 1, 13), ce texte nous est parvenu. On y apprend qu'il est très peu probable que ce trésor provienne du pillage de Delphes, mais, surtout, qu'il était composé en grande partie d'argent, sous la forme de masses brutes martelées, qui étaient déposées dans des enclos et des étangs (Moret 2001, p. 19). La mise en vente de ces étangs au profit de Rome a permis aux acheteurs d'y retrouver ces masses d'argent. Cette mise en vente n'aurait pas eu lieu avant -102, après une victoire romaine près d'Aix-en-Provence, qui permet à Rome de reprendre le contrôle des territoires soulevés (Moret 2012, pp. 149-150). Le pillage méthodique des dépôts sacrés des Tectosages, qui constituaient très certainement le sanctuaire fédéral de ce peuple, porte le coup de grâce à cette entité gauloise. Par la suite, les sources ne mentionnent plus que les Tolosates : non plus un peuple, mais simplement les habitants d'une ville (Domergue *et al.* 2002, p. 85 ; Moret 2008, p. 319).

Plusieurs mines ou groupes de mines se trouvent à proximité de ce qui pouvait être les limites du territoire Tectosage. Ces limites ne sont pas précisément connues. Les indications de Posidonios, reprises par Strabon, permettent de restituer leur emprise entre le Toulousain, les Pyrénées, et le sud du Massif-Central. Ils n'atteignaient pas la Méditerranée (Moret 2001, p. 17 ; Domergue *et al.* 2002, p. 82). Les mines des Pyrénées Ariégeoises pouvaient donc faire partie de leur zone d'influence. La mise en évidence par A. Gorgues des relations entre Toulouse et la péninsule Ibérique qui n'empruntent pas la voie méditerranéenne rend plausible un contrôle sur les productions minières de la chaîne pyrénéenne, même pour la mine en altitude de l'Argentière (Gorgues 2014, p. 317-318). Les mines de cuivre argentifère de l'Arize et les gisements de galène argentifère de Rivèrenert auraient été encore plus facilement inclus dans ce domaine. Celles des Corbières semblent trop proches de la Méditerranée pour y être incluses. Celles de la Montagne Noire, sur le versant sud de ce relief, pourraient se trouver juste en limite de ce territoire. Le démantèlement des structures tectosages à l'extrême fin du II^{e} s. av. n. è. pose la question du cadre de l'exploitation durant les deux premières décennies du I^{er} s. av. n. è. Les sources

ne mentionnent rien concernant la prise en main par Rome ou par des Italiens des ressources minières de ce territoire.

Si les Tectosages fonctionnaient en confédération comme cela a été proposé, on peut aussi imaginer que les membres de cet ensemble se retrouvent dans une indépendance relative dans les années qui suivent la prise de *Tolosa*. Pour le Massif de l'Arize, on se trouverait dans le territoire des *Consoranni*. Ce peuple est connu par les listes de peuples de Narbonnaise et d'Aquitaine de Pline (*Histoire Naturelle*, III, 4, 32 et IV, 108-109). Deux graphies ont été utilisées pour ce nom, *Consuaranorum* en Narbonnaise et *Consoranni* en Aquitaine. Ces deux graphies ont donné lieu à des débats : fallait-il voir dans ces noms proches deux peuples différents ou une erreur de copiste et un seul peuple ? Et s'il s'agit bien du même peuple, comment expliquer qu'il se trouve à la fois en Narbonnaise et en Aquitaine ? Les différentes positions sont résumées par R. Sablayrolles dans l'introduction de la carte archéologique de l'Ariège (Sablayrolles 1996, pp. 41-42). Dans l'Antiquité tardive, la *Notitia Galliarum* indique qu'ils sont constitués en cité autonome, après avoir dépendu de celle des *Convenae* au Haut-Empire (Rico 1997, pp. 110-114 ; Sablayrolles & Beyrie 2006, p. 63). Les *Convenae* ayant été rattachés à la province d'Aquitaine lors de sa création, probablement sous Auguste, alors qu'ils se situaient auparavant en limite occidentale de la Transalpine, l'utilisation par Pline de sources qui n'étaient plus à jour à propos de la Narbonnaise a pu être proposée. Nous nous rangeons à ce sujet à l'option présentée par M. Christol, qui conclut que les listes de Pline étaient bien à jour à l'époque flavienne (Christol 1994, p. 62). Cela conduirait alors à supposer un découpage du territoire des *Consoranni* lors de la création de la nouvelle province d'Aquitaine. Un découpage de cette nature, prenant en compte avant tout les intérêts de Rome, et non les frontières ethniques préexistantes, est connu pour les Rutènes, vers la fin du II^{e} s. av. n. è. (Gruat & Izac-Imbert 2002, p. 84). Les territoires situés entre le Salat, centre de la cité tardive, et la haute vallée de l'Ariège auraient fait partie de cet ancien territoire des *Consoranni*, qui aurait alors avoisiné celui des Sordons comme l'indique Pline (Barruol 1980, p. 29). Les *Consoranni* ont-ils pu exploiter pour leur compte les mines se trouvant dans les Pyrénées Ariégeoises au début du I^{er} s. av. n. è. ? Les données historiques ne permettent pas de se prononcer. Il semble toutefois difficile d'imaginer que, après avoir organisé la spoliation des étangs sacrés des Tectosages, les Romains aient laissé passer l'occasion de mettre la main sur une production de cuivre et sans doute d'argent dont Toulouse pouvait constituer le débouché. Mais ce contrôle pouvait s'effectuer justement lors de l'étape de la vente du métal sans intervention directe dans la production.

L'épisode des Guerres Sertoriennes constitue une autre étape de stimulation de l'activité romaine dans le Languedoc car Pompée, n'ayant pas accès à la voie maritime avec l'Italie, doit utiliser les ressources terrestres de la Transalpine (Gourdiole & Landes 1998, pp. 65-66) (Ebel 1976, p. 96 ; Gourdiole & Landes 2002, p. 280 ; Christol 2010, p. 61). Fonteius est ainsi envoyé sur place de -76 à -74 pour faciliter l'approvisionnement des armées opposées à Sertorius. À l'issue du conflit, en -72, la fondation de *Lugdunum Convenarum* par Pompée, en

bord de Garonne et aux pieds des Pyrénées, fait du tronçon fluvial jusqu'à Toulouse la limite de l'aire d'influence romaine, jusqu'à la conquête césarienne (Sablayrolles 2009, p. 59). Après les réorganisations de Pompée, les peuples de la Transalpine ne semblent plus poser de problème sécuritaire à Rome, si l'on en croit le soutien apporté lors des interventions de César (Barruol 2000, pp. 8-9 ; Moret 2015a, p. 68).

Dans ce contexte, la prise en main par des Italiens de l'exploitation d'une partie du territoire de la Transalpine est bien connue pour le début du I^er^ s. av. n. è. par les textes de Cicéron, *Pro Quinctio* (III-IV) et *Pro Fonteio* (V, 11-13). On y apprend que de nombreux Italiens sont présents à Narbonne et dans ses environs pour y faire fortune (Christol 2010, pp. 60-62). En contexte urbain, cette présence italienne est assez bien caractérisée et liée au commerce, jusqu'à Toulouse. Les implantations italiennes en contexte rural méritent quant à elles une attention particulière dans la mesure où elles impliquent un contrôle direct sur les productions locales, principalement agricoles, ce qui n'est pas le cas pour de simples négociants. La stimulation de l'économie locale par la demande commerciale invite à réfléchir aux modalités d'exploitation des terroirs et au degré d'investissement italien dans l'obtention des ressources. Cependant, la dynamique gauloise d'intensification du peuplement et de l'exploitation agricole, observée à cette période de la frange méditerranéenne au Toulousain, et au-delà, ne permet pas d'attribuer automatiquement les fondations des sites ruraux antérieures au milieu du I^er^ s. av. n. è. à des Italiens, même à proximité des rives méditerranéennes (Mauné 2000, pp. 242-244). En l'absence d'épigraphie, une étude archéologique du faciès céramique permet d'apporter des informations sur ce sujet, par l'identification des habitudes alimentaires, qui diffèrent entre les populations italiques et languedociennes de cette période (Mauné 2000, p. 249 ; Gorgues & Cadiou 2008, pp. 129-130). De manière similaire, la production de céramiques selon les techniques et les formes originaires de la Méditerranée peut indiquer le déplacement d'artisans italiens en Transalpine. Le cas de l'atelier de l'habitat de St Jean du Causse (Hérault) en est un exemple. Des céramiques à vernis noir y ont été fabriquées entre la fin du II^e^ et le milieu du I^er^ s. av. n. è., sans aucune production de type local, que l'on retrouve normalement lorsque des potiers gaulois adoptent les techniques exogènes (Mauné & Sanchez 1999, pp. 140-142). Cet exemple montre que l'on est très tôt dans un contexte romanisé pour la région comprise entre Narbonne et Béziers. Les sites miniers les plus proches sont ceux des Monts de Cabrières et de la haute vallée de l'Orb, susceptibles d'être plus vite pris en main par des Italiens. Si l'on se dirige vers l'ouest, les données concernant des implantations italiennes en milieu rural sont particulièrement rares, et bien sûr absentes au-delà de la Garonne : l'Aquitaine n'est soumise qu'en -56 (Rico 1997 p. 136). La fin des campagnes de César marque la fin de l'indépendance de l'ensemble des territoires gaulois, le processus ayant déjà été bien avancé pour la Transalpine. Les mines des Pyrénées Centrales et du Pays Basque sont désormais elles aussi dans le domaine romain. Mais a-t-on pour autant une prise en main directe sur les exploitations ? Les données conduisent plutôt à penser que l'intérieur de la chaîne est resté à l'écart des préoccupations romaines (Rico 1997 pp. 138-139). Des sites miniers, exploitant de la galène argentifère comme à Palouma

et Séras, auraient cependant pu motiver des interventions ponctuelles dans des secteurs reculés. Quant aux mines de Transalpine, la conquête césarienne ne peut que faciliter un peu plus leur accès à d'éventuels investisseurs italiens intéressés. Mais l'épisode des Guerres Sertoriennes a dû avoir un impact plus fort que la Guerre des Gaules sur les mines de cette province.

II. C. 2. Les cas avérés de prise en main italienne de l'exploitation

Deux fouilles ont révélé l'implication directe d'Italiens dans l'exploitation minière à des dates hautes. La première est celle du site des Martys, avec les ateliers du Grand Ferrier et de Montrouch, et la seconde celle de Lascours, agglomération au pied du district minier du Mont Faulat. Dans le cas de Lascours, les données sont les plus abondantes et ne laissent pas de place au doute : épigraphie, urbanisme et culture matérielle présentent un faciès typiquement italien. L'épigraphie en particulier, avec des marques en caractères latins sur des tessères en plomb et sur des *tegulae*, indique qu'une « société des mines d'argent du pays rutène » exploitait ces mines (Barruol & Gourdiole 1982 ; Landes 1989 ; Gourdiole & Landes 2002, p. 271). L'occupation du site s'étend de la fin du II^{e} s. av. n. è. au premier tiers du I^{er} s. de n. è. (Gourdiole & Landes 2002, p. 274). Aux bâtiments à maçonneries en pierres, il faut ajouter des éléments architectoniques isolés associés à des constructions monumentales, probablement spoliées dès l'Antiquité (blocs de grand appareil en grès soigneusement taillés, chapiteau dorique). Des structures d'assainissement ont été identifiées (caniveaux), les bâtiments sont couverts de tuiles à partir du I^{er} s. av. n. è. et un petit établissement thermal a aussi été identifié (Gourdiole & Landes 2002, pp. 275-276). Ces thermes, avec un hypocauste à canaux, sont parmi les plus anciens de Transalpine. De petite taille (deux bassins de 5,4 par 1,5 m et 1 par 1 m), il s'agirait de thermes privés dont le décor, une mosaïque à svastikas, se rapproche d'autres thermes d'Italie, privés également, et datés entre le troisième quart du II^{e} siècle et le milieu du I^{er} s. av. n. è. (Gourdiole & Landes 2002, pp. 276-277). Enfin, des meules en basalte de type pompéien, importées d'Ombrie, ont été identifiées sur ce site. Elles constituent un argument de poids, en parallèle à la forte proportion de céramique importée, en faveur d'une installation d'Italiens sur place dès la fin du II^{e} s. av. n. è. (Gourdiole & Landes 1998, p. 57-61 ; Gourdiole & Landes 2002, p. 277-278).

Ces Italiens exerçaient un contrôle sur l'exploitation qui avait lieu sur les sites proches à la même période. Des déchets miniers dans certains remblais de l'agglomération montrent la relation entre ce site et l'extraction minière. Des indices d'une présence italienne sur les sites miniers ont aussi été mis en évidence lors de fouilles à Bournac. Il s'agit de graffiti en latin sur de la céramique commune locale associée à du mobilier permettant de placer l'occupation au cours du I^{er} s. av. n. è. (Gourdiole & Landes 2002, p. 278). Le mobilier provient d'un dépotoir correspondant à un habitat proche non localisé précisément. Il indique une participation directe du personnel italien à l'exploitation minière et pas seulement un contrôle extérieur sur l'activité.

Cette présence italienne semble avoir été précédée de l'entrée en scène d'individus ibères, identifiés par des graffiti en caractères ibériques sur des céramiques de la deuxième moitié du II^e^ s. av. n. è. sur le site de Mange-Hommes (Léchelon 2011, pp. 251 et 269). Les raisons de cette présence ibère sur place ne sont pas connues. Comme l'indique B. Léchelon, on peut se trouver face à des personnes qui agissent au nom de négociants italiens, comme cela a été proposé pour les marques ibériques peintes sur amphores de Vieille-Toulouse. Une autre option est celle de travailleurs qui se déplacent pour des raisons économiques, comme cela a pu être avancé pour les Celtibères identifiés sur le site de La Loba dans le sud de l'Espagne (Léchelon 2011, pp. 269-270). Si la première option était retenue, on peut aussi penser que cette première phase de présence ibère aurait facilité l'implantation italienne à partir de la fin du II^e^ s. av. n. è.

Peu de sites miniers ont été ici étudiés dans le détail, mais les prospections et les sondages réalisés montrent que le site de Lascours, qui centralisait le contrôle de l'activité, ne centralisait pas pour autant la production du métal : plusieurs ateliers du I^er^ s. av. n. è. ont été identifiés à proximité de différentes mines (Barruol & Gourdiole 1982, p. 79 ; Léchelon 2011, pp. 248-249 et 251). Le schéma d'exploitation est donc resté dispersé malgré l'existence d'une société minière. D'autre part, G. Soricelli a proposé que la mention épigraphique *Soc(ietas) Arc(entifodinarum)*, relevée sur une tessère, ait désigné une société différente de celle utilisant la marque *soc(ietas) arg(entifodinarum) rot(enensium)*, plus couramment attestée (Soricelli 1994, pp. 238-239). Le schéma d'exploitation dispersé pourrait alors refléter le partage des ressources entre plusieurs sociétés.

En ce qui concerne les ateliers des Martys, nous avons vu plus haut que le faciès céramique indiquait une présence italienne forte, dès le deuxième quart du I^er^ s. av. n. è. et peut-être un peu avant. Le marquage de vases céramiques de production locale en caractères latins, l'approvisionnement en céramique de cuisine italique ou encore la proportion élevée de certains éléments importés (parois fines, amphores) définissent ce faciès caractéristique qui ne peut s'expliquer que par un lien très direct avec les circuits commerciaux italiens (Benquet *et al.* 2016, pp. 214-215). Comme à Lascours, des moulins pompéiens importés de la région d'Orvieto ont été identifiés dans les crassiers associés à du mobilier du I^er^ s. av. n. è., aux côtés d'autres moulins à bras de production locale (en granite) ou régionale (en basalte d'Agde)[112]. Le mobilier indigène est lui aussi présent ; il ne s'agit pas d'imaginer une implantation italienne coupée de toute relation avec la population locale. Le contrôle de la production, et donc de ses bénéfices, ne semble toutefois pas se trouver entre des mains gauloises. Le numéraire en circulation sur le site conduit à la même conclusion. Parmi les monnaies pré-augustéennes, on note l'absence presque totale de monnaies locales : ni monnaies à la croix, ni bronzes languedociens de Béziers, des *Neronken* ou des Longostalètes (Benquet *et al.* 2016, p. 234). Ce profil rappelle celui de Narbonne, comme

[112] Il avait été proposé que ces moulins aient pu servir à broyer des scories (Oliva *et al.* 1999 p. 377-379). Des analyses plus récentes conduisent à écarter cette possibilité et à confirmer qu'il s'agirait de moulins à grain (Coustures *et al.* 2016, pp. 336-337).

indiqué plus haut. Il se différencie aussi d'un site d'habitat groupé situé à quelques kilomètres au sud des Martys (Lacombe/Le Joncas, Lastours), où les monnaies locales du I^{er} s. av. n. è. sont présentes (Berdeaux - Le Brazidec & Feugère 2006, p. 26). Aux Martys, à part un exemplaire régional de petit bronze au taureau passant et un bronze de Marseille, les monnaies proviennent de Rome ou de la péninsule Ibérique. Cette circulation monétaire qui semble déconnectée du contexte régional indiquerait un contrôle de l'approvisionnement monétaire par les autorités romaines, qui va d'ailleurs être encore mieux perçu pour les phases postérieures de l'activité (Benquet *et al.* 2016, p. 235). Le nombre de monnaies, relativement élevé pour un site qui n'est pas un centre urbain important ou une place commerciale, serait aussi un indice de la présence d'ouvriers salariés sur le site (Benquet *et al.* 2016 p. 236).

Le Grand Ferrier et Montrouch ne représentent que deux ateliers dans un district qui en compte plusieurs dizaines à la même période. Certains d'entre eux étaient peut-être opérés par des entrepreneurs locaux, ainsi peut-être que les mines (ou une partie d'entre elles). Les données disponibles à l'heure actuelle ne permettent pas de se prononcer, mais tendent vers un schéma où le contrôle de Rome, direct ou indirect, était particulièrement prégnant dès la première moitié du I^{er} s. av. n. è. Au sujet de la coexistence de moulins pompéiens et de meules de production locale et régionale, on pourra noter que les moyens nécessaires pour se procurer l'un ou l'autre de ces types, comme les réseaux commerciaux à connaître, n'étaient pas les mêmes. Cela pourrait constituer un argument, certes fragile, illustrant le partage de l'exploitation entre des entrepreneurs italiens et indigènes.

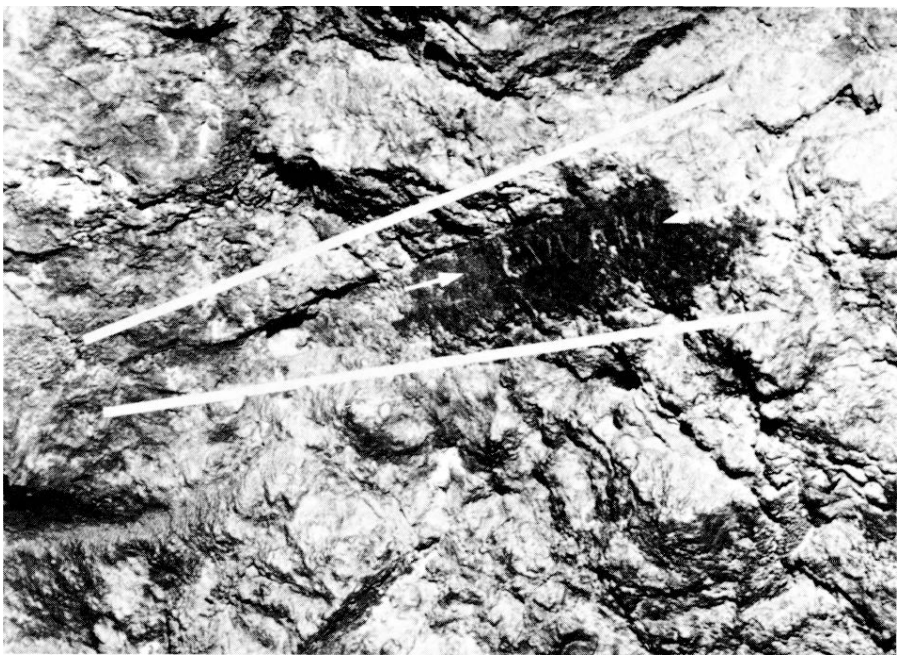


Fig. 194 : Marque *GAIUS IIII* dans la mine de Pioch-Farrus IV (Bailly-Maître *et al.* 1984, fig. 10).

Un dernier exemple de Gaule sera le cas de la mine de Pioch-Farrus IV. Deux inscriptions en latin ont été identifiées à l'intérieur du réseau, tracées chacune sur le négatif d'un coup de pointerolle (Fig. 194). La première indique le nom *Gaius* et la seconde *Aur(elianus)* ou

Aur(elius). Elles sont toutes deux suivies de quatre traits verticaux (Bailly-Maître *et al.* 1984, p. 334). L'utilisation du négatif de la pointerolle comme d'un cartouche pourrait révéler un système de comptage du minerai extrait et de suivi de l'avancement de l'exploitation. L'étude paléographique permet de dater ces inscriptions entre la fin du I^er^ s. av. n. è. et le I^er^ s. de n. è. sans plus de précision (Bailly-Maître *et al.* 1984, p. 336). L'usage du latin à cette période n'a pas les mêmes implications que dans les cas des graffiti sur céramique de Lascours ou des Martys, alors considéré comme précoce, mais ces surnoms correspondent bien à l'onomastique italienne, et non pas gauloise.

Des parallèles directs peuvent être faits avec la situation de la péninsule Ibérique, mieux connue par les sources et l'épigraphie. L'implication d'Italiens dans l'exploitation minière a été très rapide au début du II^e^ s. av. n. è. comme l'indique un texte de Diodore (*Bibliothèque Historique*, V, 36, 3), à la suite de la victoire romaine lors de la deuxième Guerre Punique. Au cours du II^e^ s. av. n. è., peu de données sont disponibles sur le fonctionnement de cette activité, les mentions épigraphiques devenant fréquentes à partir de la fin de ce siècle et surtout au I^er^ s. av. n. è. On sait cependant que l'exploitation des mines a été réglementée par Caton en -195, avec la mise en place de taxes au profit de Rome (Domergue 1990, pp. 141-142). Le régime d'exploitation devait correspondre à celui de l'*occupatio* (Mateo 2001, pp. 62-65), c'est-à-dire qu'une simple déclaration par l'exploitant auprès du gouverneur de la province et le paiement de la redevance indiquée étaient suffisants (Rico 2010, pp. 405-406 ; Orejas & Rico 2015, p. 524).

Des sociétés anonymes ayant pris pour dénomination la région dans laquelle elles se trouvent ou le nom du métal produit, comme c'est le cas à Lascours, sont connues en Sierra Morena et dans le Sud-Est de la péninsule, dès la fin du II^e^ s. av. n. è. et tout au long du suivant, certaines perdurant après la période augustéenne (Domergue 1990, pp. 259-263 ; Rico 2010, pp. 397-400). On pourra citer les exemples de la *S(ocietas) C(astulonensis)*, ayant exploité la mine de El Centenillo (Jaén) et les ateliers proches, ou encore la *societas argentariarum fodinarum Montis Ilucronensis Galena*, active dans le district de Mazarrón. Disposant de moyens financiers (et donc techniques et humains) vraisemblablement très importants, elles ont pu se lancer dans l'exploitation des secteurs situés plus à l'intérieur des terres, où la sécurité des intérêts de Rome n'est assurée que vers la fin du II^e^ s. av. n. è. (Arboledas Martínez *et al.* 2018, p. 37). La dispersion des gisements en Sierra Morena contraignait également à mobiliser des moyens plus importants car l'entreprise devait pouvoir gérer l'ensemble de la chaîne opératoire, de la prospection sur de vastes étendues à la production de métal, en passant bien sûr par l'extraction minière (Rico 2010, p. 408). La société qui était à la tête du site minier et métallurgique de La Loba autour de -100, avec un caractère italien marqué, contrôlait ainsi l'extraction de minerai et la production du métal (Domergue & Sillières 2002, p 388). Elle avait les moyens de salarier des ouvriers et avait probablement des relations avec les élites de la ville de Castulo, qui pouvaient lui fournir du personnel spécialisé dans l'exploitation minière et probablement un relai local pour la production monétaire nécessaire au paiement des salaires (Chaves Tristán & Otero Morán

2002, p. 208). Des entreprises individuelles sont connues dans ce secteur à partir de la fin du I^er^ s. av. n. è.

D'un autre côté, des entreprises qui pouvaient être de plus petite envergure, individuelles ou réunissant quelques associés, sont attestées dans le secteur de Carthagène dès la fin du II^e^ s. av. n. è. par l'épigraphie (Domergue 1990, pp. 258-259 et 264-268). Le contexte de l'installation était différent. Les mines de ce secteur étaient déjà exploitées par les Carthaginois, selon les indications de Diodore de Sicile (*Bibliothèque historique*, V, 38, 4), et ces territoires ont été rapidement sécurisés pour les Romains. Des négociants Italiens ont alors rapidement pu reprendre les exploitations déjà en activité, en profitant du système déjà en place, sans avoir à connaître eux-mêmes le monde de la mine ou de la métallurgie (Rico 2010, p. 407-408). Une autre particularité de cette forme d'exploitation par des sociétés individuelles est le morcellement de l'activité en exploitations nombreuses, illustré par la variété des timbres identifiés sur les lingots provenant de ce district. Ce morcellement se retrouve aussi dans une division de l'activité au long de la chaîne opératoire entre mineurs et métallurgistes. Des ateliers de métallurgie primaire peuvent se trouver au sein de la zone minière (par exemple, le site du Cabezo del Pino, La Unión), mais les plus importants se trouvaient à l'écart des mines, proches de la côte et du port de Carthagène, qui permettait de diffuser la production (Rico 2010, pp. 403-404 ; Antolinos Marín & Rico 2012). Cette répartition de l'exploitation entre une multitude d'acteurs ressemble plus à ce qui a été observé dans la Montagne Noire pour les exploitations sidérurgiques. Le manque de données sur les mines ne permet pas de savoir si l'on avait aussi une segmentation entre mine et métallurgie ou si certains entrepreneurs contrôlaient toute la chaîne opératoire.

L'installation d'une société anonyme à Lascours pourrait s'expliquer, comme dans le cas de la Sierra Morena, par le contexte plus difficile auquel auraient dû faire face les entrepreneurs italiens. En effet, le district minier de la haute vallée de l'Orb se trouve à la limite du territoire des Rutènes indépendants de la province de Transalpine (Pailler 2011a, p. 210 et fig. 1). Si l'installation d'Italiens a été possible dès la fin du II^e^ s. av. n. è., c'est que ce territoire était effectivement rattaché à la province, ces modes d'exploitation par des sociétés s'appliquant à l'*ager publicus* romain (Gourdiole & Landes 2002, p. 280 ; Orejas & Rico 2015, p. 524). Mais sa localisation dans un secteur reculé, en limite d'un territoire soumis à Rome depuis peu, pouvait rendre nécessaires des moyens plus importants pour asseoir le contrôle d'exploitations qui avaient démarré dans un contexte d'indépendance gauloise[113]. Dans la Montagne Noire, les ateliers fouillés aux Martys voient leur activité démarrer quelques décennies plus tard : les traces sont ténues avant -80, l'occupation principale démarre entre -80 et -70. Au cours des trente à quarante ans écoulés depuis le démarrage de l'occupation de Lascours, la présence romaine s'est renforcée, le démembrement des Tectosages a conduit à affirmer un peu plus l'autorité de Rome et à pacifier les territoires provinciaux. D'autre part, on ne se situe pas, contrairement au cas de la Sierra Morena, à des centaines de kilomètres à l'intérieur des terres par rapport au point

[113] On rappelle que les mines du Mont Faulat ont livré du mobilier datant du milieu du II^e^ s. av. n. è.

d'ancrage romain que constitue la colonie de Narbonne. Il était alors plus facile, pour des exploitants individuels - ou en petite société - de s'investir dans la production sidérurgique du bassin de la Dure. Le nombre de crassiers anciens aux dimensions modestes et le fait que deux ateliers à l'organisation différente se trouvent à faible distance l'un de l'autre va dans ce sens. Si la déconnexion entre la gestion des ateliers et des mines s'y ajoutait, cela serait également cohérent avec des petites sociétés n'ayant pas les moyens de gérer l'exploitation de tout un district, pour les phases les plus précoces.

II. C. 3. Les arguments en faveur d'un maintien dans l'orbite gauloise

Pour les mines hispaniques, il est admis que l'aristocratie ibère a pris part à l'exploitation des ressources minières aux côtés de ces entrepreneurs Italiens, bien que les témoignages en soient moins nombreux (Rico 2010, p. 395 ; Arboledas Martínez *et al.* 2018, p. 41). Dans les districts miniers du Sud-Ouest, la question de l'identité des exploitants se pose en particulier pour ceux qui se trouvent dans les limites de la Transalpine, actifs avant le milieu du I^{er} s. av. n. è. Le manque de fouille importante sur les ateliers ou les habitats miniers (hormis les exemples présentés ci-dessus) et l'absence de mentions épigraphiques limite les possibilités d'interprétation. Force est tout de même de constater le maintien au moins jusqu'à la conquête césarienne, si ce n'est jusqu'à Auguste, des structures et réseaux indigènes. Les sites qui jalonnent la voie entre Narbonne et Toulouse en sont des exemples (Passelac 2002b ; Hiriart 2015, p. 303). En dehors de cet axe majeur et à l'écart du littoral méditerranéen, les sites gardent d'ailleurs un profil indigène. Nous avons aussi indiqué que les techniques minières observées dans les mines à partir du II^{e} s. av. n. è. ne présentaient pas de caractéristiques foncièrement différentes des exploitations antérieures. La continuité dans les techniques ou leur évolution suite à une pratique longue et continue est ainsi montrée ; elle ne requiert pas d'intervention extérieure. Cependant, cette même continuité technique a été remarquée dans le district ibérique de Baños de la Encina, alors que la prise en main par des Italiens est connue par l'épigraphie (Arboledas Martínez *et al.* 2018, p. 37). L'argument de la technique est donc à utiliser avec précaution.

Un autre élément qui peut montrer que les populations locales ont gardé un contrôle sur les mines et leur production se trouve dans la frappe de monnaies indigènes. Pour les émissions antérieures à la création de la Transalpine et aux interventions romaines sur place, la question du contrôle des mines ne se pose pas. Mais la poursuite des émissions jusqu'à la période césarienne et ponctuellement jusqu'à la période augustéenne implique un approvisionnement en métaux monétaires (argent puis cuivre et argent) pour les élites locales, qui pouvait provenir de sources variées. Même si on ne peut pas faire de lien direct entre la présence de mines sur un territoire et la frappe monétaire par les autorités qui en disposent (Parisot-Sillon & Sarah 2018, p. 158), posséder un accès aux ressources primaires pouvait constituer un avantage. L'analyse isotopique de deux monnaies aquitaines du type Beyrie l'a bien montré, tout comme les analyses des éléments traces sur des deniers « de Narbonne », entre autres (Girard *et al.* 2010, pp. 239-240 ; Parisot-Sillon & Sarah 2018,

p. 156). Pour la part de métal qui pouvait provenir plus directement des mines, plusieurs sites peuvent y être candidats. Les mines du Montaigu ont pu produire de l'argent à partir de galène argentifère, ainsi que celles des Abères ou de l'Argenterie. Du cuivre argentifère était extrait dans le Massif de l'Arize, aux Barrencs, et dans les Corbières. Pour ce dernier district, le polymétallisme incluait également des minéralisations à galène argentifère. Bien que la chaîne opératoire permettant d'obtenir l'argent des minéralisations cuprifères ne soit pas bien connue, l'exemple de l'atelier du Camp del Oliu et les indices obtenus à Sourre, Berni et Les Atiels indiquent que le procédé pouvait être maîtrisé au moins au I^{er} s. av. n. è. et probablement avant, comme présenté au chapitre précédent. Les districts à cuivre argentifère ont donc pu alimenter les ateliers monétaires utilisant l'argent ou le bronze.

Les centres émetteurs des différentes monnaies ne sont pas toujours connus avec certitude et les études analytiques comparant les signatures isotopiques des minerais régionaux aux monnaies sont assez rares. Le lien entre ces sites miniers et les ateliers régionaux ne peut donc être assuré, mais il peut être proposé. Par exemple, certaines séries des monnaies à la croix, en argent, ont été émises jusqu'au milieu du I^{er} s. av. n. è., comme la série cubiste (Hiriart 2016, p. 152). Si la classe principale, qui se retrouve tout le long de l'axe Aude-Garonne, ne peut pas être attribuée à un seul centre émetteur, les classes secondaires, localisées dans l'aire géographique correspondant au domaine tectosage, représentent plus facilement des émissions de ce groupe ethnique (Hiriart 2016, p. 156). Cela montrerait que même après les opérations militaires de la fin du II^{e} siècle et la prise en main italienne croissante en Transalpine suite aux opérations de Pompée, l'aristocratie locale a pu garder une forme de contrôle sur certaines mines qui produisaient de l'argent. Dans le cas des classes secondaires de la série cubiste des monnaies à la croix, les mines des Pyrénées Ariégeoises et peut-être de la Montagne Noire ont pu alimenter ces frappes.

Un phénomène similaire peut être observé dans le Languedoc Occidental, avec des émissions de monnaies en bronze depuis le milieu du II^{e} s. av. n. è. au moins (Feugère & Py 2011, p. 297). Plusieurs centres émetteurs ont été identifiés, tous inclus dans la Transalpine à partir de sa fondation : Béziers, Ensérune, Narbonne/Montlaurès et *Ruscino*/zone roussillonnaise. Les émissions perdurent jusqu'à -75 pour la plupart de ces monnaies, mais des petits bronzes sont encore émis jusqu'à -25 par les Longostalètes (Feugère & Py 2011, p. 305). Les ressources régionales en cuivre ont pu avoir un rôle dans l'approvisionnement en métal pour ces émissions, au moins jusqu'à la prise en main de la province sous le mandat de Fonteius lors des Guerres Sertoriennes, au vu des chronologies des monnaies. Des émissions en argent sont aussi connues dans ce secteur. Il s'agit de monnaies de petite taille, qualifiées d'oboles, dont la chronologie couvre la fin du III^{e} s. av. n. è. et tout le II^{e} siècle pour les ensembles de Béziers et des *Neronken* (Feugère & Py 2011, pp. 301-302, 306-308). Des oboles de ce type sont émises dans le Roussillon entre le milieu du II^{e} s. av. n. è. et le premier quart du I^{er} siècle. (Feugère & Py 2011, pp. 315-316). Les mines des Corbières ont une chronologie et une situation géographique qui pourrait correspondre à ces émissions.

Dans le même ordre d'idées, l'étude menée sur les monnaies aquitaines de type Beyrie, dont la diffusion, réduite, est centrée autour de l'*oppidum* des *Benarni* (Lescar), a conclu à la possibilité d'un approvisionnement partiel auprès de l'atelier d'Hourcade, distant d'environ 40 km (Callegarin 2007, pp. 223-225 ; Girard *et al.* 2010, p. 240). Le contrôle de la production de cet atelier par des populations aquitaines est tout à fait logique jusqu'à la conquête césarienne, puisque le district, bien à l'ouest de la Garonne, reste en dehors de la Transalpine. Le fonctionnement de l'atelier d'Hourcade continue cependant tout au long du I^er^ s. av. n. è. et même un peu après, tout comme l'activité de la mine proche de Palouma. S'il n'est pas possible d'affirmer que les émissions monétaires des *Benarni* continuent après les opérations de César (bien qu'elles circulent encore), on connaît d'autres monnaies aquitaines émises dans la seconde moitié du I^er^ s. av. n. è. : celles en argent et bronze argenté au nom d'*Adietuanus rex*, un chef sotiate (Callegarin *et al.* 2013, p. 207). Il n'est pas invraisemblable d'imaginer que des mines pyrénéennes comme celles du Montaigu aient pu fournir de l'argent à cet atelier, si elles étaient restées aux mains des populations locales. Un approvisionnement en métal depuis le Massif Central avait aussi été proposé pour les émissions anciennes. C'est une possibilité toujours ouverte pour les périodes plus tardives.

Les Rutènes sont aussi un peuple qui a frappé ses propres monnaies entre le début du II^e^ s. av. n. è. et jusqu'au milieu du I^er^ s. av. n. è. Certaines séries qui leur sont attribuées sont caractérisées par la légende VIIRIA, parfois associée à d'autres marques (un anthroponyme, d'autres non interprétées). Cette légende pourrait correspondre au nom d'un groupe ethnique (*Veriani ou Veriati* ?) qui ne serait connu que par la numismatique et dont le territoire serait situé dans l'aire rutène rattachée à la Transalpine, dans la moyenne vallée de l'Hérault (Feugère & Py 2011, pp. 325-326 et 330). La chronologie de l'ensemble à la marque VIIRIA s'étend principalement entre -100 et -50, mais pourrait démarrer en -125 et se prolonger jusqu'en -25 pour certaines émissions (Feugère & Py 2011, pp. 3331-334). L'annexion d'une partie du territoire Rutène à la Transalpine n'est pas bien datée mais la période des Guerres Sertoriennes semble admise par plusieurs chercheurs (Gourdiole & Landes 2002, p. 280 ; Feugère & Py 2011, p. 323 ; Pailler 2011b, p. 94)[114]. D'autre part, on a vu qu'une société italienne importante s'était installée à Lascours et contrôlait les mines de ce secteur dès la fin du II^e^ s. av. n. è. Dans ce cas, la question de l'origine de l'approvisionnement en argent de ces émissions se pose. Or, on ne connaît pas l'ampleur du territoire minier contrôlé par la société italienne. Les mines du Mont Faulat et des environs proches peuvent facilement rentrer dans ce périmètre, mais peut-être en allait-il différemment pour celles de Bouco-Payrol, Labaume, ou même Cénomes, un peu plus éloignées vers l'ouest. Sur cet aspect, on peut se tourner de nouveau vers l'exemple ibérique du site de La Loba, exploité lui aussi par une société italienne au tournant des II^e^ et I^er^ s. av. n. è. Les auteurs de l'étude des monnaies identifiées sur le site proposent que la société italienne ait eu des relations étroites avec l'aristocratie de la ville de Castulo, qui pouvait se

[114] Au contraire, P. Gruat soutient que cette séparation aurait eu lieu dès la création de la province de Transalpine (Gruat & Izac-Imbert 2002, p. 84).

prévaloir d'une expérience dans l'exploitation de gisements miniers et fournir du personnel qualifié. Cette ville émettait aussi sa propre monnaie à cette période. Une forme d'implication des élites locales dans l'exploitation aurait pu leur assurer un approvisionnement en métal, utilisé pour frapper des monnaies locales qui ont servi au paiement des salaires des ouvriers ibériques (Chaves Tristán & Otero Morán 2002, p. 208). On pourrait donc aussi imaginer une forme d'entente entre les entrepreneurs italiens résidant à Lascours et les élites Rutènes impliquées de longue date dans l'exploitation des gisements locaux. R. Gourdiole et C. Landes (2002, p. 280) proposent d'ailleurs que ces mines aient constitué le trésor rutène, *aerarium rutenorum*, cité par Cicéron (*Pro Fonteio*, 3, 4) en contrepoint au trésor du peuple romain (Pailler 2011b, p. 90).

Tout cela reste bien sûr au stade de l'hypothèse et de la proposition, mais nous montre que les situations ont pu être variées. Les décennies comprises entre la fondation de la colonie de Narbonne et la conquête césarienne demeurent une période de transition au cours de laquelle des solutions originales ont pu se mettre en place. Les données disponibles, encore ténues sur ces questions, ne permettent pas d'être affirmatif.

II. C. 4. Le cas du district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize

Dans les mines de cuivre argentifère de l'Arize, l'activité est attestée depuis les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. La poursuite au cours du II^e^ siècle est mal cernée mais probable aux Atiels et peut-être à Hautech et au Goutil. L'exploitation de ces mines s'est donc construite dans un cadre indigène. L'expertise minière est disponible sur place ; le contrôle de la production est organisé par des élites locales, sans doute intégrées dans la confédération tectosage jusqu'à son démantèlement à la fin du II^e^ s. av. n. è. Les circuits d'échanges assurant l'approvisionnement des mineurs et la diffusion de la production ont été structurés sans l'intervention de Rome : on ne se trouve ni sur la route Narbonne-Toulouse, ni sur la voie vers les Pyrénées entre *Lugdunum Convenarum* et Toulouse (Fig. 195), qui prend toute son importance après la fondation de cette ville par Pompée.

Pour la période comprise entre la fin du II^e^ siècle et le I^er^ s. av. n. è., plusieurs sites d'habitat sont connus dans l'espace compris entre les Pyrénées et le Toulousain, à l'est de la Garonne (Fig. 195). Les plus proches du district minier sont ceux de St-Barthélémy (Durban-sur-Arize), La Tour d'Opio (St-Jean-de-Verges) et St-Girons. St-Barthélémy et La Tour d'Opio sont des habitats de hauteur. Le premier se trouve sur un éperon qui domine l'Arize, réoccupé au Moyen Âge (Mirouse 2009, pp. 248-249). Des sondages réalisés sur ce site ont livré du mobilier résiduel qui peut dater de la fin du II^e^ siècle et du I^er^ s. av. n. è. (amphores Dr 1, campanienne A). Une monnaie à la croix a également été identifiée sur le site (Abila 1994, p. 15). La structure de l'habitat n'est pas connue mais une enceinte en pierres ceinture la partie sommitale de l'éperon, délimitant un espace de près de 9 ha. Non datée, elle s'apparente aux fortifications des sites protohistoriques et pourrait correspondre à l'occupation du I^er^ s. av. n. è. (Fig. 196). Il est possible que la production du district cuprifère ait été contrôlée depuis cet oppidum à la période tardo-républicaine. Le site de la Tour

d'Opio a pour sa part été fouillé lors de plusieurs campagnes, mais l'arasement extrême des structures ne permet pas de le caractériser correctement (Séguier 1987). Le mobilier présent sur le site permet de dater une occupation entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et la fin du siècle suivant, après une première fréquentation diffuse au premier âge du Fer (Carozza 1987 ; Séguier 1987). Sept monnaies ont été trouvées sur ce site. Trois ont pu être identifiées : il s'agit d'un bronze de Marseille au taureau cornupète, d'une monnaie à la croix avec un dauphin au droit et d'un as de Janus Bifrons à légende ROMA (Carozza 1987). Le corpus est faible mais ne laisse pas apparaître de relation particulière avec Rome à date haute. À St-Girons, les vestiges de la période sont ténus. Des tessons d'amphores ont été trouvés autour de la confluence du Salat et du Baup. Des amphores entières de type Dr 1A et 1C ont aussi été trouvées dans la cave d'une maison, comblant sans doute un ancien fossé (Dieulafait 2014). Une zone de 250 m de long pour 150 m de large livre des vestiges correspondant à un habitat de plaine.

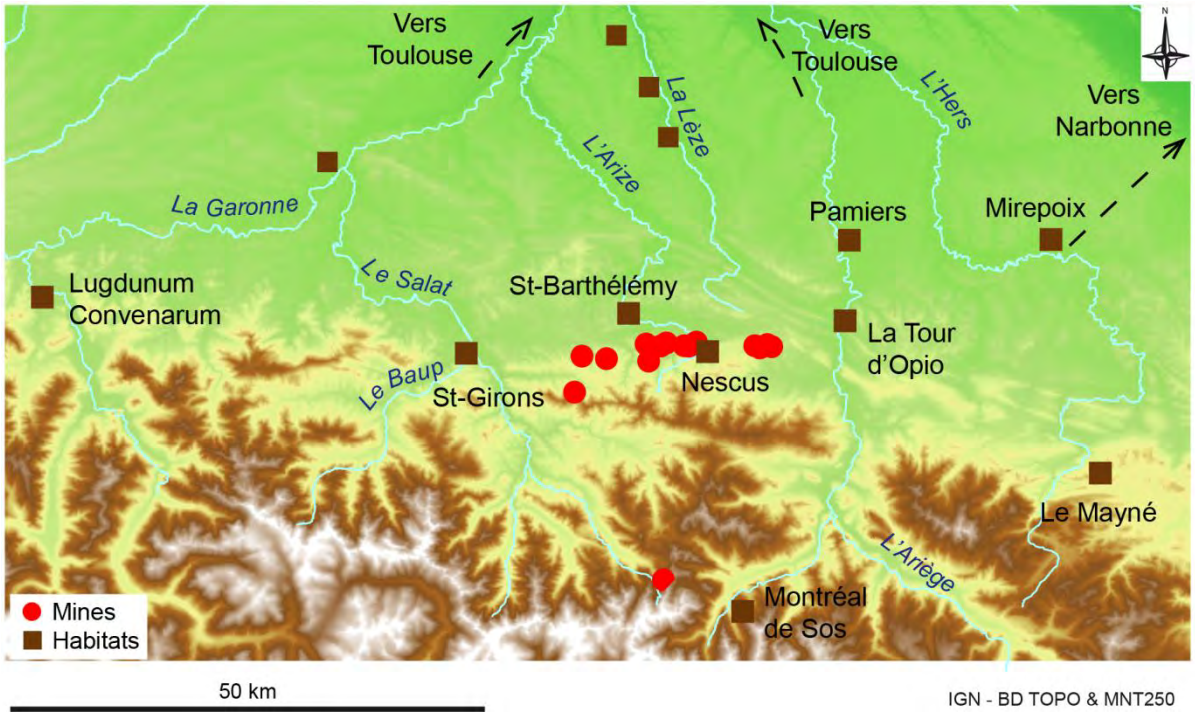
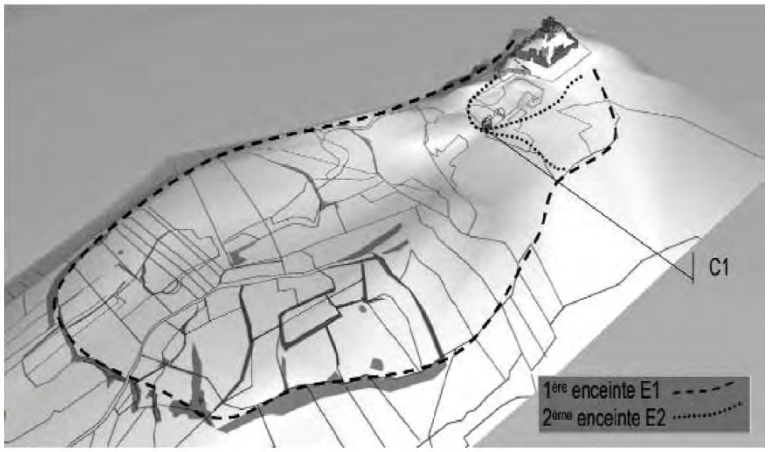


Fig. 195 : Le district à cuivre argentifère de l'Arize dans son contexte entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è.



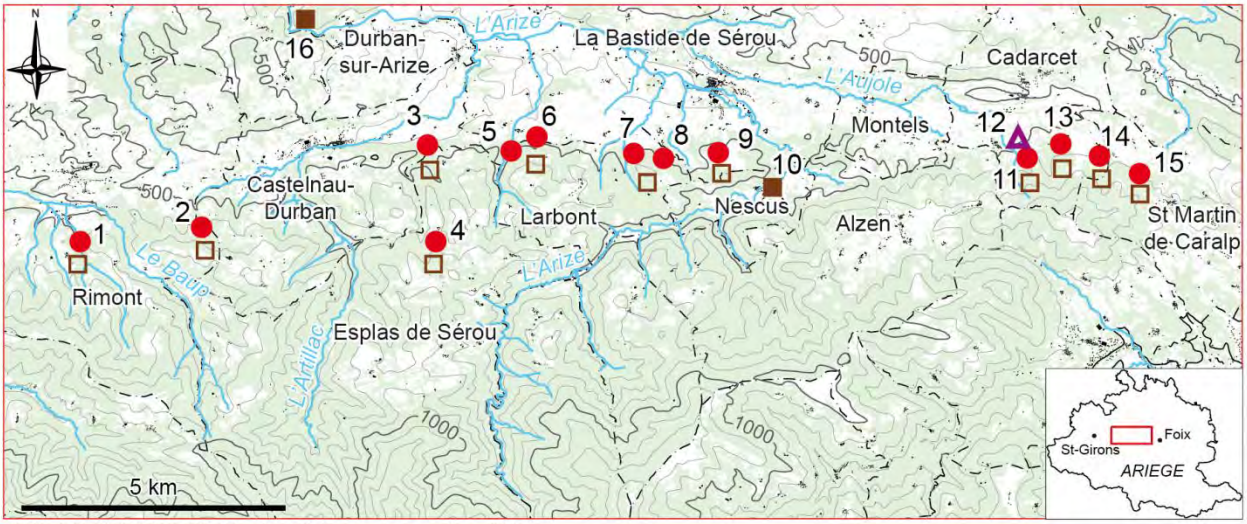
Enceinte protohistorique E1

Fig. 196 : Enceinte protohistorique de St-Barthélémy (cliché E. Meunier ; relevé Mirouse 2009, fig. 3).

Le mobilier retrouvé sur ces sites montre leur inclusion dans les réseaux commerciaux de la période. Les céramiques communes de la Tour d'Opio montrent l'ancrage local et régional des habitants de ce site, qui importent du mobilier qui n'a rien de particulier dans cette région à cette période (amphores Dr 1A et B, Campanienne A et B, pâtes claires italiques ou ibériques, amphores Pascual 1 pour la fin de la période). Les sites de Mirepoix, Pamiers ou encore Le Mayné (Bélesta), occupés eux aussi entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et le I^{er} s. av. n. è., permettent de suivre la diffusion des produits importés. Les relations avec la plaine toulousaine et le Languedoc Occidental sont bien attestées, suivant des circuits secondaires depuis l'axe Aude-Garonne (Hygounet & Rancoule 1983, p. 6 ; Sablayrolles 1996, p. 39). Le *castrum* médiéval de Montréal-de-Sos, situé plus à l'intérieur de la chaîne pyrénéenne, a livré du mobilier similaire (amphores gréco-italiques et Dr 1A, campanienne A et B, céramique peinte ibérique), mais en position secondaire après les remaniements antiques et surtout médiévaux (Guillot 2017, p. 76 ; Verrier à paraître). Si l'approvisionnement en mobilier importé était assuré dans des points en apparence aussi reculés, leur présence sur les sites du front nord du Massif de l'Arize, bien plus accessibles, n'est pas en elle-même surprenante.

L'habitat de Nescus, au cœur du district minier, a fait l'objet de sondages sous la direction de C. Dubois en 1992. Ces sondages, d'ampleur réduite (moins de 20 m^2 au total), n'ont pas révélé de structures d'habitation à proprement parler mais des fosses aux formes irrégulières dans lesquelles du mobilier domestique détritique a été évacué. Le mobilier, abondant, était composé en très grande majorité d'amphores Dr 1A (non comptabilisées). Quelques tessons de campanienne A sont aussi présents, ainsi que de la céramique commune à cuisson réductrice, tournée et non tournée (urnes, jattes tronconiques dont une à bord en bourrelet interne, faisselle), et quelques individus de céramique commune à pâte rose (Dubois & Métailié 1992, pp. 72-82). Lors de notre prospection sur ce site, nous avons pu identifier, outre des Dr 1A, une lèvre de type gréco-italique tardive, ce qui tendrait à faire remonter la chronologie à la fin du II^{e} s. av. n. è. Le mobilier, visible dans les parcelles

labourées, est très fragmenté. L'extension des tessons d'amphores s'étend sur environ 3 ha. Un fragment de bracelet en verre bleu à section en D avec des inclusions de perles en pâte de verre jaune donne une chronologie de la première moitié du I^er^ s. av. n. è. Une monnaie à la légende en ibère des *Neronken* au cheval marin a aussi été trouvée dans le comblement de l'une des fosses. La chronologie de cette monnaie, dont l'*oppidum* de Montlaurès peut être le centre émetteur, se situe dans le premier tiers du I^er^ s. av. n. è. L'absence d'amphores Dr 1B et la chronologie du mobilier datant indiqueraient ainsi que le site de Nescus n'a pas perduré au-delà du milieu du I^er^ s. av. n. è.



IGN - BD ALTI & BD TOPO - équidistance des courbes 100 m

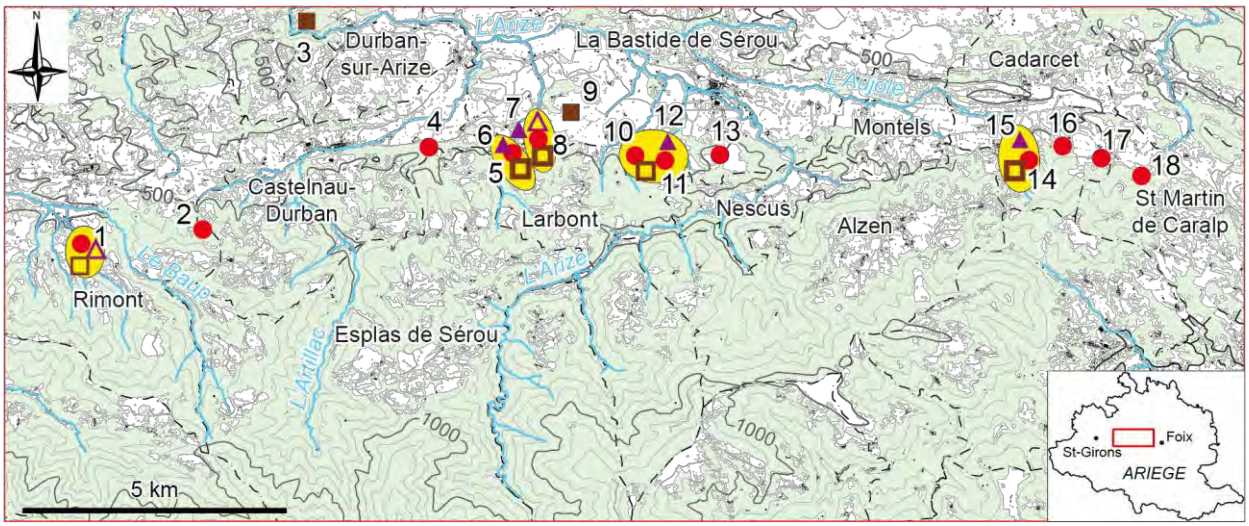
- Mine fin II^e^ - milieu I^er^ s. av. n. è.
- Habitat fin II^e^ - milieu I^er^ s. av. n. è.
- Habitat potentiel - localisation inconnue
- Atelier fin II^e^ - milieu I^er^ s. av. n. è. (?)
- Limite de commune

1: La Calotte
2: Douach
3: La Coustalade
4: Rougé
5: Les Atiels
6: Le Goutil
7: Hautech
8: La Tuilerie
9: Lagarde
10: Nescus - habitat
11: Le Coffre
12: Berni - atelier
13: Moutou
14: Gayet
15: Matet
16: St Barthélémy - habitat

Fig. 197 : Le district à cuivre argentifère de l'arize entre la fin du II^e^ et le milieu du I^er^ s. av. n. è.

