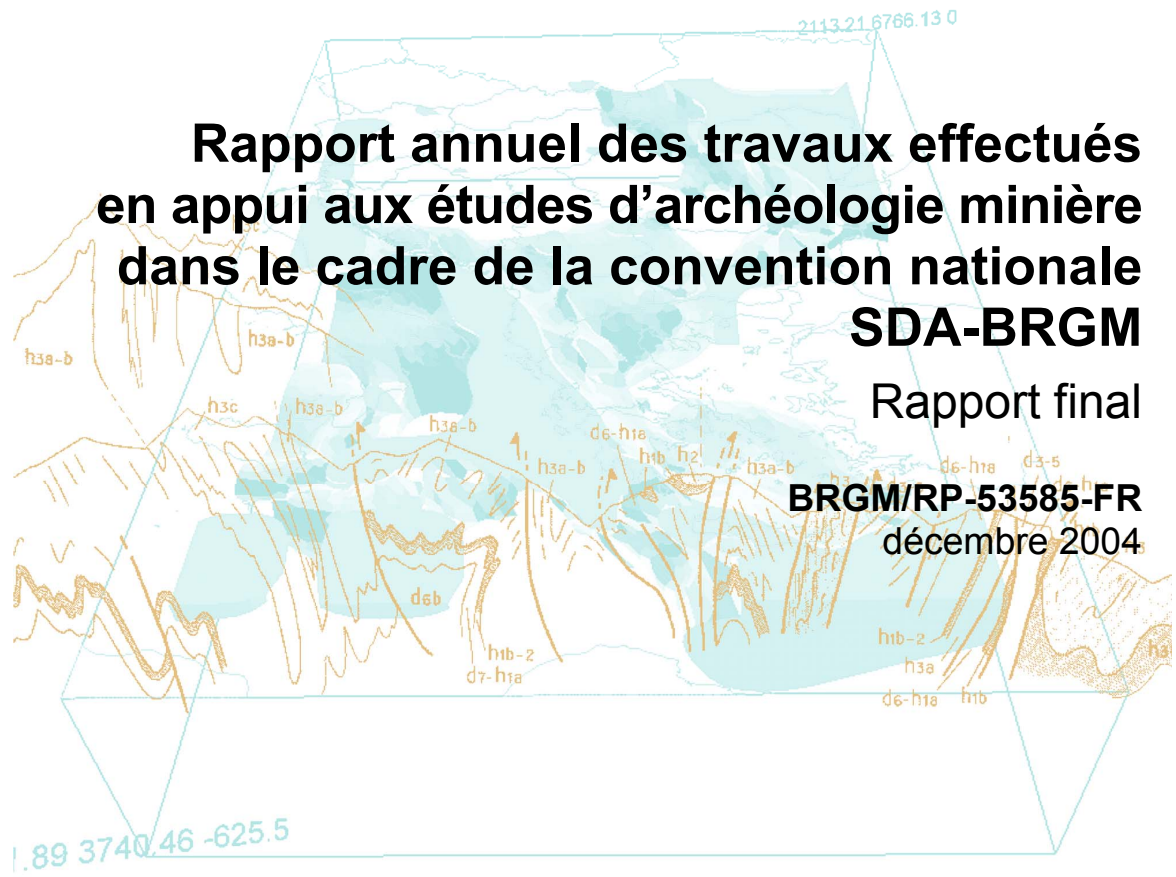


Document public



**Rapport annuel des travaux effectués  
en appui aux études d'archéologie minière  
dans le cadre de la convention nationale  
SDA-BRGM  
Rapport final  
BRGM/RP-53585-FR  
décembre 2004**





**Rapport annuel des travaux effectués  
en appui aux études d'archéologie minière  
dans le cadre de la convention nationale  
SDA-BRGM**  
Rapport final

**BRGM/RP-53585-FR**  
décembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 2004 DEPC 04

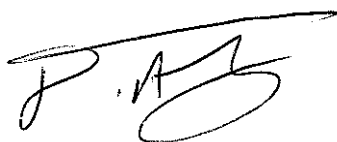
**J. Féraud, J.L. Lescuyer, P. Marteau, M. Urvois**

**Vérificateur :**

Nom : D. ARTIGNAN

Date : 22/02/05

Signature :




**Approbateur :**

Nom : B. LAMOUILLE

Date : 22/02/05

Signature :



**Mots clés :** Mine, Fer, Plomb, Argent, Cuivre, Champagne-Ardenne, Haute-Marne, Hautes-Alpes, Alpes, Aménagement du territoire, Concession minière, Culture, Patrimoine géologique, Patrimoine Archéologique, Patrimoine Minéralogique, Fouille archéologique, Histoire, Géologie, Gîte hydrothermal, Gîte karstique, Gîte sédimentaire, Métallogénie, Minéralogie, Gîtologie, Tectonique alpine, Métamorphisme alpin, Géochimie, Inventaire minier, Carte géologique, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Féraud J., Lescuyer J.L., Marteau P., Urvois M.** (2004) – Rapport annuel des travaux effectués en appui aux études d'archéologie minière dans le cadre de la convention nationale SDA-BRGM. BRGM/RP-53585-FR, 52 p., 8 fig., 2 tabl., 15 photos.

## Synthèse

Le ministère de la Culture et de la Communication (Direction de l'Architecture et du Patrimoine ou DAPA, Sous-Direction de l'Archéologie désignée ci-après par SDA) et le BRGM ont signé le 31 décembre 1999 une convention cadre d'appui scientifique et technique du BRGM auprès de la SDA pour la connaissance du sous-sol et les études d'archéologie. Cette convention était prévue pour trois exercices.

Dans le cadre de cette convention, trois conventions d'application ont été successivement signées. Elles ont fixé les modalités d'application et le programme du BRGM pour l'année 2000, l'année 2001 (dont la réalisation s'est prolongée sur 2002) puis l'année 2003. A chaque début d'exercice, le programme a été arrêté par un comité de pilotage national présidé par la SDA. Le financement des travaux a été couvert à égalité par les deux parties, à savoir 50 % par la dotation de Service public du BRGM et 50 % par le chapitre 66 20 article 50 du Budget.

Le présent rapport rend compte des résultats de la dernière convention d'application (convention d'application 2003), qui a été signée le 26 janvier 2004 et qui a été prorogée jusqu'au 24 décembre 2004 par un avenant signé le 27 septembre 2004.

Les trois modules programmés ont été menés à leur terme prévu :

- Le premier module a été lancé à la demande du SRA de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Les travaux réalisés en collaboration avec le SRA et avec les archéologues du CCSTI de l'Argentière-la-Bessée ont permis de mettre au net de nouveaux résultats scientifiques très pertinents sur cette mine de plomb argentifère exemplaire du phénomène géologique que les spécialistes appellent « la métallogénie alpine ». La mise en place syntectonique alpine du gisement est confirmée. Elle est mise en scène par des coupes précises en 3 dimensions, qui peuvent être utilisées par les archéologues du CCSTI pour leur scénographie.

A bien des égards, cette « mine-musée » en perpétuelle « ébullition de découvertes » apparaît donc désormais aussi remarquable au point de vue géologique qu'elle l'était déjà au point de vue archéologique. Ce site ressort donc encore plus comme un point de mire pour les chercheurs comme pour les scolaires, les touristes et le grand public.

La publication scientifique de ces résultats conjointement par les géologues et les archéologues dans un magazine géologique d'audience internationale est vivement recommandée.

- Le second module a été lancé à la demande du SRA de la région Champagne-Ardenne. Les travaux réalisés en collaboration avec le SRA et avec les archéologues du PCR « Mines et minerais de fer de Haute-Marne » ont apporté une moisson de découvertes inédites sur l'ancienne mine de Poissons. Au sein du

district minier qui concentre le plus grand nombre d'établissements sidérurgiques de l'histoire de France sur 2 000 ans, cette mine apparaît d'autant plus emblématique.