À l'échelle du district, pour la période allant de la fin du II^e^ s. av. n. è. au milieu du I^er^ s. av. n. è. (Fig. 197), on connaît donc un habitat central au cœur de l'espace minier, Nescus, qui pouvait héberger la population de mineurs et leurs familles ou alors un groupe se consacrant à la production agricole pour nourrir les mineurs. Aucun élément lié à l'activité minière n'a en effet été trouvé dans le comblement des fosses de Nescus. Un habitat de hauteur peut-être fortifié, St-Barthélémy, pouvait abriter le siège de l'autorité qui contrôlait l'exploitation. Il n'est pas exclu que d'autres habitats aient existé plus près des sites miniers. Les tessons d'amphores ou de campanienne A identifiés dans les mines ou près des entrées correspondent en effet à du mobilier domestique. Ce mobilier se retrouve dans les mines lorsque les haldes, où les amphores vides et la vaisselle cassée ont été jetées, sont repoussées dans les travaux. L'exemple du Goutil est révélateur à ce sujet : le mobilier abondant provenant des sondages montre que les tessons sont mêlés aux haldes. Ils se sont retrouvés principalement dans le réseau Est, largement ouvert au jour à l'origine, lorsque les

entrées ont été volontairement rebouchées. Habitat secondaire où se logeaient les mineurs lors de campagnes d'extraction ou habitat permanent de petits groupes plus réduits consacrés uniquement à la mine : les données sont trop ponctuelles pour se prononcer. En ce qui concerne les ateliers, seul celui de Berni pourrait avoir fonctionné au cours de la première moitié du I^er^ s. av. n. è.



IGN - BD ALTI & BD TOPO - équidistance des courbes 100 m

- Mine seconde moitié I^er^ s. av. n. è.
- Mine seconde moitié I^er^ s. av. n. è. (?)
- Atelier seconde moitié I^er^ s. av. n. è.
- Atelier potentiel - localisation inconnue
- Habitat seconde moitié I^er^ s. av. n. è.
- Habitat restitué
- Unités de production autonomes
- Limite de commune

1: La Calotte
2: Douach
3: St Barthélémy - habitat
4: La Coustalade
5: Les Atiels - mine
6: Les Atiels - atelier Cu
7: Les Atiels - atelier Fe
8: Le Goutil
9: Bugnas - habitat
10: Hautech
11: La Tuilerie
12: Sourre - atelier
13: Lagarde
14: Le Coffre
15: Berni - atelier
16: Moutou
17: Gayet
18: Matet

Fig. 198 : Le district à cuivre argentifère de l'arize entre le milieu du I^er^ s. av. n. è. et la période augustéenne.

Autour du milieu du I^er^ s. av. n. è., l'habitat de Nescus semble abandonné. Celui de Bugnas pourrait lui succéder. Connu uniquement par des prospections, le mobilier, associant amphores italiques et de Tarraconaise (Pascual 1 notamment), est cohérent avec une occupation dans cette seconde moitié du I^er^ s. av. n. è. qui se prolonge au début du siècle suivant. Le site de St-Barthélémy est quant à lui toujours occupé. Pour les mines, celle de Rougé n'est probablement pas active. Nous avons vu que seule une tentative de reprise ponctuelle avait pu avoir lieu après l'exploitation des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. et les tessons de campanienne A associés aux tessons de Dr 1A incitent à la placer avant le milieu du I^er^ siècle. Pour les mines dont le souterrain n'est plus accessible, le mobilier peut correspondre à la seconde moitié du I^er^ siècle, mais il est assez peu probable qu'elles aient perduré jusqu'à la période augustéenne. De fait, les éléments associés à la période augustéenne proviennent, outre l'habitat de Bugnas, des ateliers de métallurgie primaire. Car on connaît désormais trois ateliers de traitement du cuivre gris qui ont fonctionné entre le milieu du I^er^ s. av. n. è. et l'époque augustéenne : celui des Atiels, de Berni et de Sourre. Des scories cuivreuses identifiées dans les sondages au pied de la mine du Goutil laissent à penser qu'un atelier

fonctionnait probablement avec cette mine également. La scorie isolée recueillie avec la concentration de tessons d'amphores dans un niveau cendreux près de la mine de La Calotte pourrait être un autre indice similaire. La grande concentration de mobilier domestique recueilli en prospection au sud-ouest de la mine du Coffre, dans les niveaux d'abandon de l'atelier de traitement du cuivre gris des Atiels, ou encore mêlé aux haldes du Goutil nous conduisent à restituer des habitats de mineurs sur ces sites. On se trouverait alors face à un schéma associant mine, atelier et sans doute habitat dans des petites unités autonomes sur toute la chaîne opératoire (Fig. 198).

L'atelier de réduction du fer du hameau des Atiels a lui aussi fonctionné entre le milieu du I^{er} s. av. n. è. et la période augustéenne. Et sa présence nous amène à reconsidérer les secteurs exploités entièrement à l'outil dans les mines adjacentes du Goutil et des Atiels. Nous avions vu que l'utilisation préférentielle des outils plutôt que du feu pour l'abattage ne correspondait pas aux phases les plus anciennes de l'exploitation. Cet atelier plutôt tardif de production de fer pourrait trouver sa raison d'être dans la fabrication de l'outillage nécessaire aux mineurs du Goutil et/ou des Atiels. Cela nous amène à poser la question de la raison de ce changement de technique d'abattage dominante. Plusieurs explications sont possibles. La première correspondrait à une dureté moindre de la roche. Cela semble difficile à admettre au Goutil, où l'encaissant ne varie pas contrairement aux techniques employées. Pour les Atiels, la faible extension des travaux préservés ne permet pas de savoir si le feu a été utilisé ailleurs. Les difficultés à assurer un aérage suffisant avec l'approfondissement des chantiers pourrait être un autre critère. Les nombreuses ouvertures du réseau du Goutil permettaient d'éviter ce problème. Pour les Atiels, il est vrai que la profondeur des travaux anciens accessibles est plus importante. Les deux puits qui rejoignent ce secteur ne sont pas datés. Il y a donc une possibilité qu'ils aient pu servir à l'aérage s'ils sont antiques, mais s'ils sont plus récents, le problème de l'aérage pouvait être réel. L'épuisement des ressources boisées serait une autre explication à ce changement. C'est une possibilité, mais qui sera difficile à démontrer. On imagine d'ailleurs mal que l'ensemble du Massif de l'Arize ait pu être déboisé par l'activité minière à cette époque. Une dernière option est celle qui a été proposée par B. Léchelon à propos des mines de Bouco Payrol et Cénomes : le passage de l'ouverture au feu à l'ouverture à l'outil serait lié à un accès restreint aux ressources boisées pour les exploitants miniers, qui auraient été en quelque sorte contraints de préférer les outils. Pour savoir si cette proposition est recevable en ce qui concerne l'exploitation des mines de cuivre argentifère de l'Arize, il faut s'intéresser à ce que l'organisation du territoire peut nous révéler sur les modalités d'exploitation de ce district.

Pour la période allant de la fin du II^{e} s. av. n. è. au milieu du I^{er} s. av. n. è., les données disponibles iraient dans le sens d'un district dont l'exploitation reste à la charge des populations locales. Aucune rupture majeure n'est visible dans la façon d'exploiter les gisements, et le mobilier lié aux habitats, même si les données sont très limitées, n'indique en rien l'insertion dans des circuits privilégiés venant de l'Italie. On peut donc supposer que l'exploitation des mines était organisée comme elle l'avait été depuis les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è.,

en incluant l'approvisionnement en bois depuis les forêts environnantes, qui pouvaient être considérées comme faisant partie du domaine minier. Que l'exploitation soit restée aux mains des populations locales au début du I^{er} s. av. n. è. n'exclut pas, par ailleurs, qu'elle ait été soumise à des taxes par les représentants de l'administration romaine de la province, dans le cadre d'un système peut-être similaire à celui mis en place en péninsule Ibérique.

Les petites unités autonomes identifiées à partir du milieu du I^{er} s. av. n. è. et jusqu'à la période augustéenne rappellent, quant à elles, le schéma d'exploitation par des entrepreneurs privés décrit pour le district de Carthagène et probable dans la Montagne Noire pour l'exploitation du fer. Si la présence d'Italiens est attestée dans ces deux districts, les données manquent pour l'assurer pour le Massif de l'Arize. Le contexte historique régional y est cependant favorable, et ce d'autant que ce district est facile d'accès depuis les zones où la prise en main romaine est bien attestée (Toulousain, vallée de la Garonne, axe Aude-Garonne). Cette organisation par petites unités juxtaposées semble correspondre également à la production de fer des Corbières, au moins pour la première moitié de ce siècle, et peut-être à celle du Canigou. La présence d'Italiens dans ces deux derniers secteurs est assez probable de par les relations privilégiées entretenues avec l'aire catalane, conquise par Rome depuis la fin du III^{e} s. av. n. è.

D'autre part, on sait que durant les Guerres Sertoriennes le territoire de la Transalpine a été sollicité pour répondre aux besoins de l'armée de Pompée, sous l'autorité de Fonteius (entre -74 et -72). Cet épisode a aussi contribué à la mise en place de l'administration romaine sur ce territoire provincial, ce qui a pu entraîner des changements dans la propriété du sol. Les zones minières, fournissant des ressources stratégiques, ont alors pu être incluses dans l'*ager publicus*. Si tel a été le cas pour le district à cuivre argentifère de l'Arize, il est possible que l'accès aux ressources forestières environnantes ait en conséquence été limité pour les exploitants miniers. D'autre part, si l'on a désormais affaire à des entrepreneurs privés italiens, on peut aussi se poser la question de l'évolution des moyens consacrés à l'exploitation. Si la mine était le cœur de leur activité, l'emploi de personnel pour le bûcheronnage nécessaire à l'approvisionnement des bûchers d'abattage pouvait leur paraître moins pertinent.

Il faut reconnaître que ces hypothèses basées sur l'organisation du territoire, qui reste tout de même relativement mal connue, sont assez fragiles. La poursuite des recherches permettra de préciser les choses et de faire évoluer les interprétations. Pour l'heure, on peut envisager que le passage à l'utilisation préférentielle de l'outil dans le district à cuivre argentifère de l'Arize soit en relation avec plusieurs facteurs, faisant intervenir un changement dans la possession du territoire minier mais aussi des choix différents dans la façon de gérer l'exploitation. De même, il n'est pas impossible que les exploitants locaux aient eu les moyens de se maintenir à la tête de certains sites, malgré l'affirmation croissante du contrôle romain sur la province de Transalpine. En poussant la démonstration un peu plus (trop ?) loin, on pourrait proposer que l'absence de stigmates d'abattage à l'outil dans les mines d'Hautech, qui ont dû alimenter le crassier augustéen de Sourre, soit un

indice du maintien d'exploitants d'origine locale. Impliqués de longue date dans cette activité, ils auraient pu consolider leur accès aux ressources boisées et/ou être moins enclins à changer de technique d'abattage. Tout cela restera au stade de la supposition tant que les habitats correspondants, susceptibles d'apporter des précisions sur l'identité des exploitants, ne seront pas fouillés.

Il reste à signaler que la date du milieu du I^{er} s. av. n. è. proposée pour le changement d'organisation du territoire minier est à considérer avec une certaine souplesse. Les éléments chronologiques disponibles ne sont pas très précis. Le mobilier de l'atelier de Berni provient majoritairement des niveaux supérieurs des sondages, remaniés par les labours. Pour l'atelier de cuivre des Atiels, le mobilier est à rattacher aux derniers niveaux de l'atelier ou à des US correspondant à des glissements de terrain en haut de la stratigraphie. Le démarrage de son activité n'est donc pas connu. Pour l'atelier de réduction du hameau des Atiels et celui de Sourre, le mobilier semble donner plus de poids à la période augustéenne mais les sites sont très arasés. Le changement dans l'organisation de l'exploitation du district pourrait donc s'amorcer un peu avant le milieu du I^{er} s. av. n. è. Il pourrait alors être une conséquence directe de la mise à contribution des ressources de la Transalpine pour les besoins des opérations de Pompée. Enfin, Si l'on cherche d'autres marqueurs qui pourraient eux aussi être en relation avec la réorganisation du district, la question de la signification des lampes à huile revient dans la réflexion. La chronologie très large des fragments de type Ricci E ne permet pas de trancher, mais les tessons de lampes à grènetis des Atiels pourraient coïncider avec une introduction concomitante avec la mise en place de ces unités d'exploitation indépendantes. Les lampes à huile pour l'éclairage des mineurs sont de fait le seul élément technique exogène qui est introduit dans ce district au cours du I^{er} s. av. n. è. Les données provenant d'habitats manquent pour savoir si cette présence en mine est similaire avec les autres contextes d'occupation de la période ou s'en distingue au contraire.

Pour conclure, on pourra proposer une continuité dans l'exploitation minière du district à cuivre argentifère de l'Arize entre les IV^{e} – III^{e} s. av. n. è. et le milieu du I^{er} s. av. n. è. en termes de techniques. L'organisation de l'exploitation, qui intègre alors les ressources forestières dans le domaine minier, semble également perdurer. Le milieu du I^{er} s. av. n. è. (ou peut-être le début du deuxième tiers de ce siècle) semble marquer un changement dans l'organisation du district avec l'identification d'unités d'exploitation individuelles autonomes sur toute la chaîne opératoire allant de l'extraction du minerai à la production de métal. Ce changement d'organisation pourrait correspondre à l'arrivée d'entrepreneurs italiens, dans le sillon de la prise en main romaine croissante de la province de Transalpine après les Guerres Sertoriennes, au plus tard après la Guerre des Gaules. Ces changements administratifs pourraient être à l'origine du passage de l'abattage à l'outil en technique dominante. Ces hypothèses demanderaient à être confirmées par l'approfondissement des recherches dans ce district.

III. Sous l'Empire romain : des facettes multiples

La conquête de la Gaule par César avait permis, dès le milieu du I[er] s. av. n. è., d'intégrer tout le versant nord de la chaîne pyrénéenne dans l'orbite de Rome, après la prise de contrôle de la Transalpine, dont la haute vallée de Garonne marquait la limite. Si une nouvelle administration se met alors nécessairement en place (Goudineau 1998, pp. 192 et 212), l'action d'Auguste un demi-siècle plus tard semble avoir eu plus d'impact dans ces régions (Rico 1997, pp. 165 et 184). Le changement d'échelle désormais assumé qui fait définitivement disparaître la République dans l'Empire romain s'accompagne en effet d'une réorganisation plus profonde des territoires conquis. Les changements sont nombreux et touchent différentes sphères de la société. La fiscalité est la première des nouvelles contraintes auxquelles les peuples vaincus doivent se soumettre (France 2005, pp. 86-89). L'urbanisme est transformé avec le développement des centres urbains qui arborent une parure monumentale renouvelée (forum, théâtres, thermes, etc.), correspondant à de nouvelles manifestations sociales. La construction en pierres vient remplacer l'architecture en terre et bois précédente, diffusant des modèles méditerranéens loin vers l'intérieur des terres. De nouveaux temples sont élevés aux dieux du panthéon romain, qui se surimposent parfois aux divinités locales par un processus de *contaminatio* (Sablayrolles 1992, pp. 23-24). Tous ces phénomènes sont observés dans l'ensemble des régions conquises de manière relativement uniforme (Monteil & Tranoy 2008, pp. 6-20).

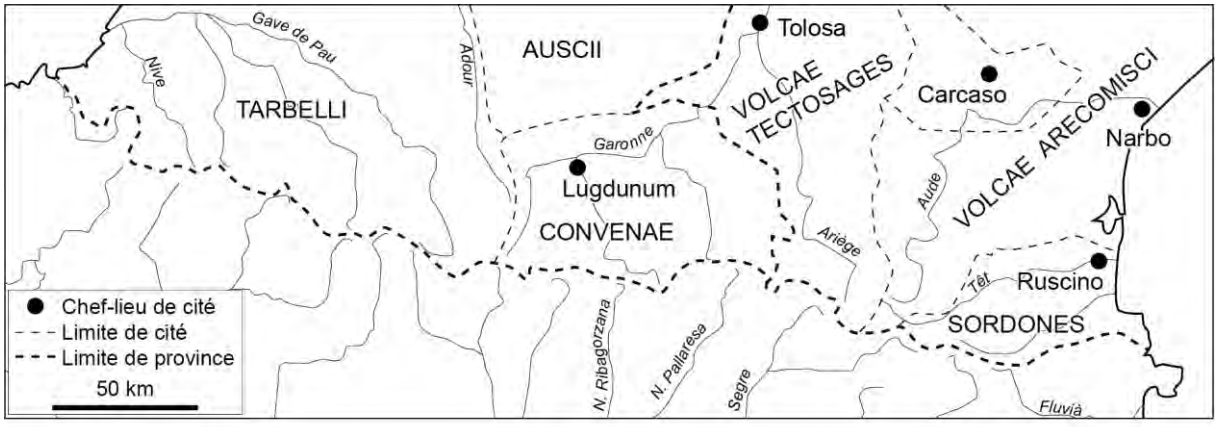


Fig. 199 : Carte des cités augustéennes au nord des Pyrénées (d'après Rico 1997, carte 4).

L'occupation du territoire est marquée par l'apparition des *villae* qui jalonnent les espaces ruraux (Monteil & Tranoy 2008, pp. 69-72). Elles ont pu prendre la suite d'établissements préromains ou être créées *ex nihilo* (Gruat & Marty 2000, p. 40 ; Mauné 2000, p. 242 ; Laüt *et al.* 2005, p. 352 ; Py 2012, p. 265). Les territoires des peuples gaulois sont aussi découpés ou regroupés et si les noms anciens perdurent à travers ceux des nouvelles cités, les espaces qui leurs sont attribués ne sont pas équivalents à ce qu'ils étaient avant la conquête (Christol 2009, p. 30). Pour la région qui nous concerne, les réformes d'Auguste se sont traduites par des regroupements de territoires et le déplacement de la frontière entre Aquitaine et désormais Narbonnaise (qui prend la suite de la Transalpine) vers l'est, le territoire des Convènes étant rattaché à l'Aquitaine (Rico 1997, pp. 184-186 ; Goudineau 1998, p. 215).

En ce qui concerne l'activité dans les mines, malgré leur appartenance à ce même empire, les situations sont assez variables selon les districts. Nous avons évoqué plus haut l'arrêt de certaines exploitations autour du règne d'Auguste. D'autres au contraire prennent alors leur essor. Nous ferons ici le point sur ces différentes situations et sur les critères qui peuvent être déterminants pour expliquer ces variations. Mais tout d'abord, il nous faut présenter le nouveau cadre dans lequel ces exploitations prennent place, d'un point de vue administratif et économique.

III. A. Conséquences de la domination romaine sur l'exploitation minière

Les processus que nous allons présenter ici ont démarré dès le dernier quart du II^{e} s. av. n. è. pour les territoires de Transalpine, du moins pour ceux qui se situent aux alentours de Narbonne et tout le long de la côte méditerranéenne, depuis le Nord-Est ibérique. Le rythme de la prise de pouvoir romaine a cependant été irrégulier dans le temps et dans l'espace, comme nous l'avons vu plus haut. Les campagnes de Pompée marquent une étape importante de ce processus, suivies par celles de César pour les zones situées à l'ouest de la haute vallée de la Garonne. Ce dernier a également accordé le droit latin aux cités de Transalpine, renforçant leur intégration juridique dans le monde romain (Goudineau 1998, p. 191). Le choix d'utiliser le début du Haut-Empire comme curseur chronologique dans une région sous le contrôle de Rome depuis le milieu du I^{er} s. av. n. è. au plus tard peut sembler déplacé. Il tient au fait que la période augustéenne constitue à la fois un moment de rupture dans plusieurs districts miniers et le parachèvement de l'intégration des territoires récemment conquis, avec une réorganisation générale des provinces et plus spécifiquement des territoires miniers (Goudineau 1998, pp. 213-215 et 228 ; Orejas *et al.* 1999, p. 279). Les dernières révoltes dans la zone pyrénéenne aquitaine sont également matées par Auguste en -13, après les interventions d'Agrippa en -38/-39 et de M. Valérius Messala en -30 (Goudineau 1998, pp. 229-233).

Deux aspects ayant un rapport direct avec les mines seront traités ici. D'une part, nous ferons le point sur les règles administratives pouvant s'appliquer aux mines à partir de la période impériale. D'autre part, nous évoquerons le changement d'échelle du marché ouvert aux producteurs gaulois. Ces éléments permettent de dresser le cadre théorique dans lequel les exploitations minières prennent désormais place, cadre que l'on pourra ensuite confronter à ce que nous apprennent les données de terrain.

III. A. 1. L'administration romaine : nouvelles possibilités, nouvelles limites

Avant de décrire plus en détail le cadre administratif de l'exploitation des mines, il faut citer deux éléments généraux qui auront aussi leur importance dans la prise en main et la gestion des exploitations. Le premier concerne ce qu'on peut qualifier de pragmatisme romain, qui a conduit le pouvoir central à utiliser les structures préexistantes pour mettre en place son administration. Cela s'est retrouvé dans la participation des aristocraties locales aux magistratures des cités, qui permettait à la fois d'accélérer la mise en place du modèle

romain, mais comportait également une certaine part de continuité avec les phases précédentes (Lamoine 2009, pp. 223-225). Cela constitue un argument en faveur du maintien de l'accès des aristocraties locales aux ressources locales, qu'elles soient agricoles, artisanales, ou minières. Cet accès se faisait cependant suivant de nouvelles règles, qui constituent le second aspect global des transformations imposées par Rome. Elles concernent la propriété du sol, qui passe désormais aux mains du peuple romain. L'exploitation des terres publiques était confiée, par l'intermédiaire du Sénat, à des citoyens, contre une redevance probablement assez faible (Andreau 2010, p. 58). Mais toutes ces terres ne restaient pas publiques. Par exemple, les cas des déductions de colonies se traduisent par l'attribution de parcelles aux colons, prises sur l'*ager publicus*. Ces derniers en deviennent propriétaires et peuvent les cultiver. D'autres terres sont attribuées à la nouvelle cité et restent collectives. Elles pouvaient être utilisées par les colons en complément de leurs parcelles pour de l'élevage ou être louées à des personnes privées contre une redevance (Andreau 2010, pp. 53-57). À côté de cela, l'aristocratie possède de grands domaines fonciers, exploités par des esclaves sous le contrôle d'un intendant (système dominant jusqu'au milieu du I^{er} s. de n. è.) ou par des fermiers (Christol & Nony 2011, pp. 185-186).

On se réfère ici à l'exemple de l'exploitation agricole, mais il en était de même pour les mines des territoires nouvellement conquis. Trois cas de figure étaient possibles en termes de propriété : les mines privées, les mines appartenant aux cités ou les mines du domaine public, pour lesquelles on dispose du plus grand nombre d'informations (Orejas *et al.* 1999, p. 277 ; Domergue 2008, p. 190). Les modalités de leur exploitation se sont donc vues affectées par ces différents statuts.

Le fonctionnement assez libéral instauré dans les premières provinces minières conquises, en Hispanie mais aussi en Gaule Transalpine, fait place à des systèmes plus divers mais aussi plus contrôlés sous l'Empire (Tab. 25). Les situations sont variables selon les lieux, les métaux concernés, l'importance des districts et les intérêts de Rome, des cités ou encore de certaines grandes familles ou sociétés (Orejas *et al.* 1999, p. 275 ; Orejas & Rico 2015, p. 528).

L'exploitation minière des nouveaux territoires représente pour Rome un moyen de s'approvisionner en métaux pour les divers besoins de l'empire et de percevoir des revenus. Ces revenus proviennent principalement des taxes dont les exploitants doivent s'acquitter pour avoir le droit de pratiquer cette activité. Au début du Haut-Empire, ces taxes sont encore perçues pour le compte de Rome par des sociétés de publicains, tel que cela se pratiquait depuis que Caton avait institué des impôts sur les mines de fer et d'argent d'Hispanie (Domergue 1990, pp. 241-242 ; Domergue 2008, pp. 192-193 ; Orejas & Rico 2015, p. 524). Nous avons vu que les exploitants étaient des entrepreneurs privés qui intervenaient seuls ou en association, le rôle des sociétés de publicains se limitant à percevoir l'impôt.

	Chronologie	Exploitants	Main-d'œuvre	Redevances	Application
Ferme républicaine	Période républicaine (II^{e} – I^{er} s. av. J.-C.) et début du Haut-Empire	Entrepreneurs privés, seuls ou en sociétés	Esclaves, hommes libres	Levées par les publicains au profit de l'*aerarium*	Toutes les mines du domaine public. Exemples : celles de Macédoine, Espagne, Citérieure, Bétique
Régie indirecte	Haut-Empire	Entrepreneurs privés, seuls ou en sociétés	Esclaves, hommes libres	Levée par le représentant local du fisc	La plupart des mines impériales. Exemples : celles de *Vipasca*, de Dacie
Régie directe	Haut-Empire	Le fisc	Population pérégrine locale en « auto-suffisance »	Pas de redevance, tout va au fisc	Gisements spéciaux (métal, type de gisement, main-d'œuvre locale disponible). Exemple : NO de la péninsule Ibérique (provinces impériales de Lusitanie et de Tarraconaise)
Ferme « semi-publique »	II^{e} s. ap. J.-C.	Entrepreneurs privés, seuls ou en sociétés	Esclaves, hommes libres	Levées par le *conductor :* le montant est remis au fisc	Attestée dans les grands districts sidérurgiques de l'*Illyricum* (Dalmatie, Pannonie, Norique) et, peut-être, dans des mines de fer de la Narbonnaise.

Tab. 25 : Synthèse des modes de gestion des mines du domaine public (d'après Domergue 2008, p. 196).

Assez rapidement, la création du fisc impérial conduira à la levée des taxes directement par cette entité, par le biais de ses représentants dans les provinces. On passe de la ferme républicaine à la régie indirecte ; les exploitants sont toujours des entrepreneurs privés et la gestion administrative incombe à des procurateurs. Ce mode d'exploitation est le plus répandu pour les mines impériales à partir de l'époque flavienne (Domergue 2008, p. 192). On connaît des détails de ce fonctionnement par les deux tables de *Vipasca* (Domergue 1983), un important district minier de Lusitanie. Ces tables en bronze décrivent certains aspects de l'administration du district (le *metallum vipascense*) au II^{e} s. de n. è. Ce code minier est incomplet, mais il révèle une partie des règles qui régissent les relations entre les entrepreneurs et le procurateur, représentant du fisc. Ce dernier a tous les pouvoirs, de l'organisation de l'exploitation à la gestion des activités du quotidien, qui ne sont pas intégrées à l'administration municipale habituelle. C'est ainsi que les territoires miniers, les *metalla*, ont été qualifiés d'« extraterritoriaux », ce que l'on peut également percevoir dans le district basque espagnol d'*Oiasso* (Urteaga 2014, p. 292). Le procurateur avait aussi la charge de veiller à l'entretien des ouvrages d'assistance collectifs, tels les travers-bancs d'exhaure qui desservaient plusieurs secteurs de l'exploitation (Domergue 2008, p. 198 ; Urteaga Artigas 2012, pp. 216-217). Les atteintes à ces ouvrages par les mineurs étaient punies sévèrement. Dans ce cadre de la régie indirecte, tout est fait pour que les revenus soient les plus importants possibles pour Rome. A ce titre, toute activité est taxée : gestion des thermes, exploitation des scories, enregistrement des puits de mines, … La liberté d'entreprendre est réelle, mais soumise aux taxes et règlements imposés par le procurateur. La population locale peut donc elle aussi profiter d'une certaine manière de l'activité économique liée aux mines. Si l'investissement dans l'exploitation elle-même, par la prise en charge d'une concession minière, n'était pas à la portée de tous, d'autres activités pouvaient

concerner les franges plus modestes de la population. La possibilité de retraiter des scories, par exemple, était plus facile d'accès et autorisée y compris aux esclaves, moyennant le paiement d'une taxe, bien sûr (Domergue 1983, pp. 91-95). Les entrepreneurs qui se lançaient dans l'exploitation d'une concession pouvaient ensuite faire appel à des ouvriers pour l'extraction, comme le montrent les contrats de travail des mines d'or de Dacie (Hoffmann 2002).

Dans certains cas particuliers, dont les mines d'or du Nord-Ouest hispanique sont un des exemples les mieux connus, le système de la régie directe a été mis en place. Le fisc, par l'intermédiaire d'un *procurator metallorum*, exploite les mines, avec l'aide d'ingénieurs de l'armée, et y fait travailler les populations locales pérégrines (Orejas *et al.* 1999, pp. 290-291 ; Sánchez-Palencia *et al.* 2006, pp. 281-282 ; Domergue 2008, pp. 201-202). Ce ne sont pas des esclaves : Rome ne subvenait pas à leurs besoins, la population restait autonome (Domergue 1986, pp. 43-45). Une large partie d'entre elle était toutefois obligatoirement affectée aux mines, obligation contractée après la victoire augustéenne. Dans ce cas, pas de redevance : l'état récupérait directement tous les produits de l'exploitation. Il s'agissait d'un avantage notable pour une production d'or comme celle du Nord-Ouest, qui a dû alimenter les frappes d'*aurei* pour le nouveau système monétaire institué par Auguste (Domergue 1990, p. 377). Du point de vue des populations locales, ce système était le moins avantageux car elles ne bénéficiaient presque pas des retombées économiques de l'exploitation (Domergue 2008, pp. 208).

Un dernier modèle administratif est attesté au II^e^ s. de n. è., celui de la ferme « semi-publique ». Cette forme de gestion s'est traduite par la mise à ferme par l'État du recouvrement des revenus de grands districts miniers à des particuliers, les *conductores*. Cela peut ressembler à la ferme républicaine mais les sociétés de publicains, dont la puissance avait posé des problèmes à Rome, ont ici disparu. Les *conductores* sont chargés d'administrer les exploitations en plus de la perception des impôts, ce qu'ils font avec leur propre personnel. Cette situation semble avoir concerné uniquement, et de façon transitoire, des mines de fer. Elle est bien attestée pour celles de l'*Illyricum* (Norique, Pannonie, Dalmatie) et il est possible que des mines de fer de Narbonnaise aient aussi été sous le contrôle de l'un d'eux (Sablayrolles 1989, p. 159 ; Domergue 2008, p. 203).

À côté des mines du domaine public, il existe aussi des mines appartenant à des cités. Leur implication dans l'extraction minière est connue par l'épigraphie, avec notamment des timbres portant leur nom sur des lingots de plomb hispaniques. C'est le cas pour deux lingots du début de la période impériale, malheureusement perdus aujourd'hui, sur lesquels on pouvait lire *NOVA CARTHAGO*, ou encore sur un troisième COLON(i) *AVGVSTIFIRMI / FERM*[115] (Orejas & Rico 2015, pp. 527-528). En Gaule, la cité des Ségusiaves (*Forum Segusiavorum*, Feurs) exploitait également ses gisements. Enfin, le Conseil des Gaules tirait des revenus de l'exploitation du fer, au moins aux II^e^ et III^e^ s. de n. è. (Sablayrolles 1989,

[115] Indication correspondant à la cité d'*Astigi* (Écija, Espagne).

p. 160 ; Domergue 2008, p. 192). Les modalités précises d'exploitation de ces mines ne sont pas bien connues. Le recours à des *conductores* est envisageable tout comme un système de concessions pour des exploitants privés. Ces mines représentent donc avant tout une source de revenus pour les cités. Suivant la façon dont leur exploitation était gérée, cela pouvait aussi être une possibilité pour des particuliers d'y investir et d'en tirer profit.

Enfin, des mines privées ont aussi existé. Mises à part celles qui appartenaient à l'empereur en propre, et qui étaient de fait gérées comme les mines du domaine public de l'empire, quelques particuliers ont pu en posséder. On en connaît quelques cas par l'épigraphie, mais aussi par le récit de confiscations qui ont eu lieu sous Tibère notamment. Le cas de Sextus Marius, dont les mines se trouvaient près de Cordoue, est l'un des mieux connus (Orejas & Rico 2015, pp. 530-531). La prise de possession par des personnes privées de certaines mines pouvait résulter d'une régularisation d'une situation préalable, héritée d'une *occupatio* remontant à la fin de la République, ou encore à une mise en concession pour favoriser certains personnages importants. L'Empereur a aussi pu donner certaines mines à des membres de sa famille ou à certains de ses amis. Globalement, leur statut et leur mode d'exploitation ne sont pas très bien connus (Domergue 2008, pp. 190-191).

Tous ces aspects administratifs montrent surtout les nouvelles contraintes qui pèsent sur les exploitants à partir de la conquête romaine. Les nouvelles possibilités offertes par la conquête dans le domaine minier sont de deux ordres. D'une part, la pacification de larges domaines a favorisé le développement du commerce et des échanges, et facilité la mise en exploitation de l'ensemble du territoire. Nous y reviendrons au point suivant. D'autre part, des changements ont lieu dans la façon de mobiliser les moyens nécessaires à l'exploitation. Nous avons vu que les investissements requis pour le bon fonctionnement d'une mine en faisaient une activité éminemment collective. Si l'on ne sait de fait rien sur les statuts des mines préromaines pour le Sud-Ouest de la Gaule, il semble difficile d'imaginer l'existence de mines privées à cette période. La mobilisation de la main-d'œuvre se faisait très probablement par le biais des communautés qui se trouvaient sur le territoire minier. Après la conquête, la possibilité pour des entrepreneurs privés d'investir dans les mines change considérablement les choses. La mobilisation de la force de travail dépend alors d'une personne, ou d'une association de personnes. Que ce soit par l'utilisation d'esclaves ou en employant des mineurs salariés, les entrepreneurs mobilisent leurs ressources propres pour ce travail, selon leur capacité d'investissement financier (Orejas *et al.* 1999, p. 280). Ils n'ont pas forcément besoin de connaître eux-mêmes l'art de la mine s'ils peuvent recruter des ingénieurs ou chefs-mineurs expérimentés.

Le mode de gestion en régie indirecte, tout comme celui antérieur de la ferme républicaine, a aussi permis de mettre en activité de très grands districts miniers avec un investissement minimal de la part de Rome. Ces grands districts étaient en effet composés de multiples exploitations plus ou moins importantes, prises en charge par divers entrepreneurs. La somme des moyens investis depuis diverses sources permettait de

mobiliser plus facilement la main-d'œuvre nécessaire pour exploiter au maximum des districts étendus.

Dans le cas des mines exploitées en régie directe, par contre, le fait que la puissance publique dispose de la production et que les populations locales doivent assurer leur propre subsistance pourrait s'apparenter aux modes d'exploitation préromains. La production alimentaire devait en effet être gérée collectivement pour que la part de la population qui se dédiait à l'activité minière puisse se nourrir. Le cas de l'exploitation de l'or du Nord-Ouest ibérique nous indique cependant que ce parallèle était limité dans la mesure où l'action coercitive de Rome s'exerçait fortement sur les populations concernées. Les relations sociales précédentes, basées sur le contrôle d'une aristocratie, passent à des liens que l'on peut qualifier de clientélaires vis-à-vis de Rome, dans un système où les populations sont soumises à des obligations tributaires qui prennent la forme de l'exploitation des mines (Orejas *et al.* 1999, pp. 282-284). La nouvelle échelle de l'activité minière dépasse également largement ce qui a pu se faire aux périodes précédentes (même si les données sont lacunaires pour les phases plus anciennes), ce qui constitue la seconde caractéristique des exploitations romaines.

III. A. 2. Le dépassement de l'échelle régionale

L'étendue du domaine de l'empire romain a permis le partage de référentiels de valeurs sur des longues distances, notamment grâce à la généralisation de l'outil monétaire. Combiné au développement et à l'entretien d'un réseau routier performant, cela a conduit à une intensification massive des échanges commerciaux à l'échelle de l'Empire, favorisés par la pacification de larges territoires. Ces échanges n'ont pas fonctionné seulement de l'Italie vers le reste du monde, loin s'en faut. Les provinces deviennent des centres de productions qui peuvent concurrencer les régions productrices d'origine (Christol 2010, p. 551). Ainsi, le Sud de la Gaule était avantagé par sa position au carrefour entre l'Italie, la péninsule Ibérique et les provinces septentrionales des Gaules et de la Bretagne. Des productions de vin et de céramique y prennent le relais des centres italiens ou hispaniques. On retiendra l'exemple de la production de sigillées sud-gauloises, qui sont diffusées dans tout l'empire jusqu'au début du II^{e} s. de n. è. (Vernhet 1986, p. 102 ; Génin & Schaad 2007, p. 353). Les sites La Graufesenque (Millau, Aveyron), Montans et Bram sont les trois principaux producteurs du Sud-Ouest (Bémont & Jacob 1986 ; Lequément 1987 ; Martin 2005). De même, la production de vin, attestée dès le début du second âge du Fer autour de Marseille ou aux alentours de *Lattara*, s'étend à l'Aquitaine, au cours du I^{er} s. de n. è. (Monteil *et al.* 1999, pp. 115-118 ; Vernou & Berthault 2005, p. 389 ; Py 2009, p. 224). Enfin, la diffusion des marbres extraits des Pyrénées centrales est attestée dans tout le Sud-Ouest de la Gaule (Fabre & Sablayrolles 2002, pp. 69-70).

Le prisme de l'artisanat permet d'observer l'adoption de techniques communes à l'échelle de l'empire ou au contraire le maintien de modes opératoires particuliers. À ce titre, la céramique, dont la production peut être domestique ou spécialisée, permet

d'observer ce double phénomène. Ainsi, on constate de façon concomitante la production et l'utilisation de céramiques d'inspiration méditerranéenne et de céramiques de tradition locale, issues de répertoires préexistants. Dans la catégorie des vases fins, les sigillées deviennent le marqueur de la période romaine à travers tout l'empire, prenant la suite des céramiques à vernis noir. Leur technique de fabrication, tout comme le répertoire formel, est importé depuis les zones de production primitives, en Italie, par des déplacements d'artisans qui en connaissaient la pratique (Réchin 2013, pp. 162-163). Les imitations en céramique locale de formes méditerranéennes ou encore le remplacement des pots ouverts par des cruches en pâte claire sont d'autres exemples de l'intégration de pratiques similaires à vaste échelle. Pour les céramiques communes, les choses sont plus variables et permettent d'identifier des faciès régionaux. Par exemple, le narbonnais est caractérisé depuis la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è. jusqu'au III^{e} s. de n. è. par une production de céramique commune sableuse oxydante dont l'aire de diffusion s'étend des alentours de Béziers à l'est au seuil de Naurouze à l'ouest (Sanchez 2009b, pp. 491-492). En terme de technique de façonnage, les céramiques modelées peuvent encore côtoyer les céramiques tournées, et elles restent même majoritaires dans le bassin de l'Adour (Réchin 2013, p. 170). L'utilisation du tour est cependant dominante dans le reste de l'espace abordé ici. Ces changements, amorcés dès la fin du II^{e} s. av. n. è. pour les territoires de Transalpine, concernent désormais l'ensemble de la Gaule.

Produire pour alimenter un marché aussi vaste ne peut pas se faire dans les mêmes conditions que lorsque l'on s'adresse à une clientèle régionale. L'exemple en est donné pour l'exploitation des forêts pyrénéennes qui doit répondre à de nouveaux besoins. Les nouveaux bâtiments publics requièrent des pièces de charpente de grande taille qui impliquent un choix particulier des essences utilisées, des modes de débitages spécifiques et une organisation du transport vers les villes à plus longue distance que dans un cadre de production locale. Les grandes quantités de charbon nécessaires aux activités quotidiennes des populations urbaines suscitent également un changement d'échelle pour le charbonnage et l'exploitation forestière (Sablayrolles 1992, p. 24). L'organisation de la production évolue ainsi sous l'impulsion romaine pour atteindre des niveaux inégalés auparavant. La rationalisation des modes de production est une des caractéristiques de cette période. Les infrastructures aussi doivent évoluer. Les grands ports et les points de rupture de charge sur les itinéraires terrestres deviennent des plaques tournantes qui centralisent les marchandises, d'où elles repartent dans des réseaux de distribution secondaires. Le port de Narbonne est l'un de ces centres. Particulièrement actif depuis la fondation de la colonie en -118 (Christol 2010, pp. 48-49), il garde une place majeure dans les circuits à longue distance malgré la position dominante de l'axe rhodanien à partir d'Auguste. Cette gestion de flux, dont les provenances et les destinations sont diverses, impose aussi une organisation particulière du stockage. Cela a été souligné pour le commerce du fer en partance de Narbonne, qui est issu des différents districts producteurs à cette période, tels la Montagne Noire ou les Corbières (Rico 2011, p. 56).

La question de la place laissée aux productions régionales ou locales est moins bien cernée. On ne peut bien sûr pas considérer que tout ce qui circulait et s'achetait dans l'Empire ne provenait que du commerce à longue distance. Les productions locales de céramique évoquées ci-dessus en sont un des exemples (Andreau 2010, pp. 178-180). En ce qui concerne le métal, les données sont particulièrement inégales entre les vestiges du grand commerce et ceux reflétant une production à petite échelle. Il apparaît en effet clairement qu'un commerce de métaux intensif a eu lieu entre les grandes régions productrices de la péninsule Ibérique et les zones accessibles depuis la Méditerranée nord-occidentale pour les non-ferreux entre le I^{er} s. av. n. è. et le II^{e} s. de n. è. Lingots de plomb et de cuivre sont très souvent retrouvés dans les épaves de cette partie de la Méditerranée (Laubenheimer-Leenhardt 1973 ; Jézégou *et al.* 2011 ; Domergue & Rico 2014). Dans ces conditions, jusqu'à quel point l'exploitation de gisements dans les petits districts non-ferreux pyrénéens a-t-elle pu conserver son intérêt face à cette production intensive ? La réponse n'est pas immédiate et nous allons voir qu'elle a été différente selon les secteurs. Parallèles ou oppositions avec l'exploitation des districts sidérurgiques demandent également à être mis en évidence.

III. B. Les mines du Sud-Ouest après Auguste

Si les exploitations des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. étaient jusqu'à très récemment largement méconnues et celles de la période tardo-républicaine surreprésentées, les mines du Sud-Ouest de la Gaule de la période impériale sont connues très diversement d'un district à l'autre, mais on dispose au moins d'indices de cette phase d'activité dans chacun des secteurs actifs à la période précédente (Fig. 200). Certaines mines voient la prolongation de l'exploitation antérieure alors que dans d'autres sites, on assiste à des ouvertures de mines. Il faut également faire le point sur les exploitations alors interrompues pour prendre la mesure du phénomène. Des comparaisons avec l'évolution d'autres districts miniers déjà abordés dans les parties précédentes contribueront à mettre en évidence les tendances générales et les évolutions locales.

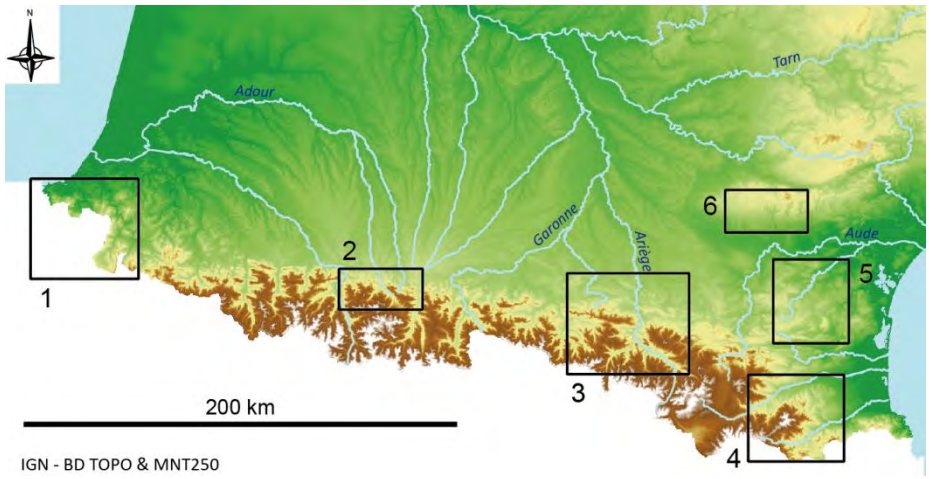


Fig. 200 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule actifs à la période gallo-romaine.
1 : Pays Basque, 2 : Pyrénées Centrales, 3 : Pyrénées Ariégeoises, 4 : Pyrénées Orientales, 5 : Corbières, 6 : Montagne Noire.

III. B. 1. Les mines gallo-romaines du Sud-Ouest

a. Le Pays Basque

Ce secteur est celui pour lequel nous disposons du plus grand nombre d'informations concernant les mines gallo-romaines (localisation sur carte de la Fig. 159 p. 322). Aussi bien les ferreux que les non-ferreux sont exploités. Les chantiers de Monhoa, Jara et Mehatze, mines de cuivre présentées plus haut (II. B. 1.a, p. 361), voient leur activité se prolonger. Les datations radiocarbone de Monhoa atteignent le troisième quart du I^er^ s. de n. è., celles de Jara le milieu du I^er^ s. de n. è. et à Mehatze, le mobilier couvre tout le I^er^ s. de n. è. La technique de creusement à Monhoa n'évolue pas foncièrement entre son ouverture au II^e^ s. av. n. è. et son abandon près de deux siècles plus tard : les mineurs ont suivi la minéralisation de près, utilisant le feu et l'outil selon la dureté de la roche. Les niches à lampes y sont absentes (Parent 2010, p. 15). La situation semble similaire à Jara, où l'état des travaux, en partie détruits par des reprises, limite toutefois les possibilités d'étude. À la reprise signalée au milieu du I^er^ s. de n. è. dans la descenderie ouverte au feu de Jara 1, il

faut ajouter les données provenant du site de Jara 3, où des charbons de bois produits par l'abattage au feu donnent une chronologie du début du I^er^ s. de n. è. (Parent 2010, p. 13). Au contraire, à Mehatze, des niches à lampes et des fragments de lampes à huile (type Loeschcke I et IV) sont identifiés et la conduite des travaux s'est faite différemment pour les phases plus récentes : un travers-banc percé à flanc de versant permet l'accès aux niveaux inférieurs sans avoir à emprunter systématiquement les passages ouverts depuis l'affleurement (Fig. 179 p. 363 et Fig. 201).

Fig. 201 : Vue de la galerie en travers-banc permettant l'accès à la partie inférieure du réseau de Mehatze (Parent *et al.* 2016, photo 1).

L'exploitation sidérurgique à Larla et Errola se poursuit également et un troisième foyer de production du fer apparaît à Ursuya (Fig. 202). L'exploitation du Massif d'Ursuya est ainsi caractérisée par des vestiges de travaux à ciel ouvert d'envergure réduite et huit ferriers de grandes dimensions (occupant 800 à 1300 m^2 au sol). Cela correspond à une exploitation concentrée, dans un secteur de basse altitude (200 à 300 m) ouvert sur la plaine (Beyrie 2003, pp. 134 et 141-142). Deux datations de charbons récoltés lors de sondages donnent des fourchettes chronologiques allant du I^er^ au IV^e^ s. de n. è.[116], mais le mobilier céramique ne correspond qu'aux I^er^ et II^e^ s. de n. è. (Beyrie 2003, pp. 145-151). Sur le site d'Errola, l'activité se poursuit au cours du I^er^ s. de n. è. uniquement, alors qu'à Larla, elle perdure jusqu'au début du IV^e^ siècle. Si les données techniques concernant la production du fer ne

[116] Datation Beta-159174: 1930 ±70 BP, soit 90 cal BC – 242 cal AD (Beyrie 2003, p. 149).
Datation Ly-10297: 1890 ±35 BP, soit 52 – 225 cal AD (Beyrie 2003, p. 145).

permettent pas de constater d'évolution à partir de la période augustéenne pour les sites préexistants, des différences sont tout de même visibles entre les types de fourneaux observés à Larla et à Ursuya, les seconds étant plus petits et construits en élévation plutôt que semi-enterrés. La maîtrise du procédé de réduction est toutefois bien maîtrisée dans tous les cas (Beyrie 2003, pp. 206-207).

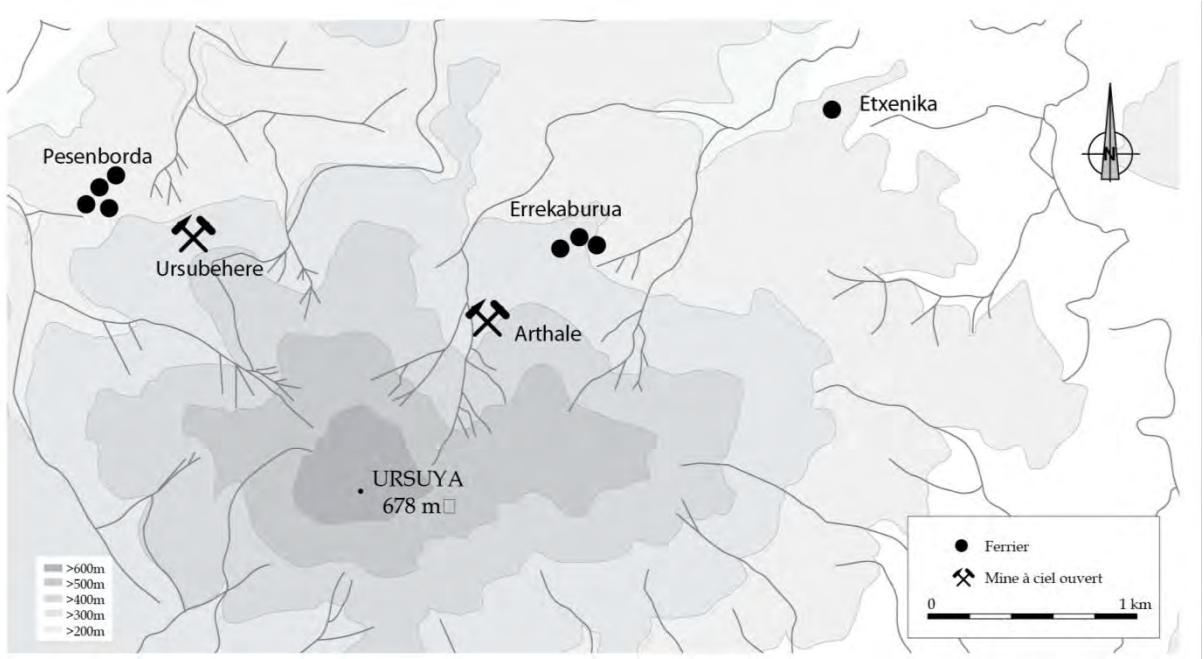


Fig. 202 : Plan du site d'Ursuya (d'après Beyrie 2003, vol. 2, fig. 24).

L'étude du site de Larla a aussi mis en évidence des vestiges miniers datés entre le II^{e} et le IV^{e} s. de n. è. (Beyrie 2015, p. 128). Il s'agit d'un chantier souterrain subvertical en roche, rarement connu pour cette période et ce métal, qui a pris la suite de l'exploitation initiale en tranchées. Ce chantier, dont les dimensions atteignent 125 m de long pour 15 à 30 m de hauteur et 1 à 3 m de large, est largement bouché par des remblais effondrés. Seule une partie réduite de la mine, ouverte entièrement à l'outil, est accessible à ce jour. Quelques piliers de roche ont été laissés en place pour assurer le soutènement, mais ils sont rares et le toit du filon est souvent effondré. Des travers-bancs équipés de niches à lampes, éboulés après quelques mètres, ont été creusés dans le stérile pour faciliter l'accès à la partie basse des chantiers et peut-être leur exhaure (Beyrie 2003, p. 164). Le percement de ces travers-bancs fait partie des nouveaux équipements que l'on retrouve dans les mines basques à partir du Haut-Empire, comme à Mehatze.

Fig. 203 : Mine antique de Larla (Beyrie 2015, fig. 5).

Au-delà du site d'Ursuya, plusieurs gisements voient leur exploitation démarrer au cours du I^{er} s. de n. è. Deux mines sont mal connues du fait de l'inaccessibilité des travaux : Aintziaga (St-Étienne-de-Baïgorry) pour le cuivre et Haira (Banca et Urepel) pour le plomb argentifère. Un sondage dans une descenderie ouverte au feu pour la première a permis de réaliser deux datations radiocarbone indiquant le début du I^{er} s. de n. è. et le VI^{e} s. de n. è. (Parent 2010, p. 12). Dans la forêt d'Haira, les travaux sont visibles en surface sous forme de longues tranchées comblées et éboulées pouvant atteindre 200 m de long, réparties sur un kilomètre. Les haldes trahissent l'importance des ouvrages souterrains inaccessibles. On retiendra de ce site la présence d'un fragment de meule et d'un broyon sur les haldes, qui indiquent que la préparation du minerai se faisait sur place (Beyrie 2003, p. 100). Un habitat a pu être mis en évidence de manière indirecte par la présence de mobilier céramique domestique daté du I^{er} s. de n. è. parmi les déchets miniers. Cet habitat était sans doute saisonnier, l'altitude (900 m) impliquant un accès restreint aux travaux en hiver (Beyrie 2003, p. 101). Une étude préliminaire du site de Lantz a révélé la présence de mines de fer exploitées par des galeries et des travaux à ciel ouvert. Le mobilier recueilli dans les galeries, des fragments de lampes à huile, permet de dater une phase de l'activité entre le milieu du I^{er} et la fin du II^{e} s. de n. è. (Urteaga 2014, p. 278).

Ces indices d'une exploitation du Haut-Empire sont complétés par le site de Banca, mine de cuivre la plus importante et la mieux connue de toute cette zone, et par le district d'Oiasso (Irún), zone d'exploitation intensive pour le plomb argentifère et le cuivre.

Le site de Banca se développe sur une minéralisation filonienne à chalcopyrite, pyrite et cuivre gris argentifère, encaissée dans des grès de l'Ordovicien à faciès quartzitique ou pélitique. Les travaux au feu dans les bandes quartzitiques, très dures, sont bien conservés,

alors que ceux qui se sont développés à l'outil dans le faciès pélitique ont été plus fréquemment affectés par les effondrements. Les reprises modernes, entre la deuxième moitié du XVIII^{e} et la fin du XIX^{e} siècle, avaient mis en évidence l'ancienneté des « vieux travaux », recoupés en plusieurs endroits (Parent 1997, p. 312-314). Des monnaies romaines datées du I^{er} au IV^{e} s. de. n. è. avaient également été trouvées. Les recherches archéologiques, réalisées sous la direction de G. Parent puis de B. Ancel, ont révélé une exploitation antique d'envergure, de laquelle 870 m linéaires de travaux anciens sont conservés (Fig. 204), sur un total de près de 3,5 km (Parent 1997, p. 312 ; Ancel *et al.* 2012, p. 170). Situés à une faible altitude, ces travaux avaient aussi l'avantage d'être accessibles toute l'année.

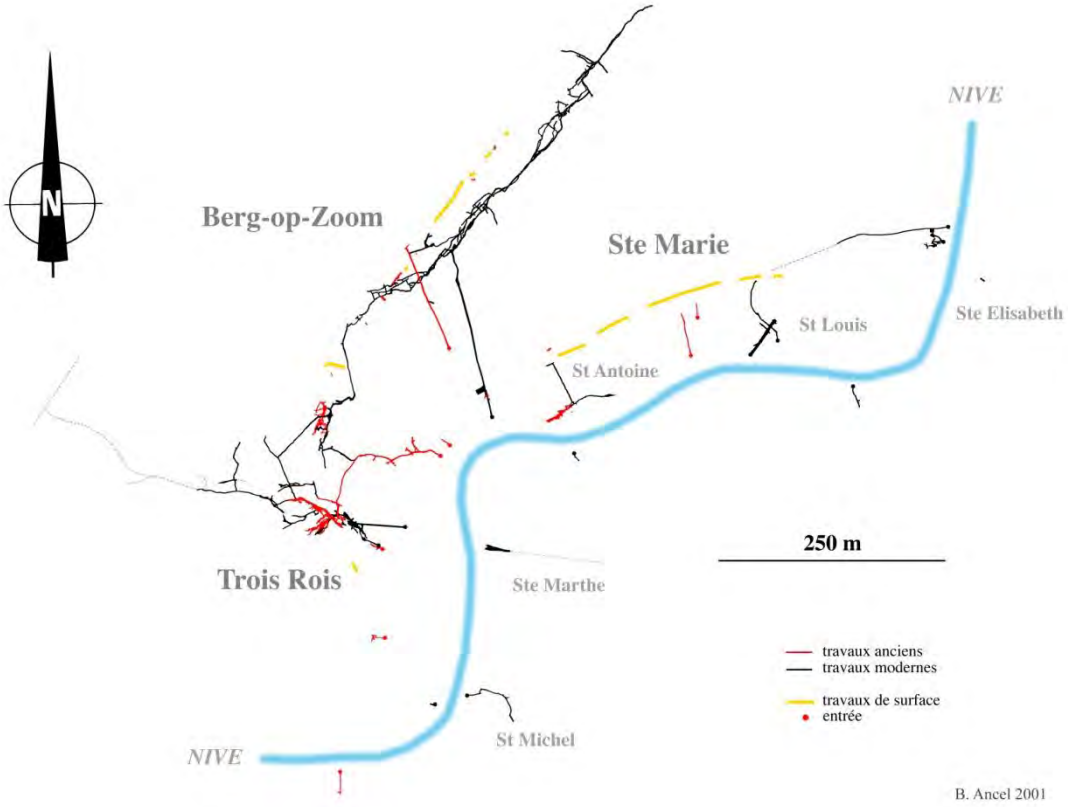


Fig. 204 : Plan d'ensemble des travaux de Banca (Ancel *et al*. 2012, fig. 2).