Ces découvertes en soi très instructives au plan académique sont rehaussées par celles de la vaste campagne de fouilles en cours par les archéologues. La pertinence des observations à toutes échelles et les techniques modernes de laboratoire mises en œuvre ont mis ce très ancien district minier jusqu'alors méconnu au rang des sites miniers français les mieux documentés et ceci de façon pluridisciplinaire. La Haute-Marne se classe donc désormais parmi les régions phares de l'archéologie minière française, notamment en ce qui concerne le fer. Une poursuite des études géologiques est recommandée, notamment en perspective des itinéraires de découverte pédagogiques et touristiques qui sont en projet pour valoriser le patrimoine de la région.

- Enfin, le troisième module avait été initié à la demande de la SDA (et de l'ensemble des SRA membres du comité de pilotage de la convention) à la fin de la convention d'application antérieure. Son financement et sa réalisation ont été achevés dans le cadre de la convention 2003. Ce module a consisté en l'acquisition par la SDA auprès du BRGM, des droits d'utilisation de la carte géologique numérique de la France à 1/50 000 (image scannée géoréférencée). Au total, 29 services de la SDA ont été pourvus.

Le produit consiste en cartes scannées, mosaïquées et livrées en dalles jointives de 10 x 10 km avec les légendes scannées correspondantes. Chaque destinataire a reçu les données numériques couvrant sa région administrative sous la forme d'un cédérom. Les conditions d'utilisation ont fait l'objet d'un contrat de licence d'utilisation de type « Réseau-multiposte » établi entre le BRGM et la SDA. Il a été transmis à chaque destinataire des cartes numériques.

Les objectifs des trois modules et notamment ceux des deux études géologiques de terrain sont à souligner. Il ne s'est pas agi seulement d'un travail de recherche académique, mais véritablement d'une étude de Service public dans l'esprit de la collaboration jusqu'ici réalisée entre le BRGM et les archéologues, comme une publication de X. Guthertz et H. Barge en 1998 l'a souligné à propos de « l'opération pilote PACA ». Elle a démontré toute l'utilité de faire contribuer les Sciences de la Terre à une étude pluridisciplinaire d'archéologie, dans une triple perspective :

- de réaménagement du territoire ;
- de développement économique et touristique ;
- de valorisation, auprès du public, de son histoire et de son patrimoine scientifique et culturel.

## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	9
1.1. LE CADRE ADMINISTRATIF ET CONTRACTUEL .....	9
1.2. COMPOSITION DU COMITÉ DE PILOTAGE DE LA CONVENTION .....	10
1.3. CONTENU ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE LA CONVENTION 2003 .....	12
<b>2. Le module d'appui au SRA de PACA : « la mine de l'Argentière-la-Bessée »</b> .....	13
2.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'INTERVENTION .....	13
2.1.1. Un travail de cadrage et d'études détaillées (BRGM) .....	13
2.1.2. Un travail de levés détaillés au jour et en mine (université de Grenoble) .....	13
2.2. TRAVAUX RÉALISÉS ET MOYENS MIS EN OEUVRE .....	14
2.3. RÉSULTATS .....	16
2.3.1. Précisions sur le type de gisement .....	17
2.3.2. Représentation en 3-D du cadre géologique et de son évolution .....	19
2.4. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS .....	24
<b>3. Le module d'appui au SRA de Champagne-Ardenne : « minières de fer de Poissons »</b> .....	27
3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'INTERVENTION .....	27
3.2. TRAVAUX RÉALISÉS ET MOYENS MIS EN OEUVRE .....	28
3.2.1. Travaux réalisés .....	28
3.2.2. Moyens mis en œuvre .....	29
3.3. RÉSULTATS .....	29

3.3.1. Géologie et géomorphologie des sites de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance .....	29
3.3.2. Caractérisation des minerais.....	35
3.3.3. Synthèse géologique et proposition d'un modèle de genèse du gisement.....	42
3.4. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS.....	46
3.4.1. Conclusion .....	46
3.4.2. Recommandations .....	47
<b>4. Module « acquisition des droits d'utilisation de la carte géologique de la France image géoréférencée à 1/50 000 » .....</b>	<b>49</b>
4.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	49
4.2. DISPOSITIONS TECHNIQUES .....	49
4.3. CONCLUSION.....	50
<b>5. Conclusions générales .....</b>	<b>51</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Carte géologique simplifiée du vallon du Fournel, dressée sur le fond topographique de B. Ancel pour le réseau souterrain. ....	15
Figure 2 - Vue vers le nord de la nappe briançonnaise de Champcella et des principaux travaux miniers.....	16
Figure 3 - Coupe géologique passant par les travaux du Fournel - Gorgeat et de Saint-Roch (cf. localisation sur la fig. 1) illustrant les principales observations structurales réalisées.....	17
Figure 4 - Coupe schématique du secteur de la Pinée.....	22
Figure 5 - Bloc diagramme des travaux miniers du Fournel (L'argentière-la-Bessée). ....	25
Figure 6 - Spectre EDS n° 2 . Echantillon HM 4. Analyse globale des anneaux concentriques sombres.....	38
Figure 7 - Spectre EDS n° 3 . Echantillon HM 4. Analyse globale des anneaux concentriques clairs. ....	38
Figure 8 - Schéma de mise en place des gîtes ferrifères de Poissons.....	44

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Bilan global des 3 conventions d'application de la convention cadre du 31.12.1999. ....	11
Tableau 2 - Composition chimique des échantillons de minerais de fer de Haute-Marne étudiés. ....	40

## Listes des photos

Photo 1 - Quartzites du Trias inférieur en bancs redressés et ployés, en rive droite du Fournel (face aux vieux travaux du Gorgeat) avec fracture minéralisée en galène. ....	16
Photo 2 - Minéralisation siliceuse à traînées de galène à la base d'un défilage au contact schistes/quartzites (vieux travaux, salle du Chaos) ; les critères de cisaillement indiquent une direction de chevauchement vers N260°E. ....	18
Photo 3 - Minéralisation déformée à galène et barytine intra-quartzites (travaux nord, montage 1905) ; sens de cisaillement apparent vers l'WNW (fortement oblique par rapport au plan de coupe). ....	18
Photo 4 - Contact chevauchant entre microconglomérats à passées de grès argileux schistosés (faciès de transition entre les conglomérats à galets rhyolitiques du Verrucano et les quartzites triasiques) et quartzites ; branche du toit des travaux de Saint-Roch. ....	20
Photo 5 - Redoublement par faille inverse de la « couche » minéralisée (vieux travaux, chantier du bas) ; noter le stockwerk de quartz synchrone du jeu inverse et la faille normale tardive (coin supérieur gauche). ....	21
Photo 6 - Stockwerk de minerais riche en galène bréchifiant les quartzites silicifiés (salle des Machines) ; noter la faille subméridienne qui effondre la « couche » de plusieurs mètres côté ouest. ....	22
Photo 7 - Stockwerk évoluant en brèche hydrothermale, cimentée par galène puis barytine (env. 1 m de hauteur, La Pinée, cf. loc. sur fig. 4). ....	23
Photo 8 - Intensification de la bréchification hydrothermale au voisinage d'un plan de chevauchement (Saint-Roch, galerie des Romains). ....	23
Photo 9 - HM1 : contrôle morphoscopique des grains de quartz au MEB. ....	36
Photo 10 - HM1 : remplissage ferrugineux cimentant les grains de quartz. ....	37
Photo 11 - Examen pétrographique de l'échantillon HM 4 au microscope optique. ....	37
Photo 12 - HM4 : relique de structure oolithique visible dans une plage à Fe>>> O, εSi, Al, P. ....	38
Photo 13 - HM4 : reliques d'argilanes ferruginisés à texture microgrenue. ....	39
Photo 14 - Pétrographie échantillon POI 6. ....	39
Photo 15 - Echantillon POI 6 : image d'une structure pisolitique. ....	40



# 1. Introduction

## 1.1. LE CADRE ADMINISTRATIF ET CONTRACTUEL

Depuis 1997, le BRGM développe, dans le cadre de son activité de Service public, des collaborations scientifiques et techniques tant avec les services centraux qu'avec plusieurs services régionaux du ministère de la Culture et de la Communication, sur le thème de l'archéologie. Leur point de départ a été la gestion des priorités à la fois patrimoniales et sécuritaires lors des études de concessions minières orphelines que le BRGM effectue pour le compte du Secrétariat d'État à l'Industrie.