Les exploitations se répartissent sur trois secteurs : Berg-Op-Zoom, Ste Marie et Les Trois Rois. La première n'a pas pu être datée précisément en raison des difficultés d'accès au secteur ancien. Les fouilles menées dans les deux autres réseaux ont livré des charbons et des restes de boisages qui ont pu être datés par le radiocarbone ou la dendrochronologie. Le réseau des Trois Rois est celui dont les ouvrages anciens sont le mieux conservés (Fig. 205). Des niches à lampes sont également présentes dans les parements de certaines galeries. L'exploitation aurait ainsi pris son essor au I^{er} s. de n. è. et duré jusqu'au IV^{e} siècle, la période de plus forte activité se situant au II^{e} siècle (Ancel *et al.* 2001, pp. 188-189 ; Parent 2010, pp. 16-17). Les auteurs signalent également la possibilité d'un démarrage plus précoce, antérieur à la conquête, mais non attesté sur le terrain pour l'heure. Ces ouvrages précoces

peuvent correspondre aux travaux de surface sur les filons de Ste Marie et de Berg-op-Zoom, dont le comblement massif n'a pas permis une étude détaillée.

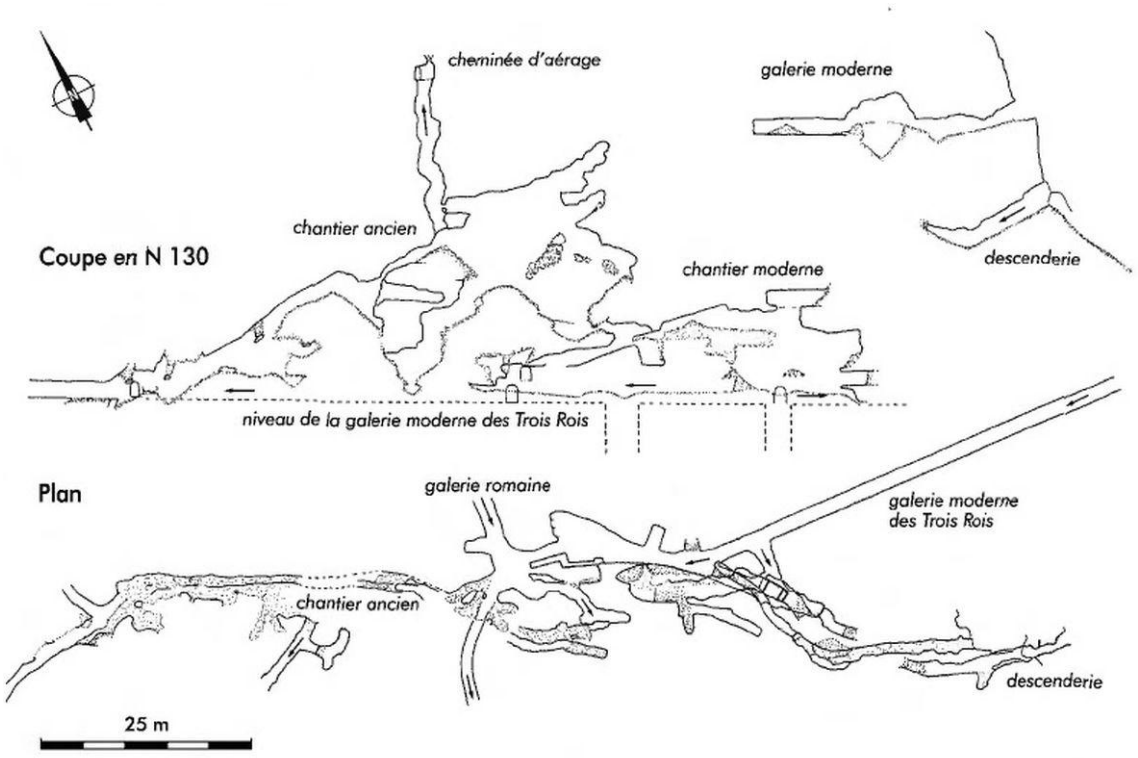


Fig. 205 : Coupe et plan des travaux des Trois Rois à Banca (Ancel *et al.* 2001, fig. 2)

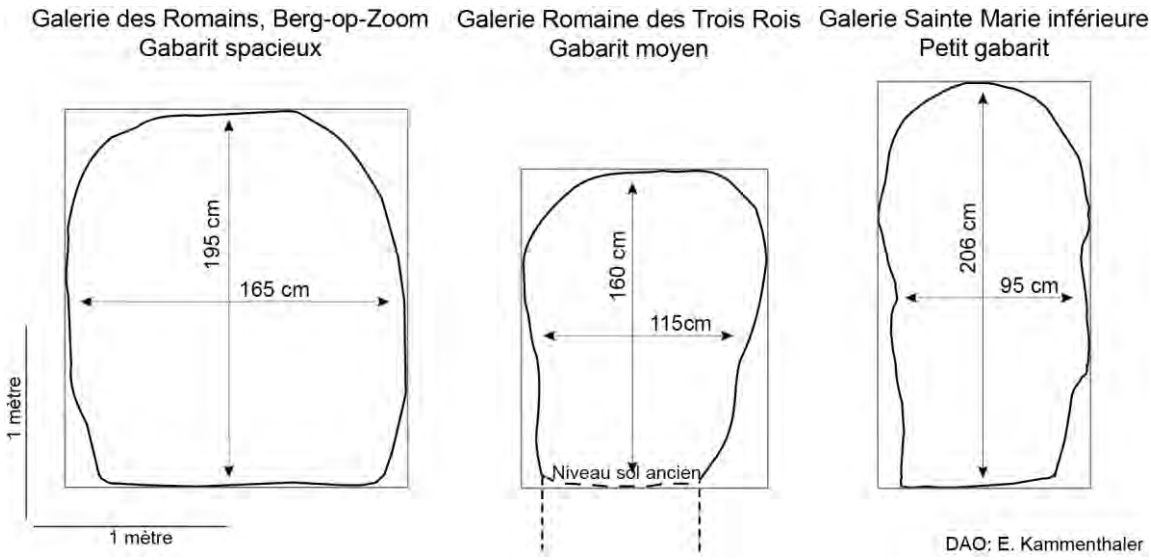


Fig. 206 : Les trois types de gabarits de galeries de Banca (d'après Ancel *et al*. 2012, fig. 5)

L'extraction a démarré depuis les affleurements des filons de Ste Marie et de Berg-op-Zoom, par des tranchées à ciel ouvert. Les filons ayant un pendage subvertical, les chantiers se sont rapidement enfoncés sous terre. La largeur minimale des creusements est de 0,65 m lorsque le filon est étroit et peut atteindre plusieurs mètres lorsque sa puissance augmente (Ancel *et al.* 2012, p. 175). Avec l'approfondissement des chantiers, des travers-bancs ont été creusés pour faciliter l'évacuation des produits et surtout l'exhaure. Trois gabarits de

galerie ont été définis par les chercheurs : spacieux, moyen et petit (Fig. 206). Ils permettent globalement de circuler debout et sont adaptés au transport des charges par portage à dps d'homme. Les galeries les plus spacieuses permettent à deux personnes de se croiser aisément, voire la circulation d'animaux de bât (Ancel *et al.* 2012, pp. 176-177). Même le module le plus petit montre que les creusements dans le stérile n'étaient pas limités très strictement, favorisant un certain confort de travail.

On retiendra de cette phase d'activité gallo-romaine une organisation des travaux poussée, avec un découpage probable en concessions pour l'exploitation du filon de Ste Marie (Ancel *et al.* 2012, p. 179). Cette rationalisation s'accompagne d'investissements importants, reflétés par des galeries de recherches nombreuses et le percement de plusieurs travers-bancs d'exhaure. Il faut ainsi souligner que les travaux du secteur des Trois Rois exploitent un filon minéralisé qui ne débouche pas au jour. Les Anciens ont suivi un filon stérile visible à l'affleurement dans les quartzites qui dominent la Nive. Ils ont suivi ce filon sur 15 mètres dans une zone complètement stérile, puis ils ont prolongé la recherche sur 60 m avant de localiser la minéralisation principale, qui a donné lieu à l'exploitation plus développée connue aujourd'hui. Cela dénote une très bonne compréhension du gisement, rendue possible très probablement par l'expérience acquise sur les filons affleurants de Berg-op-Zoom et de Ste Marie (Ancel *et al.* 2001, p. 190). D'autre part, les investissements dans l'exhaure étaient prévus dès l'ouverture des travaux, avant même de savoir s'ils allaient être rentables ou non, comme l'atteste l'exemple d'une petite recherche, au sud du groupe de travaux des Trois Rois. Cet ouvrage est composé d'un puits, fouillé sur 10 m de hauteur, qui n'a donné lieu qu'au creusement d'une petite galerie de 4 m, d'une recoupe transversale et d'un second puits. Un travers-banc d'exhaure qui ressort au jour après 13 m a pu être dégagé depuis la base du puits. Cette galerie, au pendage de 2 à 3º, montre que les mineurs étaient conscients des problèmes d'exhaure et souhaitaient que l'exploitation, si elle devait bien avoir lieu, soit tout de suite à l'abri des interruptions dues aux infiltrations (Ancel *et al.* 2012, p. 188). Ce type d'investissement prévisionnel montre encore une fois que du personnel technique qualifié se trouvait sur place et que l'emploi de main-d'œuvre à des tâches dont la productivité serait différée était totalement intégrée au fonctionnement de cette exploitation (Parent 2006, p. 172).

Le district minier d'*Oiasso* (Irún, Guipúzcoa) a fait l'objet d'une exploitation intensive pour le plomb argentifère et le cuivre aux I^{er} et II^{e} s. de n. è. (Urteaga & Ugalde 1986 ; Urteaga 1997 ; Urteaga Artigas 2012). Bien que situé dans la province de Tarraconaise et non d'Aquitaine, l'importance de l'activité minière qui s'y est déroulée, la contemporanéité et la similarité technique des travaux avec ceux que nous venons de présenter ainsi que la proximité géographique de ce district (Fig. 159, p. 322) en font un élément que l'on ne peut pas négliger. Les minéralisations se trouvent dans la couronne métamorphique de la Peña de Aia, caractérisée par un contact entre granite et schistes (Ugalde 2010, p. 330). La chronologie des travaux, réalisés au feu et à l'outil, est donnée par le mobilier recueilli dans les travaux et sur les haldes (sigillée hispanique, lampes à huiles, amphores). Une seule

datation radiocarbone est connue[117] et correspond à la même période des I^er^ et II^e^ s. de n. è. Le prélèvement pour la datation a été réalisé dans un petit bassin de décantation pour la préparation du minerai près de la mine d'Arditurri à Oiartzun (Urteaga 2014, p. 286).

L'étude archéologique de ce district a commencé dans les années 1980. Les très nombreux travaux modernes ont là aussi détruit de nombreux ouvrages et révélé la présence des travaux anciens, dont plusieurs kilomètres de réseau cumulés sont aujourd'hui accessibles (Urteaga Artigas 2012, p. 212). Les travaux d'Arditurri sont les mieux connus archéologiquement. Tout comme à Banca, ils révèlent une organisation particulièrement poussée des travaux et montrent une connaissance technique solide dans leur planification. L'exemple le plus clair en est la longue galerie d'exhaure, le *cuniculus*, creusé en plusieurs tronçons depuis des puits à intervalles réguliers. La présence de personnel capable de définir l'emplacement des puits, la profondeur à atteindre et la direction à suivre est indubitable. Cela représente également un investissement lourd, qui a permis de drainer les eaux 15 mètres sous le niveau phréatique, sur 415 m de longueur (Ugalde 2010, pp. 338-339). Cette capacité d'investissement est également perceptible dans les galeries de recherche en travers-banc creusées à flanc de versant, qui n'ont pas toujours eu de succès, et dans les galeries d'accès de plusieurs dizaines de mètres de longueur qui facilitaient la circulation et l'exhaure des travaux une fois que les recherches étaient fructueuses (Urteaga Artigas 2012, p. 211).

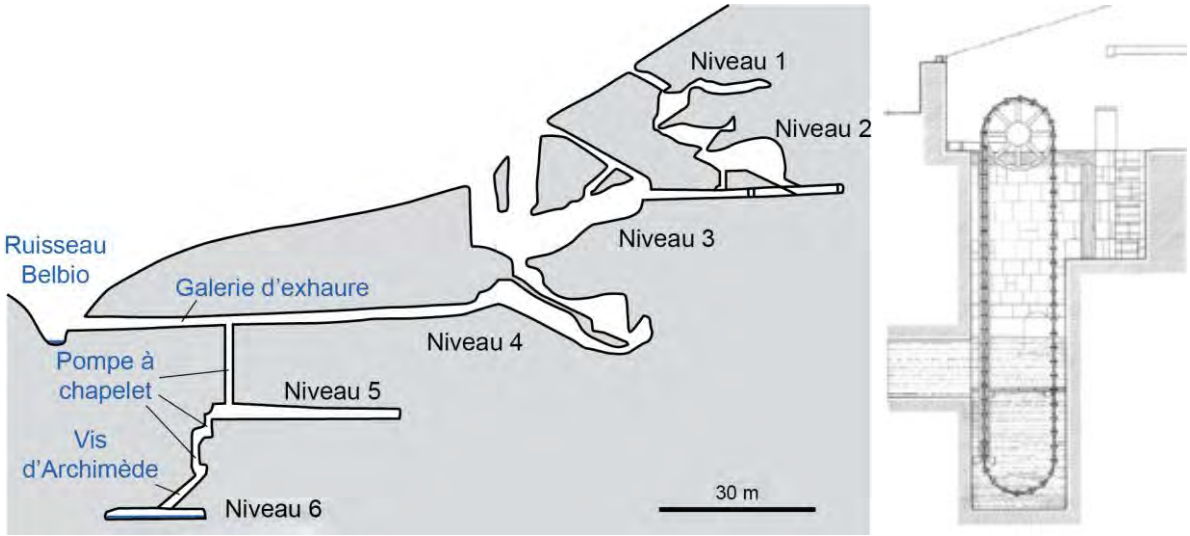


Fig. 207 : Mine de Belbio : Localisation des systèmes d'exhaure et profil du système de pompe à chapelet (d'après Ugalde 2010, fig. 15 et 8).

Un investissement important dans l'exhaure a aussi été relevé dans la mine de Belbio. Ce réseau antique, qui cumule près d'un kilomètre de réseau ancien, est étagé sur six niveaux. Les travaux romains étaient drainés par une galerie d'exhaure au quatrième niveau. Les étages inférieurs, reliés par des puits et une galerie inclinée, étaient maintenus à sec par un système de pompage et de vis d'Archimède (Fig. 207). Le pompage dans les puits a pu se

[117] Ua-39747 : 1907 ±34 BP soit 20-220 cal AD.

faire avec un système de pompe à chapelet qui permettait de remonter l'eau dans la galerie d'exhaure. Les éléments en bois ne sont pas conservés mais les encoches et aménagements dans le rocher sont cohérents avec l'installation de ce type de machinerie. Les ouvrages d'exhaure avaient une taille suffisante pour permettre l'évacuation de l'eau et des produits de la mine, ainsi que la circulation des mineurs (Ugalde 2010, pp. 341-344).

Si l'on revient à la mine d'Arditurri, on peut ajouter que le gabarit des galeries est confortable, avec une largeur moyenne d'un mètre et une hauteur autour de 1,75 m, ce qui permet une circulation aisée (Urteaga & Ugalde 1986, pp. 110-115). Les galeries d'accès sont équipées de nombreuses niches à lampes et la sole a été égalisée par l'apport d'un remblai fin composé de schistes stériles (Urteaga Artigas 2012, pp. 213-215). Les vestiges visibles aujourd'hui correspondent à la période romaine et sont liés, suivant la proposition de Mercedes Urteaga, à la présence d'un *procurator metallorum* chargé de l'exploitation du district, d'une manière similaire à ce que les tables de *Vipasca* nous apprennent (Urteaga 2014, p. 291). La ville d'*Oiasso* et son port auraient constitué le centre de gestion de ce district et le point de sortie de la production et d'entrée de l'approvisionnement nécessaire à la population minière.

L'exploitation romaine des non-ferreux du district d'*Oiasso* aurait pris la suite de travaux menés par les populations locales avant la conquête, qui auraient servi de base pour la nouvelle administration (Urteaga 2014, p. 288). Le fait que les datations des travaux ne remontent pas avant la conquête romaine pourrait être simplement dû à une lacune de la recherche, comme le signale M. Urteaga (2014, 288). La production de monnaies d'argent par les populations locales dès le II^{e} s. av. n. è. serait une preuve indirecte de cette exploitation, tout comme des signaux de pollution au plomb enregistrés entre les II^{e} s. av. n. è. et IV^{e} s. de n. è.

Dans ce district, les mines de San Fernando ont aussi exploité des minéralisations ferrifères. Fortement altérées par les travaux modernes, une dizaine d'ouvrages anciens sont conservés. D'extension limitée, ils se caractérisent par une galerie d'accès inclinée en travers-banc qui est prolongée, lorsque le filon est atteint, par le chantier d'exploitation à proprement parler. Ces travaux sont proches les uns des autres et permettent d'atteindre le filon en plusieurs secteurs (Urteaga Artigas 2012, p. 205). Ce mode d'attaque des minéralisations correspond à ce qui est connu pour les non-ferreux à la même période.

Le Pays Basque est donc un secteur dont les ressources minières sont densément exploitées à partir du Haut-Empire. L'investissement consenti pour cette activité est élevé, avec la multiplication des galeries en travers-bancs (donc creusées dans le stérile), dont la rentabilité n'est pas immédiate. Elles montrent une vision de l'exploitation à moyen ou long terme, avec une prévision des dépenses et des moyens à mobiliser, quitte à retarder l'obtention des bénéfices. Le percement de galeries en travers-banc apparaît aussi comme une nouveauté dans les exploitations de ce secteur. La présence d'ingénieurs proposée pour le district d'*Oiasso* pourrait être étendue à des sites comme celui de Banca. Des contacts

entre les différentes exploitations minières sont à envisager pour la mise en place de cette nouvelle forme d'exploitation à partir du Haut-Empire.

b. Les Pyrénées Centrales

Dans les Pyrénées Centrales, l'exploitation sur le Massif du Montaigu, présenté plus haut dans ce chapitre (point I. B. 1.b, p. 323 et point II. B. 1.b p. 364) se poursuit au cours du I^er^ s. de n. è. voire jusqu'au premier quart du siècle suivant (Girard 2007, p. 8). Les données concernant les dernières décennies de cette activité sont cependant assez floues. Dans la mine de Palouma, seule une date, fournie par un charbon provenant de la grande salle nº1 du réseau 330 (Fig. 163), se situe uniquement après le changement d'ère[118]. Les autres correspondent à des intervalles qui démarrent au plus tard dans les 40 dernières années avant le changement d'ère. Pour l'atelier d'Hourcade, ce sont également les larges intervalles des datations radiocarbone qui indiquent une poursuite de l'activité au I^er^ s. de n. è. (Girard 2007, p. 19-20). L'ampleur réelle de l'exploitation de ce district après Auguste est donc difficile à préciser, et pourrait être assez limitée. Quoi qu'il en soit, aucun changement technique n'est identifié entre les chantiers qui pourraient dater du Haut-Empire et les chantiers ouverts au cours du second âge du Fer.

Un district dont l'exploitation à partir du Haut-Empire est certaine est celui des Hautes Baronnies. Dans ce district sidérurgique, les recherches ont été réalisées par R. Sablayrolles, J.-M. Fabre et A. Beyrie. Il a été abordé par des prospections et des sondages sur des crassiers. L'absence de données précises sur l'exploitation minière associée à cette production de fer limite la portée de l'étude pour notre propos. Toutefois, les résultats obtenus quant à la chronologie et à l'organisation de l'activité métallurgique fournissent des éléments de réflexion qui doivent être pris en compte.

Le district sidérurgique des Hautes Baronnies se situe dans la haute vallée de l'Arros, sur les communes d'Esparros, Hèches et Asque (Fig. 208). Les minéralisations exploitées sont de deux types. Vers l'ouest, il s'agit d'ankérite[119], sous la forme de petits filons dans les fractures de la dolomie encaissante ou interstratifiée dans cette dernière, en petites couches millimétriques à centimétriques. Plus rarement, il y a eu formation de brèche dont les éléments dolomito-ankéritiques sont cimentés par de l'ankérite. Vers l'est, le minerai est de l'hématite[120], qui constitue le ciment d'une brèche, intercalée entre des dolomies et des calcaires. Les premières exploitations se sont sans doute attaquées aux chapeaux de fer de ces gisements, enrichis en oxydes et hydroxydes, et qui ne nécessitaient pas de grillage (Beyrie *et al.* 2000, p. 40).

L'extraction du minerai a laissé comme vestiges de nombreuses minières ou fosses résultant d'une exploitation à ciel ouvert. Leurs dimensions atteignent facilement la dizaine

[118] Datation Lyon 3796 SacA-6297 : 5 – 127 cal AD (Girard 2007, p. 8).

[119] Carbonate de fer de formule $Ca(Fe,Mg,Mn)CO_3)_2$.

[120] Oxyde de fer de formule Fe_2O_3.

de mètres de diamètre et certaines dépassent les 50 m. Des départs de chantiers souterrains sont également visibles, ainsi que des exploitations en tranchées, qui peuvent s'étendre sur quelques dizaines ou plusieurs centaines de mètres. Des éléments plus diffus, tels que des grattages ou des traces de sous-cavages, sont disséminés sur l'ensemble du secteur. Des travaux alignés montrent que des filons entiers ont été exploités (Beyrie *et al.* 2000, pp. 41-46). Malgré l'absence de sondage, le mobilier, récolté à la surface des travaux et dans les sites d'habitats identifiés à proximité, indique une phase d'exploitation médiévale et moderne. Cela vient compléter les données relatives aux ateliers, majoritairement antiques, et montre le caractère diachronique de l'exploitation.

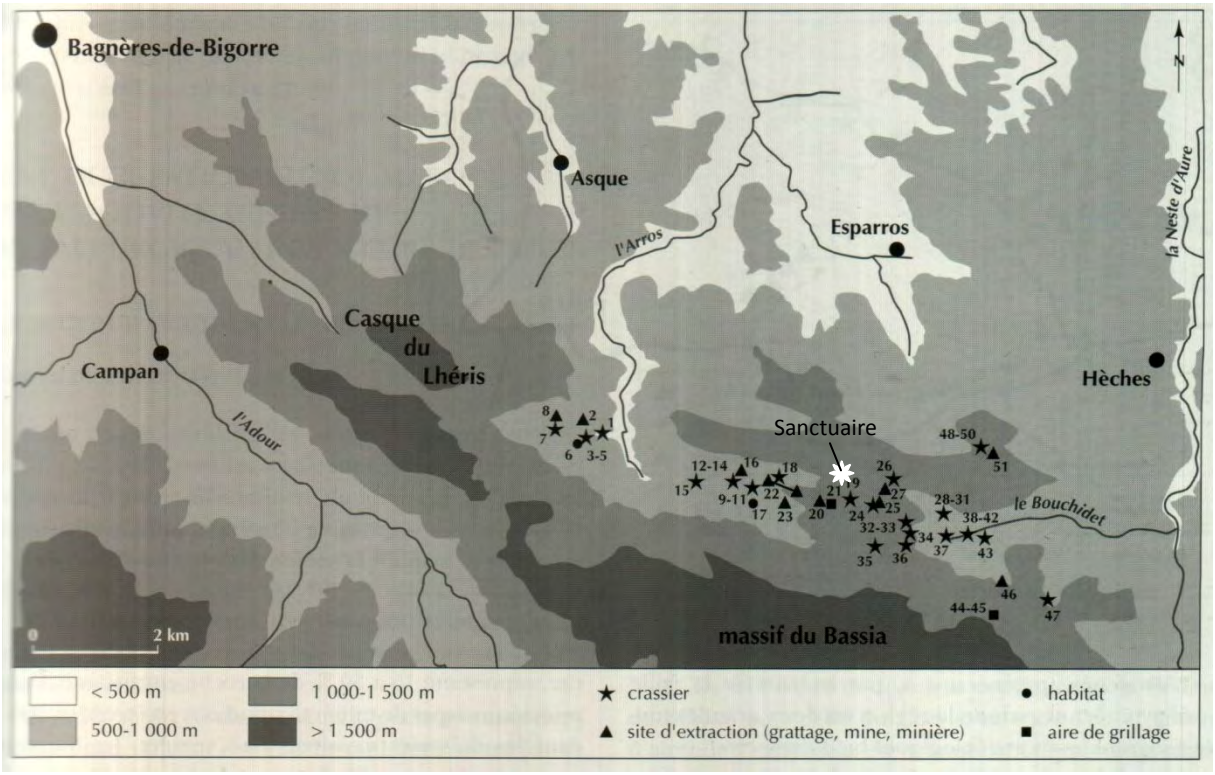


Fig. 208 : Plan d'ensemble des vestiges du district sidérurgique des Hautes Baronnies (d'après Beyrie *et al*. 2000, fig. 10 et Fabre *et al*. 2001, fig. 2).

Ces vestiges de l'extraction minière sont accompagnés d'une cinquantaine de crassiers, corollaires de la production de fer. La réduction s'est déroulée à proximité des mines, les ateliers étant implantés de préférence près des cours d'eau et là où le relief plus doux favorisait l'installation. Les sondages réalisés sur dix d'entre eux ont mis en évidence une phase d'activité antique, qui a démarré au I^er^ s. de n. è. et a pu durer jusqu'au IV^e^ siècle. Cette chronologie correspond aux tessons de céramiques plus ou moins abondants dans ces crassiers, tels que de la céramique à paroi fine métallescente, de la sigillée gallo-romaine et de la céramique commune similaire à celle qui est connue à St-Bertrand-de-Comminges, accompagnés de quelques éléments plus tardifs (Beyrie *et al.* 2000, p. 47 ; Fabre *et al.* 2001, pp. 126-128). D'autre part, un sanctuaire a été identifié sur la crête de Sarramer, au cœur de la zone d'exploitation, et a été fouillé sous la direction de J.-L. Schenck. Une terrasse aménagée dans le rocher marque son emplacement. Des monnaies déposées en offrandes

et datées entre les II^{e} et IV^{e} s. de n. è. viennent conforter la chronologie d'exploitation donnée par le mobilier (Schenck-David 2005, pp. 62-66).

En termes d'organisation, les auteurs proposent de voir dans la dispersion et la petite taille des crassiers (inférieure ou égale à 50 m^2 pour la plupart) le signe d'une exploitation plutôt artisanale. Ce volume limité des crassiers, comparé à la taille imposante des excavations minières, semble conforter l'hypothèse d'une exploitation en plusieurs phases. Les ateliers postérieurs auraient été implantés ailleurs, sans doute plus bas vers les vallées (Beyrie *et al.* 2000, p. 48). Deux crassiers seulement ont livré des restes qui permettent de supposer une disposition des fours en batterie. La faible quantité de scories dans les crassiers, où les débris de réfractaire sont abondants, montre que la production n'a pas connu une grande intensité (Fabre *et al.* 2001, pp. 130-131). Malgré cela, les techniques sont maîtrisées et le fer produit est de bonne qualité. Cette activité a pu être saisonnière ou même constituer une source de revenus secondaire pour les populations locales (Fabre *et al.* 2001, pp. 135-137).

La découverte de deux inscriptions portant des dédicaces au dieu topique *Ageio* permet d'apporter quelques précisions au sujet des populations locales. La première a été découverte dans le sanctuaire de Sarramer, fréquenté par les producteurs de fer. La seconde provient d'un autel votif localisé dans l'église d'Asque, portant une dédicace à *Ageio* de la part des *pagani ferrariensis*. Cette divinité ne pouvait être honorée que par des populations autochtones, comme l'atteste l'onomastique des dédicants identifiés dans d'autres contextes. Une partie au moins de la main-d'œuvre en charge de la production de fer aurait donc été constituée de la population pérégrine libre de ce même secteur, qui avait accès au mobilier typique de l'Empire (céramique sigillée) et avait adopté des pratiques cultuelles romaines (autels votifs inscrits en latin), sans renier ses croyances originelles (Beyrie *et al.* 2000, pp. 50-51). Ce schéma laisse apparaître une certaine part d'indépendance des populations locales dans l'exploitation de ce district, menée avec des moyens semble-t-il réduits, plutôt caractéristiques d'une gestion par des entrepreneurs privés voire municipaux (Beyrie *et al.* 2000, p. 52). Cependant, l'inscription des *pagani ferrariensis* montre l'existence d'un *pagus* dont la production de fer était une activité caractéristique. Il semble aujourd'hui hors de doute que cela fait bien référence aux exploitations antiques des Hautes Baronnies. Cette subdivision administrative romaine indique également une certaine implication de Rome dans cette activité, peut-être exprimée par des obligations fiscales (Fabre *et al.* 2001, p. 137).

Le district sidérurgique des Hautes Baronnies nous donne un exemple d'une exploitation modeste intégrée malgré tout dans les cadres administratifs romains. Si les reprises postérieures à cette période sont avérées, les données ne permettent pas d'avoir des certitudes quant à une éventuelle exploitation antérieure. La maîtrise technique des métallurgistes pourrait indiquer une tradition ancienne dans la production, mais il est aussi possible que ce savoir ait été transmis aux populations locales. Le faible volume des crassiers indique également que la production antique était destinée à un marché plutôt local ou à

faible distance, même si les auteurs n'écartent pas la possibilité qu'une partie du minerai ait été traité ailleurs, et échappe donc à notre perception (Beyrie *et al.* 2000, p. 48). On retiendra donc de cet ensemble qu'il correspond à une mise en valeur des ressources locales pour répondre à des besoins locaux, l'abondance des gisements de fer ne justifiant guère la mise en place d'une exploitation de cet ordre dans un secteur éloigné des lieux de consommation.

c. Les Pyrénées Ariégeoises

Nous avons vu que les exploitations pour le cuivre argentifère du Massif de l'Arize s'arrêtaient au plus tard à la fin de la période augustéenne. L'exploitation du plomb argentifère des Abères et de l'Argenterie, à Rivèrenert, s'est probablement arrêtée un peu plus tôt (Dubois & Guilbaut 1986, pp. 108-109). Une des dates radiocarbone obtenues sur le site de l'Argentière à Aulus couvre la première moitié du I^{er} s. de n. è. (Py-Saragaglia *et al.* 2017, p. 148), mais il ne s'agit que de la fin d'un intervalle qui démarre au milieu du II^{e} s. av. n. è., laissant peu de probabilités pour que l'activité se soit effectivement déroulée après le changement d'ère.

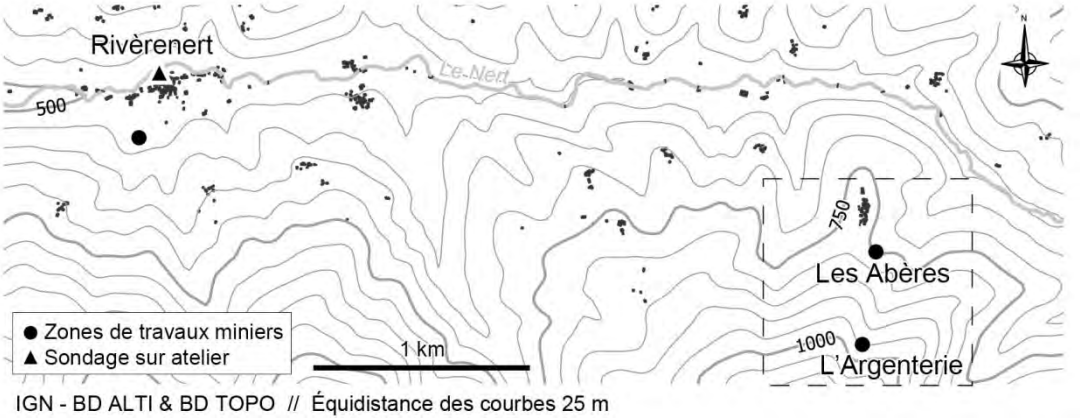


Fig. 209 : Localisation des vestiges miniers de Rivèrenert.

Un seul site est connu dans tout ce secteur ariégeois pour le I^{er} s. de n. è. : il s'agit, de nouveau sur la commune de Rivèrenert, des vestiges d'un ferrier situé immédiatement au nord du village actuel, entre 500 et 550 m d'altitude (Fig. 209). Les travaux miniers correspondant, situés au sud du village et fortement altérés par les reprises récentes, ne sont pas datés (Dubois & Guilbaut 1986, p. 93). Les auteurs de l'étude n'ont pu que constater dans les quelques mètres de réseau encore accessibles des traces de pointerolle sur quelques reliquats de parois anciennes. Cependant, un sondage réalisé dans un des jardins où des scories avaient été repérées en prospection a permis de dater une phase d'activité métallurgique du I^{er} s. de n. è. par le mobilier mélangé au crassier : sigillée, tasses de l'atelier gersois de Galane, panses d'amphores à pâte orangée et céramique commune. L'analyse des scories a montré qu'il s'agissait bien de vestiges de réduction du fer, mais les bas fourneaux n'ont pas été localisés (Dubois & Guilbaut 1986, p. 94).

Deux autres gisements miniers seront exploités mais plus tardivement : celui de Lercoul, pour la production sidérurgique, et celui de l'Assaladou, sur une minéralisation aurifère. L'atelier métallurgique de Lercoul est situé dans la commune du même nom et les mines s'étendent de part et d'autre du col de Lercoul, atteignant ainsi la commune de Sem sur le versant ouest (Fig. 210). Les travaux miniers sont situés principalement au-dessus de 1300 m d'altitude. Les exploitations se sont développées sur des filons d'hématite et de goethite à gangue de quartz encaissés dans une dolomie dévonienne, où des remobilisations karstiques sont aussi indiquées localement (Dubois 2000, p. 53). Sur le versant ouest, les minéralisations ont donné lieu à une exploitation médiévale et moderne intensive sur le site du Rancié.

Les mines de fer du versant de Lercoul ont fait l'objet d'une prospection et de relevés topographiques en 1997 (Dubois 1999a, p. 38). Les vestiges des travaux se présentent sous la forme de tranchées ou de fosses alignées suivant la minéralisation. Si des traces de pointerolle subsistent sur les parois, la chronologie des travaux n'est pas assurée pour autant. Les archives attestent en effet de l'exploitation du gisement par les villageois de Lercoul jusqu'au début du XIX^{e} siècle avec des techniques archaïques. Des traces d'explosif en partie basse témoignent de la reprise récente.

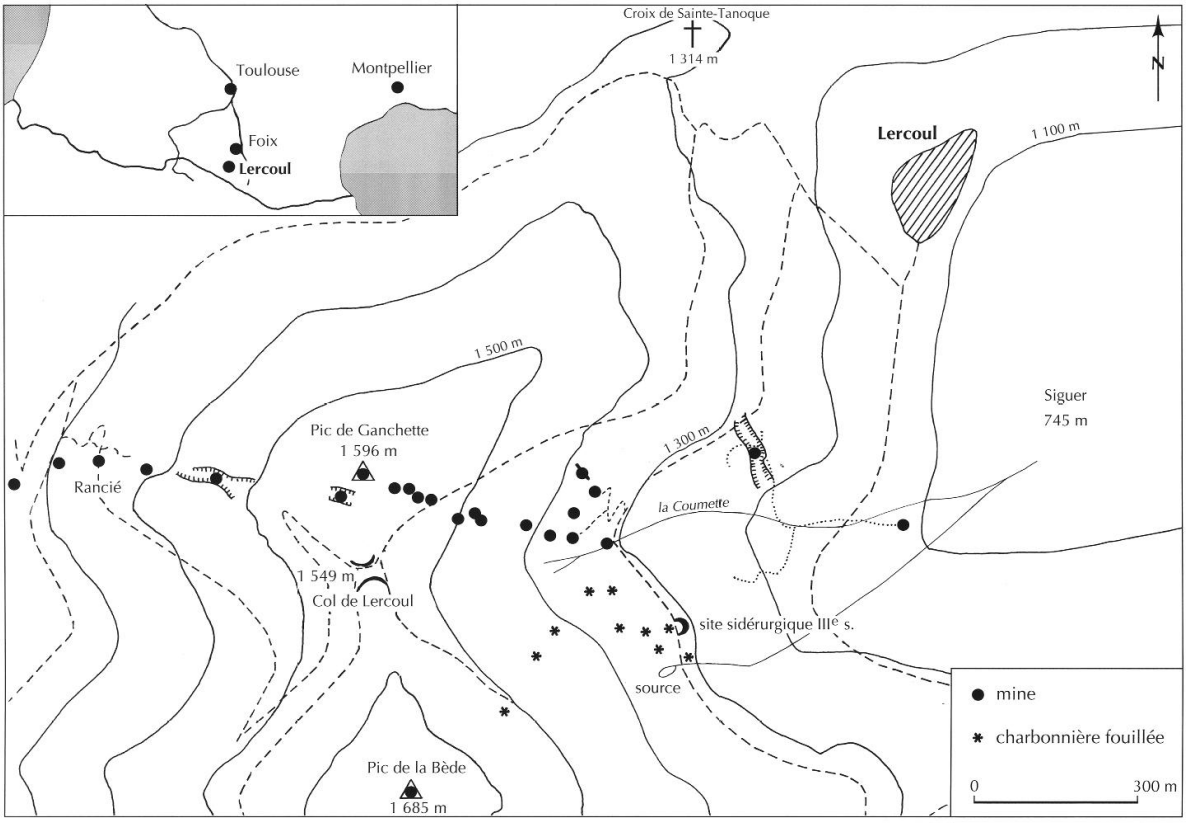


Fig. 210 : Plan des vestiges miniers et métallurgiques du col de Lercoul (Dubois 2000, fig. 19)

La présence d'un atelier de réduction du minerai de fer à moins de 300 m des mines les plus proches permet de dater une phase de l'activité ancienne. La fouille de l'atelier a livré les vestiges de trois bas fourneaux à scorie coulée dont les cuves sont creusées dans le

substrat schisteux. Ils sont installés sur une petite terrasse en partie naturelle et élargie par l'accumulation de déblais vers la pente. Une aire d'épuration a également été identifiée (Dubois 1997, p. 266 ; Dubois 2000, pp. 55-58). La rareté du mobilier, qui demeure en outre peu significatif chronologiquement parlant, a rendu nécessaire la réalisation de datations radiocarbone (Dubois 2000, pp. 60-61). La stratigraphie indique deux phases de fonctionnement distinctes, mais proches dans le temps par l'absence de colluvionnement entre les niveaux de chaque phase. La datation retenue est le III^{e} s. de n. è., commun aux fourchettes chronologiques de la première et de la seconde phase[121]. Cette chronologie correspond à une période de crise au sein de l'Empire (Christol & Nony 2011, pp. 216-228).

La localisation de ce site en altitude en complique l'accès pendant la période hivernale. L'auteur penche donc pour la restitution d'une activité saisonnière exercée six à sept mois par an. Trois opérations expérimentales de réduction ont été menées sur le site, avec la reconstitution de l'un des trois bas fourneaux sur place. Sur cette base, et en considérant le volume et la densité du crassier identifié, la production de cet atelier est estimée à 140 t de fer, réparties sur une durée de 134 à 156 ans. Cette durée pourrait être inférieure, en considérant que les métallurgistes de l'époque étaient plus productifs que les expérimentateurs actuels, et en tenant compte également du volume supérieur du bas fourneau de la seconde phase, comme le signale l'auteur (Dubois 2000, pp. 61-62). On se situe donc ici dans le cadre d'une production plutôt modeste, destinée à la consommation locale ou à faible distance. L'exploitation minière ne représentait pas dans ce cas l'activité principale de toute une communauté.

Quant au plateau de l'Assaladou, entre 1500 et 1600 m d'altitude (communes d'Ignaux et Sorgeat), il rassemble une trentaine de vestiges miniers, répartis en neuf secteurs (Fig. 211). Ces travaux ont exploité des lentilles minéralisées de quartz gris aurifère, encaissées dans des schistes du Cambro-ordovicien. Des veines de quartz blanc, stériles, formant parfois des stockwerks, recoupent fréquemment les lentilles de quartz gris (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 208-209). Les vestiges des travaux consistent en des fosses de tailles variables, de plan globalement circulaire ou allongé, allant du simple grattage à des ouvrages imposants dépassant les 15 m de longueur pour des largeurs de 10 à 15 m et des profondeurs conservées de 3 à 4 m. Les excavations ont certainement été en partie comblées par les haldes anciennes, qui présentent un volume réduit autour des travaux et sont même absentes dans certains cas (Cauuet 2001a, pp. 42-43 ; Cauuet & Tămaş 2017, p. 209).

[121] La première phase est représentée par une datation : ARC-1701 à 1830 ±40 BP soit 70-320 cal AD. La seconde phase est représentée par trois datations : ARC-514 à 1690 ±50 BP, ARC-1375 à 1715 ±40 BP et ARC-1702 à 1720 ±40 BP. Ces trois dates ont été soumises à une moyenne pondérée effectuée par le laboratoire Archéolabs qui donne un âge de 1710 ±24 BP soit 255-405 cal AD (Dubois 2000, 61).

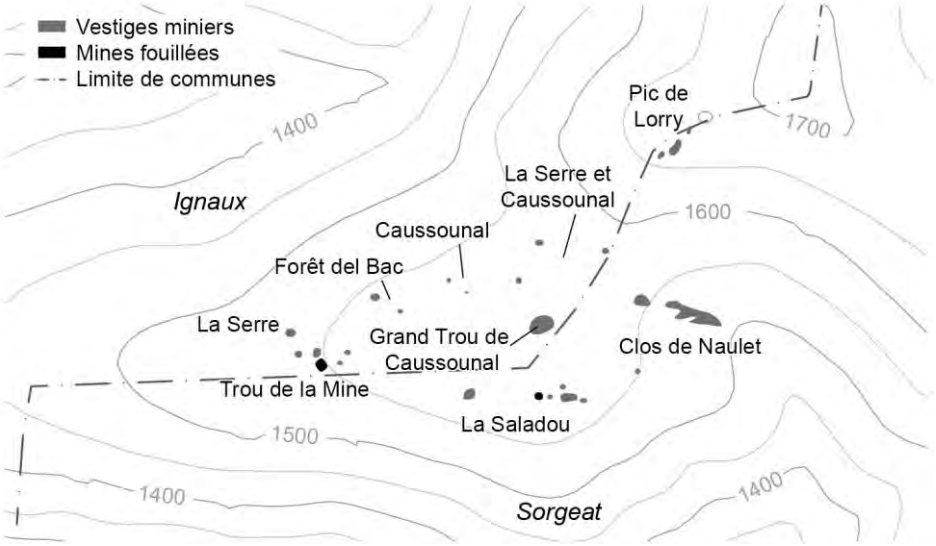


Fig. 211 : Plan d'ensemble des vestiges miniers de l'Assaladou (d'après Cauuet & Tămaş 2017, fig. 2).

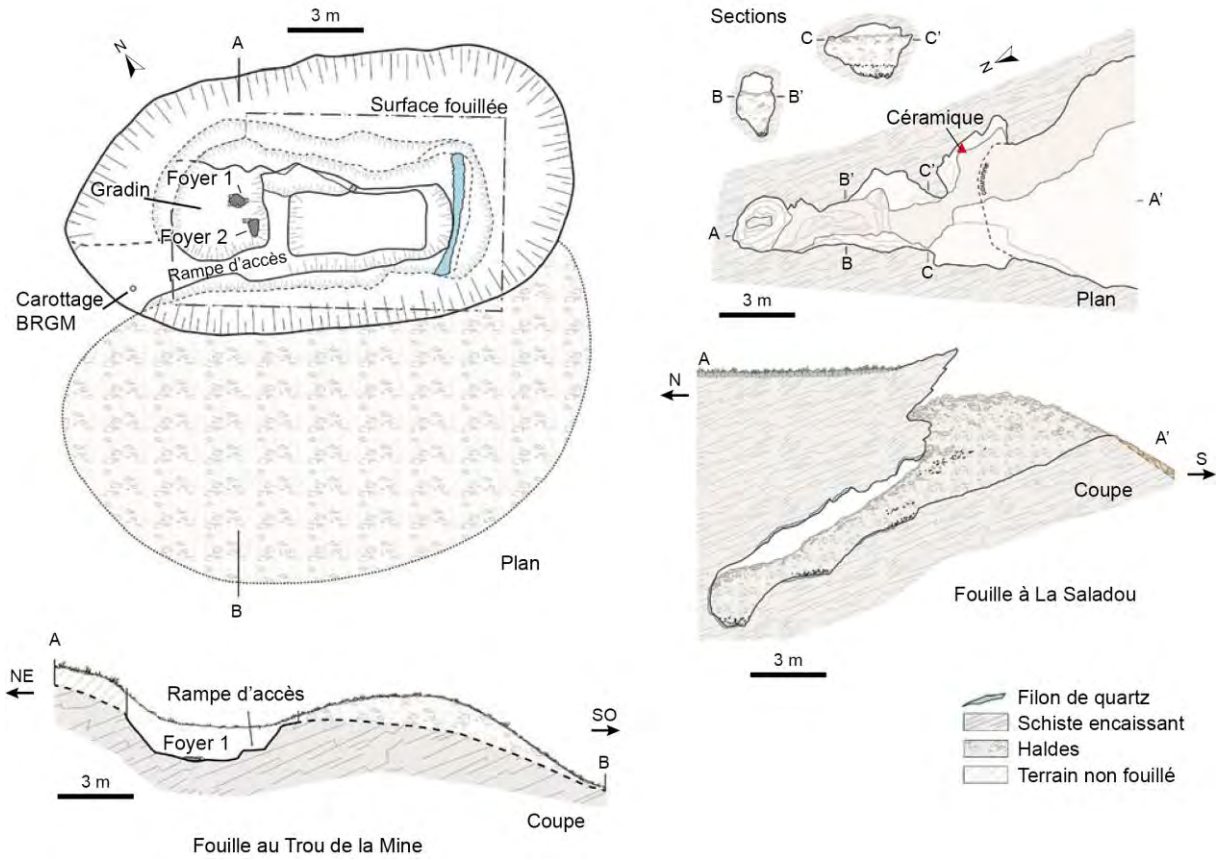


Fig. 212 : Structures minières fouillées sur le plateau de l'Assaladou (d'après Cauuet & Tămaş 2017, figs. 3 et 5).

Deux mines ont été fouillées sur deux secteurs différents, dans les années 1990, par B. Cauuet accompagnée de C. Maissant pour la première. L'une, située au lieu-dit le Trou de la Mine, fait partie des grands chantiers avec des dimensions de 13 par 23 m et une profondeur maximale de 4,5 m. Cette mine n'a pas dépassé le stade de l'ouvrage à ciel ouvert. Une rampe d'accès, partant de l'angle ouest de la fosse, permettait de faciliter la

circulation en desservant tout d'abord un premier gradin côté nord, moins profond, puis la partie surcreusée au sud, plus profonde de 0,5 à 1 m (Fig. 212, gauche). Le fond de la fosse est plat et deux soles de foyers ont été identifiées sur le gradin nord (Cauuet & Tămaş 2017, p. 211). L'autre, dans le secteur de La Saladou, avait la particularité de présenter un volume de haldes supérieur au volume apparent de la fosse, ce qui laissait augurer d'un prolongement de l'exploitation en souterrain. Cela a été confirmé par la fouille, qui a permis de dégager un porche se poursuivant par une galerie inclinée de 13 m de longueur, terminée par une amorce de puits vertical circulaire profond de 2 m (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 214-215). La largeur de la galerie est irrégulière et oscille entre 1,5 et 3 m. Des ressauts à la sole forment des sortes de gradins peu ergonomiques (Fig. 212, droite). La présence de charbons dans les remblais et les profils globalement arrondis de l'ouvrage, couplés à l'absence de traces d'outils, indiquent que l'ouverture a été réalisée principalement au feu (Cauuet 2001a, p. 44).

La chronologie de ces ouvrages a pu être établie par des datations sur des charbons prélevés dans des niveaux correspondant à l'activité minière, ainsi que par un vase céramique (Escudé-Quillet & Maissant 1996, p. 164 ; Cauuet 2001b, pp. 167-168). Ce pot globulaire, provenant de l'élargissement à l'est du porche de la mine de La Saladou, en céramique commune grise tournée, est datable des III^{e} et IV^{e} s. de n. è. Trois datations ^{14}C sont concordantes avec cette période[122]. Elles ont été obtenues sur des charbons provenant de la sole à l'entrée de la galerie de La Saladou, d'une niche proche de l'emplacement de la céramique et du foyer 1 du Trou de la Mine. Deux autres sont plus anciennes et couvrent une période allant du I^{er} au début du III^{e} s. de n. è[123]. Elles ont été réalisées sur le foyer 2 du Trou de la Mine et sur des charbons provenant de la sole de la galerie inclinée de La Saladou.

Dans le cas du chantier de La Saladou, la différence chronologique entre les charbons provenant du front de taille de la galerie inclinée et ceux prélevés sur la sole à l'entrée et dans la niche au nord-est peut s'expliquer par une reprise de l'ouvrage après une première exploitation, comme le propose B. Cauuet (Cauuet & Tămaş 2017, p. 221). Dans le cas des foyers, la différence chronologique serait plus problématique dans la mesure où ils se trouvent tous les deux dans la même position stratigraphique, à même le rocher. Cependant, la fin de l'intervalle le plus ancien (233 cal AD) et le début de l'intervalle le plus récent (210 cal AD) se recouvrent suffisamment pour proposer, sinon une contemporanéité stricte, du moins un fonctionnement de ces deux foyers très rapproché dans le temps. Ainsi, l'activité minière sur le plateau de l'Assaladou caractérisée par ces deux fouilles semble donc bien

[122] Entrée de la galerie La Saladou : datation ARC-973: 1700 ±50 BP soit 220-430 cal AD (Cauuet & Tămaş 2017, 214).

Niche proche de la céramique : datation Ly-9256 : 1685 ±35 BP, soit 266-425 cal AD (Cauuet 2001b, 168).

Foyer F1 du Trou de la Mine : datation Ly-9254 : 1760 ±35 BP, soit 210-384 cal AD (Cauuet & Tămaş 2017, 211).

[123] Foyer F2 du Trou de la mine : datation LY-9255: 1870 ±35 BP soit 69-233 cal AD

Base du front de taille dans galerie La Saladou : datation Ly-6707 : 1885 ±56 BP, soit 1-253 cal AD (les deux dates dans : Cauuet & Tămaş 2017, 221).

centrée sur les III^e^ et IV^e^ s. de n. è., tirant vers l'Antiquité tardive. Un démarrage dès le I^er^ ou le II^e^ s. de n. è. est possible pour la galerie inclinée, la localisation des charbons dans l'ouvrage n'étant pas incompatible avec une chronologie bien différenciée en deux phases[124]. Pour le Trou de la Mine cependant, il nous semble plus probable que les deux foyers aient fonctionné dans un intervalle réduit, au début du III^e^ siècle.

Ces travaux de faible envergure, qui ne présentent pas un haut niveau technique, sont interprétés comme des mines paysannes, exploitées par des bergers lors de l'estive des troupeaux (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 220-221). En effet, les zones exploitées étaient fortement affectées par des fissures, facilitant le travail des mineurs. Les barres de quartz plus massives, plus difficiles à attaquer, ont été délaissées, bien que minéralisées elles aussi (Cauuet & Tămaş 2017, p. 219). D'autre part, l'étude géologique menée par C. Tămaş a également révélé que les grains d'or présents dans le quartz étaient visibles à l'œil nu : ils peuvent atteindre quelques millimètres d'épaisseur. Cet or est associé à de l'arsénopyrite, elle aussi visible facilement, et la couleur grise des veines de quartz minéralisées se repérait aisément au sein des schistes encaissants (Cauuet & Tămaş 2017, pp. 217-218). Le repérage de ces minéralisations était donc à la portée d'observateurs attentifs, même sans connaissances géologiques préalables. Ces minéralisations fournissaient ainsi des ressources complémentaires aux bergers qui fréquentaient ces lieux aux III^e^ et IV^e^ s. de n. è. (et peut-être également un peu plus tôt), représentant pour eux une activité économique secondaire (Cauuet 2001b, p. 175 ; Cauuet & Tămaş 2017, p. 220).

L'ampleur de l'exploitation sidérurgique de Rivèrenert ne peut pas être évaluée avec les quelques données disponibles. Pour Lercoul comme pour l'Assaladou, on se trouve face à une activité saisonnière d'envergure plus ou moins limitée. Les exploitations systématiques qui se dessinaient pour la période précédente ne semblent plus d'actualité dans ce secteur des Pyrénées Ariégeoises à partir du Haut-Empire.

d. Les Pyrénées Orientales

Pour les Pyrénées Orientales, le manque de données chronologiques précises déjà signalé maintient le flou pour les phases postérieures à Auguste. Le mobilier identifié en prospection sur les très nombreux crassiers confirme que l'activité sidérurgique s'est poursuivie de manière soutenue au cours du I^er^ s. de n. è. (Mut 2001, p. 145 ; Mut & Kotarba 2007, p. 149). Il a aussi été proposé que les petits crassiers isolés qui ne livrent pas de mobilier, parfois situés en altitude, correspondent à une activité de l'Antiquité tardive ou du haut Moyen Âge, pratiquée de manière secondaire par des bergers ou des charbonniers qui fréquentaient ces espaces, pour un approvisionnement du marché local (Mut & Kotarba 2007, p. 153). Le manque de données ne permet pas, pour l'heure, de savoir comment a évolué cette exploitation au cours de l'Antiquité.

[124] L'intervalle calibré de la datation radiocarbone, 1-253 cal AD, couvre tout de même là aussi la première moitié du III^e^ s. de n. è. L'option d'un démarrage uniquement au III^e^ siècle ne peut donc pas être totalement écartée.

En ce qui concerne plus spécifiquement les mines, les données sont également très partielles. Des tessons de céramique sigillée ont été trouvés en prospection près de la mine de cuivre de la Collade de Bernadell, montrant que le site est toujours fréquenté au début du I^er^ s. de n. è. (Barrouillet *et al.* 1989, p. 24). Une des mines de fer de la commune de Baillestavy a par contre livré des données un peu plus fermes concernant l'exploitation au I^er^ s. de n. è., que l'on peut rapprocher de celles provenant des prospections sur les ferriers. Il s'agit de celle de Mas Bourras, évoquée plus haut, d'où provient également un charbon daté du premier âge du Fer (Munteanu *et al.* 2017, pp. 276-279). Le corps filonien exploité renfermait des oxy/hydroxydes de fer et des carbonates. L'entrée des travaux est formée par une bouche elliptique qui s'ouvre dans le sol actuel et qui donne accès à une grande salle de près de 20 m de long pour 10 de large (Fig. 213). Cette salle résulte d'élargissements multiples en partie récents. Les travaux anciens sont identifiés par les coups de pointerolle visibles aux parements de plusieurs galeries latérales et dans un chantier vertical. Huit encoches à poutres anciennes ont aussi été identifiées dans des secteurs ouverts à l'outil. Elles témoignent d'un aménagement ancien de plates-formes de travail sur plusieurs niveaux. Il faut également signaler que les travaux à l'outil se sont limités aux corps de minerai et n'ont pas attaqué le stérile, contrairement aux reprises à la poudre. La rentabilité des travaux était donc plus facile à assurer pour ces phases anciennes.