Afin d'étendre le champ des collaborations possibles bien au-delà du domaine restreint des 168 concessions minières orphelines recensées en métropole, a été signée le 31 décembre 1999, entre le ministère de la Culture et de la Communication (Direction de l'Architecture et du Patrimoine ou DAPA, Sous-Direction de l'Archéologie désignée ci-après par SDA) et le BRGM, une convention cadre d'appui scientifique et technique du BRGM auprès de la SDA pour la connaissance du sous-sol et les études d'archéologie.

Cette convention cadre prévoyait qu'une convention d'application annuelle fixe ses modalités d'application et son programme détaillé. Ce dernier était arrêté par un comité de pilotage national présidé par la SDA. Il appartenait aux différents chefs des Services Régionaux de l'Archéologie de faire remonter leurs besoins à la SDA. En parallèle, les différents directeurs des Services Géologiques Régionaux (SGR) du BRGM faisaient remonter ces demandes régionales à leur propre hiérarchie.

Dans le cadre de cette convention, trois conventions d'application ont été signées successivement pour l'année 2000, l'année 2001 (dont la réalisation s'est prolongée sur 2002 et début 2003) puis l'année 2003 (dont la réalisation s'est effectuée en 2004). A chaque exercice, le programme a été arrêté par le comité de pilotage national présidé par la SDA.

L'ensemble des résultats des trois conventions d'application est résumé dans le tableau 1 qui présente les dates de signature, le contenu des travaux réalisés et les références de leurs livrables.

Le présent rapport rend compte en détail des résultats de la dernière convention d'application (convention d'application 2003), qui a été signée le 26 janvier 2004 et qui a été prorogée jusqu'au 24 décembre 2004 par un avenant signé le 27 septembre 2004.

Les travaux de cette convention d'application sont ainsi achevés, et la convention cadre de même. Des discussions sont en cours pour formaliser un nouveau cadre de collaboration

## 1.2. COMPOSITION DU COMITÉ DE PILOTAGE DE LA CONVENTION

- Président : le chef du Bureau de l'Archéologie Préventive et de la Méthodologie à la SDA (M. Jacques Philippon puis, après sa mutation à Lille, son successeur M. Gilles Pellissier).
- Vice-Président : M. Pascal Berteaud, directeur du Service Public du BRGM (ou son représentant M. Patrick Scherr), puis son successeur M. Loïc Beroud.
- M. Philippe Grenier de Monner, adjoint au Sous-Directeur de l'Archéologie.
- M. Xavier Delestre, chef du Service Régional de l'Archéologie (SRA) d'Aix, Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) de PACA, désigné comme représentant au Comité de pilotage de l'ensemble des diverses DRAC en raison de sa fonction de directeur de la Conférence des Conservateurs Régionaux de l'Archéologie.
- les SRA des régions étant ou ayant été demandeurs d'un module d'étude lors des diverses conventions d'applications : Stéphanie Jacquemot (Lorraine), Robert Neiss (Champagne-Ardenne), François Baratin (Poitou-Charentes), François Dumoulin (Rhône-Alpes) etc.
- Mme Hélène Barge-Mahieu, Chargée de Mission nationale « concessions minières orphelines » auprès de la SDA, affectée au SRA de la DRAC de PACA.
- M. Jacques Tarrête (inspecteur à la SDA).
- Un ou deux autres responsables choisis <sup>1</sup> par la SDA pour leur compétence.
- M. Michel Villey directeur national de l'ensemble des Services Géologiques Régionaux du BRGM, ou son représentant.
- Jean Féraud, chef de projet de l'opération de Service public BRGM correspondante (fiches programmes successives n° 01DEP417, 02DEP417, PSP03REM18 puis PSP04REM20), également chargé du suivi de la convention cadre au BRGM, puis son successeur dans cette seconde fonction Michel Messin.

---

<sup>1</sup> Jean-Pierre Daugas en faisait partie jusqu'à son départ de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (SRA) de Lyon.

DATE	ACTES CONTRACTUELS	Contenu détaillé des programmes réalisés	Documents correspondants délivrés à la SDA
31.12.1999	Signature de la convention cadre (pour trois ans)		
31.12.1999	Signature de la convention d'application 2000 :  Elle a concerné le National, le SRA de Languedoc-Roussillon, le SRA de Rhône-Alpes et le SRA de Midi-Pyrénées	Trois prestations au programme :  1. Stage (dans d'anciennes mines du Languedoc) de formation des archéologues à la sécurité et à la réglementation des mines anciennes. 2. Étude géologique et structurale de l'ancienne mine de plomb argentifère du Pontet en Rhône-Alpes. 3. Étude bibliographique des anciennes mines de plomb-zinc de Sentein et Bulard (Ariège), du point de vue géologie, minéralogie, et histoire de la métallurgie.	1. Support du stage tenu du 26 au 29 septembre 2000 à Cabrières, Clermont-l'Hérault et le Pradal (Hérault), document BRGM sans numéro, septembre 2000, 200 p + annexes. 2. Feybesse J.L., Etude géologique et structurale de l'ancienne mine de plomb argentifère du Pontet en Rhône-Alpes. Rapport BRGM n° RP-50633, décembre 2000 (74 p. + ann.). 3. Carquet A., Féraud J., Etude bibliographique de l'ancienne mine de plomb-zinc de Sentein en Midi-Pyrénées. Rapport BRGM n° RP-50917, mai 2001 (119 p. + ann.). 4. Féraud J., Compte rendu global et bilan de la convention d'application 2000. Note BRGM n° BRGM/MSP du 25 mai 2001 (19 p.), adressée à : Ministère de la Culture, DAPA/SDA à l'attention de M. J. Philippon.
31.05.2001	Signature de la conv. d'application 2001 : Elle a comporté 7 modules :  1. Deux travaux de caractère national. 2. Une étude détaillée pour le SRA de Champagne-Ardenne. 3. La mise au point d'un programme d'études et la réalisation de travaux d'orientation sur le terrain concernant le SRA la région Poitou-Charente. 4. Trois avants-projets d'études en liaison avec les SRA de Rhône-Alpes, Lorraine, PACA.	1. Conseils pour une étude d'archéologie prédictive + la réalisation de 3 publications de rang A pour valoriser les résultats antérieurs. 2. Réalisation d'une base de données bibliographiques sur les minières de fer de la Haute-Marne. 3. Mise au point d'un programme détaillé sur les mines d'argent des Rois Francs à Melle, avec le SRA et les archéologues du CNRS et de l'université Paris 1. 4. Étude de faisabilité d'une prospection géochimique de vestiges miniers en région Rhône-Alpes ; idem en région Lorraine ; préparation d'un programme sur les mines de cuivre orphelines de PACA.	- Thibaut P.M., Inventaire des minières de fer de la Haute-Marne. Rapport BRGM n° RP51372 (28 p. ill.), décembre 2001. - Féraud J., Rapport annuel des travaux effectués en appui aux études d'archéologie minière dans le cadre de la convention nationale SDA-BRGM. Rapport BRGM n° RP-51644, mai 2002 (104 p. ill.) comportant en annexe la copie intégrale des bons à tirer des trois publications remis aux imprimeurs. - L'envoi des cédéroms de la carte géologique image géoréférencée à 1/50 000 a été retardé dans l'attente de la signature de la convention sur les droits d'utilisation (et de la réunion de l'ensemble du financement). Mais cette étape ayant été franchie en automne 2004, ils ont été dûment livrés. - Beroud L., Convention d'application de la (...), état justificatif des dépenses (...), rapport final de l'ensemble des prestations du BRGM réalisées. Note BRGM/Direction du Service Public n° DSP03.280 du 24 octobre 2003, convention cadre d'appui du BRGM auprès de la SDA, proposition d'une convention d'application 2003. Adressée à « M. Jean-François Texier, Sous-Directeur de l'Archéologie/DAPA, Ministère de la Culture, affaire suivie par M. J. Pelissier ».
10.07.2002 31.01.2003	Cinq de ces sept modules rencontrant des difficultés de réalisation, le comité de pilotage décide (07.2002) de ne pas les poursuivre et (01.2003) d'utiliser le reliquat des crédits ainsi disponible pour l'acquisition par la SDA auprès du BRGM des droits d'utilisation de la carte géologique de la France image géoréférencée à 1/50 000.		
26.01.2004	Signature de la conv. d'application 2003 : Elle a comporté une étude pour le SRA de PACA. Une autre pour le SRA de Champagne-Ardenne. Et l'acquisition par la SDA de la licence d'utilisation de la carte géologique de la France image géoréférencée à 1/50 000. Signature par la SDA et le BRGM du contrat de licence d'utilisation.	Etude géologique de l'ancienne mine d'argent du Fournel en appui au programme archéologique du CCSTI de l'Argentière-la-Bessée.  Etude géologique des anciennes mines de fer de Poissons (Haute-Marne) en appui aux travaux du PCR-CNRS Mines et minerais de fer de Haute-Marne.  Transmission des fichiers de la carte géologique numérique aux 29 destinataires : la SDA, les 25 SRA concernés, le CNAU, le CNP et la DRASSM.	- Marteau P., avec la collaboration de Alcoser F., Jézéquel P., Simon F. (2004) – Contexte géologique et gîtologique des minières de fer de la région de Poissons (Haute-Marne). Relations avec l'historique de leur exploitation. Rapport BRGM/RP-53425-FR. - Les cédéroms de la carte géologique de la France image géoréférencée à 1/50 000 et le contrat de licence. - Le présent rapport : Féraud J., Lescuyer J.-L., Marteau P., Urvois M. (2004) – Rapport annuel des travaux effectués en appui aux études d'archéologie minière dans le cadre de la convention nationale SDA-BRGM. Rapport BRGM RP-53585-FR, remis à la SDA.