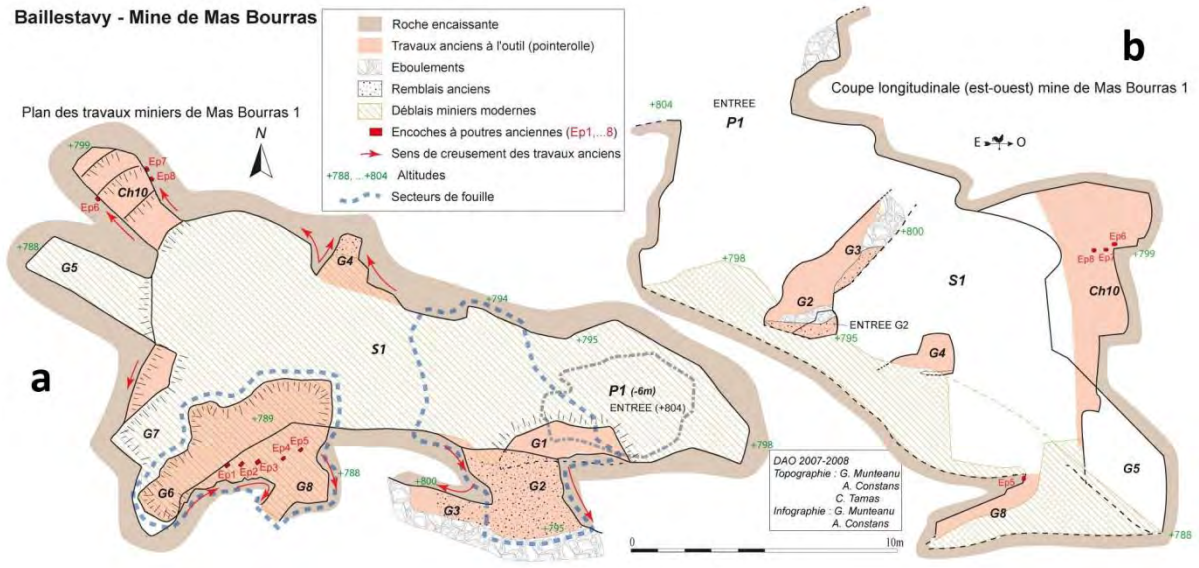


Fig. 213 : Mine de Mas Bourras, plan et coupe des travaux (d'après Munteanu *et al.* 2017, fig. 8).

Deux sondages ont été réalisés dans ces travaux (Munteanu *et al.* 2017, pp. 279-282). Le premier, dans la galerie G8, n'a pas permis d'atteindre la sole car les travaux se poursuivaient en profondeur et les conditions de sécurité n'étaient plus réunies pour la poursuite de la fouille. Le second, réalisé dans la galerie G2, a permis de différencier la partie nord, plus affectée par des remaniements récents, de la partie sud, qui conserve des déblais liés à l'activité minière ancienne. Un tesson d'amphore de type Dr. 2-4 a été recueilli sur la sole arénisée, côté nord. Une datation par la thermoluminescence effectuée sur ce tesson, couplée aux indications typologiques, situe l'occupation au I^er^ s. de n. è. Côté sud, un

charbon a été daté dans le niveau de remblai ancien le plus haut dans la stratigraphie, scellé par des niveaux d'éboulis et de remblais plus récents. C'est de là que provient la datation correspondant au I^{er} âge du Fer[125], issue d'un remaniement de remblais.

Les données lacunaires disponibles sur ce secteur minier limitent les possibilités d'interprétation. On peut tout de même relever la poursuite de l'exploitation sidérurgique au cours du I^{er} s. de n. è., et sans doute au-delà. Les techniques minières employées, d'après l'étude de la mine de Mas Bourras, ne présentent pas d'évolution avec les modes d'exploitation antérieurs.

e. Les Corbières

Pour le district des Corbières, les données issues des prospections et des fouilles ponctuelles ont montré que l'exploitation des non-ferreux n'avait plus cours après Auguste. Les choses sont un peu différentes pour l'exploitation sidérurgique, avec du mobilier daté du I^{er} s. de n. è. recueilli sur plusieurs crassiers, en l'occurrence de la céramique sigillée arétine et sud-gauloise, de la sableuse oxydante et des amphores de Tarraconaise de type Dr 2-4 ou Pascual 1 (Rancoule & Solier 1977, 28-29 ; Mantenant 2014, vol 1, p. 280). Le mobilier localisé autour des sites d'extraction de minerai de fer est cohérent avec cette chronologie. Des charbons provenant de deux ferriers du plateau de Lacamp sondés par J. Mantenant ont donné des datations se situant entre les I^{er} et III^{e} s. de n. è. (Mantenant 2014, vol. 1, p. 359). Si la période augustéenne semblait marquer une évolution vers une concentration de la production, avec des ferriers de plus gros volume mais moins nombreux (Mantenant 2014, vol. 1, 325), cette évolution ne s'est pas inscrite dans la durée. Les deux ferriers sondés cités ci-dessus ont des petites dimensions (400 m^2 max. au sol pour 0,45 et 0,7 m de hauteur) qui témoignent d'une activité de faible ampleur, comparable à ce que l'on observe dans les Hautes Baronnies, mais bien loin de la Montagne Noire (Mantenant 2014, vol. 1, 359). De fait, aucun aménagement bâti n'a été identifié autour des crassiers. On ne peut pas non plus pour l'instant savoir si cette activité gallo-romaine correspond à une production sporadique échelonnée sur trois siècles ou si l'activité s'est concentrée au I^{er} s. de n. è., prolongeant quelque peu la dynamique tardo-républicaine. La chronologie du mobilier, lorsqu'il est présent, inciterait à choisir la seconde option.

f. La Montagne Noire

Pour le secteur de la Montagne Noire, l'exploitation des non-ferreux connue aux Barrencs est là aussi interrompue. L'exploitation sidérurgique du bassin de la Dure se poursuit par contre jusqu'au III^{e} s. de n. è., comme l'a montré la fouille du crassier du domaine des Forges aux Martys (Domergue 1993). Cependant, aucune structure métallurgique datée de cette période n'a été mise au jour. Les crassiers et plusieurs bâtiments pris entre les couches de scories ont livré du mobilier qui montre la continuité de l'activité entre la période

[125] Datation ETH-36403 : 2435 ±50 BP soit 755-678 cal BC, 669-603 cal BC ou 598-404 cal BC.

augustéenne et le troisième quart du III^{e} siècle (sigillée arétine, sud-gauloise, puis africaine notamment).

Deux sondages en particulier réalisés dans les ferriers, sur 6 m de profondeur pour le premier et 8,7 m pour le second, permettent d'observer cette succession stratigraphique et chronologique de la production (Domergue 1993, pp. 69 et 96). Les phases de dépôt de scories alternent avec des périodes de sédimentation qui montrent que l'activité s'est déplacée dans l'espace au fil de ces trois siècles. Des analyses réalisées sur des lots de scories provenant de différents niveaux montrent l'homogénéité des pratiques métallurgiques au fil du temps et la similarité de la composition du minerai traité (Domergue 1993, pp. 241-243). L'approvisionnement en minerai ne s'est cependant pas fait uniquement depuis les gisements les plus proches, mais s'est étendu aux ressources venant de plus loin vers le sud de la Montagne Noire (Domergue 1993, p. 260).

Trois bâtiments remarquables ont été mis au jour entre certains niveaux de scories, parmi d'autres dont la fonction ne peut être proposée. Il s'agit du bâtiment aux doliums, de thermes et d'une charbonnière. La charbonnière est le plus ancien des trois et celui dont l'occupation est la plus courte. Elle est construite sur des couches de scories entre les années 50 et 80 et utilisée jusqu'à la fin du I^{er} s. de n. è. (Domergue 1993, p. 234). Il s'agit d'un bâtiment permettant le stockage et la redistribution du charbon vers un atelier (ou plusieurs ?). Sa présence sur un site comme le Domaine des Forges n'est pas surprenante, le charbon faisant partie des matières premières indispensables à la production de métal.

Les thermes ont été édifiés en s'appuyant sur une construction plus ancienne dont la nature demeure indéterminée, occultée par les aménagements destinés aux bains. Ce premier édifice s'appuie lui-même sur un niveau de crassier et date de la première moitié du I^{er} s. de n. è. La transformation pour mettre en place les thermes (L : 24 m ; l : 7,5 m) a lieu entre 70 et 100. Il s'agit de thermes en enfilade dont le type est bien connu à travers l'empire romain, qui sont ici bordés par un enclos. Les pièces sont disposées de la plus froide à la plus chaude, de manière tout à fait classique. Les pilettes en briques de l'hypocauste correspondent également à des modèles bien connus (Domergue 1993, p. 196). L'occupation de ces thermes été longue : elle démarre dans le dernier quart du I^{er} s. de n. è. et se prolonge jusqu'à la fin du II^{e} siècle, voire jusqu'au début du III^{e}. À ce moment-là, leur fonctionnement s'arrête et le bâtiment est réutilisé sans que l'on puisse préciser sa nouvelle destination. Son abandon définitif intervient rapidement et la construction s'écroule (Domergue 1993, pp. 199-202).

Enfin, le bâtiment aux doliums apparaît un peu plus tardivement. Une première construction dont deux pièces sont connues (L : 15 m) est édifiée dans le premier tiers du II^{e} s. de n. è. et occupée jusqu'à la fin du même siècle. Une des premières pièces est détruite un peu avant le milieu du III^{e} s. de n. è. et remblayée par des scories. Au milieu du III^{e} siècle, donc après peu de temps, le mur de la pièce détruite est repris et une autre pièce s'appuie dessus, dans laquelle deux doliums ont été trouvés semi-enterrés dans le sol. L'abandon de

cet édifice intervient assez rapidement, entre 260 et 270. Il sert de dépotoir pour des scories jusqu'à l'abandon définitif du site vers 280 (Domergue 1993, pp. 130 et 159).

Les thermes, tout comme probablement le bâtiment aux doliums, sont des ouvrages collectifs à disposition des métallurgistes travaillant sur le site. Ce type de thermes est mentionné sur l'une des tables de *Vipasca* (Aljustrel, Portugal), datée de la fin du I^{er} ou du début du II^{e} s. de n. è., qui dédie un paragraphe important aux bains publics (Domergue 1983, pp. 52-53 ; Domergue 1993, pp. 197-198). Ce type d'équipement faisait partie de ce à quoi les mineurs (et leur famille) avaient droit selon l'administration impériale, dans le contexte d'une exploitation gérée par un procurateur des mines. Si les données ne permettent pas de restituer l'existence d'un tel procurateur dans le bassin de la Dure, les équipements collectifs accessibles aux mineurs, tout comme l'envergure du gisement, peuvent indiquer que cette exploitation était administrée à un haut niveau. Un des *procuratores ferrariarium* connus en Gaule au II^{e} s. de n. è. aurait pu dans ce cas être en charge de ce district, un des *metallum publicum* de l'empire (Rico 2016, p. 276).

Mis à part ce site du domaine des Forges, les crassiers du bassin de la Dure sont rares pour la période du Haut-Empire. Le très gros crassier du lac de Laprade, dont le volume est comparable à celui du domaine des Forges, fait partie de ceux qui ont fonctionné sur une longue durée, qui couvre le Haut-Empire selon le mobilier visible (sigillée gallo-romaine, céramique à engobe blanc de Montans et amphores indéterminées). Au total, dix à quinze ferriers pourraient correspondre à cette période, même s'ils ne sont pas tous aussi imposants que celui des Martys (Rico 2016, pp. 271 et 275). Comparés aux multiples sites de petites dimensions attribués à la période précédente, ils révèlent une réorganisation de la production du fer, centralisée dans quelques sites majeurs à la période augustéenne. Cette restructuration à cette période semble liée à une volonté politique de mieux contrôler la production métallurgique des districts stratégiques, comme pouvait l'être la Montagne Noire pour la quantité de fer produit (Rico 2016, p. 274-275). Le contrôle de l'ensemble de ces productions par une seule entreprise, qui pourrait expliquer les similitudes techniques entre les différents ateliers notamment, semble difficile à admettre quand on pense à l'ampleur des moyens nécessaires et à l'éloignement de certains des ferriers par rapport à ceux des Martys ou de Laprade-Basse, épicentres de la production. Une autre possibilité quant à la forme de cette nouvelle organisation serait le partage de l'exploitation entre plusieurs entreprises aux mains de différentes sociétés minières, des grosses compagnies qui auraient supplanté les petits ateliers ou répondu à la volonté politique de centraliser la production (Rico 2016, p. 275). Cette option est préférée à celle de la mise en place d'un *metallum publicum* par les auteurs de l'étude.

III. B. 2. Entre renouvellement et continuité dans les techniques d'extraction

Ce panorama des mines du Sud-Ouest de la Gaule actives après la période augustéenne met en évidence le caractère d'exception du Pays Basque par rapport aux autres districts. C'est en effet le seul secteur dans lequel l'investissement dans l'exploitation minière est

généralisé, que cela concerne la production sidérurgique ou des non-ferreux. Ces investissements s'accompagnent dans plusieurs cas de la mise en œuvre d'une nouvelle façon d'aborder les gisements, avec le percement de travers-bancs pour faciliter la circulation des mineurs et l'exhaure selon les cas. Les exemples des mines de Banca et du district d'*Oiasso* sont significatifs du recours systématique à cette technique. L'équipement des nouveaux travaux avec ces ouvrages d'assistance est prévu dès leur démarrage à Banca. À Larla, la présence de travers-bancs permet également de rejoindre la partie basse des travaux anciens. Pour les mines de Mehatze, une descenderie en travers-banc vient compléter l'équipement de cette mine ouverte au cours des deux siècles précédents. La présence de niches à lampes est associée à ce type d'ouvrages d'assistance.

Dans le district d'*Oiasso*, la réalisation du long *cuniculus* (travers-banc d'exhaure) de la mine d'Arditurri est mise en relation avec la présence d'ingénieurs romains. Les vestiges d'empreintes de boisage pouvant correspondre à un mécanisme de pompage de la mine de Belbio vont aussi dans le sens de la présence sur place de personnel technique hautement qualifié. Sont-ce les mêmes ingénieurs qui sont à l'origine de l'adoption de l'exploitation par des travers-bancs dans les mines de Banca, Mehatze ou Larla ? Ou y a-t-il simplement eu des contacts entre les responsables de ces différentes mines ? On ne peut se prononcer avec les données actuelles, mais ces trois mines du versant nord et celles du district d'*Oiasso* montrent une même façon de concevoir l'exploitation comme une activité qui va se développer sur le long terme, attestée, dans l'état actuel des connaissances, à partir de la période augustéenne. Ces ouvrages d'assistance, s'ils peuvent paraître au départ un investissement non productif, sont de fait nécessaires pour le développement d'une exploitation d'envergure qui s'inscrit dans la durée. La rentabilité future en sera améliorée car les moyens humains dédiés au transport des matériaux (riches et stériles) entre la mine et l'extérieur seront moins importants et les problèmes d'inondation des chantiers, qui bloquent l'exploitation, seront en principe évités. Ces investissements ne sont pas réservés à un type de métal en particulier puisque les mines dans lesquels les travers-bancs ont été repérés ont produit du plomb argentifère, du cuivre et du fer. Il n'y avait donc pas un métal qui méritait plus qu'un autre des investissements lourds, la rentabilité était possible (du moins attendue) pour tous ces métaux.

Cette façon d'exploiter les mines, où la gestion à long terme prévaut sur l'obtention de bénéfices immédiats, ne peut être mise en place que par des investisseurs dont la situation économique est très solide, qui investissent pour le futur. Pour le district d'*Oiasso*, M. Urteaga souligne la planification générale de l'exploitation du district, avec des infrastructures minières, viaires et portuaires qui forment un ensemble cohérent facilitant la mise en valeur de la production (Urteaga Artigas 2012, p. 217). Dans le cas de la mine de Larla, A. Beyrie conclut que la gestion globale et la mobilisation des moyens nécessaires à un exploitation de cette envergure doit être « l'œuvre d'une fédération autochtone, ou encore celle d'un pouvoir fort, celle de la province ou de la cité des Tarbelles » (Beyrie 2003, vol. 1, p. 207). Des propositions similaires pourraient être faites à propos de l'exploitation de

Banca, où des indices d'une organisation en concessions ont été mis en évidence. Cela contraste avec ce que l'on observe dans les mines de plus petite envergure, telles Monhoa ou Jara, qui correspondent quant à elles au prolongement des modes d'exploitation tardo-républicains, qui suivent plus strictement les minéralisations et s'inscrivent peut-être dans des projets à court terme. Ce type de travaux est accessible à des entrepreneurs dont les moyens sont plus limités. Les comparaisons avec les autres mines de la chaîne pyrénéenne, des Corbières ou de la Montagne Noire sont difficiles à établir. Les mines pour les non-ferreux du Haut-Empire sont en effet peu nombreuses vers l'est (seulement trois sites possibles : Palouma, L'Argentière, La Collade de Bernadell) et la part de l'exploitation datant de cette période est mal caractérisée, voire complètement méconnue. Il n'y a pas non plus, à ce jour, de nouvelle ouverture de mine attestée après Auguste pour les non-ferreux à l'est du Pays Basque. On peut tout de même noter que pour la mine de Palouma, la mieux connue des mines encore exploitées au I^{er} s. de n. è., aucun travers-banc n'est signalé.

Pour les exploitations sidérurgiques, au contraire, l'activité est bien attestée dans plusieurs districts entre le I^{er} et le III^{e} ou IV^{e} s. de n. è. Les mines ne sont globalement pas connues, à part celle de Mas Bourras à Baillestavy. Les reprises récentes importantes sur ce site en ont modifié la physionomie générale mais les levés topographiques ainsi que les sondages montrent que l'exploitation ancienne a suivi la minéralisation sans attaquer le stérile, avec un accès depuis le haut, sans avoir recours aux travers-bancs. On se trouverait donc là aussi dans une exploitation dont les techniques sont issues de la tradition régionale.

Les divers centres d'exploitation sidérurgique partagent une maîtrise des procédés de réduction, mais se différencient par le volume de leur production et la durée de l'activité. Le district sidérurgique de la Montagne Noire est sans conteste le plus productif, et de très loin, avec ses 100 000 à 110 000 t de fer sur près de quatre siècles pour le domaine des Forges. Ce volume de production place ce district parmi ceux qui peuvent avoir des débouchés à l'échelle de l'empire (Domergue 2008, carte 5). Les quantités dans les autres districts pour lesquels nous disposons d'estimations semblent ridiculement basses en comparaison. Celui de Larla est le plus important après les Martys, et sa production minimale est estimée à 2 000 t de fer entre le second âge du Fer et la fin du Haut-Empire, soit pendant environ sept siècles (Beyrie 2015, pp. 131-132). En supposant une production constante (ce qui n'est pas sûr), on obtiendrait un peu moins de 300 t par siècle, soit près de 900 t pour le Haut-Empire. Ensuite, celui de Lercoul, dont l'activité est centrée au III^{e} s. de n. è., aurait pu produire 140 t de fer, sur un siècle à un siècle et demi.

Pour les districts pour lesquels on ne dispose pas d'estimation chiffrée, le nombre de ferriers et leur taille offrent des éléments de comparaison. Le district des Hautes Baronnies (I^{er}-IV^{e} s. de n. è.) est considéré comme modeste par les chercheurs qui l'ont étudié (Fabre *et al.* 2001, p. 131). Il en va de même pour ceux d'Errola (II^{e} s. av. n. è. – I^{er} s. de n. è.) et d'Ursuya (I^{er} – IV^{e} s. de n. è.). Le premier correspond à une activité plutôt artisanale et le second, avec seulement huit ferriers, n'a pas atteint une production d'envergure (Beyrie 2003, pp. 151 et 204). Malgré le nombre de ferriers référencés dans les Corbières,

J. Mantenant souligne la faible extension de ceux que l'on peut attribuer au Haut-Empire, dont la proportion par rapport à l'ensemble n'est pas connue (Mantenant 2014, vol. 1, 359). On se situerait alors face à une production visant des débouchés à relativement courte distance après la période augustéenne. Dans le Massif du Canigou, la phase la plus active semble correspondre au I^er^ s. av. n. è., qui a livré les plus grands ferriers et les grands moles de scorie agglomérée, une organisation de l'exploitation en batteries étant également proposée (Mut & Kotarba 2007, p. 151). Cette activité importante se poursuit au cours du I^er^ s. de n. è. mais diminue par la suite. La continuité jusqu'au III^e^ s. de n. è. est attestée plus ponctuellement (Mut & Kotarba 2007, p. 154). La production de ce district peut avoir alimenté un commerce à la fois régional et à plus longue distance entre le I^er^ s. av. n. è. et le I^er^ s. de n. è. pour se resserrer sur une échelle régionale proche à partir du II^e^ s. de n. è. (Mut & Kotarba 2007, p. 154).

Pour résumer, à part dans le Pays Basque où ferreux et non-ferreux sont exploités indifféremment, le Haut-Empire marque une diminution très nette quand ce n'est pas l'arrêt total des mines de cuivre, plomb et argent, alors que le fer est toujours produit au I^er^ s. de n. è. et au-delà. Les moyens investis dans l'exploitation varient par contre fortement d'un district à l'autre. On peut distinguer ceux qui requièrent des moyens particulièrement importants de ceux qui peuvent fonctionner de manière plus modeste. Le district d'*Oiasso* fait partie des premiers, tout comme celui du bassin de la Dure. Les mines de Banca, Larla et Mehatze ainsi que le district du Canigou au I^er^ s. de n. è. pourraient leur être adjoints. Les autres districts (Ursuya, Hautes Baronnies, Corbières) ou mines isolées (Monhoa, Jara, Haira, Palouma, Rivèrenert) peuvent avoir été exploitées avec des moyens plus limités, dans le prolongement des exploitations de l'âge du Fer et tardo-républicaines. Une échelle d'exploitation artisanale a même été proposée pour Errola, Lercoul ou encore l'Assaladou. Ces exploitations plus limitées sont des exemples de la coexistence des marchés locaux voire régionaux avec les grands circuits commerciaux qui ont plus souvent attiré l'attention des chercheurs (Andreau 2010, pp. 178-179). L'aire de diffusion des productions de ces petits centres miniers et métallurgiques n'est pas connue. Contrairement à la céramique dont les formes et les pâtes permettent à un œil averti d'en connaître la provenance, l'origine du métal des objets du quotidien reste en règle générale un mystère. L'étude de ces petits sites de production primaire apporte donc quelques données sur ce sujet.

Il nous reste à mettre en perspective ces éléments avec ce que l'on connaît dans d'autres régions pour tenter de différencier ce qui peut relever de dynamiques locales ou régionales ou au contraire de phénomènes à plus grande échelle.

III. C. Les mines post-augustéennes : des réalités plurielles

À partir des données de terrain présentées aux points précédents, deux aspects de l'exploitation minière postérieure à la période augustéenne peuvent être abordés plus spécifiquement. Le premier concerne les moyens mis en œuvre dans ces exploitations, en termes de technique et de gestion. Le second a trait à l'arrêt largement constaté des exploitations de non-ferreux à partir de cette période. Quelques réflexions seront proposées à propos des causes possibles de ces arrêts.

Dans le domaine des techniques, nous avons vu que l'utilisation de lampes à huile était la seule nouveauté réelle que l'on pouvait restituer à coup sûr dans les mines du Sud-Ouest de la Gaule au cours du I^{er} s. av. n. è. Leur utilisation perdure au I^{er} s. de n. è. et au-delà. À partir de la période augustéenne, le recours aux travers-bancs pour l'accès aux parties basses de chantiers (descenderies inclinées) et pour l'exhaure (galeries descendantes vers l'extérieur pour l'écoulement de l'eau, pouvant aussi servir à la circulation) se généralise dans les exploitations d'envergure du Pays Basque[126]. À ce jour, ce type d'aménagement n'est pas recensé pour les périodes antérieures dans ce secteur. Dans les autres régions minières entre Pyrénées et Montagne Noire, seuls des exemples non datés sont connus, à L'Argenterie (Rivèrenert), à La Canal (sud du plateau de Lacamp) et aux Barrencs. Même s'ils s'avéraient être des ouvrages antiques[127], il s'agit dans tous les cas d'éléments isolés, qui diffèrent du choix effectué dans les grandes mines basques, équipées systématiquement de ces galeries d'assistance.

La question de l'origine de cette façon de travailler dans les mines, qui ne semble pas avoir été utilisée auparavant dans cette région, ne peut être éludée. Pour les mines basques de la province d'Aquitaine, leur proximité géographique et leur contemporanéité avec celles du district d'*Oiasso* conduit à faire la proposition facile de la transmission des techniques de part et d'autre de l'extrémité pyrénéenne occidentale. Dans le cas du district d'*Oiasso*, ce choix est mis en relation avec l'implication de personnel spécialisé (ingénieurs) et la possibilité d'une gestion en régie indirecte sous le contrôle d'un procurateur des mines, donc de mines publiques, par comparaison avec d'autres exemples ibériques (Urteaga 2014 p. 192). L'utilisation de descenderies en travers-banc est cependant assez rare dans le reste de la péninsule. L'usage de puits a été préféré, dans les mines de la ceinture pyriteuse du Sud-Ouest ibérique par exemple, à partir du Haut-Empire (Domergue 1990, pp. 420-423). Les travers-bancs d'exhaure sont plus courants et leur utilisation se généralise à partir du Haut-Empire également, le Sud-Ouest ibérique recelant nombre de vestiges de ce type, également connus dans la Sierra de Carthagène et en Sierra Morena (Domergue 1990, p. 434). C. Domergue indique que ces ouvrages ne semblent pas avoir été utilisés dans les mines plus anciennes de l'Est méditerranéen, contrairement aux puits, connus dès les XIII^{e} et XII^{e} s. av. n. è. à Timna en Israël, mais également dans les mines du Laurion en Grèce (Domergue 2008,

[126] Les affleurements minéralisés servent toujours de points de départ pour les exploitations.

[127] L'exploitation de ces trois mines s'arrêtant à la période augustéenne au plus tard, on pourrait se trouver face à des ouvrages tardo-républicains.

pp. 101-102). En revanche, un travers-banc d'exhaure a été identifié dans une mine de cuivre de l'âge du Bronze de Sierra Morena, l'Arroyo del Cuezo (province de Cordoue). Diodore (*Bibliothèque Historique*, 5, 37, 3) rapporte également, d'après Posidonius, que les Turdétans (peuple du Sud de la péninsule Ibérique) évacuaient l'eau des mines par des galeries obliques. Cela correspond au principe du travers-banc d'exhaure et peut montrer que cette technique était employée dans cette région avant les interventions romaines (Domergue 1990, p. 434 note 62). Hors de la péninsule Ibérique, un exemple du premier âge du Fer est connu dans le nord de l'Italie, dans la mine de cuivre de Campolungo (Ancel *et al.* 1998, pp. 169-173). En Gaule, on connaît aussi plusieurs de ces structures dans le Limousin au second âge du Fer, comme cela a été évoqué plus haut dans ce chapitre (point I. B. 2.c, p. 343). Les mines des Fouilloux et de La Fagassière montrent que ce système était utilisé de manière systématique dès la fin du III^e^ s. av. n. è., sans attendre de savoir si l'exploitation allait se poursuivre loin en profondeur (Cauuet 2004b, pp. 66-67 ; Cauuet *et al.* 2018, p. 35). Si la généralisation de l'usage des galeries en travers-bancs pour l'accès et l'exhaure peut être mise au crédit de l'implication romaine dans les exploitations minières, l'origine de cette technique est à rechercher plutôt dans l'art de la mine protohistorique européen[128].

La mise en œuvre de manière systématique d'une technique dont l'usage était jusque-là limité à certaines mines particulières ou à certaines régions nous amène à aborder l'organisation des exploitations. L'exemple des travers-bancs d'exhaure creusés dès le démarrage d'un chantier minier dénote en effet une volonté d'inscrire l'activité dans la durée, qui s'accompagne d'une planification des opérations d'extraction. Cette projection dans une exploitation à long terme avait pu être observée sur des sites gaulois de l'âge du Fer. C'est le cas à l'échelle du Limousin dans les mines d'or dès la fin du III^e^ s. av. n. è., comme on peut le constater à travers les aménagements liés à l'exhaure. Cette prévision à long terme avait aussi été mise en évidence aux Barrencs dès les phases anciennes de l'exploitation, entre les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. (dans ce chapitre point I. B. 1.e, p. 333). Dans ce cas, la planification ne transparaît pas à travers les systèmes d'exhaure, méconnus pour l'heure, mais grâce à la gestion de la circulation entre les différentes zones exploitées et à la dynamique de l'exploitation (Beyrie *et al.* 2011, p. 49 ; Mantenant *et al.* 2013, p. 35). Ces deux exemples sont donc comparables avec les mines du Pays Basque du Haut-Empire dans leur vision partagée de l'activité minière comme un investissement qui se veut durable, que l'on dote donc des infrastructures (galeries d'accès, d'exhaure) nécessaires au bon déroulement des opérations dans le temps.

[128] L'utilisation de roues à augets pour l'exhaure, connue dans le Sud-Ouest de la péninsule Ibérique, dans la mine de Dolaucothi (Pays de Galles) et dans les mines de Dacie du II^e^ s. de n. è. (Domergue 1990, pp. 445-450 ; Cauuet 2008, pp. 63-65 et 67-70 ; Cauuet 2011, pp. 357-359), n'a par contre pas été mise en place dans les mines gauloises. Cette technique, comme celle des norias (mines du Sud-Ouest de la péninsule Ibérique) qui dérive des méthodes d'irrigation connues en Égypte hellénistique, peut, contrairement aux travers-bancs d'exhaure, être considérée comme un apport romain au domaine minier (Wilson 2002, pp. 7-9 ; Domergue 2008, p. 128).

Un autre aspect de l'organisation des exploitations romaines est mis en évidence par les sites de métallurgie primaire. Il s'agit de la volonté d'augmenter la production et sa rentabilité, en rationalisant là aussi les procédés. Les batteries de bas fourneaux du site des Martys en sont l'exemple le plus clair dès le I^er^ s. av. n. è. (Fabre 2016a, p. 182). Le volume des productions des phases postérieures confirme que cette organisation s'est maintenue durant le Haut-Empire. Une structuration des ateliers en batterie a aussi été proposée pour le district du Canigou au I^er^ s. av. n. è. ou au suivant (Mut & Kotarba 2007, p. 151). Le volume des bas fourneaux est important dans les deux cas, avec des diamètres des cuves proches de 0,8 m. Chercher à augmenter la production en adoptant des techniques de traitement du minerai plus efficaces, c'est aussi ce qui s'est produit en Limousin à partir de la fin du III^e^ s. av. n. è. Le quartz aurifère est désormais grillé et broyé dans des moulins rotatifs qui remplacent les meules à va-et-vient connues précédemment (Cauuet *et al.* 2018, p. 40). Les bassins permettant de réaliser la concentration gravimétrique du minerai riche forment de véritables réseaux de canaux et bassins, comme au Puy de Angles (Cauuet 2004b, pp. 74-75 ; Toledo I Mur *et al.* 2005, pp. 203-205). L'exploitation généralisée des mines de cuivre argentifère du district de l'Arize dès les IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è. peut correspondre également à une recherche de productivité.

Chercher à améliorer les rendements des activités productives est une démarche qui n'est bien évidemment pas caractéristique d'un seul moment de l'Histoire des techniques[129]. Mais le cas de la production sidérurgique de la Montagne Noire est un des exemples qui nous montre qu'un degré supplémentaire a été atteint au Haut-Empire par rapport aux périodes précédentes. La concentration, à la fin de la période augustéenne, de la production sidérurgique dans quelques grands centres contraste avec l'éparpillement des ateliers du I^er^ s. av. n. è. La volonté de contrôler et d'assurer une production qui puisse répondre aux besoins de l'Empire s'affirme (Rico 2016, pp. 274-275) et l'échelle de la production nécessaire marque la différence.

L'apport romain à l'exploitation minière est caractérisé par la diffusion à travers l'empire des techniques les plus efficaces connues alors, par l'organisation rationnelle et systématique de l'exploitation (à travers les mises en concessions de mines publiques) et par l'échelle de production encore inégalée atteinte à cette période. Ce constat a été fait par d'autres chercheurs. C. Domergue l'exprime à propos des mines ibériques, mais cela s'applique au reste de l'Empire, qui représente le nouveau cadre de l'action romaine. La réorganisation des mines sous Auguste marque le véritable changement par rapport à la période précédente (Domergue 1990 p. 198). Il souligne aussi le fait que les Romains n'ont inventé aucune des techniques employées dans les mines en exploitation sous leur domination, mais qu'ils ont su les mettre à profit pour augmenter le rendement des

[129] Dans le domaine des mines et de la métallurgie, on peut penser par exemple à l'adoption de la fusion scorifiante pour traiter les minerais de cuivre complexes à l'âge du Bronze (Bourgarit *et al.* 2010, p 276), au passage du bas fourneau à scorie piégée à celui à scorie écoulée au cours du second âge du Fer (Mangin 2004), ou encore à l'adoption de la poudre noire pour ouvrir les galeries de mines à partir du XVII^e^ siècle (Kammenthaler *et al.* 2016).

chantiers (Domergue 1990 p. 462). Cela rejoint le propos d'A. Ferdière concernant les innovations et transferts de savoirs en Gaule romaine dans l'artisanat en général. Il fait également ressortir l'importance de l'action romaine dans la diffusion et la systématisation des techniques connues dans un endroit ou un autre de l'empire pour faciliter une « production de masse » (Ferdière 2008, p. 23).

Ce que l'étude des exploitations minières du Sud-Ouest de la Gaule apporte à ce sujet, ce sont des nuances. À côté des districts ou des grandes mines prises en main par des entrepreneurs puissants qui intègrent toutes les possibilités à leur disposition pour développer leur activité, d'autres mines semblent rester entre les mains d'entrepreneurs peut-être plus modestes, qui se satisfont de modes opératoires connus et maîtrisés de longue date. Nous avons évoqué dans ce cas la possibilité que ces différentes mines aient visé des marchés d'extension plus ou moins réduite.

Au moment où les centres de production les plus importants prennent leur essor, d'autres vivent leurs derniers instants ou s'éteignent pour de longs siècles. C'est le cas des mines de non-ferreux hors du Pays Basque et notamment de celles du Massif de l'Arize, objet plus spécifique de notre étude. Déterminer les raisons qui conduisent à l'arrêt de l'exploitation des mines n'est jamais chose aisée (Domergue 2008, pp. 215-216 ; Stöllner 2015a, pp. 76-77). Quelques propositions peuvent toutefois être émises concernant plus particulièrement le district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize, qui pourront, ou non, être étendues aux autres mines de non-ferreux du Sud-Ouest.

Une des premières possibilités qui peut être à l'origine de l'abandon d'une mine est l'épuisement de la minéralisation. Cette option est assez probable au début du Haut-Empire pour la mine de Rougé, dont l'exploitation était déjà très avancée à la fin du III^{e} s. av. n. è. et qui a connu une reprise ponctuelle à la fin du II^{e} ou au début du I^{er} s. de n. è. L'activité médiévale mise en évidence près de l'entrée principale correspond probablement plus à une phase de recherche qu'à une réelle exploitation. Pour la mine de La Coustalade, dont l'étendue est faible et qui a été exploitée dès les IV^{e} – III^{e} s. av. n. è., l'option de l'épuisement du gisement est aussi probable[130], surtout après la reprise (sans doute ponctuelle) du I^{er} s. av. n. è. Pour les autres gisements du district, cette option est plus difficilement recevable. Même si l'on laisse de côté les mines dont l'accès au souterrain n'est plus possible, au sujet desquelles nous n'avons pas de données, nous savons pour plusieurs autres qu'elles ont été réexploitées au Moyen Âge. C'est le cas de celles du Goutil et d'Hautech par exemple. La très grande profondeur des « vieux travaux » rencontrés lors des reprises récentes aux Atiels et à La Calotte, non datés, pourraient aussi correspondre à des reprises médiévales. Pour les mines de non-ferreux des autres secteurs, la possibilité de l'épuisement des ressources ne peut pas non plus être une explication générale, même si cela a pu être le cas sur certains gisements.

[130] L'étude géologique a montré que le filon se pinçait à la limite des travaux anciens et que pour localiser sa prolongation, il aurait fallu poursuivre les recherches à travers le stérile sur plusieurs mètres, ce qui n'a été fait qu'au début du XX^{e} siècle.

Dans le cas de mines déjà très profondes comme c'est le cas aux Barrencs (versant sud de la Montagne Noire) ou même sur le site de Palouma (Pyrénées Centrales), on pourrait penser que des raisons techniques ont empêché la poursuite de l'exploitation. Avec la profondeur, les problèmes d'exhaure, d'aérage et de circulation des mineurs deviennent plus importants. Les techniques pour exploiter des mines très profondes sont pourtant bien connues dans le Sud de la péninsule Ibérique, où les mines dépassant les 100 m de profondeur sont nombreuses, certaines atteignant les 300 m (Domergue 1990, pp. 430-432). Si les connaissances n'étaient pas disponibles localement pour poursuivre les travaux et n'ont pas non plus été diffusées depuis les zones qui en avaient la maîtrise, on devrait alors s'interroger sur le manque d'intérêt montré pour ces mines.

La réorganisation des activités minières par Auguste a été évoquée plus haut. On pourrait se demander si cela n'aurait pas inclus une obligation de fermeture de certaines mines. Cela a été proposé pour les mines d'or du Limousin, dont l'exploitation ne se prolonge pas au-delà de la période augustéenne (Cauuet *et al.* 2005, p. 455). Un précédent est connu en Macédoine. Juste après sa conquête, le Sénat de Rome, refusant de mettre à ferme les mines de ce territoire par défiance vis-à-vis des publicains et ne voulant pas laisser des ressources trop importantes aux populations locales pour des raisons politiques, interdit l'exploitation des mines d'or et d'argent, en -167. Les mines de cuivre et de fer pouvaient par contre être exploitées par les populations locales contre paiement d'un impôt, dont on sait qu'il représentait la moitié de celui précédemment versé au roi de Macédoine (Domergue 1990, p. 243). Cet exemple nous apprend que l'exploitation des mines, du moins pour les métaux précieux, constituait un sujet politique qui n'était pas négligé par le Sénat romain et qui a certainement fait partie des préoccupations d'Auguste également. Si une interdiction impériale de l'exploitation des mines d'or du Limousin est vraisemblable, il est un peu plus difficile d'imaginer qu'une décision de ce genre soit à l'origine de l'arrêt des mines de non-ferreux du Sud-Ouest hors du Pays Basque. Les dates d'interruption des chantiers ne sont pas connues précisément et il est peu probable qu'elles soient toutes identiques, certaines mines pouvant déborder légèrement sur le I^{er} s. de n. è.

Les réformes administratives augustéennes qui modifient les limites des territoires pourraient-elles avoir eu un impact sur les exploitations minières ? En ce qui concerne le district de l'Arize, son appartenance administrative n'est pas claire, car il se trouve en limite des cités de Toulouse et de *Lugdunum Convenarum*, et donc en limite des provinces d'Aquitaine et de Narbonnaise, dont le tracé n'est pas bien connu dans ce secteur (Sablayrolles 2002 ; Sablayrolles & Beyrie 2006, p. 63). Si l'on s'en tient au rattachement de ce district au Couserans, que l'on peut rapprocher de la cité de l'antiquité tardive des *Consoranni*, le district aurait été rattaché à la cité des Convènes sous Auguste et aurait donc basculé en Aquitaine. Le fait que des mines de cuivre, plomb et argent sont exploitées au Pays Basque montre qu'il n'y avait pas d'interdiction particulière touchant ce type de mine au niveau de la province. Au niveau de la cité des Convènes, aucune donnée ne permet d'aller dans le sens d'une interdiction particulière non plus. De plus, le droit latin a été

accordé à la cité des Convènes, probablement par Auguste, comme il avait été accordé par César aux cités de Transalpine (Goudineau 1998, pp. 191 et 241). Il aurait été surprenant que la cité des Convènes, ainsi distinguée, se soit vue privée de l'exploitation d'une partie de ses ressources. La même remarque peut être faite pour les mines de non-ferreux des Corbières ou de la Montagne Noire.

Une dernière option fait entrer en jeu l'arrivée sur le marché régional des métaux produits dans d'autres districts, notamment hispaniques, en quantité suffisante et à des prix assez bas pour faire concurrence aux productions locales. Les cargaisons chargées de lingots de plomb ou de cuivre qui ont été retrouvées en Méditerranée attestent ce commerce à grande échelle, bien caractérisé depuis le I^{er} s. av. n. è. et à son apogée au cours du I^{er} s. de n. è. (Jézégou *et al.* 2011, p. 67 ; Rico & Domergue 2016, pp. 596-597). Nous savons par les indications des ingénieurs des mines du début du XX^{e} siècle que les minéralisations du district de l'Arize étaient discontinues (nombreux pincements des filons), ce qui rendait la rentabilité de l'exploitation incertaine. Il est possible que les mineurs locaux aient fini par préférer abandonner ces exploitations où les zones les plus riches avaient déjà été exploitées. Dans ce cas, l'atelier de réduction de fer connu aux Atiels pourrait représenter une tentative de diversification de l'activité, autour de la période augustéenne, dans le cadre du développement de l'activité sidérurgique qui se généralise dans le Sud-Ouest mais également dans le reste de la Gaule.

Conclusion

Cette étude s'est construite autour de l'idée que les exploitations minières, comprises dans leur globalité, pouvaient éclairer des aspects variés du fonctionnement des sociétés anciennes. Lorsque ce type d'activité, éminemment collective, est pratiqué par différents groupes au sein d'une même région, elle peut contribuer à mettre en évidence des points communs comme des particularités propres à chacun de ces groupes. Dans le cas du Sud-Ouest de la Gaule tel que nous l'avons défini ici, le problème de l'hétérogénéité régionale pouvait être dépassé par le grand nombre d'exploitations connues, datées entre le second âge du Fer et l'Antiquité. Ce cadre chronologique, au cours duquel le contexte socio-économique et politique change profondément, offrait aussi une occasion de mettre en parallèle l'évolution des exploitations minières et le passage de l'indépendance gauloise à la domination romaine.

Le cas particulier du district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize a été l'occasion d'appliquer les méthodes actuelles de l'archéologie minière, qui visent à appréhender une exploitation dans toutes ses composantes, grâce à une approche pluridisciplinaire. Le premier apport de ce travail a été de redéfinir la chronologie et les rythmes de l'activité de ce district. La première phase, inconnue jusqu'alors, se situe entre les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. Elle a été mise en évidence par les datations radiocarbone effectuées sur des charbons choisis en fonction des données stratigraphiques pour caractériser les différentes phases d'activité. La réalisation de fouilles dans les chantiers apparaît ainsi là encore comme une étape indispensable de l'étude d'un réseau minier. La deuxième phase, entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et la période augustéenne, a été confirmée par la présence de mobilier et des datations radiocarbone. Présentée auparavant comme l'étape majeure de l'activité de ce district, il ne s'agit en réalité pour certaines mines que d'une tentative de reprise très ponctuelle, même si d'autres ont pu donner lieu à une activité plus soutenue au cours du I^{er} s. av. n. è. Enfin, la phase médiévale, datée du XIV^{e} siècle, correspond à un nouveau mouvement généralisé de recherche et de reprise minière dans ce district.

La caractérisation des techniques minières mises en œuvre dans les chantiers dont le souterrain était accessible a permis de définir une typologie valable à l'échelle du district pour les chantiers les plus anciens. Elle se caractérise par l'utilisation de l'abattage au feu de manière presque exclusive et par une conduite du chantier à l'économie, limitant les aménagements qui impliquent de creuser dans le stérile. Les minéralisations ont été attaquées depuis l'affleurement, le soutènement était assuré par des piliers de roche et la largeur moyenne des passages les plus étroits, entre 0,6 et 0,8 m, permettait à une personne de circuler assez facilement. Les minéralisations inclinées ou verticales ont été exploitées par étages horizontaux successifs dont la hauteur, lorsqu'elle peut être déterminée, oscille entre 0,8 et 1 m, donnant à ces travaux un gabarit similaire. Il en est sorti une typologie qui constitue une caractéristique permettant d'associer à cette phase ancienne certains des chantiers non datés mais aussi de distinguer d'autres phases d'exploitation dans les chantiers plus complexes. Ainsi, l'utilisation préférentielle de l'outil pourrait être associée à

la seconde moitié du I^{er} s. av. n. è., dans des chantiers dont le gabarit est toujours limité. Pour la période médiévale, le feu et l'outil ont été utilisés de façon concomitante. On propose également de voir dans les ouvrages ouverts au feu de grand volume, qui résultent d'une seule phase de creusement, une caractéristique des travaux médiévaux. Les premières observations géologiques indiquent que, dans tous les cas, l'exploitation a suivi la disposition de la minéralisation, même dans les réseaux complexes du Goutil qui pourraient paraître à première vue anarchiques. On peut donc restituer pour toutes ces époques un travail méthodique, mené par des équipes disposant d'un minimum de connaissances géologiques empiriques.

Les similitudes entre les différents chantiers des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. et le fait que certaines mines aient été épuisées ou presque à la fin de cette période (Rougé, La Coustalade) conduisent à restituer une phase d'exploitation intensive probablement organisée de façon globale à l'échelle du district. Les implications d'une telle entreprise, qui dépassent le cadre de la production domestique, correspondent à une société bien structurée. Inconnue en dehors du contexte minier, on propose de l'associer au domaine des Volques Tectosages, qui pourrait se constituer dès le III^{e} s. av. n. è.

La continuité de l'exploitation au cours du II^{e} s. av. n. è. n'est pas certaine dans ce district. Les ouvrages exploités entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et la première moitié du I^{er} s. av. n. è. ne présentent pas de changement technique notable, ce qui inciterait à considérer que les exploitations restent aux mains des populations locales. Un changement de l'identité des exploitants pourrait être restitué à partir du milieu du I^{er} s. av. n. è., voire légèrement plus tôt. Cela se traduirait par une organisation de l'exploitation en unités autonomes, de la mine à la production du métal, incluant un habitat pour les mineurs et sans doute leur famille. Quant à l'utilisation préférentielle d'outils en fer observée à cette période, si elle peut être liée à des contraintes techniques limitant les possibilités de recourir au feu, elle pourrait également correspondre à un changement dans la propriété du sol et donc dans les possibilités d'accès aux ressources forestières, à mettre en relation plus directement avec les effets de la conquête romaine. L'arrêt des dernières exploitations à la période augustéenne pourrait répondre à plusieurs causes, incluant l'épuisement de certaines mines. La raison principale de cet arrêt serait cependant la faible rentabilité des exploitations, de par la nature discontinue des minéralisations, qui ne présenteraient plus vraiment d'intérêt face à d'autres centres miniers régionaux ou plus lointains, le cuivre et l'argent en provenance de la péninsule Ibérique étant diffusés dans une large partie de l'Europe Occidentale.

L'impact de l'exploitation minière de ce district sur son environnement ne peut être mesuré précisément, mais il est perceptible dans la séquence sédimentaire étudiée sur la rive du Pézègues, qui passe en contrebas de la mine des Atiels. Les charbons identifiés dans les différents réseaux par C. Dubois et plus ponctuellement dans le cadre de nos travaux fournissent également quelques données. Il s'avère que l'activité minière et son corollaire la métallurgie ont contribué localement à l'érosion des sols, qui a été importante entre la fin de l'âge du Fer et le Moyen Âge. D'autre part, la sapinière qui existait au moins depuis le I^{er} âge

du Fer sur ce front nord du Massif de l'Arize a également été affectée par l'exploitation minière et métallurgique et semble avoir disparu avant le Moyen Âge. Une hêtraie-sapinière peut être restituée à partir des IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. et la hêtraie se maintient jusqu'au XIV^e^ siècle. Des activités agropastorales et forestières ont certainement joué elles aussi un rôle dans ces processus, à côté de l'activité minière, entre la fin de l'âge du Fer et le Moyen Âge.

Élargir l'étude aux autres secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule a permis de mettre en évidence des dynamiques communes à l'échelle de la région et au-delà. Les IV^e^ et III^e^ s. av. n. è. apparaissent ainsi comme une période propice au développement de l'activité minière. Les exploitations de non-ferreux (cuivre et plomb associés ou non à l'argent) sont concernées par cette phase précoce d'exploitation, à l'exception du Pays Basque où c'est la production sidérurgique qui a livré les seules données de cette période. Ce développement économique est à mettre en relation avec ce qui a été observé à l'échelle de l'Europe Celtique, plus particulièrement au III^e^ s. av. n. è. (Haselgrove 2006 ; Mennessier-Jouannet *et al.* 2007). Si dans le Limousin les travaux liés à la production d'or bénéficient dans la seconde moitié du III^e^ siècle d'améliorations techniques qui visent à augmenter le volume de production (Cauuet 2004b ; Cauuet *et al.* 2018), de tels développements ne sont pas connus à la même période dans le Sud-Ouest de la Gaule. L'absence de données sur d'éventuelles exploitations antérieures ne permet pas non plus de mettre en évidence des changements comme c'est le cas dans le Limousin. La rareté générale des données concernant le contexte archéologique des mines de cette période limite également les possibilités d'interprétation. On pourra tout de même souligner que plusieurs exploitations minières des IV^e^ ou III^e^ s. av. n. è. présentent les caractéristiques d'une activité intensive ou du moins soutenue (outre le district de l'Arize : Les Barrencs, Larla, peut-être Palouma). Cela renvoie dans tous les cas à des sociétés structurées, qui organisent leurs modes de production hors du cadre domestique, et cela fait écho à ce que l'on observe dans les agglomérations ouvertes à caractère artisanal qui se développent à la même période (Colin & Verdin 2013 ; Sireix 2013a ; Barral & Lallemand 2014 ; Fichtl & Guichard 2016).

Au cours du II^e^ s. av. n. è., l'augmentation du nombre de mines connues montre d'une part que la dynamique de développement économique du III^e^ s. av. n. è. s'est poursuivie et d'autre part que les influences méditerranéennes dans ce développement sont à nuancer. Le même phénomène est en effet observé dans l'ensemble du Sud-Ouest, du littoral méditerranéen au Pays Basque, et ne peut s'expliquer seulement par une influence extérieure, parfois lointaine. C'est aussi au cours du II^e^ s. av. n. è. que les mines de non-ferreux du Pays Basque et que les exploitations sidérurgiques des Corbières et des Pyrénées Orientales commencent à être exploitées systématiquement, montrant une augmentation générale de la demande en métaux de tous types. Globalement, la continuité dans les pratiques et dans l'organisation par rapport aux exploitations précédentes semble de mise. L'ouverture de nouvelles mines ne constitue pas une réelle rupture et les techniques ne présentant pas d'évolution notable. Le mobilier méditerranéen importé dès le milieu du II^e^ s.

av. n. è. sur les sites miniers des Corbières ou des Pyrénées Orientales n'est pas suffisant à lui seul pour mettre en évidence un renouvellement des acteurs de l'exploitation.

Dans notre zone d'étude, des changements dans le contrôle des ressources minières peuvent être mis en évidence à partir du deuxième quart du I^{er} s. av. n. è., dans le cadre de la province de Transalpine. Des indications de l'implication d'entrepreneurs Italiens dans les exploitations ont en effet été recensées dans le district sidérurgique de la Montagne Noire à partir des années -80/-60, légèrement plus tôt que ce que l'on peut proposer pour le changement dans l'organisation des exploitations du Massif de l'Arize. En dehors de notre zone d'étude mais dans un secteur assez proche, la société minière identifiée par l'épigraphie à Lascours, impliquée dans l'exploitation des mines de la haute vallée de l'Orb, existe dès la fin du II^{e} s. av. n. è. (Gourdiole & Landes 2002). On peut émettre l'hypothèse que des Italiens soient aussi à la tête d'une partie des exploitations des Corbières et des Pyrénées Orientales à partir de la fin du II^{e} s. av. n. è. La prise en mains croissante de la province de Transalpine par Rome y est favorable. Les éléments manquent cependant sur le terrain pour l'affirmer. De même, pour la mine des Barrencs, exploitée en continu entre le IV^{e} s. av. n. è. et la fin du I^{er} s. av. n. è., les données ne permettent pas de restituer un changement dans le contrôle de l'exploitation, même si le contexte régional pourrait tout à fait le permettre.

L'épisode des Guerres Sertoriennes, au cours duquel les ressources régionales ont été mises à profit pour soutenir les actions de Pompée, a sans doute marqué un tournant pour toute la moitié orientale du Sud-Ouest de la Gaule. Le développement rapide de l'exploitation sidérurgique de la Montagne Noire, organisée dès ses premières étapes pour assurer une production à grande échelle, avec l'organisation des ateliers en batterie, peut être considéré comme un signe de la volonté de dépasser le cadre de la production régionale, dépassement qui a dû être suscité par une demande romaine. Le cas du district sidérurgique du Canigou pourrait être similaire, mais l'absence d'évaluation quantitative de la production de ce district oblige à rester plus prudent. Les exploitations de non-ferreux, si elles sont bien connues pour cette période, ne montrent pas la même volonté d'atteindre des productions si élevées. Les caractéristiques géologiques des gisements de non-ferreux, plus dispersés et visiblement moins étendus que les gisements de fer, ont conditionné ces possibilités de développement.

L'extension du domaine romain à l'ensemble de la Gaule, et donc au Sud-Ouest, après les opérations de César, ne semble pas avoir eu d'effet généralisé visible directement dans les exploitations minières. Pour les mines situées à l'est de la Garonne, leur situation administrative au regard du droit romain ne change pas forcément et les obligations fiscales rattachées à leur exploitation étaient probablement en place au moins depuis les opérations de Pompée. Pour celles situées à l'ouest de la Garonne, les données disponibles ne montrent pas de changement que l'on pourrait attribuer avec certitude à cette période. On rappellera simplement que l'organisation en unités autonomes de l'exploitation du district de l'Arize pourrait dater de cette période si l'on s'en tient aux indices les plus tardifs, mais il semble

plus logique d'y voir une conséquence de la prise en main romaine croissante de la Transalpine, amorcée depuis le deuxième quart du I^{er} s. av. n. è., qu'une conséquence directe de la Guerre des Gaules.