Tableau 1 - Bilan global des 3 conventions d'application de la convention cadre du 31.12.1999.

### 1.3. CONTENU ET OBJECTIFS DU PROGRAMME DE LA CONVENTION 2003

Le programme de la convention 2003 a comporté (tabl. 1) trois modules de travaux :

- en collaboration et à la demande du SRA de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une étude géologique de l'ancienne mine d'argent du Fournel en appui au programme archéologique du CCSTI de l'Argentière-la-Bessée ;
- en collaboration et à la demande du SRA de la région Poitou-Charente, une étude géologique des anciennes mines de fer de Poissons (Haute-Marne) en appui aux travaux du PCR-CNRS Mines et minerais de fer de Haute-Marne ;
- à la demande de la SDA et de nombreux SRA, l'acquisition par la SDA auprès du BRGM, des droits d'utilisation de la carte géologique numérique de la France à 1/50 000 (image scannée géoréférencée) et la livraison des fichiers correspondant à 29 services désignés par la SDA.

Les objectifs des deux études géologiques sont à souligner. Leur but n'était pas seulement la réalisation d'un travail de recherche académique, mais véritablement une étude de service public dans l'esprit de la collaboration jusqu'ici réalisée entre le BRGM et les archéologues, comme la publication de X. Gutherz et H. Barge (1998) l'a souligné. Il s'agissait de démontrer toute l'utilité de faire contribuer les Sciences de la Terre à une étude pluridisciplinaire d'archéologie, dans une triple perspective :

- de réaménagement du territoire ;
- de développement économique et touristique ;
- de valorisation, auprès du public, de son histoire et de son patrimoine scientifique et culturel.

## **2. Le module d'appui au SRA de PACA : « la mine de l'Argentière-la-Bessée »**

Le module mis au point avec le SRA de la DRAC de Provence-Alpes-Côte-d'Azur était un programme de collaboration avec le Centre de Culture Scientifique, Technique et Industrielle (CCSTI) de l'Argentière-la-Bessée, ayant pour sujet l'ancienne mine de plomb-argent du vallon du Fournel dans cette commune des Hautes-Alpes. Il comportait une étude géologique du site, par analyse structurale et gîtologie.

### **2.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'INTERVENTION**

Sur la mine, un important travail géologique a été effectué ces dernières années par des géologues intervenant en appui aux experts du CCSTI de l'Argentière-la-Bessée. Il s'est décliné en deux démarches.