La période augustéenne marque un véritable tournant dans l'exploitation minière, observé à travers toute la région. En termes de techniques, on constate, dans les mines du Pays Basque, la mise en œuvre d'une nouvelle façon de travailler, qui implique une vision à long terme. Elle est illustrée par la mise en place dès le démarrage du chantier des installations nécessaires à l'exhaure, grâce à des travers-bancs, ainsi que par des accès *via* des descenderies également en travers-bancs, permettant un accès plus facile aux parties basses des chantiers. L'abandon généralisé des mines de non-ferreux au cours de cette période, hormis dans le Pays Basque, constitue un deuxième trait caractéristique de cette période. L'épuisement des ressources n'étant justifié que dans certains cas, une explication à ce phénomène d'ensemble pourrait se trouver, comme pour le district de l'Arize, dans la concurrence exercée par les métaux importés d'autres districts, notamment ibériques. Hors de notre région, l'arrêt des exploitations aurifères du Limousin pourrait par contre être lié à une décision imposée par Rome, le contrôle strict de la production de ce métal étant particulièrement important pour les autorités. Une décision similaire concernant les districts du Sud-Ouest semble peu probable, d'autant que l'exemple du Pays Basque, où la production des non-ferreux se poursuit aux côtés des entreprises sidérurgiques, va à l'encontre de cette théorie. Enfin, cette variabilité dans le sort des exploitations de non-ferreux se retrouve dans l'échelle de production des exploitations qui perdurent (ou qui démarrent) sous le Haut Empire. À côté d'un centre majeur comme celui de la Montagne Noire, dont la production se chiffre en dizaines de milliers de tonnes de métal, des exploitations artisanales à visée locale sont connues, comme à Errola au Pays Basque. Les exploitations de taille intermédiaire sont les plus fréquentes, sans être toutes équivalentes pour autant. Ces différences d'échelles sont aussi un reflet du fonctionnement de l'Empire où, tout en respectant un cadre général commun, des adaptations aux différents contextes locaux ou régionaux reflètent la diversité d'un territoire particulièrement vaste.

Les questions soulevées par cette recherche sont multiples et ouvrent sur des horizons qui dépassent le cadre strict de l'archéologie minière. Le cas du district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize, au cœur de cette étude, permet de mettre en évidence plusieurs de ces questions. La première est portée par l'appellation de ce district : à cuivre argentifère. Si trois ateliers de traitement des cuivres gris sont localisés, les données qu'ils ont livrées à ce jour ne permettent pas de caractériser correctement la chaîne opératoire de la métallurgie primaire mise en œuvre. On ne peut donc se prononcer de manière catégorique sur la production de l'argent associé au cuivre de ce district. Des indices vont dans ce sens : les taux en plomb élevés relevés par fluorescence X sur des scories de Berni pourraient résulter d'un ajout pour extraire l'argent du cuivre. Les données de l'atelier du Camp del Oliu, dans les Corbières, indiquent pour ce district une production d'argent à partir de minerais de

cuivre argentifère. La connaissance des techniques requises pour ce traitement était disponible dans la région au I^{er} s. av. n. è. et il est plausible qu'elle ait effectivement été mise en œuvre. Pour les périodes antérieures, nous ne connaissons aucun atelier. Prolonger les recherches dans un district comme celui de l'Arize devrait permettre d'identifier des ateliers plus anciens et, par la fouille, d'obtenir les données nécessaires à la restitution des chaînes opératoires mises en œuvre. La question de la production d'argent entre les III^{e} et II^{e} s. av. n. è. revêt en effet une importance particulière. Elle correspond à l'émergence des frappes monétaires indigènes, qui utilisent majoritairement l'argent.

Nous avons évoqué à plusieurs reprises le manque de données concernant les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. Les exploitations minières qui correspondent à cette chronologie offrent des perspectives de combler une partie de ce vide. Elles constituent en effet des points d'ancrages autour desquels des recherches peuvent être conduites pour localiser tout d'abord les habitats des mineurs, mais aussi des sites peut-être un peu plus éloignés qui ont pu jouer un rôle structurant dans l'exploitation, en exerçant un contrôle sur la main-d'œuvre ou encore sur l'accès aux réseaux de distribution pour la diffusion de la production. La connaissance des habitats de mineurs serait aussi une manière de préciser l'identité des acteurs lors des différentes phases de l'activité, et en particulier d'apporter des informations manquantes à ce jour sur la question de l'implication d'Italiens dans les exploitations minières au cours du I^{er} s. av. n. è.

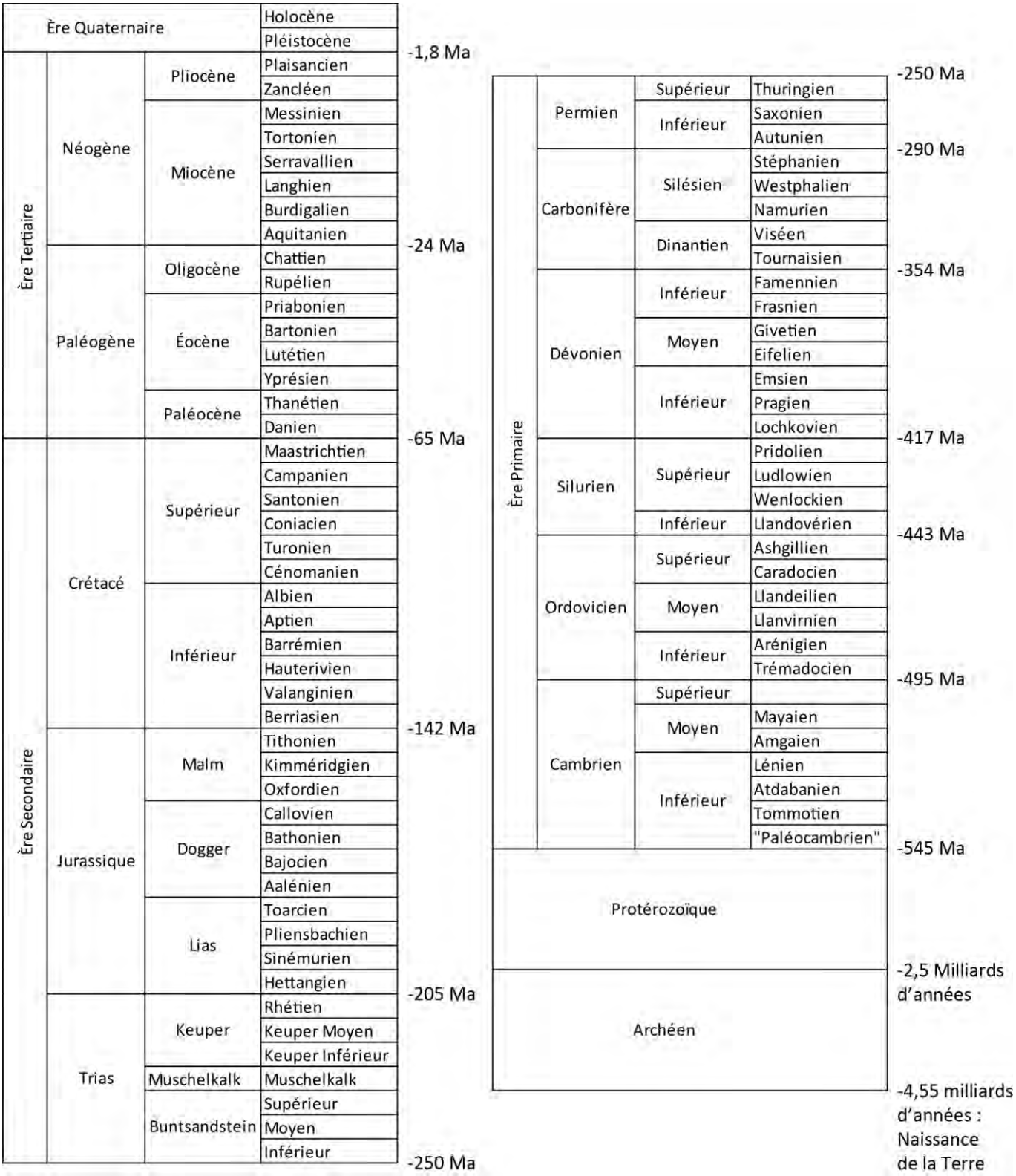
Les perspectives ouvertes par l'approche paléo-environnementale initiée dans le cadre des recherches sur le massif de l'Arize ont un caractère résolument interdisciplinaire. Le front montagnard de ce massif dans le Séronais possède en effet des caractéristiques historiques et topographiques qui permettraient de développer de nouvelles recherches associant archéologie, sédimentologie, éco-histoire et paléoenvironnement à l'échelle d'une région, les massifs, vallées et collines du front nord-pyrénéen, qui a été très peu étudiée jusqu'à présent. En effet, sur une trentaine de kilomètres, la retombée du massif entre Saint-Girons et le col de Bouich est incisée par une trentaine de petites vallées (en excluant les hautes vallées de l'Arize, du Baup et de l'Artillac). Les rivières qui drainent ces bassins versants de taille modeste (de 50 à 300 ha) ont construit à leur débouché sur le piémont des petits cônes de déjection qui constituent autant de réceptacles sédimentaires des dynamiques paléo-environnementales. De nombreux sites miniers et métallurgiques sont par ailleurs localisés dans ces bassins versants ou à leur débouché, offrant de bons points de repère chronologiques. La taille limitée des bassins versants permettrait d'associer les données sédimentaires et paléo-écologiques (anthracologie, pédo-anthracologie) à un environnement local très précis, tout en offrant la possibilité de comparaisons entre les différents sites.

La collaboration initiée entre géologie et archéologie minière ouvre quant à elle la voie à une quantification des productions au cours des différentes phases de l'activité. Les estimations de volumes des travaux que l'on peut obtenir par les simulations en 3D basées sur les relevés de détail peuvent être couplées à des estimations du volume et des teneurs

des corps minéralisés pour connaître le potentiel de chaque mine. Disposer de données sur la chaîne opératoire de la métallurgie primaire est ensuite une étape indispensable pour connaître la productivité que les métallurgistes pouvaient obtenir à ces époques. Ces estimations quantitatives permettraient de mesurer avec des données objectives le poids de cette activité dans l'économie locale et régionale.

Aujourd'hui, les projets d'exploitations minières cristallisent les oppositions et les tensions avec en toile de fond des questions sociétales profondes concernant nos modes de consommation et notre rapport à l'environnement. L'archéologie minière nous montre qu'à d'autres époques, des sociétés ont fait le choix de s'investir dans cette activité. Que ce choix ait été volontaire et peut-être revendiqué, ou qu'il ait été résigné et peut-être imposé, nous pouvons constater que les implications en sont toujours multiples et que les conséquences touchent tous les domaines de la société. Mais il ressort aussi que ces exploitations correspondent à une forme de pragmatisme : les métaux étaient, et sont toujours, indispensables à notre vie quotidienne. L'exploitation minière était donc, et est toujours, une activité nécessaire. À défaut d'apporter une réponse au débat sur la pertinence ou non de ces nouvelles implantations minières, le rôle des archéologues miniers, parfois convoqués lorsque des exploitations anciennes sont connues sur les emprises des nouveaux projets, peut consister à illustrer les différents aspects de cette exploitation, et apporter ainsi des éléments à la réflexion.

Annexe 1 : Échelle des temps géologiques



Simplifiée d'après la charte BRGM des temps géologiques disponible en ligne : http://sigespoc.brgm.fr/IMG/pdf/charte_brgm_de_l_echelle_des_temps_geologiques.pdf [Consulté le 22/07/2018]

Annexe 2 : Synthèse métallogénique du Goutil

Par Michel Lopez, Univ. de Montpellier

La minéralisation principale se localise dans les dolomies du Trias, au-dessus de la discordance avec les carbonates dévoniens, non visibles dans la zone explorée.

Architecture du gîte minéralisé :

Elle présente un caractère globalement stratiforme (N100, 30N au Goutil Est, variable au Goutil Ouest) à l'intérieur d'un couloir de cisaillement de quelques décimètres à 80 cm de puissance qui sépare au mur une dolomicrosparite rousse, massive (ancien grainstone oolithique et bioclastique?) et au toit une dolomicrite à lamination stromatolithique (Goutil Ouest, fig. ci-dessous, a). Dans la partie profonde des travaux du Goutil ouest, la dolomicrite à laminations stromatolothiques est surmontée par un mudstone gris sombre, finement stratifié et potentiellement chargé en matière organique, lui-même cisaillé à la base. La zone de cisaillement s'accompagne de manière discontinue de silicifications (fig. ci-dessous, b).

Les bandes cisaillantes stratiformes témoignent généralement d'un mouvement en faille normale-décrochante senestre avec un gradient de déformation qui va de veines isolées ou en échelon à des zones de bréchification in situ conduisant à la formation de véritables stockwerks localisés et même par endroit à des brèches hydrauliques. Ces géométries témoignent des conditions de circulations des fluides minéralisés à l'état suprahydrostatique dans une zone de contraste rhéologique qui accommode la déformation par un mouvement général en palier de faille normale qui guide la fracturation associée.

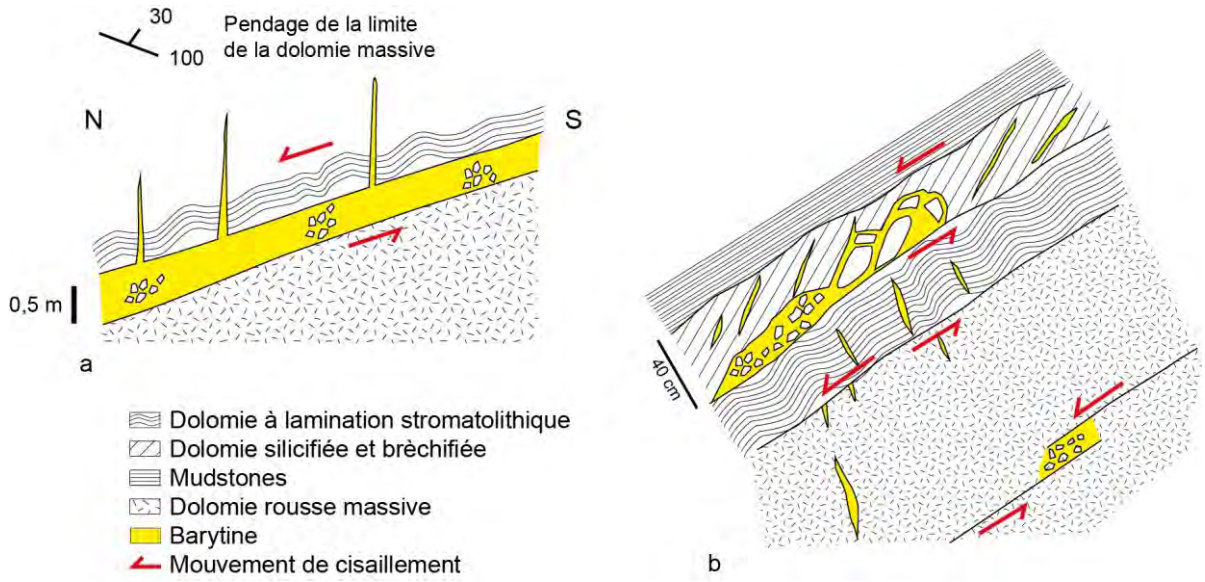
Nature des minéralisations :

La minéralisation est essentiellement constituée de cuivres gris (pôle tétraédrite) avec une teneur en Argent de 3 à 6% pour une tétraédrite normative à 35% de cuivre, avec des teneurs en Pb, Zn et Fe variables. La galène est suspectée localement. Des carbonates de cuivre secondaires bleu et verts indiquent localement l'altération des sulfures par les eaux circulantes subactuelles.

Ces minéralisations sont distribuées dans une gangue constituée majoritairement de barytine blanche avec dans la zone d'éponte une auréole d'ankérite et de la silice microcristalline (silicification de l'encaissant). Les sulfures peuvent également être disséminés avec la silice dans la barytine. Les cuivres gris se développent préférentiellement dans la zone d'éponte, soit sous forme drusique palissadique directement sur l'éponte, soit sous forme de clusters de grains disséminés dans la barytine près de l'éponte. Leur distribution n'est pas continue. Cependant on remarque que la partie enrichie en cuivres gris se localise dans des fractures verticales N-S qui surmontent les brèches et viennent se brancher dans le couloir cisaillant sur parfois plus de 1 m.

Dans la partie profonde du Goutil Ouest, un deuxième couloir cisaillant en faille normale, parallèle et surmontant le premier est coiffé par un toit de mudstones sombres riches en

matière organique. Ce couloir bréchifié est riche en petits amas et masses de cuivre gris (fig. ci-dessous, b).



Schémas représentant les structures géologiques observées au Goutil.

Modèle génétique :

Ce type de minéralisation s'apparente à un modèle de type *Mississippi Valley Type* (MVT) dans lequel des fluides minéralisés en surpression remontent depuis le karst des dolomies dévoniennes sous-jacent et se piègent le long de barrières rhéologiques et de perméabilité en initiant un couloir de cisaillement en faille normale. Dans ces conditions, les fluides sont évacués dans le cisaillement avec formation d'un réseau de fentes en échelon et développement local de fracturation hydraulique. Dans les dolomicrites à laminations stromatolithiques et les mudstones sombre du toit se développe un réseau de fractures dilatantes de riedel qui accommode le glissement. Les fluides plutôt oxydants à l'origine – barytine, silice dans le cisaillement – entrent alors en contact avec les fluides réducteurs de l'encaissant du toit, riche en matière organique, ce qui favorise la précipitation des sulfures.

Ces minéralisations se mettraient en place après ou pendant le basculement vers le nord des séries triasiques sur le paléorelief dévonien pendant l'ouverture des bassins crétacés ou la compression pyrénéenne (?)

Implication sur de l'architecture du gîte pour l'exploitation de la mine

La configuration des travaux miniers traduit clairement la distribution particulière de ces minéralisations. On observe un réseau dense de chambres et piliers étroits creusés dans le couloir cisaillant principal suivant le pendage. Ce réseau se prolonge par des dépilages verticaux remontants à travers les veines enrichies du toit (niveau de dolomicrite à stromatolithes et mudstones sombres). Le couloir cisaillant a donc servi de fil conducteur pour les mineurs pour traquer les veines riches du toit, ce qui peut expliquer la juxtaposition des deux types de galeries.

Annexe 3 : Analyses des déchets métallurgiques de l'atelier des Atiels – berge du Pézègues

Cette annexe comprend :

3a : Catégories de déchets : scories et parois

3b : Données analytiques de la scorie 3 (MEB et Microsonde électronique)

3c : Données analytiques de la scorie 5a (MEB et Microsonde électronique)

3d : Données analytiques de la paroi de four 7 (MEB et Microsonde électronique)

Préparation des échantillons et analyses réalisées par Marguerite Munoz et Emmanuelle Meunier. Traitement des données microsonde réalisé par M. Munoz.

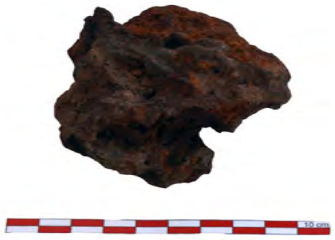
Observation MEB puis microsonde électronique sur section polie.

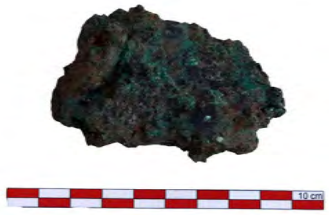
Quatre à cinq zones d'intérêt ont été sélectionnées sur chaque échantillon avant l'observation au MEB. Les résultats sont présentés pour chaque individu zone par zone.

Catégorie 1

Catégorie 2

Catégorie 3


Catégorie 4


Catégorie 5a

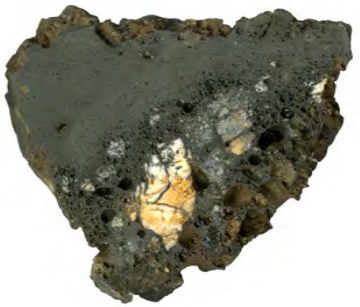
Catégorie 5b

Catégorie 6

Catégorie 7

Photographie avant traitement

Catégorie 1


Catégorie 2

Catégorie 3

Catégorie 4

Catégorie 5a

Catégorie 5b

Catégorie 6

Catégorie 7

5 cm

Scan des plans de coupe après sciage

Annexe 3.a : catégories des déchets métallurgiques de l'atelier des Atiels - rive du Pézègues

Annexe 3b : données analytiques de la scorie 3

Scorie 3 - zone 1

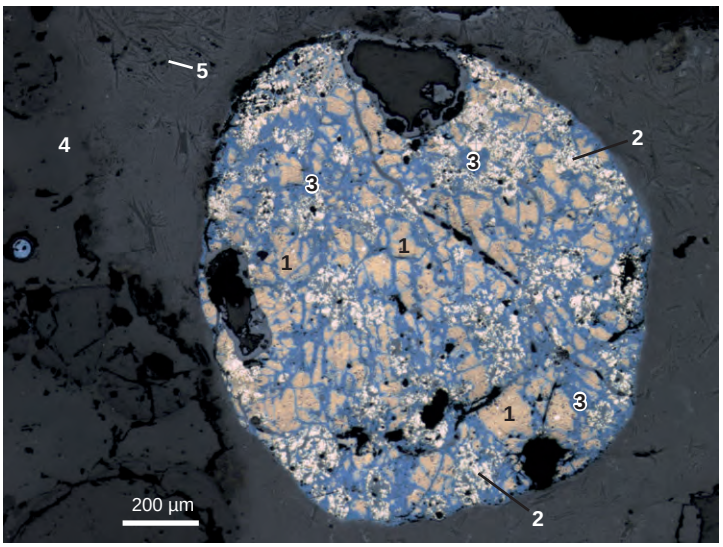


Image microscope optique

Sulfures complexes à cuivre et fer en cours de séparation

1: sulfures complexes à cuivre et fer
2: sulfures simples à fer
3: sulfures simples à cuivre
4: verre siliceux
5: sulfure de baryum résiduel du minerai

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total	
LD (ppm)			*429*	*414*			*548*		*306*		*2764*	*579*		
Plage 1	25,50	20,36	0,03	0,05	49,46	0,49	0,02	0,00	0,00	0,14	0,00	0,04	**96,09**	*oxydation?*
	28,00	16,56	0,04	0,04	53,83	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,10	**98,61**	
	27,96	15,90	0,03	0,05	54,20	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	**98,26**	
	28,77	17,35	0,04	0,04	52,65	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,07	**98,98**	
	27,99	14,66	0,03	0,01	55,77	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	**98,59**	
Plage 2	35,80	61,59	0,75	0,70	1,44	0,00	0,05	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	**100,43**	pyrrhotite
Plage 3	22,89	20,71	0,03	0,03	44,67	0,00	0,19	0,01	0,03	0,00	0,04	0,22	**88,82**	
	28,99	2,88	0,02	0,02	64,79	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	0,25	**97,02**	

Scorie 3 - zone 2

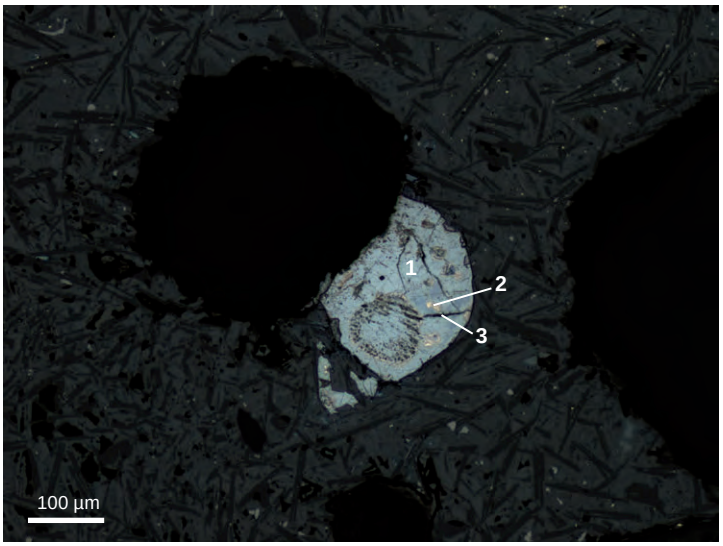


Image microscope optique

Sulfure de enrichi en cuivre avec des inclusions de sulfures complexes

1: sulfure enrichi en cuivre avec traces de fer
2: sulfure complexe à cuivre, nickel et fer
3: sulfure de baryum résiduel du minerai

Pas d'analyse microsonde.

Annexe 3b : données analytiques de la scorie 3

Scorie 3 - zone 3

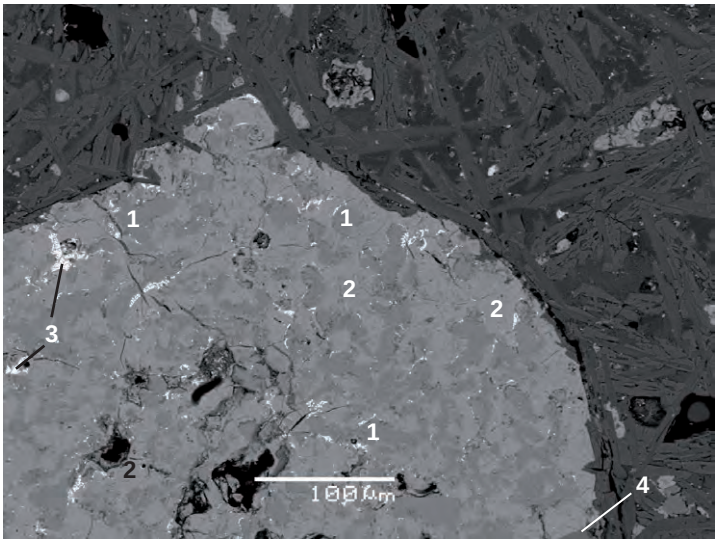


Image MEB

Sulfure hétérogène avec inclusions de plomb et cristaux d'oxydes de fer

1: sulfure de fer, cuivre en traces
2: sulfure complexe à cuivre et fer
3: inclusion de plomb
4: Oxyde de fer

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total	
LD (ppm)			*471*	*485*		*1516*		*1605*	*384*			*563*		
Plage 1	36,24	60,19	0,64	1,97	1,78	0,03	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,03	100,9	pyrrhotite
	35,78	58,41	0,65	1,95	1,94	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	98,8	pyrrhotite
	36,43	59,59	0,63	2,03	2,07	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	100,8	pyrrhotite
	36,25	59,81	0,63	2,01	1,83	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	100,6	pyrrhotite
	36,62	59,47	0,63	2,03	1,87	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,02	100,7	pyrrhotite
Plage 2	32,01	7,30	0,29	0,62	53,82	0,01	0,42	0,06	0,01	1,59	0,00	0,12	96,2	*oxydation?*
	29,71	13,25	0,05	0,07	51,27	0,04	0,07	0,02	0,01	1,17	0,00	0,16	95,8	*oxydation?*
	29,33	11,87	0,20	0,45	48,73	0,18	0,56	0,05	0,02	2,26	0,00	0,18	93,8	*oxydation?*
	29,32	7,92	0,01	0,04	55,76	0,21	0,21	0,00	0,01	1,49	0,00	0,14	95,1	*oxydation?*
	22,15	13,16	0,18	0,68	41,50	0,32	1,96	0,14	0,02	2,15	0,00	0,12	82,4	*oxydation?*
	28,48	9,21	0,05	0,06	55,20	0,00	0,14	0,06	0,01	1,42	0,00	0,12	94,7	*oxydation?*
Plage 3	22,24	8,93	0,04	0,08	23,18	0,00	0,00	0,00	0,01	47,23	0,00	0,16	101,9	
Plage 4	0,02	65,36	0,11	0,05	0,26	0,17	0,00	0,07	0,05	0,00	0,03	0,03	66,1	

Scorie 3 - zone 4

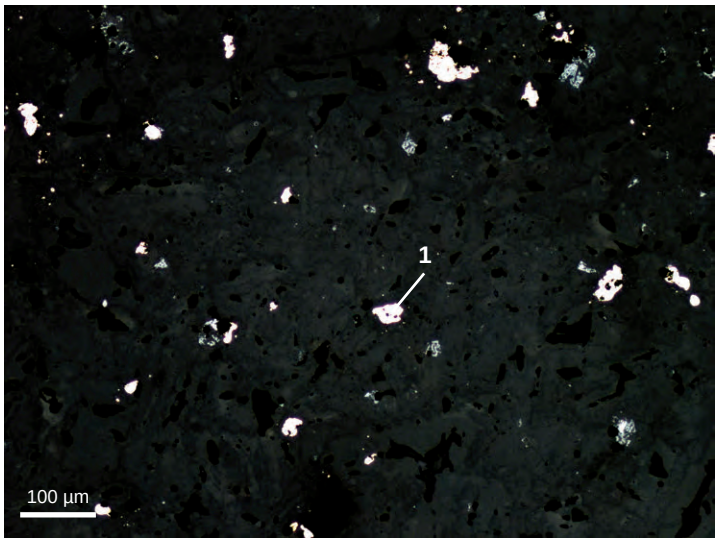


Image microscope optique

Petites billes de sulfure à cuivre et fer dispersées dans la matrice

1: sulfure complexe à cuivre et fer

Pas d'analyse microsonde.

Annexe 3c : données analytiques de la scorie 5a

Scorie 5a - zone 1

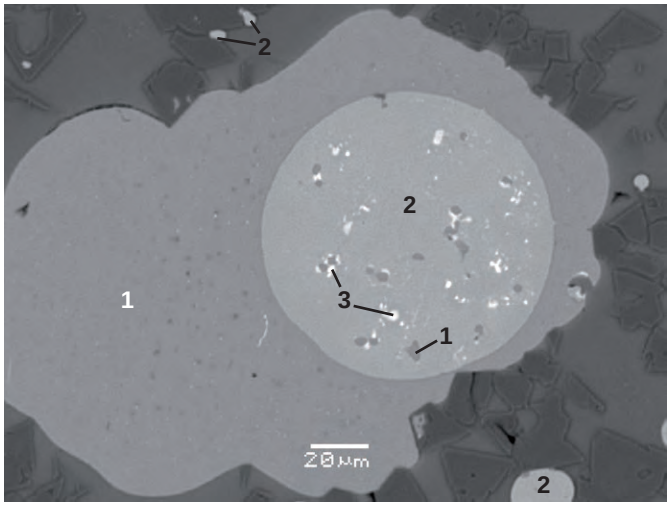


Image MEB

Billes de cuivre métallique et sulfures de cuivre résiduels

1: sulfures de cuivre (chalcocite - Cu_2S ou digénite - Cu_9S_5)
2: cuivre métallique
3: inclusions d'alliages métalliques à antimoine et nickel

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total	
LD (ppm)	*221*	*824*	*296*	*417*			*564*	*2472*	*295*	*2923*		*570*		
Plage 1	19,94	0,16	0,00	0,17	79,18	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	99,7	
	19,52	0,28	0,00	0,64	79,28	0,02	0,14	0,03	0,01	0,00	0,00	0,16	100,1	
	21,80	0,03	0,00	0,33	76,88	0,00	0,23	0,06	0,00	0,00	0,08	0,26	99,6	
	21,47	0,03	0,01	0,22	77,39	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,00	0,17	99,4	
	13,11	0,08	0,00	0,12	67,03	0,01	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00	1,01	81,5	*oxydation?*
	21,76	0,17	0,00	0,38	77,06	0,01	0,08	0,03	0,00	0,04	0,00	0,18	99,7	
Plage 2	0,01	0,01	0,00	2,53	90,88	0,00	6,91	0,03	0,01	0,06	0,00	0,48	100,9	
	0,00	1,52	0,04	1,57	92,36	0,00	4,73	0,01	0,01	0,07	0,06	0,30	100,7	
	0,01	0,43	0,00	0,78	96,70	0,00	3,27	0,02	0,01	0,00	0,00	0,27	101,5	
	0,00	0,04	0,00	1,69	91,31	0,00	6,16	0,12	0,00	0,02	0,00	0,53	99,9	
	0,02	0,09	0,00	2,44	93,65	0,00	4,19	0,00	0,00	0,12	0,00	0,30	100,8	
	0,01	0,56	0,02	1,10	95,29	0,00	4,48	0,00	0,00	0,01	0,05	0,25	101,8	

Scorie 5a - zone 2

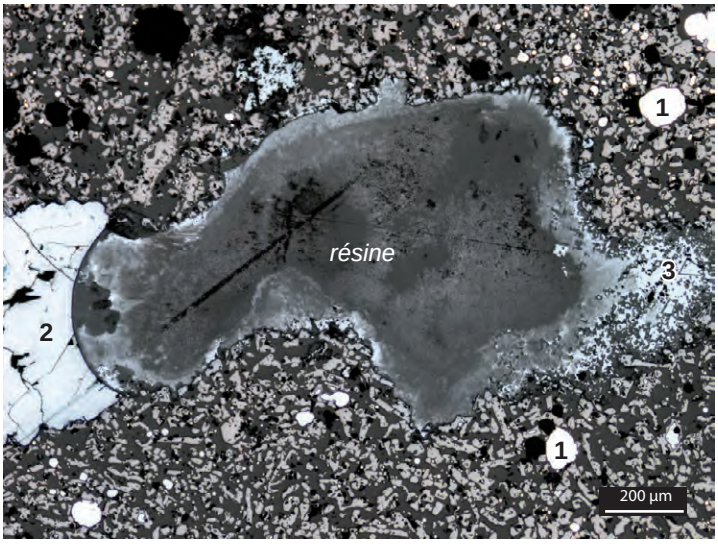


Image microscope optique

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb
LD (ppm)	*221*	*803*	*395*	*397*			*564*
Plage 1	1,64	0,34	0,01	0,99	85,72	0,00	7,14
	0,02	0,13	0,01	8,86	68,20	0,00	12,53
Plage 2	20,64	0,15	0,00	0,28	75,09	0,04	0,37
Plage 3	0,01	0,16	0,01	0,02	86,38	0,00	0,01

	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)	*2472*	*262*	*2194*		*470*	
Plage 1	0,21	0,00	0,40	0,00	0,39	96,8
	0,17	0,00	7,77	0,00	0,96	98,7
Plage 2	0,00	0,01	0,02	0,05	0,45	97,1
Plage 3	0,00	0,01	0,13	0,01	0,00	86,7

Billes de cuivre métallique et sulfures de cuivre résiduels

1: cuivre métallique avec impuretés (Sb, Ni, Pb) et argent en traces
2: sulfure de cuivre
3: cuivre oxydé

Annexe 3c : données analytiques de la scorie 5a

Scorie 5a - zone 3

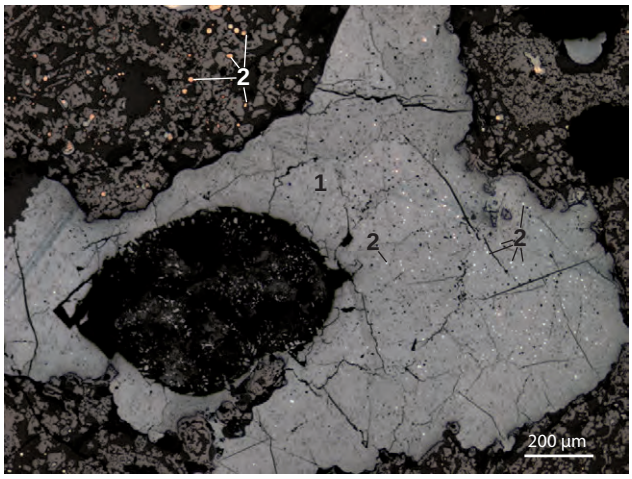


Image microscope optique

Sulfure de cuivre ayant piégé des billes métalliques cuivreuses

1: sulfures de cuivre (chalcocite - Cu_2S ou digénite - Cu_9S_5)
2: cuivre métallique avec impuretés (Pb, Ni, Sb)

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)	*221*	*803*	*395*	*397*			*564*	*2472*	*262*	*2194*		*470*	
Plage 1	19,81	0,00	0,00	0,16	78,92	0,00	0,02	0,09	0,00	0,37	0,00	0,78	100,1
	20,07	0,01	0,00	0,12	79,15	0,07	0,03	0,00	0,00	0,63	0,00	0,57	100,6
	20,22	0,01	0,01	0,04	78,94	0,00	0,02	0,03	0,00	0,08	0,00	0,54	99,9
	19,53	0,25	0,01	1,51	76,77	0,00	0,11	0,00	0,01	0,07	0,00	0,65	98,9
	19,47	1,35	0,02	0,16	78,71	0,00	0,01	0,00	0,01	0,32	0,00	0,23	100,3
Plage 2	0,88	0,87	0,04	9,84	80,23	0,00	7,85	0,05	0,01	0,82	0,00	0,20	100,8
	1,94	0,21	0,01	13,75	70,68	0,00	7,45	0,18	0,00	10,91	0,00	0,11	105,3

Scorie 5a - zone 4

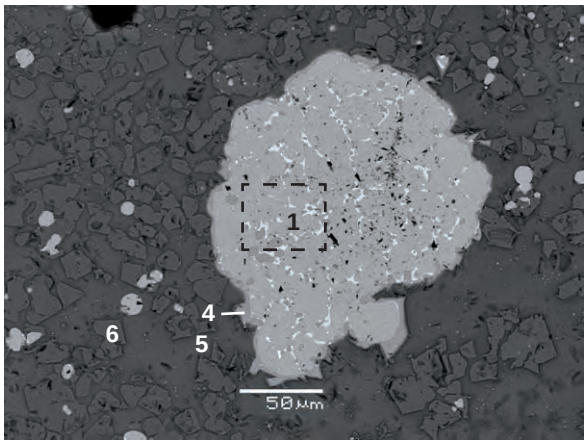


Image MEB

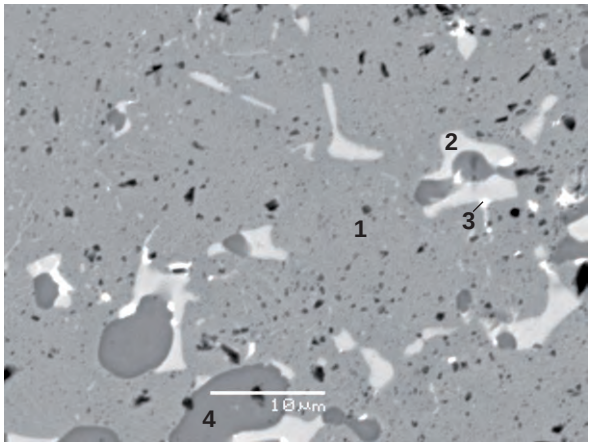


Image MEB

Cuivre métallique avec impuretés entouré de sulfure de cuivre résiduel

1: cuivre métallique avec impuretés (Sb, Ni)
2: alliage antimoine-nickel en inclusion (Cu et Pb en traces)
3: alliage cuivre-plomb, avec nickel et antimoine
4: sulfure de cuivre
5: verre siliceux (Si, Al, Ba, K, Ca, Fe) avec traces de Mg, Pb, Ni
6: oxyde de fer

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)	*221*	*824*	*296*	*417*			*564*	*2472*	*295*	*2923*		*570*	
Plage 1	0,02	0,09	0,00	7,19	87,86	0,00	5,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	101,0
	0,08	0,24	0,02	21,72	51,42	0,00	27,57	0,18	0,00	0,42	0,00	0,21	101,9
	0,01	0,37	0,00	4,77	88,88	0,03	6,34	0,15	0,00	0,10	0,07	0,40	101,1

Annexe 3c : données analytiques de la scorie 5a

Scorie 5a - zone 5

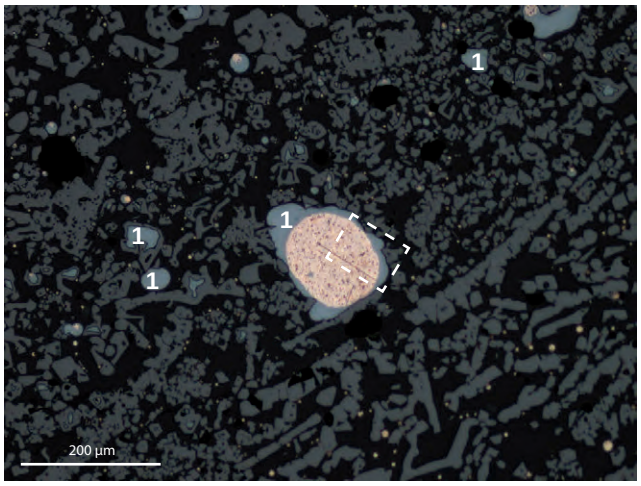


Image microscope optique

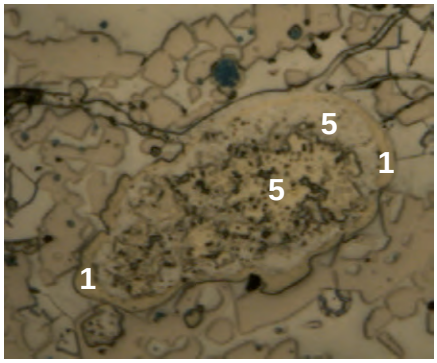


Image microsonde

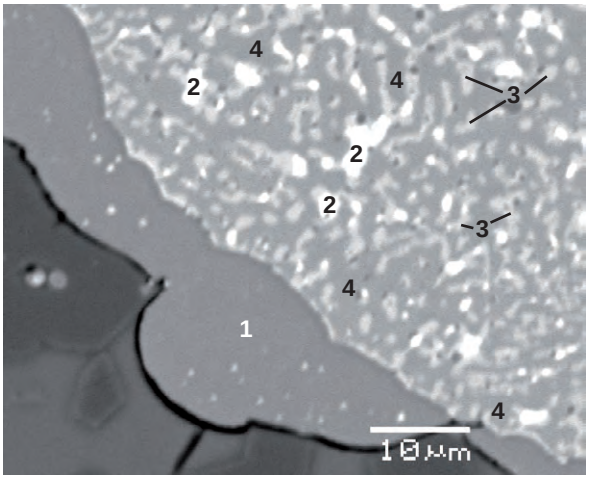


Image MEB

Cuivre métallique avec impuretés entouré de sulfure de cuivre résiduel

1: sulfures de cuivre (chalcocite - Cu_2S ou digénite - Cu_9S_5)
2: inclusion de plomb
3: cuivre métallique avec impuretés d'antimoine et nickel
4: cuivre métallique avec traces de nickel et antimoine
5: alliage cuivreux oxydé ponctuellement

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)		*767*	*308*	*391*		*1383*	*504*	*2001*	*280*	*3051*		*583*	
Plage 1	19,43	0,60	0,00	0,12	79,64	0,00	0,01	0,00	0,00	0,25	0,00	0,03	100,1
	19,11	1,21	0,01	0,18	78,64	0,00	0,18	0,04	0,01	0,47	0,00	0,29	100,2
	19,25	2,50	0,04	0,13	78,38	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,21	100,6
	19,10	1,83	0,05	0,08	78,35	0,00	0,01	0,00	0,02	0,23	0,00	0,18	99,8
	18,65	1,13	0,02	0,12	78,97	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	100,4
	19,59	0,30	0,01	0,10	81,53	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,18	101,7
	20,21	0,01	0,00	0,17	76,92	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	99,0
	21,03	0,06	0,00	0,12	78,07	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	100,0
	19,92	0,11	0,02	2,23	76,36	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,04	0,50	99,8
Plage 4	0,40	0,03	0,01	9,60	76,95	0,00	13,28	0,14	0,00	0,61	0,00	0,28	101,3
	0,12	0,58	0,01	7,20	84,73	0,00	9,49	0,25	0,00	0,59	0,00	0,29	103,2
	0,89	0,05	0,02	13,55	69,32	0,00	15,18	0,16	0,00	1,47	0,00	0,22	100,8
	0,85	0,01	0,01	11,82	73,95	0,00	12,48	0,15	0,01	2,58	0,00	0,24	102,1
	1,08	0,40	0,03	10,62	78,83	0,00	10,21	0,14	0,01	0,92	0,00	0,23	102,5
	0,41	0,24	0,01	10,95	73,43	0,00	13,56	0,10	0,00	1,84	0,00	0,21	100,8
Plage 5	0,74	0,56	0,02	0,07	43,64	0,01	13,31	0,29	0,00	1,39	0,00	0,04	60,1
	0,01	0,23	0,00	0,02	86,10	0,00	0,50	0,00	0,01	0,05	0,04	0,00	87,0

Annexe 3d : données analytiques de la paroi 7

Paroi 7 - zone 1

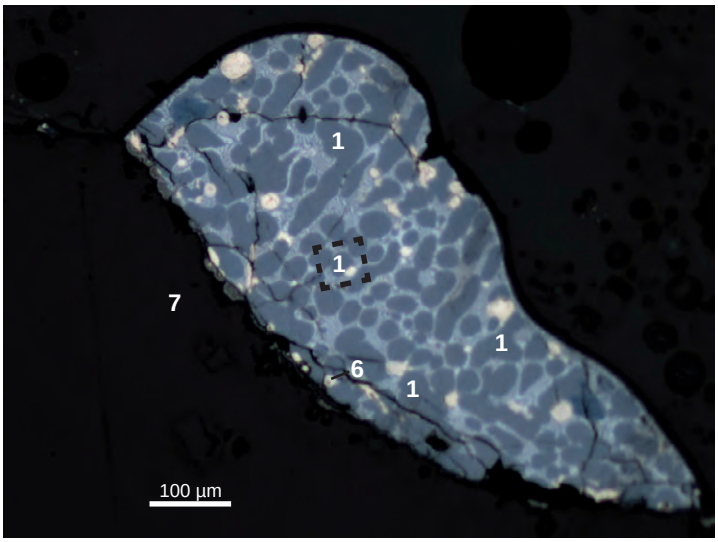


Image microscope optique

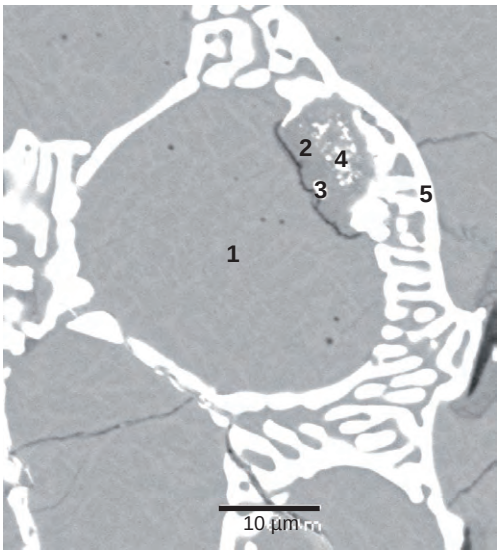


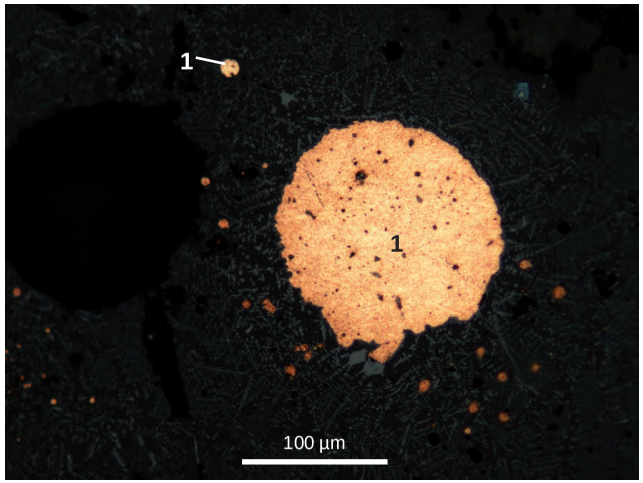
Image MEB

Composés sulfurés contenant les différents éléments présents dans le minerai

1: sulfure de cuivre
2: sulfure de nickel
3: sulfure de plomb et nickel
4: sulfure complexe à plomb, antimoine, nickel, cuivre arsenic
5: sulfure de cuivre et plomb
6: sulfure de nickel et antimoine
7: verre siliceux

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)		*1447*	*308*	*391*		*1383*	*504*	*1605*	*280*	*3051*		*755*	
Plage 1	23,05	4,45	0,04	0,09	70,70	0,03	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,13	98,7
	23,07	4,21	0,05	0,08	70,90	0,01	0,00	0,00	0,01	0,23	0,00	0,19	98,8
	23,37	4,42	0,11	0,60	69,04	0,05	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,15	97,8
	23,44	4,91	0,10	0,18	69,87	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,00	0,19	98,9
Plage 5	15,36	0,87	0,00	0,04	21,46	0,00	0,00	0,02	0,00	62,87	0,00	0,08	100,7
	16,72	1,71	0,00	0,02	30,43	0,03	0,00	0,02	0,00	52,45	0,00	0,09	101,5
	16,60	1,73	0,01	0,01	28,81	0,01	0,00	0,04	0,01	54,75	0,00	0,14	102,1
Plage 6	26,28	1,43	1,23	38,11	3,02	0,04	10,67	4,45	0,00	8,72	0,00	0,05	94,0
	22,54	1,45	0,90	50,00	1,04	0,03	8,71	1,33	0,01	13,28	0,00	0,02	99,3
	23,95	2,24	1,09	47,27	1,20	0,00	7,38	1,69	0,01	12,19	0,00	0,00	97,0

Paroi 7 - zone 2



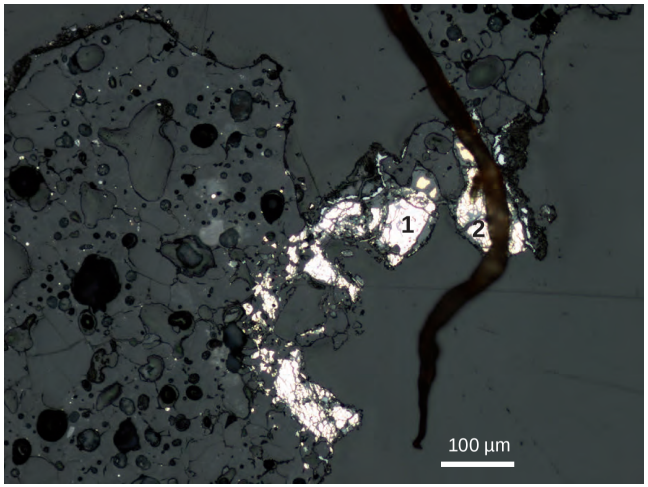
Billes de cuivre métallique avec des impuretés

1: cuivre métallique avec impuretés en nickel

Valeurs des analyses à la microsonde électronique (% massique)

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)	*221*	*824*	*296*	*417*			*564*	*2472*	*295*	*2923*		*570*	
Plage 1	0,02	0,02	0,01	3,89	95,67	0,00	2,27	0,00	0,00	0,12	0,00	0,08	102,1
	0,03	0,14	0,00	3,82	94,91	0,00	1,98	0,01	0,00	0,04	0,01	0,10	101,1
	0,02	0,12	0,00	3,86	93,77	0,01	1,85	0,00	0,01	0,10	0,00	0,06	99,8

Paroi 7 - zone 3



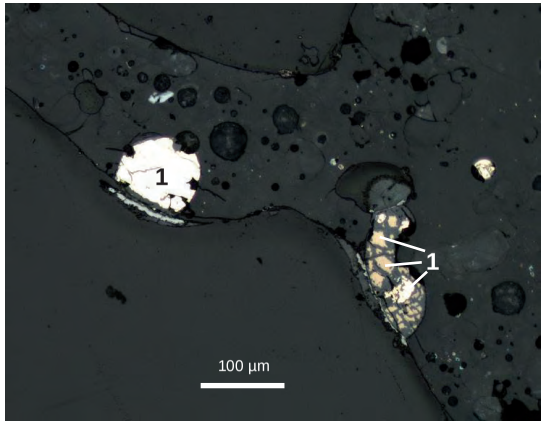
Sulfures complexes du début de la chaîne opératoire

1: sulfure fer-cuivre avec impuretés en plomb et oxydation probable
2: chalcopyrite

	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
LD (ppm)			*412*	*404*		*1433*
Plage 2	33,25	32,77	0,33	0,80	31,06	0,08
	32,82	30,67	0,19	0,98	32,02	0,07

	Sb	As	Mn	Pb	Bi	Ag	Total
LD (ppm)	*547*	*1638*	*308*	*3098*	*2685*	*587*	
Plage 2	0,13	0,11	0,19	0,04	0,03	0,03	98,8
	0,05	0,00	0,13	0,00	0,00	0,01	96,9

Paroi 7 - zone 4



Sulfures complexes du début de la chaîne opératoire

1: sulfures à cuivre et fer

Pas d'analyse microsonde

Annexe 3d : données analytiques de la paroi 7

Glossaire

Alluvions : dépôts de sédiments transportés par l'eau.

Ankérite : Carbonate commun formant une série avec la dolomite, de formule $Ca(Fe, Mg, Mn)(CO_3)_2$. La dolomite a pour formule $CaMg(CO_3)_2$.

Brèches : ce type de roche fait partie des conglomérats, qui unissent des fragments d'autres roches érodées dans un ciment naturel.

Carreau minier : espace situé devant l'accès de la mine.

Colluvions : dépôts de sédiments déplacés par gravité, en bas de versants.

Couronne : partie supérieure ou plafond des chantiers.

Cycle calédonien : cycle orogénique de la première moitié de l'Ère Paléozoïque (du Cambrien à l'Ordovicien) qui a entraîné la formation de chaînes de montagnes situées, pour l'Europe actuelle, de la Scandinavie à l'Irlande, en passant par l'Écosse. Cet épisode correspond au rapprochement de trois masses continentales qui vont former la Laurussia.

Cycle hercynien : cycle orogénique de la seconde moitié de l'Ère Paléozoïque (du Dévonien au Permien) qui a entraîné la formation de chaînes de montagnes qui se situaient, pour la région de l'Europe actuelle, vers le nord du continent. Les terrains que l'on retrouve aujourd'hui dans les Pyrénées se situaient au sud de ces reliefs, dans une zone de bassin qui n'a pas subi le plus fort de cette orogenèse. Cela correspond à la formation du supercontinent de la Pangée.

Détritique (terrains) : terrains sédimentaires formés par l'accumulation de matériaux issus au moins pour moitié de terrains primaires érodés. La taille des éléments agglomérés va d'une fraction de quelques mm à plusieurs cm.

Drusique : se dit d'un cristal qui se développe dans une géode de forme étroite et aplatie.

Fenestrae : espace libéré dans la matrice par dissolution ou par rétraction du sédiment.

Front de taille : paroi rocheuse en cours d'exploitation. Par extension, ce terme désigne la paroi en fond de galerie ou de chantier sur laquelle les mineurs se sont arrêtés.

Gangue : dans une minéralisation, cela désigne l'ensemble des minéraux associés au minerai, sans intérêt économique notable.

Hydrothermalisme : circulation d'eaux très chaudes (200 à 400 ºC) à travers la croûte terrestre liée au volcanisme, plutonisme* ou métamorphisme. Ces eaux salées et corrosives sont chargées en minéraux variés (en fonction de leur origine et des terrains traversés). Elles refroidissent progressivement en s'approchant de la surface, ce qui entraîne la cristallisation des éléments transportés. Lorsqu'elles circulent à travers des fissures ou failles, la minéralisation résultante est un filon.

Ophite : diorite de couleur vert sombre, rayée de filets jaunes qui se croisent, présentant l'aspect d'une peau de serpent

Orogenèse : ensemble des processus par lesquels se forment les chaînes de montagne.

Paragenèse : ensemble des minéraux qui se forment dans une minéralisation.

Plutonique : lié à un pluton. Les plutons sont des roches magmatiques formées en profondeur qui ont subi un refroidissement très lent, permettant la formation de cristaux de grande taille.

Salbande : altération argileuse, très fréquente aux épontes des filons, associée à la zone de broyage sur l'éponte de la faille qui porte le filon.

Sole : parité inférieure ou plancher d'un chantier minier.

Stromatolithe : structure laminaire souvent calcaire qui se développe en milieu aquatique peu profond, due à l'action de bactéries. Ces structures prennent la forme de feuillets qui se superposent, d'où l'usage du terme de lamination stromatolithique.

Téthys : Paléo-océan qui s'est ouvert entre le Permien et le Jurassique à travers la Pangée. Les terrains de l'Europe du Sud et de l'Afrique du Nord correspondent à l'extrémité occidentale de cet océan.

Bibliographie

Sources classiques :

César, *Guerre des Gaules*, Livres I-IV. Texte établi et traduit par L.-A. Constans, cinquième tirage de la quatorzième édition revue et corrigée par A. Balland. Les Belles Lettres, Paris, 2013.

César, *Guerre des Gaules*, Livres V-VIII. Texte établi et traduit par L.-A. Constans, troisième tirage de la quatorzième édition revue et corrigée par A. Balland. Les Belles Lettres, Paris, 2008.

Cicéron, *Discours t. 1*, *Pro P. Quinctio*. Texte établi et traduit par H. de la Ville de Mirmont, troisième édition revue et commentée par J. Humbert. Les Belles Lettres, Paris, 1960.

Cicéron, *Discours t. 7*, *Pro M. Fonteio*. Texte établi et traduit par A. Boulanger, troisième édition. Les Belles Lettres, Paris, 1961.

Diodore de Sicile, *Bibliothèque historique*, livre V. Texte traduit par C. H. Oldfather, 1993, Loeb classical library, Londres.

Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle*, Livre XXXIII. Texte établi, traduit et commenté par H. Zehnacker. Les Belles Lettres, Paris, 1983.

Pline l'Ancien, *Histoire Naturelle*, Livre XXXIV. Texte établi et traduit par H. Le Bonniec et commenté par H. Gallet de Santerre et H. Le Bonniec. Les Belles Lettres, Paris, 1953.

Strabon, *Géographie*, livres III et IV. Texte établi et traduit par F. Lasserre. Les Belles Lettres, Paris, 1966.

Sources éditées :

ABILA, R.. 1994, *La Chapelle de Saint-Barthélémy, Durban-sur-Arize*. SRA Midi-Pyrénées - Non publié.

ABRAHAM, P., 2006, *Mission d'étude et d'expertise des sites miniers et métallurgiques en Midi-Pyrénées. Ariège*. SRA Midi-Pyrénées - Non publié.

ABRAHAM, P., 2009, *Étude des anciens travaux miniers et des ateliers de transformation de minerais en Midi-Pyrénées. Bilan d'étape Missions de 2004 à 2008*. SRA Midi-Pyrénées - Non publié.

ADAM, A.-M., 2007, « Les importations méditerranéennes en Gaule interne aux IVe et IIIe siècles avant notre ère ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 255-263.

ADROIT, S., 2014, « Dynamiques funéraires et faciès culturels. L'exemple du sud-ouest de la France et du Nord de l'Espagne dans la première moitié du Ier millénaire avant notre ère ». In : *Archimède* [en ligne] 1, pp. 203-216.

AMBERT, P., 1995, « Les mines préhistoriques de Cabrières (Hérault): quinze ans de recherches. Etat de la question ». In : *Bulletin de la Société préhistorique française* 92, pp. 449-508.

AMBERT, P., 1998, « Métallurgie préhistorique, Métallurgie expérimentale, les fours, état de la question, perspectives de recherches ». In : Frère-Sautot, M.-C. (Ed.), *Paléométallurgie des cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune 17-18 oct. 1997*. Monographies Instrumentum 5, Editions Monique Mergoil, Montagnac, pp. 1-16.

AMBERT, P., 1999, « Grandeurs et décadences des exploitations de cuivre de Cabrières (Hérault) entre néolithique et moyen âge ». In : *Pallas*, pp. 391-404.

AMBERT, P., BALESTRO, F., LAROCHE, M., FIGUEROA, V. et ROVIRA, S., 2013, « Technological aspects of the earliest metallurgy in France: 'furnaces' and slags from La Capitelle du Broum (Péret, France) ». In : *Historical Metallurgy* 47-1, pp. 60-74.

AMBERT, P., BOUQUET, L., GUENDON, J.-L. et MISCHKA, D., 2005, « La Capitelle du Broum (district minier de Cabrières-Péret, Hérault): établissement industriel de l'aurore de la métallurgie française (3100-2400 BC) ». In : Ambert, P. et Vaquer, J. (Eds.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international Carcassonne - 28-30 septembre 2002*. Mémoire XXXVII, SPF, Joué-lès-Tours, pp. 83-96.

AMBERT, P. et LAROCHE, M., 2013, « Mines et métallurgie du cuivre launaciennes dans le district de Cabrières-Péret (Montagne Noire orientale, Hérault) ». In : Verger, S. et Pernet, L. (Eds.), *Une Odysée gauloise. Parures de femmes à l'origine des premiers échanges entre la Grèce et la Gaule*. Collection Archéologie de Montpellier Agglomération AMA 4, Arles, pp. 96-99.

AMBERT, P., LAROCHE, M., FIGUEROA, V., KLEMM, V., ROVIRA, S., GUENDON, J.-L. et PRANGE, M., 2009, « Cabrières et la métallurgie de la transition de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer (Launacien pro parte). État de la question ». In : *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco* 49, pp. 99-114.

ANCEL, B., 1997, « Relevés topographiques et archéologiques en anciennes mines: méthodologie d'un outil d'interprétation ». In : Society, International Union of Speleology / Swiss Speleological (Ed.), *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology. La Chaux de Fonds. Switzerland.*, pp. 195-198.

ANCEL, B., COTTET, M., KAMMENTHALER, E., MORIN, D., OPPIZZI, P. et TIZZONI, M., 1998, « La mine de cuivre de Campolungo (BS): une exploitation révolutionnaire de l'Age du Fer. Premières hypothèses et observations ». In : *Notizie Archeologiche Bergomensi, Periodico di archeologia del Civico Museo Archeologico di Bergamo* 6, pp. 163-183.

ANCEL, B., DARDIGNAC, C., PARENT, G. et BEYRIE, A., 2001, « La mine de cuivre des Trois Rois à Banca, vallée de Baïgorry (Pyrénées-Atlantiques) ». In : Sablayrolles, R. (Ed.), *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité, Entretiens d'archéologie et d'histoire*. St-Bertrand-de-Comminges, pp. 179-194.

ANCEL, B., PARENT, G., BEYRIE, A., KAMMENTHALER, E. et DARDIGNAC, C., 2012, « Stratégie d'exploitation et galeries d'exhaure dans la mine de cuivre antique de Banca (St Etienne de Baigorry, Pyrénées-Atlantiques) ». In : Bost, J.-P. (Ed.), *L'eau: usages, risques et représentations, dans le Sud-Ouest de la Gaule et le Nord de la péninsule Ibérique, de la fin de l'âge du Fer à l'Antiquité tardive (IIe siècle avant J.-C. - VIe siècle après J.-C.), colloque (Dax 2009)*. Supplément Aquitania 21, Bordeaux, pp. 169-194.

ANCEL, B. et PY, V., 2008, « L'abattage par le feu: une technique minière ancestrale ». In : *Archéopages* 22, pp. 34-41.

ANDREAU, J., 2010, *L'économie du monde romain*. Le monde: une histoire. Mondes anciens, Paris.

ANONYME, 1873, *Compte-rendu de visite Recherche de cuivre de Castelnau-Durban du 25 août 1873*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, 1890, *Visite du 12 juin 1890*. Archives BRGM Toulouse - Non publié.

ANONYME, 1903, *Recherches de cuivre de Rimont et Castelnau-Durban. P.-V. de visite du contrôleur des mines du 29 juillet 1903*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, 1904, *Demande en permis de vente de M. A. Simon. Rapport du S.I.M. en date du 17-10-1904*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, 1907a, *Avis de l'Ingénieur Chef des Mines sur la demande en concession de mines métalliques présentée par M. Lacroix*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, 1907b, *Mémoire à l'apport de la demande en concession de mines de cuivre, plomb, argent et autres métaux sur le territoire des communes de Rimont, Castelnau-Durban et Esplas présentée par M. Gaston Lacroix*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, 1909, *Rimont. Plan des travaux de La Calotte. 1/500*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANONYME, non daté, *Plan de la concession de Montcoustand*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

ANTOLINOS MARÍN, J. A., FABRE, J.-M. et RICO, C., 2013, « Las minas romanas de *Carthago Noua*. Avance de las investigaciones en la Rambla del Abenque (Sierra de Cartagena) ». In : *Mastia, revista del museo municipal de Cartagena* 9, pp. 151-177.

ANTOLINOS MARÍN, J. A. et RICO, C., 2012, « El complejo mineralúrgico de época tardorrepublicana del Cabezo del Pino (Sierra de Cartagena, Murcia) ». In : Zarzalejos Prieto, M., Hevia Gómez, P. et Mansilla Plaza, L. (Eds.), *Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. Investigaciones recientes y nuevas líneas de trabajo*. UNED, Madrid, pp. 69-90.

ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L., ALARCÓN GARCÍA, E., CONTRERAS CORTÉS, F. et MORENO ONORATO, A., 2018, « Evolución de la minería antigua en el valle del Rumbñlar (Baños de la Encina, Jaén) ». In : García Pulido, L., Arboledas Martínez, L., Alarcón García, E. et Contreras Cortés, F. (Eds.), *Presente y futuro de los paisajes mineros del pasado: estudios sobre minería, metalurgia y poblamiento*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 31-43.

ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L., CONTRERAS CORTÉS, F. et MORENO ONORATO, A., 2014, « La explotación minera antigua en Sierra Morena Oriental y su vinculación con el territorio ». In : *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24, pp. 111-145.

ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L., FABRE, J.-M. et MANTENANT, J., 2011, « Primera exploración arqueológica de las minas romanas de Sierra Morena oriental: El Centenillo (Baños de la Encina, Jaén) ». In : *Zephyrus* 68, pp. 211-228.

ARGÜELLES ÁLVAREZ, P. A., 2015, « Roman Exploitation and New Road Infrastructures in *Asturia Transmontana* (Asturias, Spain) ». In : Roselaar, S. T. (Ed.), *Processes of Cultural Change and Integration in the Roman World*. Leiden, pp. 191-200.

ARLES, A., CLERC, P., SARAH, G., TÉREYGEOL, F., BONNAMOUR, G., HECKES, J. et KLEIN, A., 2013, « 3D reconstruction and modeling of subterranean landscapes in collaborative mining

archeology projetcs: techniques, applications and experiences ». In : *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XL-5/W2, pp. 61-66.

ARTIOLI, G., ANGELINI, I., TECCHIATI, U. et PEDROTTI, A., 2015, « Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: local patterns of metallurgical expoitation in the Copper Age ». In : *Journal of Archaeological Science* 63, pp. 73-83.

BAILLY-MAÎTRE, M.-C., 1997a, « Histoire des techniques de la Protohistoire au XVIIIe siècle et Archéologie industrielle ». In : CNRA (Ed.), *La rechercher archéologique en France. Bilan 1990-1994 et programmation du Conseil national de la recherche archéologique*. Paris, pp. 397-408.

BAILLY-MAÎTRE, M.-C., 1997b, « La mine au Moyen Age. La gestion de l'espace souterrain ». In : *Pallas* 46, pp. 287-295.

BAILLY-MAÎTRE, M.-C., 1997c, « Mines et métallurgie ». In : *La recherche archéologique en France. Bilan 1990-1994 et programmation scientifique du Conseil national de recherche archéologique*. Paris, pp. 175-188.

BAILLY-MAÎTRE, M.-C., 2008, *Une aventure minière : Huez et l'argent au Moyen Âge. L'argenteria de brandis*. Musée d'Huez et de l'Oisans 8.

BAILLY-MAÎTRE, M.-C., HOULES, N. et LANDES, C., 1984, « Le site minier antique de Pioch-Farrus (Commune de Cabrières, Hérault) : recherches préliminaires ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise*, pp. 327-337.

BAL, M.-C., PÈLACHS, A., PÉREZ-OBIOL, R., JULIÀ, R. et CUNILL ARTIGAS, R., 2011, « Fire history and human activities during the last 3300 cal yr BP in Spain's Central Pyrenees: The case of the *Estany de Burg* ». In : *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 300, pp. 179-190.

BAL, M.-C., RENDU, C., RUAS, M.-P. et CAMPMAJO, P., 2010, « Paleosol charcoal: Reconstructing vegetation history in relation to agro-pastoral activities since the Neolithic. A case study in the Eastern French Pyrenees ». In : *Journal of Archaeological Science* 37, pp. 1785-1797.

BARON, S., MAHÉ-LE CARLIER, C. et PLOQUIN, A., 2010, « Géochimie isotopique du plomb en archéologie minière et métallurgique: exemple du Mont Lozère dans les Cévennes ». In : *ArchéoSciences* 34, pp. 149-157.

BARRAL, P., 2016, « Production, échanges et urbanisation ». In : *L'archéologue* 139, pp. 50-55.

BARRAL, P. et LALLEMAND, D., 2014, « Les agglomérations ouvertes du II^{e} siècle av. J.-C. à spécialisation artisanale et commerciale : deux exemples du Centre-Est de la France, Varennes-sur-Allier (Allier) et Verdun-sur-le-Doubs (Sâone-et-Loire) ». In : Hornung, S. (Ed.), *Produktion - Distribution - Ökonomie. Siedlungs- und Wirtschaftsmuster der Latènezeit*. Bonn, pp. 205-230.

BARROUILLET, V., LAMY, A., MUT, G., PINEDA, J. et SIRET, A., 1989, « Mines et fonderies antiques et médiévales du Canigou ». In : Domergue, C. (Ed.), *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France méridionale*.

BARROUQUÈRE, G., PÉLISSONIER, H., CASTAING, C. et BRGM, 1976, *Carte géologique de la France à 1/50 000. 1074, St Girons*. BRGM, Orléans.

BARRUOL, G., 1980, « Le pays des Sordes ». In : Barruol, G. (Ed.), *Ruscino, Château-Roussillon, Perpignan (P.-O.). I., État des travaux et des recherches en 1975. Actes du colloque de Perpignan*. Revue archéologique de Narbonnaise suppl. 7, Paris, pp. 29-35.

BARRUOL, G., 2000, « Les peuples préromains du Sud du Massif Central d'après les sources écrites ». In : Dedet, B., Gruat, P., Marchand, G., Py, M. et Schwaller, M. (Eds.), *Aspects de l'Âge du Fer dans le Sud du Massif Central. Actes du XXIe Colloque International de l'AFEAF Conques-Montrozier 8-11 mai 1997*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 6, Montagnac, pp. 7-18.

BARRUOL, G. et GOURDIOLE, R., 1982, « Les mines antiques de la Haute Vallée de l'Orb ». In : Domergue, C. (Ed.), *Mines et fonderies antiques de la Gaule*. Table ronde du CNRS, Université de Toulouse-Le Mirail, nov. 1980, Paris, pp. 79-93.

BATS, M., 1986, « Le vin italien en Gaule au IIe-Ier s. av. J.-C.: problèmes de chronologie et de distribution ». In : *Dialogues d'histoire ancienne* 12-1, pp. 391-430.

BATS, M., 2011, « Métal, objets précieux et monnaie dans les échanges en Gaule méridionale protohistorique (VII^{e}-II^{e} s. A.C.) ». In : *Barter, money and coinage in the Ancient Mediterranean (10th-1st Centuries BC). Actas del IV Encuentro peninsular de numismatica antigua*. Anejos de AEspa LVIII, Madrid, pp. 97-109.

BÉMONT, C. et JACOB, J.-P. (Dir.), 1986, *La terre sigillée gallo-romaine. Lieux de production du Haut-Empire: implantations, produits, relations*. Documents d'Archéologie Française 6, Paris.

BENQUET, L., 2007, « Les importations de vin italique dans le Toulousain au cours du II^{e} s. a.C. ». In : Vaginay, M. et Izac-Imbert, L. (Eds.), *Les âges du Fer dans le Sud-Ouest de la France. XVIIIe colloque de l'AFEAF. Toulouse, 20-23 mai 2004*. Aquitania suppl. 14/1, Bordeaux, pp. 435-448.

BENQUET, L., 2016, « Les amphores découvertes au Domaine des Forges ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 43, Montpellier, pp. 216-231.

BENQUET, L., GENEVIÈVE, V. et GORGUES, A., 2016, « La culture matérielle de la population sidérurgique des Martys : céramique, amphores, monnaies ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 43, Montpellier, pp. 185-246.

BENQUET, L. et OLMER, F., 2002, « Les amphores ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 295-331.

BERDEAUX - LE BRAZIDEC, M.-L. et FEUGÈRE, M., 2006, « Deux dépôts monétaires d'époque républicaine découverts dans l'Aude ». In : *Cahiers Numismatiques* mars, pp. 25-43.

BERGER, D., BRÜGMANN, G. et PERNICKA, E., 2017, « On smelting cassiterite in geological and archaeological samples: preparation and implications for provenance studies on metal artefacts with tin isotopes ». In : *Archaeological and Anthropological Sciences*, pp. 1-27.

BERTRANEU, J., 1958, *Reconnaissance préliminaire des gîtes métallifères des Massifs de l'Arize et du St Barthélémy (Ariège)*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

BERTRANEU, J. et BOIS, J.-P., 1959, *Note sur le gîte de Lagarde (Plomb) (Massif de l'Arize, Ariège)*.

BERTRANEU, J. et PASSAQUI, B., 1959, *Minéralisations Pb-Zn de Rimont - Le Sarrat de Milles*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

BEYRIE, A., 2003, *Mines et métallurgies antiques au Pays Basque. Un vecteur de romanisation?* Thèse de doctorat, Université de Toulouse Le Mirail, sous la direction de Sablayrolles, R.

BEYRIE, A., 2015, « Aux origines de la sidérurgie Tarbelle ». In : *Kobie, Serie paleoantropología*, pp. 65-79.

BEYRIE, A., FABRE, J.-M., KAMMENTHALER, E., MANTENANT, J., MUNTEANU, G. et RICO, C., 2011, « Une vaste exploitation minière du second Âge du fer. La mine de cuivre des Barrencs (Lastours, Fourne-Cabardès, Aude) ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 44, pp. 39-56.

BEYRIE, A., FABRE, J.-M. et SABLAYROLLES, R., 2000, « Les hommes de fer du dieu Ageio. Exploitation antique du fer dans les Hautes Baronnies (Hautes-Pyrénées) ». In : *Gallia* 57, pp. 37-52.

BEYRIE, A. et KAMMENTHALER, E., 2005, « Le centre sidérurgique antique de Larla (Saint-Martin-d'Arossa) ». In : *Bulletin du Musée Basque* 165, pp. 21-38.

BEYRIE, A. et KAMMENTHALER, E., 2008, « Aux origines de l'activité minière dans les Pyrénées occidentales. L'exploitation du cuivre, du fer, de l'or et de l'argent. ». In : *Archéopages* 22, pp. 28-31.

BILOTTE, M., CASTERAS, M., PEYBERNÈS, B., REY, J., SOULA, J. C. et TAILLEFER, F., 1988, *Carte géologique de la France à 1/50 000. 1075, Foix*. BRGM, Orléans.

DE BLAS CORTINA, M. A., 2005, « Un témoignage probant de l'exploitation préhistorique du cuivre dans le nord de la Péninsule Ibérique: le complexe minier d'El Aramo (Asturies) ». In : Ambert, P. et Vaquer, J. (Eds.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international Carcassonne - 28-30 septembre 2002*. Mémoire XXXVII, SPF, Joué-lès-Tours, pp. 195-205.

DE BLAS CORTINA, M. A., 2014, « El laboreo del cobre en la Sierra del Aramo (Asturias) como referente cardinal de la minería prehistórica en la Región Cantábrica ». In : *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24, pp. 45-84.

BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, J. M., 1991, *Agricultura y minería romanas durante el alto imperio*. Madrid.

BOISSON, M., 1975, *Contribution à l'étude d'anciens gîtes de cuivre des Pyrénées centrales (Ariège, Haute-Garonne)*. Thèse de doctorat, Université de Besançon, sous la direction de Thiébaut, J.

BONHÔTE, J. et FRUHAUF, C., 1990, « La métallurgie au bois et les espaces forestiers dans les Pyrénées de l'Aude et de l'Ariège ». In : Woronoff, D. (Ed.), *Forges et Forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois*. Paris, pp. 151-212.

BONNAMOUR, G., FLORSCH, N. et TÉREYGEOL, F., 2007, « Les prospections des ferriers de Castel-Minier: approche interdisciplinaire ». In : *ArchéoSciences* 31, pp. 37-44.

BORK, H.-R. et LANG, A., 2003, « Quantification of past soil erosion and land use / land cover changes in Germany ». In : Lang, A., Henricht, K. et Dikau, R. (Eds.), *Long Term Hillslope and Fluvial System Modelling. Concepts and Case Studies from the Rhine River Catchment*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 231-239.

BORLASE, W., 1897, « Tin mining in Spain, past and present ». In : *Ancient Science Tracts* 429.

BOUBE, E., 1996, *Le trophée augustéen*. Collections du Musée archéologique départemental de Saint-Bertrand-de-Comminges 4.

BOUQUET, L., FIGUEROA-LARRE, V., LAROCHE, M., GUENDON, J.-L. et AMBERT, P., 2006, « Les Neuf-Bouches (district minier de Cabrières-Péret), la plus ancienne exploitation minière de cuivre de France : travaux récents, conséquences ». In : *Bulletin de la Société préhistorique française*, pp. 143-159.

BOURGARIT, D., ROSTAN, P., CAROZZA, L., MILLE, B. et ARTIOLI, G., 2010, « Vingt ans de recherches à Saint-Véran, Hautes-Alpes : état des connaissances de l'activité de production de cuivre à l'âge du Bronze ancien ». In : *Trabajos de prehistoria* 67, pp. 269-285.

BREITENLECHNER, E., HILBER, M., LUTZ, J., KATHREIN, Y., UNTERKIRCHER, A. et OEGGL, K., 2010, « The Environmental Impact of Ancient Mining Evidenced by a Multi-Proxy Analysis ». In : Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History. Conference of the SFB-Himat, 12-15 november 2009, Innsbruck*. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 69-74.

BRGM, 1963, *Division SO - Compte-rendu d'activité de janvier 1963*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

BRGM (Dir.), 1974, *Les ressources du sous-sol métropolitain. Bilan de 20 années de recherches minières (1954-1974) et perspectives d'avenir*.

BRGM, 1977, *Note de la division SO à RDM/FE nº 65 du 16 novembre 1977*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

BRGM (Dir.), 1979, *Les gisements d'Or (situation 1978)*. Ressources minières françaises.

BRGM et AMMI (Dir.), 1990, *Copper Dossier*.

BRUN, P., 2007, « Une période de transition majeure en Europe: de la fin du IVe au début du IIe s. av. J.-C. (La Tène B2 et C) ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 377-384.

BUCHSENSCHUTZ, O., GRUEL, K. et LEJARS, T., 2012, « L'âge d'or de l'aristocratie celtique, IV^{e} et III^{e} siècles av. J.-C. ». In : *Annales. Histoire, sciences sociales* 2012/2, pp. 295-324.

CALLEGARIN, L., 2007, « L'ensemble monétaire "aquitain sud-occidental" au second âge du Fer: une première approche ». In : Vaginay, M. et Izac-Imbert, L. (Eds.), *Les âges du Fer dans le Sud-Ouest de la France. XVIIIe colloque de l'AFEAF. Toulouse, 20-23 mai 2004*. Aquitania Suppl. 14/1, Bordeaux, pp. 209-226.

CALLEGARIN, L. et GARCÍA BELLIDO, Mª. P., 2012, « Métal, objets d'échanges et systèmes pondéraux en Péninsule Ibérique et dans le Sud-Ouest de la Gaule durant l'Antiquité ». In : Pion, P. et Formoso, B. (Eds.), *Monnaie antique, monnaie moderne, monnaies d'ailleurs... Métissages et hybridations*. Colloques de la Maison René-Ginouvès 8, De Boccard, Paris, pp. 117-139.

CALLEGARIN, L., GENEVIÈVE, V. et HIRIART, E., 2013, « Production et circulation monétaire dans le sud-ouest de la Gaule à l'âge du Fer (III^{e}-I^{er} s. a.C.) ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Aquitania Suppl. 30, Bordeaux, pp. 185-218.

CALLENDER, M. H., 1965, *Roman amphorae with index of stamps*. Londres.

CAMBON, C., 1989, « Mines et sites métallurgiques antiques des Corbières (Aude) ». In : Domergue, C. (Ed.), *Mines et métallurgies antiques et médiévales de la France méridionale*. pp. 31-36.

CAMIZULI, E., MONNA, F., ALIBERT, P., BEIS, P., BERMOND, A., BOHARD, B., DELIVET, G., GOURAULT, C., GUILLAUMET, J.-P., HAMM, G., LABANOWSKI, J., LACHICHE, C., LOSNO, R., PEREIRA, A., PETIT, C., REVELLI, P., SCHEIFLER, R. et VAN OORT, F., 2014, « Impact des anciens sites miniers et métallurgiques sur les écosystèmes actuels. Synthèse des principaux résultats ». In : *Collection EDYTEM* 17, pp. 85-98.

CANÉROT, J., 2008, *Les Pyrénées. Histoire géologique*. BRGM Editions, Biarritz.

CANTELAUBE, J., 2009, « Le charbon de bois et la forge à la catalane (Pyrénées, XVII^{e} - XIX^{e} siècles) ». In : Menozzi, M.-J., Flipo, F. et Pécaud, D. (Eds.), *Énergie et société. Sciences, gouvernances et usages*. Aix, pp. 35-45.

CARCAILLET, C. et THINON, M., 1996, « Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne valley (North French Alps): methodology and preliminary data ». In : *Review of Paleobotany and Palynology* 91, pp. 399-416.

CAROZZA, L., 1987, *Rapport de fouille de sauvetage programmé sur le site de la Tour d'Opio (Saint-Jean-de-Verges, Ariège)*. SRA Midi-Pyrénées - Non publié.

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

CAUUET, B., 1999, « L'exploitation de l'or en Gaule à l'Age du Fer ». In : Cauuet, B. (Ed.), *L'or dans l'Antiquité de la mine à l'objet. Actes du Colloque International de Limoges 1994*. Supplément Aquitania 9, Bordeaux, pp. 31-86.

CAUUET, B., 2000, « Techniques de boisage dans les mines d'or gauloises du sud-ouest du Massif Central ». In : *Gallia* 57, pp. 129-146.

CAUUET, B., 2001a, « L'exploitation des gisements aurifères de la Gaule dans l'Antiquité ». In : Cauuet, B., Domergue, C., Gomez, J., Hauteneauve, H., Moret, P. et Ugaglia, E. (Eds.), *L'or de Tolosa*. Graulhet, pp. 29-64.

CAUUET, B., 2001b, « Mines d'or des Pyrénées dans l'Antiquité. Etat des connaissances en haute Ariège ». In : Sablayrolles, R. (Ed.), *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité, Entretiens d'archéologie et d'histoire*. St-Bertrand-de-Comminges, pp. 155-177.

CAUUET, B., 2004a, « Apport de l'archéologie minière à l'étude de la mise en concessions des mines romaines aux II^{e} et III^{e} siècles. L'exemple de *Vipasca* (Aljustrel, Portugal) et d'*Alburnus Maior* (Rosia Montana, Roumanie) ». In : Gorges, J.-G., Cerrillo, E. et Nogales Basarrate, T. (Eds.), *V Mesa redonda internacional sobre Lusitania romana: las comunicaciones. Cáceres, Facultad de Filosofía y Letras, noviembre de 2002*. Madrid, pp. 33-59.

CAUUET, B., 2004b, *L'or des Celtes du Limousin*. Culture et patrimoine en Limousin, Limoges.

CAUUET, B., 2005, « Les mines d'or antiques d'Europe hors péninsule Ibérique. État des connaissances et travaux récents ». In : *Pallas* 67, pp. 241-292.

CAUUET, B., 2008, « Equipements en bois dans les mines d'or protohistoriques et antiques (Gaule et Dacie romaine) ». In : Bailly-Maître, M.-C., Jourdain-Annequin, C. et Clermont-Joly, M. (Eds.), *Archéologie et paysages des mines anciennes. De la fouille au musée*, Colloque International Alpe d'Huez, 2-4 sept. 2006, pp. 57-73.

CAUUET, B., 2011, « L'espace minier romain. Le cas des mines d'or et d'argent d'*Alburnus Maior* en Dacie Romaine (Rosia Montana, Roumanie) ». In : SEDGPYM (Ed.), *Actas del V Congreso Internacional sobre minería y metalurgia históricas en el Suroeste Europeo (León 2008). Libro en homenaje a Claude Domergue*. La Pobla de Segur, pp. 342-382.

CAUUET, B., 2013, « Les ressources métallifères du Massif Central à l'âge du Fer ». In : Verger, S. et Pernet, L. (Eds.), *Une Odyssée gauloise. Parures de femmes à l'origine des permiers échanges entre la Grèce et la Gaule*. Collection Archéologie de Montpellier Agglomération AMA 4, Arles, pp. 86-95.

CAUUET, B., 2014, « Gold and silver extraction in Alburnus Maior mines, Roman Dacia (Rosia Montana, Romania). Dynamics of exploitation and management of the mining space ». In : Fontes, L. et Martins, C. (Eds.), *Atas do Simposio Internacional Paisagens Mineiras Antigas na Europa Ocidental*. Boticas, pp. 85-108.

CAUUET, B., ANCEL, B., RICO, C. et TĂMAŞ, C. G., 2003, « Ancient mining networks. The French archaeological missions 1999-2001 ». In : Damian, P. (Ed.), *Alburnus Maior I*. Bucarest, pp. 465-526.

CAUUET, B., DOMERGUE, C. et DUBOIS, C., 2002, « Mine d'Aljustrel : fouilles archéologiques dans les anciens réseaux miniers des Algares (Portugal) ». In : Verde, Câma Municipal de Castro (Ed.), *Mineração no Baixo Alentejo*. 2, Castro Verde, pp. 38-87.

CAUUET, B., DOMERGUE, C. et URTEAGA, M., 2005, « Mines et métallurgies en Aquitaine et en Hispanie septentrionale sous les Julio-Claudiens ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 423-460.

CAUUET, B. et TĂMAŞ, C. G., 2012, « Les travaux miniers antiques de Rosia Montana (Roumanie). Apports croisés entre archéologie et géologie ». In : Orejas, A. et Rico, C. (Eds.), *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue*. Collection de la Casa de Velázquez 128, Madrid, pp. 219-241.

CAUUET, B. et TĂMAŞ, C. G., 2017, « Une source de l'or pyrénéen et son exploitation dans l'Antiquité ». In : *Treballs d'Arqueologia* 21, pp. 205-222.

CAUUET, B., TĂMAŞ, C. G., BOUSSICAULT, M. et MUNOZ, M., 2018, « Quantités et contrôle de l'or produit à l'âge du fer en Gaule du Centre-Ouest ». In : Rico, C. et Orejas, A. (Eds.), *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad - Edad Media)*. Mélanges de la Casa de Velázquez. Nouvelle Série 48 (1), Madrid, pp. 13-42.

CAUUET, B., TĂMAŞ, C. G., GUILLAUMET, J.-P., PETIT, C. et MONNA, F., 2006, « Les exploitations minières en pays Eduen ». In : *Les Dossiers d'archéologie* 316, pp. 20-25.

CHARLES, J. A., 1975, « Where is the Tin? ». In : *Antiquity* 49, pp. 19-24.

CHAVES TRISTÁN, F. et OTERO MORÁN, P., 2002, « Los hallazgos monetales ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 163-230.

DE CHAZELLES, C.-A. et UGOLINI, D., 2015, *Montlaurès (Narbonne, Aude) à la fin du premier âge du Fer*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 36, Lattes.

CHERNYKH, E., 1978, « Ai Bunar, a Balkan copper mine of the fourth millenium BC ». In : *Proceedings of the Prehistoric Society* 44, pp. 203-217.

CHERNYKH, E., 1998, « Kargaly: le plus grand ancien complexe minier et de métallurgie à la frontière de l'Europe et de l'Asie ». In : Frère-Sautot, M.-C. (Ed.), *Paléométallurgie des cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune 17-18 oct. 1997*. Monographies Instrumentum 5, Editions Monique Mergoil, Montagnac, pp. 71-76.

CHIRON, J.-C., 1996, « Cadre géologique ». In : Barnolas, A. et Chiron, J.-C. (Eds.), *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées. Vol. 1. Introduction. Géophysique. Cycle hercynien*. BRGM - ITGE, pp. 29-34.

CHRISTOL, M., 1994, « Pline l'ancien et la *formula* de la province de Narbonnaise ». In : Demougin, S. (Ed.), *La mémoire perdue : à la recherche des archives oubliées, publiques et privées, de la Rome antique*. Paris, pp. 45-63.

CHRISTOL, M., 2009, « Géographie administrative et géographie humaine entre Rhône et Pyrénées ». In : *Espaces et sociétés à l'époque romaine: entre Garonne et Ebre. Actes de la table ronde de Pau 26-27 janvier 2007. Hommage à Georges Fabre*. Archéologie des Pyrénées occidentales et des Landes Hors Série nº 4, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau, pp. 27-37.

CHRISTOL, M., 2010, *Une histoire provinciale. La Gaule narbonnaise de la fin du II^e^ siècle av. J.-C. au III^e^ siècle ap. J.-C.*, Paris.

CHRISTOL, M. et NONY, D., 2011, *Rome et son empire*. Paris.

CLOUET, A., 1964, *Rapport de documentation. Concession de Montcoustand (Ariège)*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

COLIN, A. et VERDIN, F., 2013, « Habitat et territoire du nord au sud de la Gaule: regards croisés ». In : Krausz, S., Colin, A., Gruel, K., Ralston, I. et Dechezletrêtre, T. (Eds.), *L'Âge du Fer en Europe. Mélanges offerts à Olivier Buchsenschutz*. Bordeaux, pp. 235-246.

COLPANI, F., ANGELINI, I., ARTIOLI, G. et TECCHIATI, U., 2009, « Copper smelting activities at the Millan and Gudon chalcolithic sites (Bolzano, Italy): chemical and mineralogical investigations of the archaeometallurgical finds ». In : Moreau, J.-F., Auger, R., Chabot, J. et Herzog, A. (Eds.), *Actes du 36th International Symposium of Archaeometry / Actes du 36e Symposium International d'Archéométrie, May 2nd-6th, 2006*. Université Laval, CELAT, Quebec City, Canada, pp. 367-374.

COMENDADOR REY, B., 1998, « Los inicios de la metalurgia en el Noroeste de la Península Ibérica ». In : *Brigantium* 11.

COMENDADOR REY, B., MEUNIER, E., FIGUEIREDO, E., LACKINGER, A., FONTE, J., FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, C., LIMA, A., MIRÃO, J. et SILVA, R. J. C., 2017, « Northwestern Iberian Tin Mining from Bronze Age to Modern Times: an overview ». In : Newman, P. (Ed.), *The Tinworking Landscape of Dartmoor in a European Context*. Sowton, pp. 133-153.

CONTRERAS CORTÉS, F., MORENO ONORATO, A. et CÁMARA SERRANO, J. A., 2010, « Los inicios de la minería. La explotación del mineral de cobre ». In : Contreras Cortés, F. et Dueñas Molina, J. (Eds.), *La minería y la metalurgia en el alto Guadalquivir: desde sus orígenes hasta nuestros días*. pp. 43-121.

COUSTURES, M.-P., BÉZIAT, D. et DOMERGUE, C., 2016, « Autres types de déchets : les fragments de meules de type pompéien ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologie de Narbonnaise suppl. 43, Montpellier, pp. 333-337.

CRADDOCK, P., COWELL, M. R. et GUERRA, M. F., 2005, « Controlling the composition of gold and the invention of gold refining in Lydian Anatolia ». In : *Der Anschnit* 18, pp. 67-77.

CUNILL, R., MÉTAILIÉ, J.-P., GALOP, D., POUBLANC, S. et DE MUNNIK, N., 2015, « Palaeoecological study of Pyrenean lowland fir forests: Exploring mid-late Holocene history of *Abies alba* in Montbrun (Ariège, France) ». In : *Quaternary International* 366, pp. 37-50.

DABOSI, F., 2004, « Encadré 7: la forge à la catalane ». In : Mangin, M. (Ed.), *Le fer*. Collection "Archéologiques", Paris, pp. 75-77.

DAUBRÉE, A., 1868, « Aperçu historique sur l'exploitation des métaux dans la Gaule ». In : *Revue Archéologique* 17, pp. 299-313.

DAUBRÉE, A., 1881, « Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule. Notice supplémentaire ». In : *Revue Archéologique* 41, pp. 261-284.

DAVASSE, B., 2000, *Forêts, charbonniers et paysans dans les Pyrénées de l'Est, du Moyen Age à nos jours. Une approche géographique de l'histoire de l'environnement*. Géode, Toulouse.

DAVASSE, B., GALOP, D. et RENDU, C., 1997, « Paysages du Néolithique à nos jours dans les Pyrénées de l'Est d'après l'écologie historique et l'archéologie pastorale ». In : Burnouf, J., Bravard, J.-P. et Chouquer, G. (Eds.), *XVIIe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes. Acte des rencontres 19-21 octobre 1996*. Éditions APDCA, Sophia Antipolis, pp. 577-599.

DAVEAU, I. et PY, M., 2015, « Grecs et Étrusques à Lattes: nouvelles données à partir des fouilles de la Cougourlude ». In : Roure, R. (Ed.), *Contacts et acculturations en Méditerranée*

occidentale. Hommages à Michel Bats. Actes du coloque de Hyères, 15-18 septembre 2001. Etudes Massaliètes 12, Centre Camille Jullian, Aix-en-Provence, pp. 31-42.

DAVIES, O., 1935, *Roman Mines in Europe*. Oxford.

DE BLAS CORTINA, M. A., RODRÍGUEZ DEL CUETO, F. et SUÁREZ FERNÁNDEZ, M., 2013, « De las labores subterráneas a las actividades metalúrgicas en el exterior: Investigaciones 2007-2012 en las minas de cobre prehistóricas de la Sierra del Aramo ("La Campa les mines"), consejo de Riosa ». In : *Excavaciones arqueológicas en Asturias 2007-2012*. pp. 169-187.

DE LAUNAY, L., 1889, « Mémoire sur l'industrie du cuivre dans la región d'Huelva (Rio-Tinto, S. Domingos, etc.) ». In : *Annales des Mines* VIII-16, pp. 427-516.

DE VLEESCHOUWER, F., LE ROUX, G. et SHOTYK, W., 2010, « Peat as an archive of atmospheric pollution and environmental change : A case study of lead in Europe ». In : *PAGES Magazine* 18, pp. 20-22.

DECOMBEIX, P.-M., DOMERGUE, C., FABRE, J.-M., GORGUES, A., RICO, C., TOLLON, F. et TOURNIER, B., 2000, « Réflexions sur l'organisation de la production du fer à l'époque romaine dans le bassin supérieur de la Dure, au voisinage des Martys ». In : *Gallia* 57, pp. 23-36.

DEDET, B., 2003, « Entre monde méditerranéen et Gaule intérieure: les Cévennes à l'âge du Fer ». In : *Peuples et territoires en Gaule méditerranéenne. Hommage à Guy Barruol*. Revue Archéologique de Narbonnaise suppl. 35, pp. 191-207.

DERCOURT, J., 2002, *Géologie et géodynamique de la France Outre-mer et européenne*. Dunod, Paris.

DIETRICH, DE, 1786, *Description des gîtes de minerai, des forges et des salines des Pyrénées, suivie d'observations sur le fer mazé et sur les mines des Sards en Poitou.*

DIEULAFAIT, C., 2014, « Saint-Lizier et Saint-Girons (Ariège). Notes sur une décennie de découvertes (1990-2000) ». In : Boube, E., Bouet, A. et Colleoni, F. (Eds.), *De Rome à Lugdunum des Convènes. Itinéraire d'un Pyrénéen par monts et par vaux. Hommages à Robert Sablayrolles*. Ausonius Mémoires 35 / Aquitania Suppl. 31, Bordeaux, pp. 181-196.

DISSER, A., DILLMANN, P., LEROY, M., L'HÉRITIER, M., BAUVAIS, S. et FLUZIN, P., 2017, « Iron supply for the building of Metz cathedral: new methodological development for provenance studies and historical considerations ». In : *Archaeometry* 59-3, pp. 493-510.

DOMERGUE, C., 1983, *La mine antique d'Aljustrel (Portugal) et les tables de Bronze de Vipasca*. Ed. de Boccard, Paris.

DOMERGUE, C., 1986, « Dix-huit ans de recherche (1968-1986) sur les mines d'or romaines du nord-ouest de la Peninsule Iberique ». In : *Actas I Congreso Internacional Astorga Romana, Astorga*. Astorga, pp. 7-101.

DOMERGUE, C., 1987, *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*. Publications de la Casa de Velázquez. Série Archéologie VIII, Madrid.

DOMERGUE, C. (Dir.), 1989, *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. Coloquio internacional asociado, Madrid, 24-28 octobre 1985, Ministerio de Cultura, Madrid.

DOMERGUE, C., 1990, *Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*. Rome, Coll. de l'École Française de, Rome.

DOMERGUE, C., 1991, « Les amphores dans les mines antiques du Sud de la Gaule et de la Péninsule ibérique ». In : *Festschrift für Wilhelm Schüle zum 60, Gerburtsag (Internationale Archäologie)* 1, pp. 99-125.

DOMERGUE, C. (Dir.), 1993, *Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 27.

DOMERGUE, C., 2002, « Les objets en métal ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 333-369.

DOMERGUE, C., 2008, *Les mines antiques*. Collection Antiqua, Paris.

DOMERGUE, C., 2010, « *Aquitani stantes noctibus diebusque*... Pline le Naturaliste (*Hist. Nat*., 33, 97) et l'épuisement de l'eau dans les mines d'Hispanie ». In : *Pallas* 82, pp. 417-426.

DOMERGUE, C., 2016, « L'originalité des structures techniques du centre sidérurgique romain des Martys ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 43, Montpellier, pp. 247-252.

DOMERGUE, C. et HÉRAIL, G., 1999, « Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne) ». In : Cauuet, B. (Ed.), *L'or dans l'Antiquité de la mine à l'objet. Actes du Colloque International de Limoges 1994*. Supplément Aquitania 9, Bordeaux, pp. 93-116.

DOMERGUE, C. et J.-L., BORDES, 2004, « La roue élévatoire de la mine romaine de Tharsis (Huelva, Espagne). Étude archéologique et technique de ce type de roue ». In : Minonzio, F. (Ed.), *Problemi di macchinismo in ambiento romano, macchine idrauliche nella letteratura tecnica, nelle fonti striografichee nelle evidenze archeo-logiche di età imperiale*. Archeologia dell'Italia Settentrionale 8, Como, pp. 87-105.

DOMERGUE, C. et LEROY, M., 2000, « L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen Âge ». In : *Gallia* 57, pp. 3-10.

DOMERGUE, C. et LIOU, B., 1997, « L'apparition de normes dans le commerce maritime romain : le cas des métaux et des denrées transportées en amphores ». In : *Pallas* 46. Mélanges Claude Domergue I, pp. 11-30.

DOMERGUE, C., MORET, P. et VIDAL, M., 2002, « Toulouse à la fin de l'âge du Fer ». In : Pailler, J.-M. (Ed.), *Tolosa. Nouvelles recherches sur Toulouse et son territoire dans l'Antiquité*. Rome, Ecole Française de, Collection de l'Ecole Française de Rome, Toulouse, pp. 77-99.

DOMERGUE, C. et RICO, C., 2014, « Les itinéraires du commerce du cuivre et du plomb hispaniques à l'époque romaine dans le monde méditerranéen ». In : *Bulletin de la Société des Sciences historiques et naturelles de la Corse* 746-747, pp. 135-168.

DOMERGUE, C., SERNEELS, V., CAUUET, B., PAILLER, J. M. et ORZECHOWSKI, S., 2006, « Mines et métallurgies en Gaule à la fin de l'âge du Fer et à l'époque romaine ». In : Paunier, D. (Ed.), *Celtes et Gaulois : l'Archéologie face à l'Histoire. La romanisation et la question de l'héritage celtique*. pp. 131-162.

DOMERGUE, C. et SILLIÈRES, P., 2002, « Un village minier de la Sierra Morena vers 100 a.C. ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 383-398.

DOMERGUE, C. et TOLLON, F., 2002, « La mine, les minerais, les métaux (cuivre, argent, plomb) ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 53-77.

DREIBRODT, S., NELLE, O., LÜTJENS, I., MITUSOV, A., CLAUSEN, I. et BORK, H.-R., 2009, « Investigations on buried soils and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhöved (northern Germany): an approach to test the hypothesis of 'landscape openness' by the incidence of colluviation ». In : *The Holocene* 19-3, pp. 487-497.

DTRG (Dir.), 2017, *A Celebration of the Tinworking Landscape of Dartmoor in its European Context: Prehistory to 20th Century*.

DUBOIS, C., 1990, *La forêt charbonnée. Histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariégeoises au cours des deux derniers millénaires*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

DUBOIS, C., 1992, « De la forêt au métal, premières données diachroniques en Ariège ». In : Métailié, J.-P. (Ed.), *Proto-industries et histoire des forêts*. pp. 287-299.

DUBOIS, C., 1993, « Mines, Métallurgie et Forêts Antiques des Pyrénées Ariégeoises ». In : *Bulletin de la société de géographie de Toulouse* 274, pp. 37-51.

DUBOIS, C., 1996, « L'ouverture par le feu dans les mines: Histoire, archéologie, et expérimentations ». In : *Revue d'archéométrie* 20, pp. 33-46.

DUBOIS, C., 1997, « Le site sidérurgique antique de Lercoul (Ariège) ». In : *Pallas* 46, pp. 265-268.

DUBOIS, C., 1998, *Paléo-sidérurgie, mine et charbonnières anciennes. Forêt royale de Lercoul (Ariège). DFS 1995-1998*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

DUBOIS, C., 1999a, « Lercoul, Forêt Royale ». In : *Bilan Scientifique Régional Midi-Pyrénées* 1997, p. 38.

DUBOIS, C., 1999b, « Les mines de plomb argentifère et zinc d'Aulus-les-Bains (Ariège) ». In : *Archéologie du Midi Médiéval* 17, pp. 187-211.

DUBOIS, C., 1999c, *Relevé laser, expérimentations filmées de charbonnage en meule et de réduction directe en bas fourneau. Forêt-Royale de Lercoul (Ariège)*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

DUBOIS, C., 2000, « Lercoul (Pyrénées ariégeoises). Un site sidérurgique du IIIe s. de notre ère ». In : *Gallia* 57, pp. 53-62.

DUBOIS, C. et GUILBAUT, J. E., 1982, « Antiques mines de cuivre du Séronais (Pyrénées Ariégeoises) ». In : CNRS (Ed.), *Mines et fonderies antiques de la Gaule*. pp. 95-123.

DUBOIS, C. et GUILBAUT, J. E., 1986, « Les exploitations minières antiques de Rivérenert et des Abères, commune de Rivérenert (Ariège) ». In : Braemer, F. (Ed.), *Les ressources minérales et l'histoire de leur exploitation. Colloques du C.T.H.S.*, pp. 91-116.

DUBOIS, C. et GUILBAUT, J. E., 1988, « Relation entre les gîtes métalliques et les techniques d'exploitation minières antiques en Ariège ». In : CTHS (Ed.), *Les techniques minières de l'Antiquité au XVIII^e siècle. Actes du colloque interntional sur les ressources minières et l'histoire de leur exploitation de l'Antiquité à la fin du XVIII^e siècle.* . Paris, pp. 79-96.

DUBOIS, C. et GUILBAUT, J. E., 1989, « Un exemple d'exploitation minière antique dans les Pyrénées ariégeoises: la mine du Rougé à Esplas-de-Sérou ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 22, pp. 363-370.

DUBOIS, C., GUILBAUT, J. E. et TOLLON, F., 1997, « Les anciennes métallurgies du front montagnard ariégeois (Fer et non ferreux, Ier siècle avant notre ère à XIIIe siècle) ». In : *Archéologie en Languedoc* 21, pp. 203-215.

DUBOIS, C. et MÉTAILIÉ, J.-P., 1991, *Mines, métallurgie et forêts dans les Pyrénées Ariégeoises de l'Antiquité au Moyen-Age*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

DUBOIS, C. et MÉTAILIÉ, J.-P., 1992, *Mines, métallurgie et forêts dans les Pyrénées Ariégeoises de l'Antiquité au Moyen-Age : Rapport scientifique 1992. Synthèse 1991-1992.* SRA Midi-Pyrénées - non publié.

DUBOIS, C. et MÉTAILIÉ, J.-P., 2001, « Anthropisation et dynamique forestière dans les Pyrénées ariégeoises à l'époque gallo-romaine. L'exemple de la forêt de Lercoul ». In : Sablayrolles, R. (Ed.), *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité, Entretiens d'archéologie et d'histoire*. St-Bertrand-de-Comminges, pp. 7-19.

EBEL, C., 1976, *Transalpine Gaul: the emergence of a Toman province*. Leiden.

EJARQUE, A., JULIÀ, R., RIERA, S., PALET, J. M., ORENGO, H. A., MIRAS, Y. et GASCÓN, C., 2009, « Tracing the history of highland human management in the eastern Pre-Pyrenees: an interdisciplinary palaeoenvironmental study at the Pradell fen, Spain ». In : *The Holocene* 19-8, pp. 1241-1255.

ESCUDÉ-QUILLET, J.-M. et MAISSANT, C., 1996, *L'Ariège*. CAG 09, Paris.

FABRE, G. et PAILLET, J.-L., 2009, *Saint-Bertrand-de-Comminges - IV - Le macellum*. Pessac.

FABRE, J.-M., 2016a, « Batterie, atelier et centre sidérurgique : les différentes formes de regroupement au domaine des Forges ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise suppl. 43, Montpellier, pp. 181-184.

FABRE, J.-M., 2016b, « Réalisation de la plate-forme et choix des protocoles des essais ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 43, Montpellier, pp. 421-432.

FABRE, J.-M., 2016c, *Sidérurgie ancienne au Sahel. Archéologie d'un district métallurgique de la fin de l'âge du Fer (Markoye, Province de l'Oudalan, Burkina Faso)*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse - Jean Jaurès, sous la direction de Barbaza, M.

FABRE, J.-M., BEYRIE, A., KAMMENTHALER, E., MANTENANT, J., MUNTEANU, G. et RICO, C., 2012a, « La mine des Barrencs (Lastours, Fournes) ». In : *Patrimoine Cabardès* 7, pp. 23-28.

FABRE, J.-M. et COUSTURES, M.-P., 2005, « La recherche sur la sidérurgie en France. Chronique bibliographique 1985-2004 ». In : *Pallas* 67, pp. 293-326.

FABRE, J.-M., DOMERGUE, C. et DABOSI, F. (Dir.), 2016, *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2: les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 43, Montpellier.

FABRE, J.-M., MEUNIER, E., SOUHASSOU, M., RICO, C. et ANTOLINOS MARÍN, J. A., 2018, « La mina romana de plomo argentífero de la Rambla del Abenque (Sierra Minera de Cartagena): morfología de los trabajos de extracción, tipos de mineralización y cronología de la explotación ». In : García Pulido, L., Arboledas Martínez, L., Alarcón García, E. et Contreras Cortés, F. (Eds.), *Presente y futuro de los paisajes mineros del pasado: estudios sobre minería, metalurgia y poblamiento*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 131-139.

FABRE, J.-M., POLO CUTANDO, C., RICO, C., VILLAGORDO ROS, C. et COUSTURES, M.-P., 2012b, « Minería y siderurgia antigua en la Sierra Menera (Teruel-Guadalajara). Nuevos avances de la explotación del hierro en época antigua (siglos II A.C. - II D. C.) ». In : Orejas, A. et Rico, C. (Eds.), *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue*. Collection de la Casa de Velázquez 128, Madrid, pp. 43-62.

FABRE, J.-M. et SABLAYROLLES, R., 2002, « Carrières de marbre des Pyrénées centrales. Le point sur la recherche ». In : *Gallia* 59, pp. 61-81.

FABRE, J.-M., SABLAYROLLES, R. et TOLLON, F., 2001, « L'exploitation antique du fer dans le haut bassin de l'Arros (Hautes-Pyrénées). Données techniques ». In : Sablayrolles, R. (Ed.), *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité*. Entretiens d'archéologie et d'histoire 6, Saint-Bertrand-de-Comminges, pp. 119-139.

FAGES, G., 2000, « L'habitat en Lozère au Bronze Final et aux Âges du Fer ». In : Dedet, B., Gruat, P., Marchand, G., Py, M. et Schwaller, M. (Eds.), *Aspects de l'Âge du Fer dans le Sud du Massif Central. Actes du XXIe Colloque International de l'AFEAF Conques-Montrozier 8-11 mai 1997*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 6, Montagnac, pp. 51-59.

FERDIÈRE, A., 2008, « Les techniques artisanales en Gaule romaine: innovations et transfert de savoirs ». In : Molin, M. (Ed.), *Archéologie et histoire des techniques du monde romain. Actes du colloque de la Société Française d'Archéologie Classique. Paris 2006*, pp. 19-31.

FERNÁNDEZ-MIRANDA, M., MONTERO RUIZ, I. et ROVIRA LLORENS, S., 1995, « Los primeros objetos de bronce en el Occidente de Europa ». In : *Trabajos de prehistoria* 52-1, pp. 57-69.

FEUGÈRE, M. et PY, M., 2011, *Dictionnaire des monnaies découvertes en Gaule Méditerranéenne (530-27 av. notre ère)*. Montagnac - Paris.

FICHTL, S., 2006, « L'émergence des *civitates* en Gaule et dans le monde celtique ». In : Haselgrove, C. (Ed.), *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. Les mutations de la fin de l'âge du Fer*. Bibracte 12/4, pp. 41-54.

FICHTL, S., 2007, « Le IIIe s. av. n. è.: genèse des entités politiques en Gaule? ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 282-289.

FICHTL, S., 2012, *Les peuples gaulois. III^{e}-I^{er} siècle av. J.-C*. Paris.

FICHTL, S. et GUICHARD, V., 2016, « Dossier : Boom économique chez les Gaulois aux III^{e}-II^{e} siècles avant notre ère ». In : *L'archéologue* 139, pp. 1-59.

FLORSCH, N., LLUBES, M., TÉREYGEOL, F., GHORBANI, A. et ROBLET, P., 2011, « Quantification of slag heap volumes and masses through the use of induced polarization: application to the Castel-Minier site ». In : *Journal of Archaeological Science* 38, pp. 438-451.

FOURNIER-ANGOT, B., 1983, *Les minéralisations de la couverture mésozoïque des Pyrénées françaises. Exemple: Bordure nord du Massif de l'Arize (Ariège)*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, sous la direction de Glaçon, J.

FRANCE, J., 2005, « La mise en place de l'impôt provincial sous le règne d'Auguste en Aquitaine et dans le nord de l'Hispanie: un bilan ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 65-94.

GAILLEDRAT, E., 2010, « Pech Maho, de l'Emporion au sanctuaire ». In : Delestre, X et Marchesi, H. (Eds.), *Archéologie des rivages méditerranéens : 50 ans de recherche, Actes du Colloque en l'honneur des 50 ans du Ministère de la Culture (Arles, 28-30 octobre 2009)*. Paris, pp. 349-355.

GAILLEDRAT, E. et BEYLIER, A., 2009, « La fortification de Pech Maho (Sigean, Aude) aux IVe-IIIe s. av. n. ère ». In : *Documents d'Archéologie Méridionale* 32, pp. 99-120.

GALLIEN, V. et LANGLOIS, J.-Y., 2001, « Les mines de fer du nord de la Sarthe, bilan des fouilles sur l'A28 ». In : *Archéopages* 5, pp. 12-19.

GALOP, D., 2005, « Les transformations de l'environnement pyrénéen dans l'Antiquité : l'état de la question à la lumière des données polliniques ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 317-327.

GALOP, D. et JALUT, G., 1994, « Differential human impact and vegetation history in two adjacent Pyrenean valleys in the Ariège basin, southern France, from 3000 B.P. to the present ». In : *Vegetation History and Archaeobotany* 3, pp. 225-244.

GALOP, D., MONNA, F., BEYRIE, A., CAROZZA, L., MOUGIN, V., PARENT, G. et MAREMBERT, A., 2002, « Métallurgie et histoire de l'environnement au cours des cinq derniers millénaires en Pays Basque nord (Vallée de Baïgorri, Pyrénées Atlantiques, France): résultats préliminaires d'une approche interdisciplinaire ». In : *Archeologia Postmedievale* 6, pp. 155-169.

GALOP, D., TUAL, M., MONNA, F., DOMINIK, J., BEYRIE, A. et MAREMBERT, A., 2001, « Cinq millénaires de métallurgie en montagne basque. Les apports d'une démarche intégrée alliant palynologie et géochimie isotopique du plomb ». In : *Sud-Ouest Européen* 11, pp. 3-15.

GARCÍA-ALIX, A., JIMENEZ-ESPEJO, F. J., LOZANO, J. A., JIMÉNEZ-MORENO, G., MARTINEZ-RUIZ, F., GARCÍA SANJUÁN, L., ARANDA JIMÉNEZ, G., GARCÍA ALFONSO, E., RUIZ-PUERTAS, G. et SCOTT ANDERSON, R., 2013, « Anthropogenic impact and lead pollution throughout the Holocene in Southern Iberia ». In : *Science of the Total Environment* 449, pp. 451-460.

GARCIA, D., 1993, *Entre Ibères et Ligures. Lodévois et moyenne vallée de l'Hérault protohistoriques*. Revue Archéologie de Narbonnaise suppl. 26, CNRS Éditions, Paris.

GARCIA, D., 2002, « Dynamiques territoriales en Gaule méridionale durant l'âge du Fer ». In : Garcia, D. et Verdin, F. (Eds.), *Territoires celtiques. Espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale*. Paris, pp. 88-103.

GARCIA, D., 2011, « Du littoral méditerranéen aux contreforts du Massif central, géohistoire de territoires gaulois ». In : Gruat, P., Pailler, J.-M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain. 150 a.C. - 100 p.C.*, Aquitania suppl. 25, Bordeaux, pp. 113-122.

GARCIA, D., GRUAT, P. et VERDIN, F., 2007, « Les habitats et leurs territoires dans le sud de la France aux IVe-IIIe s. av. J.-C. ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 227-236.

GARCÍA ROMERO, J., 2007, « La transformación del mineral ». In : *Sautuola* XIII, pp. 81-98.

GARCÍA ROMERO, J., 2010, « Los trabajadores en las minas romanas del Sur de Hispania ». In : Gutiérrez Soler, L. M. (Ed.), *Minería antigua en Sierra Morena*. Monografías de arqueología, Universidad de Jaén, Jaén, pp. 213-233.

GARDES, P., 2001, « Habitat, territoire et évolution sociale en Aquitaine durant le dernier millénaire av. J.-C. ». In : Berrocal-Rangel, L. et Gardes, P. (Eds.), *Entre Celtas e Íberos: las poblaciones protohistóricas de las Galias e Hispania*. Madrid, pp. 115-135.

GARDES, P., 2002, « Territoires et organisation politique de l'Aquitaine pré-augustéenne. Pour une confrontation des sources ». In : Garcia, D. et Verdin, F. (Eds.), *Territoires celtiques. Espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale*. Paris, pp. 48-65.

GARDES, P., 2009, « Les fortifications protohistoriques dans le sud-ouest de la France ». In : *Documents d'Archéologie Méridionale* 32, pp. 43-58.

GARDES, P., 2017, « Oppida du nord, oppida du sud. Essai de confrontation à partir de deux sites du sud-ouest : Roquelaure-La Sioutat et Vieille-Toulouse ». In : *Pallas* 105, pp. 191-209.

GARDES, P. et COLLÉONI, F., 2007, « Le second âge du Fer en Aquitaine orientale. Apports des recherches réalisées récemment dans le Gers et ses marges ». In : Vaginay, M. et Izac-Imbert, L. (Eds.), *Les âges du Fer dans le Sud-Ouest de la France. XVIIIe colloque de l'AFEAF. Toulouse, 20-23 mai 2004*. Aquitania Suppl. 14/1, Bordeaux, pp. 183-207.

GARDES, P. et GRIZEAUD, J.-J., 2013, « Le Toulousain et ses marges: recherches récentes sur les habitats (VI^{e}-III^{e} s. av. J.-C.) ». In : *Documents d'Archéologie Méridionale [en ligne]* 36.

GAYRAUD, M., 1981, *Narbonne antique des origines à la fin du IIIe siècle*. Revue archéologique de Narbonnaise Suppl. 8, Paris.

GÉNIN, M. et SCHAAD, D., 2007, « Conclusion générale ». In : Génin, M. (Ed.), *La Graufesenque (Millau, Aveyron). Volume II. Sigillées lisses et autres productions*. Pessac, pp. 351-354.

GIRARD, J., 2004, *Plomb et argent dans les Pyrénées centrales*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

GIRARD, J., 2005, *Plomb et argent dans les Pyrénées centrales*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

GIRARD, J., 2006, *Plomb et argent dans les Pyrénées centrales*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

GIRARD, J., 2007, *Plomb et argent en Pyrénées centrales*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

GIRARD, J., MUNOZ, M., CAUUET, B., POLVE, M., ARIES, S. et CALLEGARIN, L., 2010, « Mines d'argent du Montaigu (Hautes-Pyrénées, France). Une filière aquitaine de l'argent? Etude isotopique du plomb ». In : *ArchéoSciences* 34, pp. 235-242.

GIUMLIA-MAIR, A. et LO SCHIAVO, F., 2003, *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie*. BAR International Series, Oxford.

GOBET, M., 1779, *Les anciens minéralogistes du Royaume de France*. Paris.

GOL, D., 2016, « L'ancienne mine de Lina, Alzen, Ariège ». In : *Le règne minéral* 132, pp. 5-29.

GOMEZ DE SOTO, J., LEJARS, T., DUCONGÉ, S., ROBIN, K., SIREIX, C. et ZÉLIE, B., 2007, « Du milieu du Ve au IIIe s. av. n. è. en Centre-Ouest, Aquitaine septentrionale et ouest du Massif Central ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 69-89.

GOMEZ RAMOS, P., 1996, « Hornos de reducción de cobre y bronce en la Pre y Protohistoria de la Península Ibérica ». In : *Trabajos de prehistoria* 53, pp. 127-143.

GORGUES, A., 2007, « Les pratiques culinaires à Vieille-Toulouse (haute-Garonne) au I^{er} s. a.C. dans leur contexte régional ». In : Vaginay, M. et Izac-Imbert, L. (Eds.), *Les âges du Fer dans le Sud-Ouest de la France. XVIIIe colloque de l'AFEAF. Toulouse, 20-23 mai 2004*. Aquitania Suppl. 14/1, Bordeaux, pp. 411-433.

GORGUES, A., 2010, *Economie et société dans le nord-est du domaine ibérique (III^{e} - I^{er} s. av. J.-C.)*. Anejos de AESPA LII, Madrid.

GORGUES, A., 2014, « L'horizon pyrénéen de la *Tolosa* gauloise ». In : Boube, E., Bouet, A. et Colleoni, F. (Eds.), *De Rome à Lugdunum des Convènes. Intinéraire d'un Pyrénéen par mont et par vaux. Hommages offerts à Robert Sablayrolles*. Ausonius Mémoires 35 / Aquitania Suppl. 31, Bordeaux, pp. 305-320.

GORGUES, A., 2016, « Trade in a liminal zone. Commercial encounter and transformation in the Iron Age north-west Mediterranean ». In : Armit, I., Potrebica, H., Cresnar, M., Mason, P. et Büster, L. (Eds.), *Cultural Encounters in Later Prehistoric Europe*. Archeolingua, Budapest, pp. 167-210.

GORGUES, A. et CADIOU, F., 2008, « De l'analyse céramique à l'interprétation. Céramique italique et archéologie de la guerre ». In : Cadiou, F., Magallón Botaya, M. A. et Navarro Caballero, M. (Eds.), *La guerre et ses traces dans la péninsule Ibérique à l'époque de la conquête romaine: approches méthodologiques. Actes de la Table-Ronde internationale (Madrid, novembre 2007)*. Saldvie 8, Saragosse, pp. 117-137.

GOUDINEAU, C., 1998, *Regard sur la Gaule*. Paris.

GOURDIOLE, R. et LANDES, C., 1998, « La transalpine minière: des Monts d'Orb au bassin de Lodève ». In : Schneider, L. et Garcia, D. (Eds.), *Le Lodévois (Hérault)*. CAG 34/1, Paris, pp. 53-66.

GOURDIOLE, R. et LANDES, C., 2002, « 16. LASCOURS, Ceilhes-et-Rocozels (Hérault) ». In : Fiches, J.-L. (Ed.), *Les Agglomérations gallo-romaines en Languedoc-Roussillon, projet*

collectif de recherche (1993-1999). Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 13, Lattes, pp. 271-281.

GRIZEAUD, J.-J., BRUXELLES, L., DURAND, F. et LAGARRIGUE, A., 2010, « Une occupation du IVe s. av. J.‑C. décelée sur le site de Manivièle, commune du Vernet (Haute-Garonne) ». In : *Documents d'Archéologie Méridionale* 33, pp. 159-194.

GRUAT, P. et IZAC-IMBERT, L., 2002, « Le territoire des Rutènes: fonctionnement et dynamiques territoriales aux deux derniers siècles avant notre ère ». In : Garcia, D. et Verdin, F. (Eds.), *Territoires celtiques. Espaces ethniques et territoires des agglomérations protohistoriques d'Europe occidentale*. Paris, pp. 66-87.

GRUAT, P. et IZAC-IMBERT, L., 2011, « Les Rutènes de la fin de l'âge du Fer: études d'histoire et d'archéologie entre Celtique et Méditerranée ». In : Gruat, P., Pailler, J.-M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain. 150 a.C. - 100 p.C.*, Supplément Aquitania 25, Bordeaux, pp. 123-177.

GRUAT, P. et MARTY, G., 2000, « Habitat et peuplement en Rouergue durant l'Âge du Fer: premières tendances ». In : Dedet, B., Gruat, P., Marchand, G., Py, M. et Schwaller, M. (Eds.), *Aspects de l'Âge du Fer dans le Sud du Massif Central. Actes du XXIe Colloque International de l'AFEAF Conques-Montrozier 8-11 mai 1997*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne 6, Montagnac, pp. 27-50.

GRUEL, K. et HASELGROVE, C., 2006, « Les développement de l'usage monétaire à l'âge du Fer en Gaule et dans les régions voisines ». In : Haselgrove, C. (Ed.), *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. Les mutations de la fin de l'âge du Fer*. Bibracte 12/4, Glux en Glenne, pp. 117-138.

GUILAINE, J., CAROZZA, L., GARCIA, D., GASCÓ, J., JANIN, T. et MILLE, B., 2017, *Launac et le Launacien. Dépôts de bronzes protohistoriques du sud de la Gaule*. Presses Universitaires de la Méditerranée, Montpellier.

GUILBAUT, J. E., 1981, « La mine de cuivre gallo-romaine du Goutil, à la Bastide de Sérou ». In : *Gallia* 39 - 1, pp. 171-180.

GUILLOT, F., 2017, *Le Castrum de Montréal-de-Sos. 16 ans de recherches archéologiques sur une fortification des Pyrénées ariégeoises*. Archéologie du Midi Médiéval suppl. 8, Carcassonne.

GUTIÉRREZ SOLER, L. M., 2010, « Investigación arqueológica de las labores mineras romanas en El Centenillo, 1901-1969 ». In : Gutiérrez Soler, L. M. (Ed.), *Minería antigua en Sierra Morena*. Monografías de arqueología, Universidad de Jaén, Jaén, pp. 15-66.

HAJDAS, I., 2008, « Radiocarbon dating and its applications in Quaternary studies ». In : *Quaternary Science Journal* 57 (1-2), pp. 2-24.

HAPP, J., 1998, « La découverte de la métallurgie du cuivre à travers l'expérimentation ». In : Frère-Sautot, M.-C. (Ed.), *Paléométallurgie des cuivres. Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune 17-18 oct. 1997*. Monographies Instrumentum 5, Editions Monique Mergoil, Montagnac, pp. 17-25.

HARRIS, W. V., 2011, « Bois et déboisement dans la Méditerranée antique ». In : *Annales. Histoire, sciences sociales* 66e année - 1, pp. 105-140.

HASELGROVE, C. (Dir.), 2006, *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. Les mutations de la fin de l'âge du Fer*. Bibracte 12/4.

HAUPTMANN, A., MADDIN, R. et PRANGE, M., 2002, « On the Structure and Composition of Copper and Tin Ingots Excavated from the Shipwreck of Uluburun ». In : *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 328, pp. 1-30.

HAUSTEIN, M., GILLIS, C. et PERNICKA, E., 2010, « Tin isotopy: A new method for solving old questions ». In : *Archaeometry* 52, pp. 816-832.

HEALY, J. F., 1978, *Mining and metallurgy in the greek and roman world*. Thames and Hudson, Londres.

HELLOT, M., 1764, « De la fonte, des mines, des fonderies, etc. Tome Premier, Qui traite des Essais des Mines & Métaux, de l'Affinage & Raffinage de l'Argent, du Départ de l'Or, etc. Tome Premier. ». In : . Paris.

HÉRAIL, G. et PÉREZ GARCÍA, L. C., 1989, « Intérêt archéologiqe d'une étude géomorpho-lithologique: les gisements d'or alluvial du Nord-Ouest de l'Espagne ». In : Domergue, C. (Ed.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. T. II, Madrid, pp. 21-31.

HILL, J. D., 2006, « Are we any closer to understanding how later Iron Age societies worked (or did not work)? ». In : Haselgrove, C. (Ed.), *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. Les mutations de la fin de l'âge du Fer*. Bibracte 12/4, Glux en Glenne, pp. 169-179.

HIRIART, E., 2015, « Les sites majeurs de l'axe Aude-Garonne, une approche statistique, économique et monétaire ». In : Olmer, F. et Roure, R. (Eds.), *Les Gaulois au fil de l'eau. Actes du XXXVIIe colloque de l'AFEAF, Montpellier, 8-11 mai 2013*. Mémoires, Bordeaux, pp. 289-306.

HIRIART, E., 2016, « Le monnayage cubiste, une série monétaire singulière entre Méditerranée et Atlantique ». In : *Bulletin de la société française de numismatique* 71/05, pp. 150-158.

HOFFMANN, A., 2002, « Die römischen Wachstafeln von Rosia Montana. Einführung, Text und Übersetzung, Kommentar ». In : Slotta, R., Wollmann, V. et Dordea, I. (Eds.), *Silber und Salz in Siebenbürgen. Band 4: Einleitende Aufsätze, Reiseberichte sowie geologische und mineralogische Literatur*. Bochum, pp. 65-90.

HONG, S., CANDELONE, J. P., PATTERSON, C. C. et BOUTRON, C. F., 1994, « Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millenia Ago by Greek and Roman Civilizations ». In : *Science* 265, pp. 1841-1843.

HONG, S., CANDELONE, J. P., PATTERSON, C. C. et BOUTRON, C. F., 1996, « History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice ». In : *Science* 272, pp. 246-249.

DE HOZ, J., 2011, « Las funciones de la lengua ibérica con lengua vehicular ». In : Ruiz Darasse, C. et Luján, E. R. (Eds.), *Contacts linguistiques dans l'Occident Méditerranéen antique*. Collection de la Casa de Velázquez 126, Madrid, pp. 27-64.

HUTH, C., 2000, « Metal circulation, communication and traditions of craftmanship in Late Bronze Age and Early Iron Age Europe ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a*

conference held at the University of Birmingham in June 1997. Oxbow Books, Exeter, pp. 176-193.

HYGOUNET, J.-L. et RANCOULE, G., 1983, « Etat des questions sur la fin de l'âge du fer dans les vallées de l'Hers et de l'Ariège ». In : *Pyrénées Ariégeoises*. Société Ariégeoise des Sciences, Lettres et Arts, Saint-Girons, pp. 3-15.

IZARD, V., 1999, *Les montagnes du fer*. Doctorat en géographie, Université de Toulouse 2 Le Mirail, sous la direction de Bertrand, G. et Métailié, J.-P.

JALUT, G., DELIBRIAS, G., DAGNAC, J., MARDONES, M. et BOUHOURS, M., 1982, « A Palaeological approach to the last 21000 years in the Pyrenees: the peat bog of Freychinède (Alt. 1350 m, Ariège, South France) ». In : *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 40, pp. 321-359.

JALUT, G., GALOP, D., BELET, J.-M., AUBERT, S., ESTEBAN AMAT, A., BOUCHETTE, A., DEDOUBAT, J.-J. et FONTUGNE, M., 1998, « Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années ». In : *Journal de la Société de Botanique Française* 5, pp. 73-84.

JANIN, T. et PY, M., 2012, « Grecs et Celtes en Languedoc ». In : Hermary, A. et Tsetskhladze, G. R. (Eds.), *From the pillars of Hercules to the footsteps of the Argonauts*. Colloquia Antiqua 4, Paris, pp. 141-162.

JÉBRAK, M. et MARCOUX, E., 2008, *Géologie des ressources minérales*. Géologie Québec, Québec.

JÉZÉGOU, M.-P., KLEIN, S., RICO, C. et DOMERGUE, C., 2011, « Les lingots de cuivre de l'épave romaine *Plage de la Corniche* 6 à Sète et le commerce du cuivre hispanique en Méditerranée occidentale ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 44, pp. 57-70.

JOUFFROY-BAPICOT, I., PULIDO, M., BARON, S., GALOP, D., MONNA, F., LAVOIE, M., PLOQUIN, A., PETIT, C., BEAULIEU, J.-L. et RICHARD, H., 2007, « Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis ». In : *Vegetation History and Archaeobotany* 16-4, pp. 251-258.

JOVANOVIC, B., 1989, « Les premières mines de cuivre des Balkans et le rôle qu'elles ont joué dans le développement de la métallurgie en Europe du Sud-Est ». In : Domergue, C. (Ed.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. Madrid, pp. 13-19.

KAMMENTHALER, E., MINVIELLE LAROUSSE, N. et PIERRE, F., 2016, « Villefort, 1640: l'introduction de la poudre dans les mines languedociennes ». In : *Archéologie médiévale* 46, pp. 135-156.

KASSIANIDOU, V., 2011, « Blowing the Wind of Change: The Introduction of Bellows in Late Bronze Age Cyprus ». In : Betancourt, P. et Ferrence, S. (Eds.), *Metallurgy: Understanding how, Learning why. Studies in honour of James D. Mulhy*. INSTAP Academic Press, Philadelphie, pp. 41-47.

KASSIANIDOU, V., 2013a, « The Exploitation of the Landscape: Metal Resources and the Copper Trade during the Age of the Cypriot City-Kingdoms ». In : *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 370, pp. 49-82.

KASSIANIDOU, V., 2013b, « The production and trade of cypriot copper in the late Bronze Age. An anlysis of the evidence ». In : *Pasiphae* 7, pp. 133-146.

KASSIANIDOU, V., 2014, « Cypriot copper for the Iron Age world of the Eastern Mediterranean ». In : Webb, J. M. (Ed.), *Structure, measurement and meaning. Studies on Prehistoric Cyprus in Honour of David Frankel*. Studies in Mediterranean Archaeology CXLIII, Aströms Förlag, Uppsala, pp. 261-271.

KASSIANIDOU, V. et KNAPP, A. B., 2005, « Archaeometallurgy in the Mediterranean: The Social Context of Mining, Technology, and Trade ». In : Blake, E. et Knapp, A. B. (Eds.), *The Archaeology of Mediterranean Prehistory*. Blackwell studies in global archaeology, pp. 215-251.

KOTARBA, J., CASTELLVI, G. et MAZIÈRE, F., 2007, *Les Pyrénées-Orientales*. CAG 66, Paris.

KÜTTNER, A., MIGHALL, T., DE VLEESCHOUWER, F., MAUCQUOY, D., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., FOSTER, I. D. L. et KRUPP, E., 2014, « A 3300-years atmospheric metal contamination record from Reaburn flow raised bog, south west Scotland ». In : *Journal of Archaeological Science* 44, pp. 1-11.

KYLANDER, M. E., WEISS, D. J., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., SPIRO, B., GARCIA-SANCHEZ, R. et COLES, B. J., 2005, « Refining the pre-industrial atmospheric Pb isotope evolution curve in Europe using an 8000 year old peat core from NW Spain ». In : *Earth and Planetary Science Letters* 240-2, pp. 467-485.

L'HÉRITIER, M., 2012, « *De ratione, qua argentum ab aere separari debeat*. Approche expérimentale du procédé par liquation et ressuage ». In : Téreygeol, F. (Ed.), *Comprendre des savoir-faire métallurgiques antiques et médiévaux*. Paris, pp. 189-210.

LAMOINE, L., 2009, *Le pouvoir local en Gaule romaine*. Histoires croisées, Clermont-Ferrand.

LANDES, C., 1989, « Les ressources minières antiques des Cévennes: premiers résultats ». In : Domergue, C. (Ed.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. Madrid, pp. 223-234.

LARGE, D., 2003, « Base metal (Cu, Pb, Zn) metallogeny of Europe: an overview ». In : Kelly, J., Andrew, C., Ashton, J., Bland, M., Earls, G., Fusciardi, L. et Stanley, G (Eds.), *Europe's Major Base Metal Deposits*. Irish Association for Economic Geology, Dublin, pp. 1-29.

LAUBENHEIMER-LEENHARDT, 1973, *Recherches sur les lingots de cuivre et de plomb d'époque romaine dans les régions de languedoc-Roussillon et de Provence-Corse*. Revue archéologique de Narbonnaise 3, Paris.

LAÜT, L., PETIT-AUPERT, C. et VERGAIN, P., 2005, « Paysages et structures agraires en Aquitaine au début de l'Empire, quelques exemples régionaux ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 329-364.

LAVOIE, M., 2011, « 2000 ans de perturbations humaines dans la dynamique de la végétation au mont Lozère (France) ». In : *Le naturaliste canadien* 135-1, pp. 24-28.

LE DREFF, T., 2011, « Fours et ateliers de potiers au Second âge du Fer dans l'isthme gaulois ». In : *Aquitania* 27, pp. 19-59.

LÉCHELON, B., 1974, *La mine antique de Bouche Payrol. Essai d'archéologie minière*. Fayet.

LÉCHELON, B., 2001, « Mines et métallurgie préhistoriques ». In : Gruat, P. (Ed.), *Du silex au métal, mines et métallurgie en Rouergue*. Guide d'archéologie 9, Rodez, pp. 116-143.

LÉCHELON, B., 2011, « Argent rutène et entrepreneurs romains aux confins de la Transalpine ». In : Gruat, P., Pailler, J. M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain 150 a.C. - 100 p.C.*, Supplément Aquitania 25, Bordeaux, pp. 245-280.

LEJARS, T., 2006, « Les Celtes d'Italie ». In : Szabó, M. (Ed.), *Les Civilisés et les Barbares du V^e^ au II^e^ siècle avant J.-C., Actes de la table ronde de Budapest, 17-18 juin 2005*. Bibracte 12/3, Glux-en-Glenne, pp. 77-96.

LEMOS, F. S. et MARTINS, C. M. B., 2012, « Povoamento e rede viária no território de influência de *Aquae Flaviae* ». In : Martins, C. M. B. (Ed.), *Mineração e povoamento na Antiguidade no Alto Trás-os-Montes Ocidental*. CITCEM, Porto, pp. 79-105.

LEQUÉMENT, R., 1987, « Découvertes récentes de l'époque gallo-romaine ». In : *Dossiers Histoire et Archéologie* 120, pp. 42-44.

LEROY, M., 1997, *La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe*. Monographie du CRA 18, CNRS éditions, Paris.

LIZOP, R., 1931, *Les Convenae et les Consoranni*. Privat, Toulouse.

LÓPEZ-MERINO, L., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., REHER, G. S., LÓEZ-SÁEZ, J. A., MIGHALL, T. et BINDLER, R., 2014, « Reconstructing the impact of human activities in a NW Iberian Roman mining landscape for the last 2500 years ». In : *Journal of Archaeological Science* 50, pp. 208-218.

MAASS, A., 2005, « Quelques réflexions concernant les structures minières chalcolithiques de la région de Cabrières ». In : Ambert, P. et Vaquer, J. (Eds.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international Carcassonne - 28-30 septembre 2002*. Mémoire XXXVII, Société Préhistorique Française, Joué-lès-Tours, pp. 63-70.

MAGGI, R. et PEARCE, M., 2005, « Mid fourth-millennium copper mining in Liguria, north-west Italy : the earliest known copper mines in Western Europe ». In : *Antiquity* 79, pp. 66-77.

MALUS, J., 1601, *Recherche et découverte des mines des montagnes Pyrénées faite en l'an mille six cents par Jean de Malus et rédigée par Jean Du Puy*. Milan.

MANGIN, M. (Dir.), 1994, *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son conexte européen: archéologie et archéométrie*. Actes du colloque international de paléométallurgie de Besançon, 9-13 nov. 1993. Annales littéraires de l'Université de Besançon 536, Les Belles Lettres, Paris.

MANGIN, M. (Dir.), 2004, *Le fer*. Archéologiques, Errance, Paris.

MANTENANT, J., 2014, *Montagnes métallifères de la Gaule méditerranéenne. Approche archéologique et historique de la production des métaux en Languedoc occidental du début du second âge du Fer à la fin de la période romaine (IV^ème^ s. av. n. è. - V^ème^ s. de. n. è.)*. Doctorat en sciences de l'Antiquité (archéologie), Université de Toulouse 2 Le Mirail, sous la direction de Bricault, L. et Munoz, M.

MANTENANT, J., BEYRIE, A., FABRE, J.-M., KAMMENTHALER, E., MUNTEANU, G. et RICO, C., 2013, « Les Barrencs, une vaste mine protohistorique et antique en Montagne Noire ». In : *Bulletin de la Société d'Études Scientifiques de l'Aude* CXIII, pp. 27-44.

MANTENANT, J. et MUNOZ, M., 2017, « L'exploitation des gisements non-ferreux des Pyrénées de l'Est aux trois derniers siècles avant notre ère: une ruée vers l'argent? Le cas des Corbières ». In : *Treballs d'Arqueologia* 21, pp. 149-179.

MANZANO BELTRÁN, P. E. et OJEDA CALVO, R. (Dir.), 2006, *La rueda elevadora de agua de las minas romanas de riotinto. Memoria de intervención*. PH Cuadernos 18, Sevilla.

MARION, S., 2007, « Les IVe et IIIe siècles avant notre ère en Île-de-France ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 91-115.

MARION, S., 2013, « L'économie du III^{e} siècle a.C., 20 ans après ». In : Krausz, S., Colin, A., Gruel, K., Ralston, I. et Dechezletrêtre, T. (Eds.), *L'Âge du Fer en Europe. Mélanges offerts à Olivier Buchsenschutz*. Bordeaux, pp. 361-369.

MARTIN, T., 2005, « Montans à l'époque julio-claudienne ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 289-295.

MARTINS, C. M. B. (Dir.), 2010a, *Mineração e povoamento na antiguidade no Alto Trás-os-Montes Ocidental*. CITCEM, Porto.

MARTINS, C. M. B., 2010b, « A mineração em época romana ». In : Martins, C. M. B. (Ed.), *Mineração e povoamento na antiguidade no alto Tras-os-Montes ocidental*. CITCEM, Porto, pp. 107-120.

MARTINS, C. M. B., 2014, « O enquadramento da investigação com as paisagens mineiras em Portugal ». In : Fontes, L. et Martins, C. (Eds.), *Atas do Simposio Internacional Paisagens Mineiras Antigas na Europa Ocidental*. Boticas, pp. 17-28.

MARTINS, C. M. B., CRUZ, G. et FONTE, J., 2010, « O Povoamento na segunda Idade do Ferro. Outeiro Lesenho como um dos povoados centrais ». In : Martins, C. M. B. (Ed.), *Mineração e povoamento na Antiguidade no Alto Trás-os-Montes Ocidental*. CITCEM, Porto, pp. 47-60.

MATEO, A., 2001, *Observaciones sobre el régimen jurídico de la minería en tierras públicas en época romana*. Cudernos compostelanos de derecho romano 12, Santiago de Compostela.

MAUNÉ, S., 2000, « La question des premières installations rurales italiennes en Gaule transalpine (fin du IIe s.-milieu du Ier s. avant J.-C.) ». In : *Gallia* 57, pp. 231-260.

MAUNÉ, S. et SANCHEZ, C., 1999, « Une production de céramique à vernis noir dans la région de Béziers (Hérault) entre la fin du IIe s. et le milieu du Ier s. av. J.-C. : emprunt indigène ou présence italienne précoce ? ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 32, pp. 125-145.

MENNESSIER-JOUANNET, C., 2013, « Quelques indicateurs socio-économiques d'une mutation en Limagne (Puy-de-Dôme) au III^{e} s. a.C. ». In : Krausz, S., Colin, A., Gruel, K., Ralston, I. et Dechezletrêtre, T. (Eds.), *L'Âge du Fer en Europe. Mélanges offerts à Olivier Buchsenschutz*. Bordeaux, pp. 371-386.

MENNESSIER-JOUANNET, C., ADAM, A.-M. et MILCENT, P.-Y. (Dir.), 2007, *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes.

MERKL, M., STEINIGER, D. et STRAHM, C., 2013, « Les Alpes à l'aube de la métallurgie ». In : Borello, M. A. (Ed.), *Les hommes préhistoriques et les Alpes*. British Archaeological Reports, International Series, pp. 175-194.

MÉTAILIÉ, J.-P. et FAERBER, J., 2003, « Quinze années de gestion des feux pastoraux dans les Pyrénées : du blocage à la concertation ». In : *Sud-Ouest Européen* 16, pp. 37-51.

MÉTAILIÉ, J.-P., POUBLANC, S., CUNILL ARTIGAS, R., GALOP, D. et DE MUNNIK, N., 2016, « Les sapinières du Volvestre (Ariège, Haute-Garonne) : un témoin de l'extension passée du sapin, un indicateur des forêts futures ? ». In : Debofle, P. et Sanchez, J.-P. (Eds.), *Pays pyrénéens et environnement*. Fédération historique Midi-Pyrénées, Société Ramond, Bagnères-de-Bigorre, pp. 339-355.

METTRIER, M., 1893, « Gîtes minéraux du haut bassin de la Garonne (département de l'Ariège et de la Haute-Garonne) ». In : *Bulletin de la société de géographie de Toulouse* XII, nº 7, pp. 300-325.

MEUNIER, E., 2015, *Rapport de prospection thématique 2015. L'exploitation ancienne du cuivre argentifère dans le Séronais (Ariège). Première année de projet triennal*. SRA Midi-Pyrénées - non publié.

MIGHALL, T. et TIMBERLAKE, S., 2010, « Ancient Pollution and Vegetation Change in the Prehistoric Mining and Metalworking Areas of Wales and Ireland ». In : Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History. Conference of the SFB-Himat, 12-15 november 2009, Innsbruck*. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 63-67.

MIGHALL, T., TIMBERLAKE, S., MARTÍNEZ-CORTIZAS, A., SILVA-SÁNCHEZ, N. et FOSTER, I. D. L., 2017, « Did prehistoric and Roman mining and metallurgy have a significant impact on vegetation? ». In : *Journal of Archaeological Science: Reports* 11, pp. 613-625.

MILCENT, P.-Y., 2003, « Statut et fonctions d'un personnage féminin hors norme ». In : Rolley, C. (Ed.), *La tombe princière de Vix*. Paris, pp. 312-366.

MILCENT, P.-Y., 2006, « Le Toulousain du début de l'âge du Fer aux premières implantations romaines (VIII^{e}-II^{e} siècles av. J.-C.) ». In : Massendari, J. (Ed.), *La Haute-Garonne (hormis le Comminges et Toulouse)*. CAG 31/1, Paris, pp. 48-56.

MILCENT, P.-Y., 2015, « Le peuplement de Toulouse et de ses environs à l'aube des Volques Tectosages ». In : Pailler, J. M., Darles, C. et Moret, P. (Eds.), *Toulouse, naissance d'une ville*. Portet-sur-Garonne, pp. 27-39.

MILOT, J., POITRASSON, F., BARON, S. et COUSTURES, M.-P., 2016, « Iron isotopes as a potential tool for ancient iron metal tracing ». In : *Journal of Archaeological Science* 76, pp. 9-20.

MIROUSE, D., 2009, « Le site castral de Durban-sur-Arize, première approche architecturale ». In : Guillot, F. (Ed.), *Châteaux pyrénéens au Moyen Âge, naissance, évolutions et fonctions des fortifications dans les comtés de Foix, Couserans et Comminges*. Mercuès, pp. 247-272.

MOËLO, Y., MAKOVICKY, E., MOZGOVA, N. N., JAMBOR, J. L., COOK, N., PRING, A., PAAR, W., NICKEL, E. H., GRAESER, S., KARUP-MOLLER, S., BALIC-ZUNIC, T., MUMME, W. G., VURRO, F., TOPA, D., BINDI, L., BENTE, K. et SHIMIZU, M., 2008, « Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Comission on Ore Metallurgy ». In : *European Journal of Mineralogy* 20, pp. 7-46.

MONDE, COMMISSION DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DU et GÉOLOGIQUES, UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES (Dir.), 1968-1970, *Carte métallogénique de l'Europe 1 : 2 500 000.*, BRGM - UNESCO, Paris.

MONTEIL, M., BARBERAN, S., PISKORZ, M., VIDAL, L., BEL, V. et SAUVAGE, L., 1999, « Culture de la vigne et traces de plantation des IIe-Ier s. av. J.-C. dans la proche campagne de Nîmes (Gard) ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 32, pp. 67-123.

MONTEIL, M. et TRANOY, L., 2008, *La France gallo-romaine*. Paris.

MONTERO RUIZ, I. et RODRÍGUEZ DE LA ESPERANZA, M. J., 2008, « Un pequeño campamento minero de la edad del Bronce: la Loma de la Tejería (Albarracín, Teruel) ». In : *Trabajos de prehistoria* 65, pp. 155-168.

MORASZ, J. G. et SANCHEZ, C., 2011, « La Maladrerie à Villefranche-de Rouergue (Aveyron) : un exemple de dépôt en milieu minier rutène ». In : Gruat, P., Pailler, J. M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain 150 a.C. - 100 p.C.*, Supplément Aquitania 25, Bordeaux, pp. 281-296.

MORENO ONORATO, A., ALARCÓN GARCÍA, E. et CONTRERAS CORTÉS, F., 2012, « La metalurgia y otras actividades de mantenimiento en una casa argárica. El complejo estructural XVIa de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén) ». In : *Antiquitas* 24, pp. 95-116.

MORET, P., 2001, « Strabon, Posidonios et le trésor des Tectosages ». In : Cauuet, B., Domergue, C., Gomez, J., Hauteneauve, H., Moret, P. et Ugaglia, E. (Eds.), *L'or de Tolosa*. Graulhet, pp. 17-22.

MORET, P., 2008, « Tolosa, 106-47 av. J.-C. : topographie et histoire ». In : *Pallas* 76, pp. 295-329.

MORET, P., 2012, « L'histoire de deux défaites: Tolosa et Caepio (106-105 av. J.-C) ». In : Marco Simón, F., Pina Polo, F. et Remesal Rodríguez, J. (Eds.), *Vae victis! Perdedores en el mundo antiguo*. Barcelona, pp. 141-152.

MORET, P., 2015a, « De la ville gauloise à l'*oppidum latinum* ». In : Pailler, J. M., Darles, C. et Moret, P. (Eds.), *Toulouse, naissance d'une ville*. Portet-sur-Garonne, pp. 67-69.

MORET, P., 2015b, « La première ville, une et plurielle ». In : Pailler, J. M., Darles, C. et Moret, P. (Eds.), *Toulouse, naissance d'une ville*. Portet-sur-Garonne, pp. 54-56.

MORET, P., 2015c, « A la recherche des Tectosages ». In : Pailler, J. M., Darles, C. et Moret, P. (Eds.), *Toulouse, naissance d'une ville*. Portet-sur-Garonne, pp. 40-52.

MORET, P., RUIZ DARASSE, C. et VERRIER, G., 2015, « Ibère, grec et latin à Toulouse (Haute-Garonne) à la fin du II^{e} s. av. J.-C. Nouvelles inscriptions sur céramique du site de la ZAC Niel. ». In : *Gallia* 72-2, pp. 403-416.

MORIN, D., HERBACH, R. et ROSENTHAL, P., 2012, « The Laurion shafts, Greece: ventilation systems and mining technology in antiquity ». In : *Historical Metallurgy* 46, pp. 9-18.

MORIN, D. et PHOTIADES, A., 2012, « Les mines antiques du Laurion (Attique, Grèce) ». In : Orejas, A. et Rico, C. (Eds.), *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue*. Collection de la Casa de Velázquez 128, Madrid, pp. 9-26.

MROZEK, S., 1989, « Le travail des hommes libres dans les mines romaines ». In : Domergue, C. (Ed.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. T. II, Madrid, pp. 163-170.

MUCKELROY, K., 1981, « Middle Bronze Age trade between Britain and Europe: a maritime perspective ». In : *Proceedings of the Prehistoric Society* 47, pp. 275-297.

MUNOZ, M., BARON, S., BOUCHER, A., BÉZIAT, D. et SALVI, S., 2015, « Mesozoic vein-type Pb–Zn mineralization in the Pyrenees: Lead isotopic and fluid inclusion evidence from the Les Argentières and Lacore deposits ». In : *Comptes Rendus Géosciences* 348, 3-4, pp. 322-332.

MUNTEANU, G., KAMMENTHALER, E., MANTENANT, J., RICO, C., FABRE, J.-M. et BEYRIE, A., 2016, « Le complexe minier gaulois des Barrencs (Aude, France) dans son contexte géologique et minéralogique ». In : *ArchéoSciences* 40, pp. 163-180.

MUNTEANU, G., TĂMAŞ, C. G., CAUUET, B. et MUT, G., 2017, « Vestiges de l'exploitation du fer aux époques préromaine et romaine dans le district minier de Baillestavy (Pyrénées Orientales, France) ». In : *Treballs d'Arqueologia* 21, pp. 263-285.

MUSSY, M., 1870, *Carte géologique et minéralurgique du département de l'Ariège*.

MUT, G., 2001, « Les forges de Baillestavy ». In : Sablayrolles, R. (Ed.), *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité*. Entretiens d'archéologie et d'histoire 6, St-Bertrand-de-Comminges, pp. 141-153.

MUT, G. et KOTARBA, J., 2007, « Les activités métallurgiques d'époque romaine dans les Pyrénées-Orientales ». In : Kotarba, J., Castellvi, G. et Mazière, F. (Eds.), *Les Pyrénées-Orientales*. Carte Archéologique de la Gaule 66, Paris, pp. 141-155.

O'BRIEN, W., 2007, « Miners and farmers: local settlement contexts for Bronze Age mining ». In : Burgess, C., Topping, P. et Lynch, F. (Eds.), *Beyond Stonehenge. Essays on the Bronze Age in honour of Colin Burgess*. Oxbow Books, Oxford, pp. 20-30.

O'BRIEN, W., 2011, « Prehistoric copper mining and metallurgical expertise in Ireland ». In : Martins, C. M. B., Bettencourt, A. M. S., Martins, J. I. et Carvalho, J. (Eds.), *Povoamento e exploração dos recursos mineiros na Europa Atlântica ocidental*. Braga, pp. 337-357.

O'BRIEN, W., 2015, *Prehistoric copper mining in Europe: 5500-500 BC*. Oxford University Press, New-York.

OEGGL, K., 2010, « Preface ». In : Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European*

History. Conference of the SFB-Himat, 12-15 november 2009, Innsbruck. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 13-14.

OLIVA, P., BÉZIAT, D., JARRIER, C., MARTIN, F., PIERAGGI, B. et TOLLON, F., 1999, « Des meules rotatives de type pompéien dans le ferrier des Martys (Aude). D'où viennent-elles ? Qu'ont-elles moulu ? ». In : *Pallas. Revue d'études antiques*, pp. 375-388.

OLMER, F., GIRARD, J., VERRIER, G. et BOHBOT, H., 2013, « Voies, acteurs et modalités du grand commerce en Europe occidentale ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Aquitania Suppl. 30, Bordeaux, pp. 665-691.

OREJAS, A., PLÁCIDO, D., SÁNCHEZ-PALENCIA, F. J. et FERNÁNDEZ-POSSE, M. D., 1999, « Minería y metalurgia. De la protohistoria a la España romana ». In : *Studia Historica. Historia antigua* 17, pp. 263-298.

OREJAS, A. et RICO, C., 2015, « *Metalla, civitates, coloniae* : les mines hispaniques dans les processus de changement des statuts territoriaux à la fin de la République et au début de l'Empire ». In : *Mélanges de l'Ecole Française de Rome - Antiquités* 127/2, pp. 521-534.

OREJAS SACO DEL VALLE, A., 1996, « Arqueología de los paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica ». In : *Bocar: Cuadernos de investigación histórica* 20, pp. 7-30.

PAGÈS, G., 2010, *Artisanat et économie du fer en France méditerranéenne de l'Antiquité au début du Moyen-Age*. Monographies *Instrumentum* 37, Montagnac.

PAGÈS, G., 2014, « Productions, commerces et consommation du fer dans le Sud de la Gaule de la Protohistoire à la domination romaine ». In : *Gallia* 71-2, pp. 47-67.

PAGÈS, G., 2015, « Le fer antique et médiéval du Massif du Canigou. Prospection thématique ». In : *Bilan Scientifique Régional Languedoc Roussillon* 2014, pp. 241-242.

PAGÈS, G., 2016, « Le fer antique et médiéval du Massif du Canigou. Prospection thématique ». In : *Bilan Scientifique Régional Occitanie* 2015, pp. 223-224.

PAGÈS, G., 2017, « Des tas de déchets petits et grands : vers des critères d'enregistrements communs nécessaires aux bases de données pour étudier dans la diachronie les productions sidérurgiques ». In : *Treballs d'Arqueologia* 21, pp. 247-262.

PAILLER, J.-M., 2011a, « Etapes et conséquences de l'exploitation minière et métallurgique. Monnaies gauloises, monnaies romaines. Le cas Zmaragdus ». In : Gruat, P., Pailler, J.-M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain. 150 a.C. - 100 p.C.*, Supplément Aquitania 25, Bordeaux, pp. 209-228.

PAILLER, J.-M., 2011b, « Les Rutènes par les mots et par les textes ». In : Gruat, P., Pailler, J.-M. et Schaad, D. (Eds.), *Les Rutènes. Du peuple à la cité. De l'indépendance à l'installation dans le cadre romain. 150 a.C. - 100 p.C.*, Supplément Aquitania 25, Bordeaux, pp. 89-102.

PAILLER, J. M., 1982, « Mines et métallurgie dans la littérature scientifique de langue française de 1789 à 1960 ». In : Domergue, C. (Ed.), *Mines et fonderies antiques de la Gaule*. Table ronde du CNRS, Université de Toulouse-Le Mirail, nov. 1980, Paris, pp. 5-18.

PAMMER, M., 2007, « HiMAT. The History of Mining Activities in the Tyrol ans Adjacent Areas ». In : *Historicum* Winter 2007/2008 - Frühling 2008, pp. 7-12.

PARENT, G., 1997, « L'exploitation du cuivre et de l'argent à Banca (Pyrénées-Atlantiques). Première approche du réseau minier ». In : *Pallas* 46, pp. 297-309.

PARENT, G., 2006, « Anciennes activités minières et métallurgiques en zone frontalière. Une prospection autour de la vallée de Baïgorry ». In : *Trabajos de Arqueologia Navarra* 19, pp. 269-292.

PARENT, G., 2010, « Étude de l'activité minière antique dans la région de la vallée de Baïgorry (Pyrénées-Atlantiques). Bilan provisoire ». In : *Aquitania* 26, pp. 7-19.

PARENT, G., DUREN, A. et LARRE, F., 2016, « Le site minier antique de Mehatze ». In : *Trabajos de Arqueologia Navarra* 28, pp. 157-196.

PARISOT-SILLON, C. et SARAH, G., 2018, « Production monétaire et stratégies d'approvisionnement de l'argent en Occident nord-méditerranéen (IIe-Ier siècle av. n . è .) ». In : Rico, C. et Orejas, A. (Eds.), *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad - Edad Media)*. Mélanges de la Casa de Velázquez 48 (1), Madrid, pp. 137-163.

PASSELAC, M., 2002a, « Le mobilier céramique de La Loba ». In : Blázquez Martínez, J. M., Domergue, C. et Sillières, P. (Eds.), *La Loba (Fuenteobejuna, Courdoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*. Mémoires 7, Ausonius, Bordeaux, pp. 231-288.

PASSELAC, M., 2002b, « Les agglomérations de la voie d'Aquitaine ». In : Pailler, J.-M. (Ed.), *Tolosa. Nouvelles recherches sur Toulouse et son territoire dans l'Antiquité*. Rome, Ecole Française de, Collection de l'Ecole Française de Rome, Toulouse, pp. 345-355.

PÉRÉ-NOGUÈS, S., 2007, « Les Celtes et le mercenariat en Occident (IVe et IIIe s. av. n. è.) ». In : Mennessier-Jouannet, C., Adam, A.-M. et Milcent, P.-Y. (Eds.), *La Gaule dans son contexte européen aux IVe et IIIe s. av. n. è. Actes du XXVIIe colloque international de l'AFEAF (Clermont-Ferrand, 29 mai-1er juin 2003)*. Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Lattes, pp. 353-361.

PÉREZ DOMINGO, A., 1831, *Memoria sobre las minas en la península, sobre la riqueza que han producido, y mejoras de que es suceptible este ramo*. Madrid.

PERRIN, F., 2006, « La hiérarchie sociale en Gaule à la fin de l'âge du Fer, entre histoire et archéologie. Un état de la question ». In : Haselgrove, C. (Ed.), *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. Les mutations de la fin de l'âge du Fer*. Bibracte 12/4, Glux en Glenne, pp. 155-168.

PULAK, C., 1994, « The Uluburun shipwreck ». In : Swiny, S., Hohlfelder, R. L. et Wylde Swiny, H. (Eds.), *Res Maritimae. Cyprus and the Eastern Mediterranean from Prehistory to Late Antiquity*. American School of Oriental Research Archeaological Reports, Atlanta, pp. 233-262.

PULAK, C., 2000, « The balance weights from the Late Bronze Age shipwreck at Uluburun ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a conference held at the University of Birmingham in June 1997*. Oxbow Books, Exeter, pp. 247-266.

PY-SARAGAGLIA, V., CUNILL ARTIGAS, R., MÉTAILIÉ, J.-P., ANCEL, B., BARON, S., PARADIS-GRENOUILLET, S., LERIGOLEUR, E., BADACHE, N., BARCET, H. et GALOP, D., 2017, « Late Holocene history of woodland dynamics and wood use in an ancient mining area of the Pyrenees (Ariège, France) ». In : *Quaternary International* 458, pp. 141-157.

PY, M., 2009, *Lattara. Lattes, Hérault. Comptoir gaulois méditerranéen entre Etrusques, Grecs et Romains*.

PY, M., 2012, *Les Gaulois du Midi de la fin de l'âge du Bronze à la Conquête romaine*. Paris.

PY, V., 2015, « Aulus-les-Bains. Mines des Argentières, Pic des Argentières, pâture communale de Coumebière, Lacore, Bois des Plagnolles, Bois du Girentouziets. Prospection inventaire ». In : *Bilan Scientifique Régional Midi-Pyrénées* 2013, pp. 33-34.

PY, V., ANCEL, B., MÉTAILIÉ, J.-P., BARON, S. et CUNILL, R., 2013, *Prospection inventaire nº 388 Commune d'Aulus-les-Bains (Ariège)*. GEODE - non publié. <hal-01172355>.

PY, V., VÉRON, A., EDOUARD, J.-L., BEAULIEU, J.-L., ANCEL, B., SEGARD, M., DURAND, A. et LEVEAU, P., 2014, « Interdisciplinary characterisation and environmental imprints of mining and forestry in the upper Durance valley (France) during the Holocene ». In : *Quaternary International* 353, pp. 74-97.

PYDYN, A., 2000, « Value and exchange of bronzes in the Baltic area and in north-east Europe ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a conference held at the University of Birmingham in June 1997*. Oxbow Books, Exeter, pp. 225-232.

RAFEL, N., ARMADA, X.-L., BELARTE, C., FAIRÉN, S., GASULL, P., GRAELLS, R., MORELL, N., PÉREZ, A. et VILLALBA, P., 2008a, « El área minerometalúrgica del Baix Priorat (Tarragona) en la protohistoria. Explotación y redes de intercambio ». In : *Revista d'arqueologia de Ponent* 18, pp. 245-269.

RAFEL, N., MONTERO, I. et CASTANYER, P., 2008b, « Consideraciones finales ». In : *Revista d'arqueologia de Ponent* 18, pp. 316-317.

RAFEL, N., MONTERO, I. et CASTANYER, P., 2008c, « Plata prerromana en Cataluña. Explotación y circulación del plomo y la plata en el primer milenio ane ». In : *Revista d'arqueologia de Ponent* 18, pp. 243-245.

RAMIN, J., 1977, *La technique minière et métallurgique des Anciens*. Latomus, Revue d'études latines 153, Bruxelles.

RANCOULE, G., 1985, « Observations sur la diffusion des importations italiques dans l'Aude aux IIe et Ier siècles avant J.-C ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise*, pp. 263-275.

RANCOULE, G. et SCHWALLER, M., 1994, « Apports ou influences continentales en Languedoc occidental. Recensement, chronologie et réflexions ». In : *Aquitania* 11, pp. 223-235.

RANCOULE, G. et SOLIER, Y., 1977, « Les mines antiques des Corbières audoises ». In : *Mines et mineurs en Languedoc-Roussillon et régions voisines de l'Antiquité à nos jours*. Montpellier, pp. 23-39.

RÉCHIN, F., 2013, « Transferts de technologie en Aquitaine méridionale à la fin du second Âge du Fer et au début de l'époque romaine. L'exemple des céramiques communes ». In : Callegarin, L. et Gorgues, A. (Eds.), *Les transferts de technologie au premier millénaire av. J.-C. dans le sud-ouest de l'Europe*. Dossier des Mélanges de la casa de Velázquez. Nouvelle série 43 (1), Madrid, pp. 141-172.

RENZI, M., 2013, *La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante) y la metalurgia fenicia de época arcaica en la península Ibérica*. Thèse de doctorat, Universidad Complutense de

Madrid, Facultad de Geografía e Historia, sous la direction de Montero Ruiz, I. et Chapa Brunet, T.

RICCI, M., 1973, « Per una cronologia delle lucerne tardo-republicane ». In : *Revue d'études ligures* XXXIXe année - nº 2-4, pp. 168-234.

RICO, C., 1997, *Pyrénées romaines. Essai sur un pays de frontière (IIIe s. Av. J. C. - IVe s. ap. J. C.)*.

RICO, C., 2005, « Vingt ans de recherches sur les mines et les métallurgies romaines en péninsule Ibérique (1985-2004) ». In : *Pallas* 67, pp. 217-239.

RICO, C., 2010, « Sociétés et entrepreneurs miniers italiques en Hispanie à la fin de l'époque républicaine. Une comparaison entre les districts de Carthagène et de Sierra Morena ». In : *Pallas* 82, pp. 395-415.

RICO, C., 2011, « Réflexions sur le commerce d'exportation des métaux à l'époque romaine. La logique du stockage ». In : Arce, J. et Goffaux, B. (Eds.), *Horrea d'Hispanie et de la Méditerranée romaine*. Collection de la Casa de Velázquez, Madrid, pp. 41-64.

RICO, C., 2016, « Le domaine des Forges: au coeur d'une région sidérurgique ». In : Fabre, J.-M., Domergue, C. et Dabosi, F. (Eds.), *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*. Revue archéologique de Narbonnaise suppl. 43, Montpellier, pp. 253-282.

RICO, C. et DOMERGUE, C., 2016, « El comercio de los metales en el Mediterráneo occidental en la epoca romana a través de los hallazgos subacuáticos. Estado actual de la investigación ». In : *Actas del V Congreso Internacional de Arqueología Subacuática (IKUWA V). Un patrimonio para la humanidad. Cartagena, 15-18 de octubre de 2014*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, pp. 590-609.

RICO, C., FABRE, J.-M. et ANTOLINOS MARÍN, J. A., 2009, « Recherches sur les mines et la métallurgie du plomb-argent de Carthagène à l'époque romaine ». In : *Mélanges de la Casa de Velázquez* 39, pp. 291-310.

ROBERT, J.-F., 1982, *Les minéralisations barytiques du front nord du Massif de l'Arize*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

RODRÍGUEZ DÍAZ, A., PAVON SOLDEVILLA, I., DUQUE ESPINO, D. M. et HUNT ORTIZ, M. A., 2016, « La explotación protohistórica del estaño en el Cerro de San Cristóbal de Logrosán (Cáceres) ». In : *XV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero. XIX Sesión científica de SEDPGYM. Logrosán, 2014*. pp. 63-86.

RODRÍGUEZ DÍAZ, A., PAVÓN SOLDEVILLA, I., DUQUE ESPINO, D. M., HUNT ORTIZ, M. A., PONCE DE LEÓN, M., VÁZQUEZ PAZ, J., MÁRQUEZ GALLARDO, J. M. et RODRÍGUEZ MELLADO, J., 2014, « La minería protohistórica en Extremadura: el caso del estaño en el Cerro de San Cristóbal de Logrosán (Cáceres) ». In : *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24, pp. 167-201.

ROMAN, D. et ROMAN, Y., 1997, *Histoire de la Gaule: VI^{e} siècle av. J.-C. - I^{er} siècle ap. J.-C.*, Paris.

ROMAN, Y., 1991, « L'intervention romaine de 154 av. J.-C. en Gaule transalpine : essai d'analyse ». In : *Revue archéologique de Narbonnaise* 24, pp. 35-38.

ROSELL, J., GARRIDO, J. L., VIÑALS, J., BÁRTULOS, V., VINYOLES, J., ORTIZ, X., MINGUEZA, P., MASONS, G. et BIOBI, F., 2014, *Rocabruna i el seu entorn. La mina de les Ferreres*.

ROSENTHAL, P., MORIN, D., HERBACH, R., PHOTIADES, A., DELPECH, S., JACQUEMOT, D. et FADIN, L., 2013, « Mining technologies at deep level in Antiquity: The Laurion mines (Attica, Greece) ». In : Anreiter, P., Brandstätter, K., Goldenberg, G., Hanke, K., Leitner, W., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Schaffer, V., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 2nd Mining in European History Conference of the FZ HiMAT 7-10 nov. 2012, Innsbruck*. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 89-95.

ROUZAUD, F., MAUDUIT, E. et CALVET, J.-P., 1997, « Le site minier et métallurgique du Calel à Sorèze (Tarn) ». In : *Pallas* 46, pp. 273-285.

ROVIRA LLORENS, S., 2007, « La producción de bronces en la prehistoria ». In : Molera, J., Farjas, J., Roura, P. et Pradell, T. (Eds.), *Avances en arqueometría 2005. Actas de VI congreso Ibérico de Arqueometría. Girona.*, pp. 21-31.

ROVIRA, S. et MONTERO, I., 2003, « Natural tin-bronze alloy in Iberian Peninsula metallurgy: potentiality and reality ». In : Giumlia-Mair, A. et Lo Schiavo, F. (Eds.), *Actes du XIVème congrès UISPP. Le problème de l'étain à l'origine de la métellurgie. BAR International Series 1199.*, pp. 15-22.

ROVIRA, S. et MONTERO RUIZ, I., 2013, « Iberia: Technological Development of Prehistoric Metallurgy ». In : Burmeister, S., Hansen, S., Kunst, M. et Müller-Scheeßel, N. (Eds.), *Metal Matters. Innovative Technologies and Social Change in Prehistory and Antiquity*. Menschen – Kulturen – Traditionen. ForschungsCluster 2 12, Leidorf, pp. 231-239.

RUIZ-ALONSO, M., AZKARATE, A., SOLAUN, J. L. et ZAPATA, L., 2012, « Exploitation of fuel wood in Gasteiz (Basque Country, Northern Iberia) during the Middle Ages (700-1200 AD) ». In : Badal, E., Carrión, Y., Macías, M. et Ntinou, M. (Eds.), *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History*. Saguntum Extra 13, Departament de prehistòria i arqueologia, Universitat de València, Valencia, pp. 227-236.

RUIZ-ALONSO, M., ZAPATA, L., PÉREZ-DÍAZ, S., LÓPEZ-SÁEZ, J.-A. et FERNÁNDEZ-ERASO, J., 2017, « Selection of firewood in northern Iberia: Archaeobotanical data from three archaeological sites ». In : *Quaternary International* 431, pp. 61-72.

RUIZ-GÁLVEZ, M., 2000, « Weight systems and exchange networks in Bronze Age Europe ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a conference held at the University of Birmingham in June 1997*. Oxbow Books, Exeter, pp. 267-279.

RUIZ-GÁLVEZ PRIEGO, M., 1986, « Navegación y comercio entre el Atlántico y el Mediterráneo a fines de la edad del bronce ». In : *Trabajos de prehistoria* 43, pp. 9-42.

RUIZ DARASSE, C., 2013, « Ibère: langue véhiculaire ou "écriture de contact"? ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Aquitania Suppl. 30, Bordeaux, pp. 407-416.

SABLAYROLLES, R., 1989, « L'administration des mines de fer en Gaule romaine ». In : Domergue, C. (Ed.), *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*. T. II, Madrid, pp. 157-162.

SABLAYROLLES, R., 1992, « Les dieux des bûcherons dans les Pyrénées à l'époque de la domination romaine ». In : Métailié, J.-P. (Ed.), *Protoindustries et histoire des forêts. Actes du colloque de Loubières (Ariège), 10-13 octobre 1990*. Les Cahiers de l'ISARD 3, Toulouse, pp. 15-26.

SABLAYROLLES, R., 1996, « Introduction ». In : Maissant, C. et Escudé-Quillet, J.-M. (Eds.), *L'Ariège*. CAG 09, Paris, pp. 35-68.

SABLAYROLLES, R., 2001, *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité, Entretiens d'archéologie et d'histoire*. St-Bertrand-de-Comminges.

SABLAYROLLES, R., 2002, « Les limites de la cité de Toulouse ». In : Pailler, J.-M. (Ed.), *Tolosa. Nouvelles recherches sur Toulouse et son territoire dans l'Antiquité*. Rome, Ecole Française de, Collection de l'Ecole Française de Rome, Toulouse, pp. 307-326.

SABLAYROLLES, R., 2009, « Les chemins de Pompée ». In : *Espaces et sociétés à l'époque romaine: entre Garonne et Ebre. Actes de la table ronde de Pau 26-27 janvier 2007. Hommage à Georges Fabre*. Archéologie des Pyrénées occidentales et des Landes Hors Série nº 4, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau, pp. 39-53.

SABLAYROLLES, R. et BEYRIE, A., 2006, *Le Comminges (Haute-Garonne)*. CAG 31/2, Paris.

SALAČ, A., 2013, « De la vitesse des transports à l'âge du Fer ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Aquitania Suppl. 30, Bordeaux, pp. 489-512.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F. J., 2015, « La zona minera de Tresminas (Vila Pouca de Aguiar): aportaciones a partir de la fotografía aérea ». In : *Conimbriga* LIV, pp. 179-223.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F. J., FERNÁNDEZ-POSSE, M. D., FERNÁNDEZ MANZANO, J., OREJAS, A., CARLOS PÉREZ, L. et SASTRE, I., 2000, « Las Médulas (León), un paisaje cultural patrimonio de la humanidad ». In : *Trabajos de prehistoria* 57, pp. 195-208.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F. J., OREJAS, A., SASTRE, I. et PÉREZ, L. C., 2006, « Las zonas mineras romanas del Noroeste peninsular. Infraestrucutra y organización del territorio ». In : Moreno Gallo, I. (Ed.), *Nuevos elementos de ingeniería romana: III congreso de las obras públicas romanas*. pp. 265-285.

SÁNCHEZ-PALENCIA, F. J., ROMERO, D. et BELTRÁN, A., 2012, « Paisajes mineros en el Noreste de Lusitania y Asturia meridional ». In : Zarzalejos Prieto, M., Hevia Gómez, P. et Mansilla Plaza, L. (Eds.), *Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. Investigaciones recientes y nuevas líneas de trabajo*. UNED, Madrid, pp. 155-170.

SANCHEZ, C., 2009a, *Narbonne à l'époque tardo-républicaine. Chronologies, commerce et artisanat céramique*. Revue archéologique de Narbonnaise suppl. 38, Montpellier.

SANCHEZ, C., 2009b, « Production et consommation des céramiques communes de la colonie romaine de Narbonne (II^{e} av. n. è. / V^{e} ap. n. è.) ». In : Pasqualini, M. (Ed.), *Les céramiques communes d'Italie et de Narbonnaise: structures de production, typologies et contextes inédits, II^{e} s. av. J.-C. - III^{e} s apr. J.-C.*, Naples, pp. 471-492.

SCHENCK-DAVID, J.-L., 2005, *L'archéologie de trois sanctuaires des Pyrénées centrales*. Pirénéica 1, Cahors.

SCHWALLER, M., MARCHAND, G., LEJARS, T., ORLIAC, D., RAPIN, A. et SANMARTI, E., 2001, « Échanges, influences, productions dans la nécropole du deuxième âge du Fer d'Ensérune (Hérault) ». In : *Documents d'Archéologie Méridionale* 24, pp. 173-184.

SEDPGYM, 2016, *XV Congreso Internacional sobre patrimonio geológico y minero, Logrosán 2014*.

SÉGUIER, J.-M., 1987, « Un habitat de hauteur du Second âge du Fer: la Tour d'Opio ». In : *Dossiers Histoire et Archéologie* 120, p. 25.

SÉJALON, P., FAUDUET, I., LEBEAUPIN, D. et ODENHARDT-DONVEZ, I., 2008, « Lattara et l'Étrurie : nouvelles données sur l'installation d'un comptoir vers 500 av. J.-C ». In : *Gallia* 65, pp. 45-64.

SERNEELS, V., 2004, « Le fer et ses minerais ». In : Mangin, M. (Ed.), *Le fer*. Errance, Paris, pp. 25-48.

SHENNAN, S., 1995, *Bronze Age copper producers of the Eastern Alps. Excavations at St. Veit-Klinglberg*. Universitätsforschungen sur Prähistorischen Archäologie, Bonn.

SHENNAN, S., 1999, « Cost, benefit and value in the organization of early European copper production ». In : *Antiquity* 73, pp. 352-363.

SHENNAN, S., 2010, « Early Mining and Subsistence: Some Theoretical Considerations ». In : Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History. Conference of the SFB-Himat, 12-15 november 2009, Innsbruck*. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 159-165.

SHEPHERD, R., 1993, *Ancient Mining*. Londres.

SHERRATT, S., 2000, « Circulation of metals and the end of the Bronze Age in the Eastern Mediterranean ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a conference held at the University of Birmingham in June 1997*. Oxbow Books, Exeter, pp. 82-98.

SILVA-SÁNCHEZ, N., CORTIZAS, A. M. et LÓPEZ-MERINO, L., 2014, « Linking forest cover, soil erosion and mire hydrology to late-Holocene human activity and climate in NW Spain ». In : *The Holocene* 24, pp. 714-725.

SIMIĆ, V. M. et VASIĆ, M. R., 1977, « La Monnaie des mines romaines de l'Illyrie ». In : *Revue numismatique* 19, pp. 48-61.

SIMONNET, R., 1970, « Habitat et fonderie protohistoriques à Carbon, Commune de Varilhes ». In : *Gallia Préhistoire* 13, pp. 151-216.

SIMONNET, R., PAILHÈS, C., CLAEYS, L., LAGARDE, A., SÉBASTIEN, M. et PÉDOUSSAT, D., 2008, *Ariège*. Paris.

SIREIX, C., 2013a, « L'agglomération artisanale de Lacoste à Mouliets-et-Villemartin (Gironde) ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Supplément Aquitania 30, Bordeaux, pp. 103-146.

SIREIX, C., 2013b, « L'agglomération artisanale de Lacoste à Mouliets-et-Villemartin (Gironde) ». In : Colin, A. et Verdin, F. (Eds.), *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer*. Aquitania Suppl. 30, Bordeaux, pp. 103-146.

SORICELLI, G., 1994, « Lo sfruttamento minerario della Gallia Transalpina tra il II secolo A.C. ed il I secolo D.C. ». In : *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei - Rendiconti* ser. IX - vol. V - fasc. 2, pp. 215-245.

STÖLLNER, T., 2003, « Mining and economy: a discussion of spatial organisations and structures of early raw material exploitation ». In : Stöllner, T., Körlin, G., Steffens, G. et Cierny, J. (Eds.), *Man and mining, studies in honour of Gerd Weisgerber*. Bochum, pp. 415-446.

STÖLLNER, T., 2010, « Copper and salt: mining communities in the alpine Metal Ages ». In : Anreiter, P., Goldenberg, G., Hanke, K., Krause, R., Leitner, W., Mathis, F., Nicolussi, K., Oeggl, K., Pernicka, E., Prast, M., Schibler, J., Schneider, I., Stadler, H., Stöllner, T., Tomedi, G. et Tropper, P. (Eds.), *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History. Conference of the SFB-Himat, 12-15 november 2009, Innsbruck*. Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 297-313.

STÖLLNER, T., 2012, « Mining and Elites: A Paradigm Beyond the Evidence in European Metal Ages ». In : Kienlin, T. L. et Zimmermann, A. (Eds.), *Beyond Elites. Alternatives to hierarchical Systems in Modelling Social Formations*. Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 215, Bonn, pp. 433-448.

STÖLLNER, T., 2015a, « Humans approach to resources: Old World mining between technological innovations, social change and economical structures. A key-note lecture ». In : Hauptmann, A. et Modarressi-Tehrani, D. (Eds.), *Archaeometallurgy in Europe III*. Der Anschnitt 26, Bochum, pp. 63-82.

STÖLLNER, T., 2015b, « Mineral Resources and Connectivity in the Mediterranean and its Hinterland ». In : Lichtenberger, A. et von Rüden, C. (Eds.), *Multiple Mediterranean Realities. Current Approaches to Spaces, Resources, and Connectivities*. Paderborn, pp. 121-148.

STÖLLNER, T., ASPÖCK, H., BOENKE, N., DOBIAT, C., GAWLICK, H.-J., GROENMAN-VAN WAATERINGE, W., IRLINGER, W., VON KURZYNSKI, K., LEIN, R., LOBISSER, W., LÖCKER, K., MEGAW, V., MEGAW, R., MORGAN, G., PUCHER, E. et SORMAZ, T., 2003, « The economy of Dürrnberg-Bei-Hallein: An Iron Age Salt-mining Centre in the Austrian Alps ». In : *The Antiquaries Journal* 83, pp. 123-194.

STÖLLNER, T., BREITENLECHNER, E., EIBNER, C., HERD, R., KIENLIN, T. L., LUTZ, J., MAASS, A., NICOLUSSI, K., PICHLER, T., PILS, R., RÖTTGER, K., SONG, B., TAUBE, N., THOMAS, P. et THURNER, A., 2011, « Der Mitterberg - Der Grossproduzent für kupfer im östlichen Alpenraum während der Bronzezeit ». In : Goldenberg, G., Töchterle, U., Oeggl, K. et Krenn-Leeb, A. (Eds.), *Forschungsprogramm HiMAT: Neues zur Bergbau-geschichte det Ostalpen*. Archäologie Österreichs Spezial 4, Vienne, pp. 113-144.

STOS-GALE, S., 2000, « Trade in Metals in the Bronze Age Mediterranean: an overview of Lead Isotope Data for provenance studies ». In : Pare, C. F. E. (Ed.), *Metals Make the World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe. Proceedings of a conference held at the University of Birmingham in June 1997*. Oxbow Books, Exeter, pp. 56-69.

TCHERNIA, A., 1986, *Le vin de l'Italie romaine. Essai d'histoire économique d'après les amphores*. Bibliothèque des Écoles françaises d'Athènes et de Rome, Ecole française de Rome, Rome.

TÉREYGEOL, F., ARLES, A., FOY, E., FLORSCH, N. et LLUBES, M., 2010, « Dosages par fluorescence X portable d'ateliers médiévaux de production des métaux non-ferreux: les exemples de Castel-Minier et d'*Agneserre* (Aulus-les-Bains, Ariège) ». In : *ArchéoSciences* 34, pp. 243-252.

TÉREYGEOL, F., FLAMENT, J. et GAUTHIER, J., 2016, « De l'argent, du cuivre, du plomb et du fer! Le pragmatisme industriel de Castel-Minier (XIII^{e}-XVI^{e} s.) ». In : *La Mémoire du Garbet* Bull. nº 50, pp. 16-23.

THOLLARD, P., 2009, *La Gaule selon Strabon: du texte à l'archéologie*. Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine 2, Paris.

TIMBERLAKE, S., 2003a, « Early mining research in Britain: the developments of the last ten years ». In : Craddock, P. et Lang, J. (Eds.), *Mining and Metal Production through the Ages*. British Museum, London, pp. 21-42.

TIMBERLAKE, S., 2003b, *Excavations on Copa Hill, Cwmysthwyth (1986-1999): An Early Bronze Age Copper Mine within the Uplands of Central Wales*. British Archaeological Reports (British series), Archaeopress, Oxford.

TOLEDO I MUR, A., VACCA-GOUTOULLI, M. et MILOR, F., 2005, « Une mine d'or protohistorique : Le Puy des Angles aux Angles-sur-Corrèze (Corrèze) ». In : *Gallia* 62, pp. 171-214.

TOLLON, F. et BÉZIAT, D., 2004, « Les chapeaux de fer ». In : Mangin, M. (Ed.), *Le fer*. Errance, Paris, pp. 35-36.

TYLECOTE, R. F., 1979, *A History of Metallurgy*. The Metal Society, London.

UGALDE, T., 2010, « Máquinas de elevación de agua en la minería romana. El ejemplo de los pozos de la mina de Belbio (Irún) ». In : Públicas, Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras (Ed.), *Las técnicas y las construcciones en la ingeniería romana. V Congreso de las Obras Públicas Romanas*. pp. 327-345.

ULRICH, 1908, *Travaux effectués par M. G. Lacroix pour justifier sa demande en concession déposée le 12 juillet 1906. Rapport de l'Ingénieur des Mines à Toulouse le 5 février 1908*. Archives BRGM Toulouse - non publié.

URTEAGA ARTIGAS, M., 2012, « La minería romana en Gipuzkoa y el distrito de *Oiasso* (Irún) ». In : Orejas, A. et Rico, C. (Eds.), *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue*. Collection de la Casa de Velázquez 128, Madrid, pp. 201-218.

URTEAGA, M., 1997, « Minería romana en Guipuzkoa ». In : *1er Coloquio Internacional sobre la Romanización en Euskal Herria*. Isturitz 8, Saint-Sébastien, pp. 491-515.

URTEAGA, M., 2014, « Minería romana en el Cantábrico Oriental ». In : *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 24, pp. 267-300.

URTEAGA, M. et UGALDE, T., 1986, « Indicios de minería romana en Guipúzcoa. El coto minero de Arditurri. Oyarzun ». In : *Munibe (Antropología y arqueología)* 38, pp. 107-117.

UZQUIANO, P., ALLUÉ, E., ANTOLÍN, F., BURJACHS, F., PICORNEL, L., PIQUÉ, R. et ZAPATA, L., 2015, « All about yew: on the trail of *Taxus baccata* in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies ». In : *Vegetation History and Archaeobotany* 24-1, pp. 229-247.

VERNHET, A., 1986, « Centre de production de Millau. Atelier de la Graufesenque ». In : Bémont, C. et Jacob, J.-P. (Eds.), *La terre sigillée gallo-romaine. Lieux de production du Haut-Empire: implantations, produits, relations*. Documents d'Archéologie Française 6, Paris, pp. 96-103.

VERNOU, C. et BERTHAULT, F., 2005, « Les débuts de la viticulture en Aquitaine ». In : *L'Aquitaine et l'Hispanie septentrionale à l'époque Julio-Claudienne. Organisation et exploitation des espaces provinciaux*. Aquitania Suppl. 13, Bordeaux, pp. 365-392.

VERRIER, G., 2017, « Le quartier Saint-Roch ». In : Provost, M. et Pailler, J. M. (Eds.), *Toulouse*. CAG 31/3, Paris, pp. 103-164.

VERRIER, G., à paraître, « L'occupation laténienne de Montréal-de-Sos ». In : *Bulletin de l'Association des Amis de Montréal de Sos* 1.

VIALARON, C., 2016, *La mine gauloise de la Rodde d'Ally*. Yssingeaux.

VIDAL, M., 1987, « Etat de la recherche protohistorique en Midi-Pyrénées ». In : *Dossiers Histoire et Archéologie* 120, pp. 18-21.

WILSON, A., 2002, « Machines, power and the ancient economy ». In : *The Journal of Roman Studies* 92, pp. 1-32.

Table des figures

Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude. 6
Fig. 2 : Carte des principaux terrains géologiques européens (d'après Large 2003). 15
Fig. 3 : Localisation des gisements métalliques (Cu, Au, Ag, Sn, Pb, Fe) en Europe (d'après la Carte métallogénique de l'Europe à 1 :2.500.000 – 1968-1970). 17
Fig. 4 : Carte métallogénique simplifiée de la France métropolitaine (source : BRGM, Infoterre). 18
Fig. 5 : Les principales étapes de la mine au métal selon leur spécificité en fonction la substance recherchée. 27
Fig. 6 : Cycle de validation du maintien d'une exploitation minière. 47
Fig. 7 : Carte des principales routes de commerce des métaux entre le I^{er} s. av. n. è. et le II^{e} s. de n. è. (source : Rico & Domergue 2016, fig 2). 55
Fig. 8 : Mine d'or antique sur gisement détritique consolidé de Las Médulas (Espagne). Cirque formé par l'exploitation, aujourd'hui recolonisé par la végétation. 66
Fig. 9 : Galerie d'accès à la mine des Atiels (Ariège) partiellement comblée en pied de versant. 67
Fig. 10 : Modélisation de l'activité minière. 76
Fig. 11 : Les apports des différentes disciplines à l'étude des exploitations minières anciennes 85
Fig. 12 : Plan et projection du cheminement du réseau du Goutil Est, obtenus grâce à Visual Topo. 92
Fig. 13 : Prise des mesures du croisement de deux axes de relevé. 94
Fig. 14 : Mine de Rougé. Plans et coupes longitudinales sur axes horizontaux et sections sur axes inclinés. 94
Fig. 15 : Comparaison de la DAO simple et du calage en 3D, vu sous trois angles différents. 95
Fig. 16 : Passage de la représentation de Draftsight (gauche) à celle de Cloud Compare (droite) 96
Fig. 17 : Mise en place des cibles et vérification du contact visuel (cliché B. Cauuet). 98
Fig. 18 : Levé depuis la première station à la sortie du scanner, avant traitement. 98
Fig. 19 : Vue d'ensemble du nuage de points après assemblage, depuis l'extérieur (traitement F. Baleux). 99
Fig. 20 : traitement du nuage de points avec Cloud Compare 100
Fig. 21 : Vues du modèle 3D photogrammétrique d'un secteur du Goutil Est. Traitement B. Cauuet. 102
Fig. 22 : Différents types de comblements de chantiers miniers. 105
Fig. 23 : Les zones structurales des Pyrénées (d'après Munoz *et al.* 2015, fig. 1). 116
Fig. 24: Carte géologique simplifiée du front nord du Massif de l'Arize. 119
Fig. 25 : Reconstitution paléogéographique du Massif de l'Arize (Fournier-Angot, 1983, p. 139) 121
Fig. 26: Sulfures dans la barytine. Gauche : Le Goutil. Droite : Rougé (clichés C. Tămaş). 123
Fig. 27 : Carte physique du Massif de l'Arize et de ses environs. 128

Fig. 28 : Carte de la végétation du Massif de l'Arize et de ses environs. 130
Fig. 29 : Progression du couvert végétal entre 2013 (g) et 1953 (d) entre Castelnau-Durban, Esplas-de-Sérou et La-Bastide-de-Sérou (remonterletemps.ign.fr). 131
Fig. 30 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XVIII^{e} siècle. 133
Fig. 31 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XIX^{e} siècle. 135
Fig. 32 : Les mines de cuivre du district de l'Arize répertoriées à la fin du XX^{e} siècle par les géologues. 136
Fig. 33 : Bilan des connaissances sur le district à cuivre argentifère de l'Arize en 2006. 138
Fig. 34 : Mines du district de l'Arize dont les vieux travaux sont accessibles avant les années 2000. 140
Fig. 35 : Carte des sites archéologiques du district de l'Arize abordés entre 2014 et 2017. . 145
Fig. 36 : Plan de la mine de la Calotte en 1909 (Anonyme 1909). 147
Fig. 37 : Vestiges associés à la mine de La Calotte (Rimont). 148
Fig. 38 : Mobilier de La Calotte : localisation sur le terrain et dessins. 149
Fig. 39 : Le site minier de Douach (Rimont). 151
Fig. 40 : Vue des ouvrages DCH2 (a) DCH3 (b) et DCH6 (c). 152
Fig. 41 : Localisation des vestiges de la mine de Lagarde (La-Bastide-de-Sérou). 153
Fig. 42 : L'affleurement barytique de Lagarde objet de grattages, précédé d'une tranchée. 154
Fig. 43 : Dessin du mobilier de Lagarde. 154
Fig. 44 : Plan des vestiges du secteur du Coffre – Berni (Cadarcet). 155
Fig. 45 : Dessin du mobilier de la mine du Coffre. 156
Fig. 46 : Plan des travaux de Moutou (Cadarcet). 157
Fig. 47 : Vue des vestiges miniers MOU 6 et MOU13. 158
Fig. 48 : Plan des travaux de Gayet (Cadarcet) et vue de la moitié ouest de la fosse (cliché C. Tămaş). 159
Fig. 49 : Restitution topographique de la fosse et vue de la moitié est avec détail de l'affleurement barytique. 160
Fig. 50 : Plan des travaux de Matet (St-Martin-de-Caralp). 161
Fig. 51 : Vue de l'affleurement MAT3 et de la tranchée MAT1. 161
Fig. 52 : Travaux des Atiels (La-Bastide-de-Sérou et Larbont) : plan de localisation général et détail des travaux miniers. 162
Fig. 53 : Les tranchées AT2 (à gauche, vue vers l'est) et AT10 (à droite, vue vers le sud-est). 164
Fig. 54 : Fosses AT5 (à gauche, vue de dessus, vers le NO) et AT3 (à droite, vue vers le nord). 164
Fig. 55 : Galeries récentes AT7 (à gauche, vue vers le sud) et AT9 (à droite, vue vers l'est). 165
Fig. 56 : Plan du réseau AT1. 167
Fig. 57 : Coupes des secteurs modernes du réseau AT1. 168
Fig. 58 : Plan de détail du secteur ancien du réseau AT1. 169
Fig. 59 : Coupes du secteur ancien du réseau AT1. 170

Fig. 60 : Vues des galeries GA3, GA4 et GA5 du réseau AT1. 171
Fig. 61 : Vues des galeries GA1, GA2 et GA6 du réseau AT1. 172
Fig. 62 : Fouille de la galerie GA1, détail de l'US 4. 175
Fig. 63 : Plan des travaux de la Tuilerie (Larbont). 177
Fig. 64 : Tranchée TUI4, vue depuis le nord. 178
Fig. 65 : La fosse TUI1, vue depuis le sud. 178
Fig. 66 : Vues de l'ouvrage TUI3. 179
Fig. 67 : Ouvrage TUI2 : vue depuis le nord et plan. 180
Fig. 68 : Dessin du mobilier de La Tuilerie. 181
Fig. 69 : Localisation des travaux de Rougé (Esplas-de-Sérou). 182
Fig. 70 : Plan de la mine de Rougé. 185
Fig. 71 : Coupes transversales de la mine de Rougé. 186
Fig. 72 : Coupes longitudinales de la mine de Rougé. 187
Fig. 73 : Profils inclinés des travaux à différents niveaux de la mine de Rougé. 188
Fig. 74 : Mine de Rougé : stigmates d'abattage au feu. 189
Fig. 75 : Mine de Rougé : traces d'outil. 190
Fig. 76 : Mine de Rougé : étages avec le mur oriental vertical. 191
Fig. 77 : Mine de Rougé : galerie d'assistance dans le schiste rejoignant les étages -16 à -22, vue vers l'ouest depuis le point O. 192
Fig. 78 : Mine de Rougé : stratigraphie du sondage 1. 196
Fig. 79 : Mine de Rougé : phases du sondage 1. 197
Fig. 80 : Mine de Rougé : sondage 2. 199
Fig. 81 : Mine de Rougé : sondage 3. 201
Fig. 82 : Mine de Rougé : implantation du sondage 4 après dégagement de l'humus. 202
Fig. 83 : Mine de rougé : stratigraphie du sondage 4. 204
Fig. 84 : Mine de Rougé : vues des US du sondage 4. 205
Fig. 85 : Dessin du mobilier de Rougé (d'après Dubois & Guilbaut 1989, fig. 6). 206
Fig. 86 : Datations radiocarbone de la mine de Rougé. 207
Fig. 87 : Mine de Rougé vue en plan : dynamique d'exploitation. 210
Fig. 88 : Proposition de restitution de l'avancement de l'exploitation aux IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. dans la mine de Rougé. 211
Fig. 89 : Localisation de la mine de La Coustalade (Castelnau-Durban). 213
Fig. 90 : Plan du réseau COU1 et localisation des structures géologiques principales. 215
Fig. 91 : Mine de La Coustalade : plan de détail des niveaux supérieurs et coupes des travaux. 217
Fig. 92 : Fosse à la surface de la mine de La Coustalade, vue vers le sud. 218
Fig. 93 : Mine de La Coustalade : vue de la moitié ouest du chantier CA2, à l'étage -6,5, vers le sud. On observe également les veines parallèles au filon nº1 visibles en blanc sur le front de taille et sur le parement est. 219
Fig. 94 : Mine de la Coustalade, localisation et stratigraphie du sondage 1. 221
Fig. 95 : Mine de La Coustalade, localisation et stratigraphie du sondage 2. 223

Fig. 96 : Mine de la Coustalade, sondage 3. 224
Fig. 97 : Mine de la Coustalade, localisation du sondage 4. 226
Fig. 98 : Mine de la Coustalade, stratigraphie du sondage 4. 227
Fig. 99 : Datations radiocarbone de la mine de La Coustalade. 229
Fig. 100 : Étages d'exploitation horizontaux dans la mine de La Coustalade et leur gabarit. 231
Fig. 101 : Dynamique d'exploitation des travaux anciens de La Coustalade. 232
Fig. 102 : Localisation de la mine du Goutil (La-Bastide-de-Sérou et Larbont). 234
Fig. 103 : Vue panoramique des affleurements au sud du réseau souterrain du Goutil Est. 235
Fig. 104 : Plan général du réseau du Goutil Est. 235
Fig. 105 : Dolomie à lamination stromatolithique et fenestrae dans le réseau Est du Goutil. 236
Fig. 106 : Schéma synthétique de la mise en place de la minéralisation dans le Goutil Est. 237
Fig. 107 : Brèche hydraulique et minéralisation dans le réseau Est du Goutil. 238
Fig. 108 : Veines subhorizontales de la dolomie stromatolithique et filon vertical riche en cuivre gris à la couronne. 239
Fig. 109 : Plan de détail de la partie centrale du réseau du Goutil Est. 240
Fig. 110 : Coupes longitudinales dans le réseau du Goutil Est. 241
Fig. 111 : Coupes transversales dans le réseau du Goutil Est. 242
Fig. 112 : Secteurs montrant des reprises dans le Goutil Est. 244
Fig. 113 : Stigmates d'abattage au feu et à l'outil dans le Goutil Est. 245
Fig. 114 : Différents gabarits de chantier dans le réseau du Goutil Est. 246
Fig. 115 : Plan d'ensemble du réseau du Goutil Ouest, d'après Dubois 1996, fig. 2. 248
Fig. 116 : Types de structures minéralisées dans le Goutil Ouest. 249
Fig. 117 : Série géologique complète au nord du Goutil Ouest. 251
Fig. 118 : Le Goutil Ouest : les techniques d'abattage pour les ouvrages de petit gabarit. 252
Fig. 119 : Grand chantier résultant de plusieurs creusements de petit gabarit au nord du Goutil Ouest. 253
Fig. 120 : Le Goutil Ouest : ouvrages de grand gabarit à creusement unique. 254
Fig. 121 : Le Goutil Ouest : encoches de boisage et canal d'exhaure. 255
Fig. 122 : Sondage dans le réseau du Goutil Ouest. 258
Fig. 123 : Datations radiocarbone du Goutil Ouest. 259
Fig. 124 : Sondage de surface nº2, Le Goutil, d'après Dubois & métailié 1992, fig. 18. 260
Fig. 125 : Sondage de surface nº5, Le Goutil, d'après Dubois & métailié 1992, fig. 22. 261
Fig. 126 : Dessin du mobilier remarquable du Goutil. 262
Fig. 127 : Localisation des travaux d'Hautech (Larbont). 263
Fig. 128 : Fosses simples ou doubles à Hautech. 265
Fig. 129 : Chantiers en tranchée du site d'Hautech. 267
Fig. 130 : Chantier incliné HAU16. 268
Fig. 131 : Dépression HAU1 prolongée par une tranchée peu marquée, vue vers le nord. 269
Fig. 132 : Coupe du chantier HAU5 (d'après Dubois 1996, fig. 3). 271
Fig. 133 : Vues du chantier HAU5. 272

Fig. 134 : Le chantier incliné HAU9. 274
Fig. 135 : Vues du chantier HAU9. 275
Fig. 136 : Datations radiocarbone du chantier HAU9. 276
Fig. 137 : Stratigraphie du sondage dans le chantier HAU9. 277
Fig. 138 : Quart de meule de l'US 101, HAU9. 279
Fig. 139 : Localisation des ateliers du district à cuivre argentifère de l'Arize. 280
Fig. 140 : Localisation de l'atelier de Berni et vue du site vers l'ouest. 282
Fig. 141 : Carte magnétique et interprétation hypothétique (traitement des données géophysiques et réalisation de la carte magnétique : A. Diallo, L. Lau-Tai, M. Molinié). 283
Fig. 142 : Vue des sondages 1 et 3 en fin de fouille. 285
Fig. 143 : Mobilier de l'atelier de Berni. 286
Fig. 144 : Spectre de l'analyse par la fluorescence X (M. Lopez). 287
Fig. 145 : Mobilier de l'atelier du Pézègues – Les Atiels. 290
Fig. 146 : Berge du ruisseau lors de la prospection et détail de la structure en argile rubéfiée. 291
Fig. 147 : Le sondage sur l'atelier du Pèzègues (B. Cauuet). 292
Fig. 148 : Cliché MEB des scories 3 (photo A) et 5a (photo B). 295
Fig. 149 : Bassin versant du Pézègues et localisation des coupes pédo-anthracologiques. 297
Fig. 150 : Coupe pédo-anthracologique 1 (jalon : 1 m). 298
Fig. 151 : Coupe pédo-anthracologique de Pézègues-2 (J.-P. Métailié). 299
Fig. 152 : Coupe pédo-anthracologique 2 et blocs massifs immédiatement en amont. 300
Fig. 153 : Antracomasse sécifique par niveau (R. Cunill). 301
Fig. 154 : Localisation des prélèvements de charbons en mine pour identification anthracologique. 306
Fig. 155 : Carte physique du Sud-Ouest de la Gaule. 311
Fig. 156 : Morcellement et aires d'influences dans le Sud-Ouest au premier âge du Fer. 312
Fig. 157 : Sites liés aux échanges entre les VI^{e} et V^{e} s. av. n. è. (d'après Bats 2010, p.103). 316
Fig. 158 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule avec une activité aux IV^{e} ou III^{e} s. av. n. è. 320
Fig. 159 : Mines anciennes du Pays Basque (d'après Parent 2010, Beyrie 2003 et Urteaga 2014). 322
Fig. 160 : Plan des vestiges miniers et métallurgiques de Larla (Beyrie 2003, vol. 2, fig. 27). 323
Fig. 161 : Secteur minier des Hautes-Pyrénées (d'après Girard 2003 et Beyrie *et al.* 2000). 324
Fig. 162 : L'ensemble minier de Palouma (d'après Girard 2006, p. 10). 325
Fig. 163 : Plans des réseaux 235, 330 et 333 de Palouma (d'après Girard 2006, pp. 12 et 22). 326
Fig. 164 : Mines anciennes des Pyrénées Ariégeoises (d'après Dubois & Guilbaut 1986 ; Dubois 1999, 2000 et Cauuet 2001). 328
Fig. 165 : Sites des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. du district à cuivre de l'Arize. 328

Fig. 166 : Plan d'ensemble des vestiges miniers de la haute vallée du Garbet (d'après Dubatik 1981, fig. 2 et Py *et al*. 2013, fig. 23). 329
Fig. 167 : Les mines et ateliers métallurgiques anciens des Corbières (d'après Mantenant 2014 et Rancoule & Solier 1977). 331
Fig. 168 : Mine de La Caunetta 6 (Mantenant 2014, vol. 2, fig. 162 et Mantenant *et al*. 2017, fig. 2). 332
Fig. 169 : Mines et ateliers métallurgiques anciens de la Montagne Noire (d'après Rico 2016 et Mantenant 2014). 334
Fig. 170 : Coupe du chantier du Mourral de la Grave (Mantenant *et al.* 2013, fig. 4 et 7). .. 335
Fig. 171 : Datations des charbons de la mine des Barrencs (Mantenant *et al*. 2013, fig. 12). 337
Fig. 172 : Mines des IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. citées dans le texte. 339
Fig. 173 : Mines à ciel ouvert du Limousin. A : Cros-Gallet nord (Cauuet 1999, fig. 18). B : Le Puy des Angles (Toledo I Mur *et al.* 2005, fig. 8). 340
Fig. 174 : Piliers de roche entre deux étages d'exploitation à Hautech 16 (gauche) et Rougé (droite). 347
Fig. 175 : Négatifs des étages d'exploitation à La Coustalade (gauche), Hautech 5 (centre) et Le Goutil Est (droite). 348
Fig. 176 : Restitution des localisations des peuples préromains du Sud-Ouest, d'après Rico 1997, Barruol 2000 et Gardes 2002. 358
Fig. 177 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule avec une activité aux II^{e} ou I^{er} s. av. n. è. 360
Fig. 178 : Mine de Monhoa : coupe des travaux (Parent 2010, fig. 4). 362
Fig. 179 : Coupe des travaux souterrains de Mehatze étudiés (Parent *et al* 2016, fig. 3) 363
Fig. 180 : L'ensemble minier et métallurgique de Séras – Hourcade (d'après Girard 2006, 25). 365
Fig. 181 : Plan d'ensemble des vestiges de L'argenterie et des Abères (d'après Dubois & Guilbaut 1986, fig. 2). 366
Fig. 182 : a- Le dépilage ancien des Abères ; b- la galerie d'exhaure de l'Argenterie (d'après Dubois & Guilbaut 1986, fig 5 et 6). 367
Fig. 183 : Sites du district à cuivre de l'Arize des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. 368
Fig. 184 : Vestigés liés à l'exploitation sidérurgique de la vallée de la Lentilla (Mut 2001, fig. 1). 369
Fig. 185 : Les mines anciennes des Pyrénées Orientales (d'après Kotarba *et al*. 2007). 371
Fig. 186 : Mine de la Collade de Bernadell, modélisation 3D des travaux (source : capture d'écran à 10:00 – vidéo en ligne https://www.youtube.com/watch?v=_s8B-PhlMzo - RosellsMinerals). 372
Fig. 187 : Exemple de galeries étagées dans la mine de Tistoulet (Mantenant *et al.* 2017, fig. 5). 375
Fig. 188 : Carte détaillée du district sidérurgique de la Montagne Noire (d'après Fabre *et al*. 2016, fig. 236). 378

Fig. 189 : Les ateliers du Grand Ferrier (A) et de Montrouch (B) (d'après Fabre *et al*. 2016, fig : 204 et 31)..... 380
Fig. 190 : Mines de la Gaule des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. citées dans le texte..... 382
Fig. 191 : Synthèse des datations pour les mines du Sud-Ouest attribuées aux II^{e} et I^{er} s. av. n. è..... 385
Fig. 192 : Mines des II^{e} et I^{er} s. av. n. è. du secteur Dourdou-Orb (d'après Léchelon 2011, fig. 9 et 10). 390
Fig. 193 : Coupe schématique de la mine de Bouco-Payrol (Léchelon 2011, fig. 8). 391
Fig. 194 : Marque *GAIUS IIII* dans la mine de Pioch-Farrus IV (Bailly-Maître *et al.* 1984, fig. 10)..... 401
Fig. 195 : Le district à cuivre argentifère de l'Arize dans son contexte entre la fin du II^{e} et le I^{er} s. av. n. è..... 408
Fig. 196 : Enceinte protohistorique de St-Barthélémy (cliché E. Meunier ; relevé Mirouse 2009, fig. 3)..... 409
Fig. 197 : Le district à cuivre argentifère de l'arize entre la fin du II^{e} et le milieu du I^{er} s. av. n. è..... 410
Fig. 198 : Le district à cuivre argentifère de l'arize entre le milieu du I^{er} s. av. n. è. et la période augustéenne. 411
Fig. 199 : Carte des cités augustéennes au nord des Pyrénées (d'après Rico 1997, carte 4).415
Fig. 200 : Secteurs miniers du Sud-Ouest de la Gaule actifs à la période gallo-romaine. 424
Fig. 201 : Vue de la galerie en travers-banc permettant l'accès à la partie inférieure du réseau de Mehatze (Parent *et al.* 2016, photo 1)..... 425
Fig. 202 : Plan du site d'Ursuya (d'après Beyrie 2003, vol. 2, fig. 24). 426
Fig. 203 : Mine antique de Larla (Beyrie 2015, fig. 5). 427
Fig. 204 : Plan d'ensemble des travaux de Banca (Ancel *et al*. 2012, fig. 2). 428
Fig. 205 : Coupe et plan des travaux des Trois Rois à Banca (Ancel *et al.* 2001, fig. 2) 429
Fig. 206 : Les trois types de gabarits de galeries de Banca (d'après Ancel *et al*. 2012, fig. 5)429
Fig. 207 : Mine de Belbio : Localisation des systèmes d'exhaure et profil du système de pompe à chapelet (d'après Ugalde 2010, fig. 15 et 8). 431
Fig. 208 : Plan d'ensemble des vestiges du district sidérurgique des Hautes Baronnies (d'après Beyrie *et al*. 2000, fig. 10 et Fabre *et al*. 2001, fig. 2). 434
Fig. 209 : Localisation des vestiges miniers de Rivèrenert. 436
Fig. 210 : Plan des vestiges miniers et métallurgiques du col de Lercoul (Dubois 2000, fig. 19) 437
Fig. 211 : Plan d'ensemble des vestiges miniers de l'Assaladou (d'après Cauuet & Tămaş 2017, fig. 2). 439
Fig. 212 : Structures minières fouillées sur le plateau de l'Assaladou (d'après Cauuet & Tămaş 2017, figs. 3 et 5). 439
Fig. 213 : Mine de Mas Bourras, plan et coupe des travaux (d'après Munteanu *et al.* 2017, fig. 8)..... 442

Liste des tableaux

Tab. 1 : Liste des principaux minerais exploités aux périodes anciennes. 22
Tab. 2: Provenance des échantillons de minerai et type d'analyses. 125
Tab. 3 : Analyses élémentaires des minerais. Teneurs des éléments principaux. 125
Tab. 4 : Synthèse des analyses de minerai à la microsonde (M. Munoz). LD : Limite de détection à 0,06%. 125
Tab. 5 : Critères de datation des sites anciens inventoriés avant les années 2000. 139
Tab. 6 : Inventaire du mobilier de La Calotte. 150
Tab. 7 : Inventaire du mobilier de Lagarde. 154
Tab. 8 : Inventaire du mobilier du Coffre. 156
Tab. 9 : Inventaire du mobilier de Moutou. 158
Tab. 10 : Inventaire du mobilier de La Tuilerie. 181
Tab. 11 : Inventaire du mobilier de Rougé. 206
Tab. 12 : Inventaire du mobilier de La Coustalade. 228
Tab. 13 : Inventaire synthétique du mobilier du Goutil. 261
Tab. 14 : Inventaire synthétique du mobilier d'Hautech. 279
Tab. 15 : Tableau synthétique des US du site de Berni, hors sondages stériles. 283
Tab. 16 : Inventaire du mobilier de Berni. 284
Tab. 17 : Valeurs des principaux éléments (ppm) mesurés par fluorescence X. 287
Tab. 18 : Amphores du sondage sur l'atelier du Pézègues – Les Atiels (F. Olmer et B. Cauuet). 289
Tab. 19 : Céramique du sondage de l'atelier du Pézègues – Les Atiels (G. Verrier et B. Cauuet). 289
Tab. 20 : Quantification des éléments chimiques majeurs des scories et du minerai des Atiels. 293
Tab. 21 : Compraison des compositions des scories et du fragment de paroi. 294
Tab. 22 : Identifications taxonomiques et datations de la coupe 2 du Pézègues. 303
Tab. 23 : Charbons identifiés en contexte archéologique (d'après Dubois 1996 ; 1992 et Dubois & Métailié 1992). 307
Tab. 24 : Taxons identifiés avant datation 2014-2017. 309
Tab. 25 : Synthèse des modes de gestion des mines du domaine public (d'après Domergue 2008, p. 196). 418

Table des matières

REMERCIEMENTS 3

INTRODUCTION 5

CHAPITRE 1. DES MINES À L'ARCHÉOLOGIE MINIÈRE 11

I. L'EXPLOITATION MINIÈRE : UNE ACTIVITÉ AUX NOMBREUSES IMPLICATIONS 12
I. A. UNE ACTIVITÉ ANCRÉE DANS UN TERRITOIRE 12
I. A. 1. Les contraintes géologiques 12
a. Questions autour de la localisation des ressources 12
b. Des minéralisations à suivre, des stériles à attaquer 19
c. Six métaux recherchés, une multitude de minerais 22
I. A. 2. Les mineurs de l'Antiquité face aux contraintes géologiques : subordination, adaptation, dépassement 25
a. La chaîne opératoire de l'exploitation minière 26
b. L'art de la mine : les critères pour l'évaluer 30
c. Les communautés minières : des spécialistes de l'adaptation 34
I. A. 3. La structuration du territoire minier 38
a. L'emprise au sol : des surfaces occupées sans partage par la mine 38
b. Les schémas de répartition de l'activité : regroupement ou dispersion 40
c. Les grands districts miniers : un territoire voué à la mine 44
I. B. UNE ACTIVITÉ INSÉRÉE DANS UN CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE 47
I. B. 1. Préalables à l'exploitation et intensité de l'activité 47
a. Différents aspects de la demande en métal 48
b. Le seuil de rentabilité : entre valeur du métal et technicité de l'exploitation 49
c. Les conditions d'une exploitation intensive 51
I. B. 2. A l'interface de la société et de l'économie : les réseaux d'échanges 53
a. La mise en évidence des réseaux d'échanges 54
b. Contrôle et gestion des réseaux d'échange 55
c. Le rôle des intermédiaires dans les accès aux réseaux 57
I. B. 3. La mise en valeur sociale de la mine 59
I. B. 4. Maintien de l'activité ou déclin : quelques éléments de compréhension 62
I. C. UNE ACTIVITÉ QUI IMPACTE L'ENVIRONNEMENT 65
I. C. 1. Les impacts visibles à long terme 65
a. Les évidences en creux et en relief, impacts de l'extraction 65
b. Les évidences en relief, impacts de la production 67
I. C. 2. Les impacts visibles à moyen terme 68
I. C. 3. Les impacts invisibles mais néanmoins durables 72
I. D. L'EXPLOITATION MINIÈRE : PROPOSITION DE MODÉLISATION 74
II. L'ARCHÉOLOGIE MINIÈRE : UNE SPÉCIALITÉ À UN CARREFOUR DISCIPLINAIRE 77
II. A. LA LENTE AFFIRMATION D'UNE SPÉCIALITÉ 77
II. A. 1. La construction d'un objet d'étude archéologique 77

II. A. 2. Archéologie(s) minière(s) actuelle(s) 85
a. Moyens et temps : adaptation nécessaire des stratégies de fouille 85
b. Collaborations multiples autour de l'archéologie minière 87
II. B. DES MÉTHODOLOGIES SPÉCIFIQUES 91
II. B. 1. Comprendre l'espace souterrain 91
a. Rendre le volume 91
b. Restituer les dynamiques d'exploitation 102
II. B. 2. Dater les mines : ouvertures, phases d'exploitation, abandons 104
II. B. 3. Quantifier la production 107
II. B. 4. Évaluer l'impact de la mine sur son environnement 108
II. C. L'ÉVOLUTION RÉCENTE DES PROBLÉMATIQUES 112

CHAPITRE 2. LE DISTRICT À CUIVRE ARGENTIFÈRE DU MASSIF DE L'ARIZE 115

I. GÉOLOGIE ET GÉOGRAPHIE DE LA ZONE D'ÉTUDE 116
I. A. LE MASSIF DE L'ARIZE : UNE PETITE PARCELLE DES PYRÉNÉES 116
I. A. 1. Structure de la chaîne Pyrénéenne 116
I. A. 2. La nature des terrains pyrénéens et leur métallogénie 117
I. A. 3. Structure du front nord du Massif de l'Arize 119
I. B. LES MINÉRALISATIONS DU FRONT NORD DU MASSIF DE L'ARIZE 122
I. B. 1. Le polymétallisme à l'échelle du secteur 122
I. B. 2. Le polymétallisme des minéralisations exploitées par les Anciens : Ba, Cu, Pb, Ag (Sb, As, Fe, Ni) 124
I. C. UNE GÉOGRAPHIE DE PIÉMONT 127
II. LES RECHERCHES ANTÉRIEURES AUX ANNÉES 2000 132
II. A. LES MINES AVANT L'ARCHÉOLOGIE MINIÈRE 132
II. B. LES PREMIÈRES CARACTÉRISATIONS ARCHÉOLOGIQUES DE L'EXPLOITATION 137
III. LES DONNÉES RENOUVELÉES 144
III. A. LES RÉSEAUX ANCIENS INACCESSIBLES 146
III. A. 1. Mine de La Calotte (Rimont) 146
III. A. 2. Mines de Douach (Rimont) 150
III. A. 3. Mine de Lagarde (La-Bastide-de-Sérou) 152
III. A. 4. Mine du Coffre (Cadarcet) 154
III. A. 5. Mine de Moutou (Cadarcet) 157
III. A. 6. Mine de Gayet (Cadarcet) 159
III. A. 7. Mine de Matet (St-Martin-de-Caralp) 160
III. B. LES RÉSEAUX ANCIENS ACCESSIBLES SUR UN PETIT PÉRIMÈTRE 162
III. B. 1. Mine des Atiels (La-Bastide-de-Sérou et Larbont) 162
a. Les travaux sans accès au souterrain 163
b. Le réseau souterrain AT1 165
c. Sondage et chronologie des travaux 173
d. Conclusions 176
III. B. 2. Mine de la Tuilerie (Larbont) 176
a. Les ouvrages de surface 177
b. La portion de réseau ancien TUI2 179

c. Chronologie des travaux 180
III. C. Mines anciennes bien préservées 182
III. C. 1. Mine de Rougé (Esplas-de-Sérou) 182
a. Description des travaux 183
b. Les sondages 192
c. Chronologie et dynamique d'exploitation 206
III. C. 2. Mine de la Coustalade (Castelnau-Durban) 212
a. Description des travaux 214
b. Les sondages 220
c. Chronologie et dynamique d'exploitation 228
III. C. 3. Mine du Goutil (La-Bastide-de-Sérou et Larbont) 233
a. Le réseau Est 234
b. Le réseau Ouest 247
c. Les données de surface 259
III. C. 4. Mine d'Hautech (Larbont) 263
a. Présentation d'ensemble des travaux 264
b. Le chantier vertical HAU5 270
c. Le chantier incliné HAU9 273
III. D. Chaîne opératoire de la métallurgie primaire : quelques données 280
III. D. 1. L'atelier de Berni 281
III. D. 2. L'atelier des Atiels – berge du Pézègues 288
IV. Exploitation minière et environnement : quelques données 297
IV. A. Pédo-anthracologie dans le bassin versant du Pézègues 297
IV. B. Identification de charbons liés à l'exploitation minière 306

CHAPITRE 3. DU MASSIF DE L'ARIZE AU SUD-OUEST DE LA GAULE 311

I. Les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. : une période méconnue 313
I. A. Des dynamiques régionales endogènes nourries d'influences multiples 313
I. A. 1. Culture matérielle et réseaux d'échanges 313
I. A. 2. Occupation du territoire et habitats 315
I. A. 3. Les premiers monnayages : l'adaptation d'un modèle 318
I. B. Dans les mines : une phase cachée mise en lumière par le ^{14}C 320
I. B. 1. Les mines du Sud-Ouest aux IV^{e} et III^{e} s. av. n. è. 321
a. Le Pays Basque 321
b. Les Pyrénées Centrales 323
c. Les Pyrénées Ariégeoises 327
d. Les Corbières 330
e. La Montagne Noire 333
I. B. 2. Techniques et organisation des exploitations 338
a. Types de chantiers et connaissances géologiques des mineurs 339
b. Mode d'abattage 342
c. Soutènement et ouvrages d'assistance 343
d. Ergonomie des travaux 344
e. Organisation de l'exploitation 345

f. Conclusions 347
I. C. En filigrane : éléments de portraits des communautés minières 349
II. Les II^e et I^er s. av. n. è. : la multiplication des données 353
II. A. L'avancée progressive de Rome 353
II. A. 1. Le saut quantitatif dans les échanges avec la Méditerranée 353
II. A. 2. Une double dynamique indigène et italienne 355
II. A. 3. Structure du territoire et entités politiques 357
II. B. Une activité minière à réévaluer 360
II. B. 1. Les mines du Sud-Ouest aux II^e et I^er s. av. n. è. 361
a. Le Pays Basque 361
b. Les Pyrénées Centrales 364
c. Les Pyrénées Ariégeoises 365
d. Les Pyrénées Orientales 368
e. Les Corbières 374
f. La Montagne Noire 377
II. B. 2. Éléments de caractérisation de l'activité minière des II^e et I^er s. av. n. è. 381
a. Chronologie et intensité de l'activité 382
b. Des techniques peu caractéristiques 388
II. C. Mines gauloises, mines romaines : la question du contrôle d'une ressource stratégique 395
II. C. 1. Quelques jalons historiques 395
II. C. 2. Les cas avérés de prise en main italienne de l'exploitation 399
II. C. 3. Les arguments en faveur d'un maintien dans l'orbite gauloise 404
II. C. 4. Le cas du district à cuivre argentifère du Massif de l'Arize 407
III. Sous l'Empire romain : des facettes multiples 415
III. A. Conséquences de la domination romaine sur l'exploitation minière 416
III. A. 1. L'administration romaine : nouvelles possibilités, nouvelles limites 416
III. A. 2. Le dépassement de l'échelle régionale 421
III. B. Les mines du Sud-Ouest après Auguste 424
III. B. 1. Les mines gallo-romaines du Sud-Ouest 424
a. Le Pays Basque 424
b. Les Pyrénées Centrales 433
c. Les Pyrénées Ariégeoises 436
d. Les Pyrénées Orientales 441
e. Les Corbières 443
f. La Montagne Noire 443
III. B. 2. Entre renouvellement et continuité dans les techniques d'extraction 445
III. C. Les mines post-augustéennes : des réalités plurielles 449

CONCLUSION 455

ANNEXE 1 : ÉCHELLE DES TEMPS GÉOLOGIQUES 463

ANNEXE 2 : SYNTHÈSE MÉTALLOGÉNIQUE DU GOUTIL 465

ANNEXE 3 : ANALYSES DES DÉCHETS MÉTALLURGIQUES DE L'ATELIER DES ATIELS – BERGE DU PÉZÈGUES..... 467

GLOSSAIRE 476

BIBLIOGRAPHIE 478

TABLE DES FIGURES 517

LISTE DES TABLEAUX 525

Résumé

L'archéologie minière, dans un dialogue interdisciplinaire constant avec les sciences de la Terre et de l'Environnement, vise à caractériser les différents aspects des exploitations minières en les replaçant dans leur contexte chronologique. Cette thèse, centrée sur l'étude du district pyrénéen à cuivre argentifère du Massif de l'Arize, cherche à éclairer les contextes environnementaux, techniques et socio-économiques de son exploitation par le prisme de l'archéologie minière, associée à des démarches pédo-anthracologique et géologique qui sont restées au stade exploratoire mais ouvrent sur des perspectives variées.

Le travail de terrain effectué dans le cadre de ces recherches a conduit à identifier trois phases d'activité anciennes sur le district de l'Arize. La première, entre les IV^{e} et III^{e} s. av. n. è., apporte des données inédites sur une période largement méconnue dans la région. La seconde, entre la fin du II^{e} s. av. n. è. et la période augustéenne, permet de réfléchir aux modalités et aux rythmes de l'intégration de ce district dans la province de Transalpine. La troisième, au XIV^{e} siècle, relève d'un contexte historique totalement différent et conduit à s'interroger sur les raisons de l'interruption de l'exploitation après la période augustéenne. La prise en compte des autres mines connues et étudiées dans le Sud-Ouest de la Gaule permet d'identifier les spécificités ou les points communs entre le district de l'Arize et les sites d'exploitation régionaux, du second âge du Fer au Haut-Empire. Des comparaisons avec d'autres districts bien caractérisés dans le reste de la Gaule ou la péninsule Ibérique contribuent à déterminer quelles dynamiques locales, régionales ou encore européennes sont à l'œuvre dans l'évolution des exploitations minières du Sud-Ouest de la Gaule dans l'Antiquité.

Abstract

Mining archaeology, in a continual dialogue with Earth and Environment Sciences, aims to define the different aspects of mining exploitations, replacing them within their chronological context. This work, focussed on the study of the Pyrenean district for argentiferous copper of the Arize Mountains, attempts to shed light on the environmental, technical and socio-economical contexts of this activity, through the prism of mining archaeology, associated with pedo-anthracological and geological approaches. These approaches remained on an exploratory level but open on very diverse prospects.

The field work carried out as part of these investigations led to indentify three stages of ancient activity in the Arize district. The first one, between the 4th and 3rd century BC, brings new data about a widely unknown period in the region. The second one, between the end of the 2nd century BC and the reign of Augustus, allows thinking about the modalities and rhythms of the integration of this district in the Transalpine Gaul. The third one, in the 14th century, comes under a completely different historical context and leads to question the reasons of the interruption of mining after the reign of Augustus. Taking into account the other mines known and studied in the south-West of Gaul allows us to identify the special features or the similarities between the Arize district and regional mines, from the second Iron Age to the High Roman Empire. Some comparisons with other districts well characterised in Gaul or Iberian Peninsula contribute to determine the local, regional or European dynamics acting in the evolution of mining activity in the South-West of Gaul during Antiquity.