#### **2.1.1. Un travail de cadrage et d'études détaillées (BRGM)**

(effectué par J. Féraud, E. Marcoux, C. Lerouge, R. Vigier et surtout J.-L. Blès)

Il a comporté une partie d'études géologiques détaillées sur le terrain (au jour et en mine), une partie d'études minéralogiques et d'analyses chimiques en laboratoire, et une partie de synthèse ; ce travail a été effectué en 1997 et 1998 sur la dotation de Service public du BRGM ; il a abouti (à travers les rapports BRGM successifs, listés en bibliographie) à :

- identifier le type métallogénique original du gisement ;
- préciser le contenu de son association minérale et quelques teneurs ponctuelles en éléments métalliques ;
- établir un premier calage structural de la mise en place de la minéralisation par rapport à la litho-stratigraphie et aux diverses phases tectoniques régionales.

#### **2.1.2. Un travail de levers détaillés au jour et en mine (université de Grenoble)**

(effectué par Lionel Granger, étudiant en DEA de géologie structurale à l'université de Grenoble, laboratoire du Professeur Piboule).

Ce travail de diplôme devait s'organiser sous le pilotage du CCSTI de telle sorte que les résultats du travail BRGM de calage soient utilisés par Lionel Granger pour organiser son travail de relevés systématiques au mieux, en relation avec le diplôme qu'il préparait et avec les besoins muséographiques du CCSTI. Malheureusement, L. Granger a quitté par la suite l'équipe du CCSTI sans avoir pu achever son travail.

L'étude BRGM 2004 a donc consisté à reprendre et développer l'étude structurale du site jusqu'à pouvoir notamment dessiner un modèle tri-dimensionnel du gisement métallifère, qui permette aux archéologues de visualiser la géométrie des corps minéralisés et d'en faire une exploitation à la fois scientifique et muséographique au CCSTI.

## 2.2. TRAVAUX RÉALISÉS ET MOYENS MIS EN OEUVRE

Le programme a comporté deux missions de terrain conjointes avec les archéologues du CCSTI (respectivement en juin et septembre 2004) et les études et analyses suivantes :

- lever géologique détaillé de surface sur le fond topographique de l'archéologue B. Ancel (mis à disposition par le CCSTI) et/ou celui de l'IGN (1/25 000 agrandi à 1/10 000) ;
- levers en mine ;
- analyse géométrique et structurale ;
- établissement de 3 coupes géologiques sériées choisies pour être particulièrement démonstratives ;
- rédaction du rapport final, avec dessin du bloc diagramme 3-D.

Le personnel BRGM intervenant a comporté :

- un géologue chef de projet J. Féraud
- un expert en gîtologie et structurale J. L. Lescuyer
- un technicien dessin et infographie Cl. Henry

L'ensemble des galeries et chantiers d'exploitation médiévaux ou modernes dégagés et relevés par Bruno Ancel et son équipe (fig. 1) a été visité en compagnie de ce dernier, et des observations systématiques ont été réalisées concernant l'attitude et la composition des « filons », les accidents qui les affectent et la lithologie de l'encaissant. En incluant les travaux de recherche périphériques des Têtes et ceux de l'Albret (ou Ubac), également visités, les minéralisations reconnues dans les quartzites triasiques (**tq**) s'étalent sur 1 800 m du Nord au sud.

D'autre part, la coupe du vallon du Fournel a été levée depuis les calcschistes crétacés (**cs** sur les figures) affleurant à l'Argentière jusqu'aux calcaires triasiques (**tc**) formant gorges 1 300 m à l'ouest. Grâce à l'étude des affleurements compris dans le secteur d'environ 2 km<sup>2</sup> ainsi défini, il a été redessiné une carte géologique de détail incluant l'ensemble des minéralisations Pb-Ag connues.

Enfin, des observations structurales ont été réalisées tant en mine que lors de la cartographie de surface. Elles ont permis de mieux caler le phénomène minéralisateur dans l'histoire géologique complexe de la mise en place de la nappe briançonnaise que les géologues appellent nappe de Champcella.

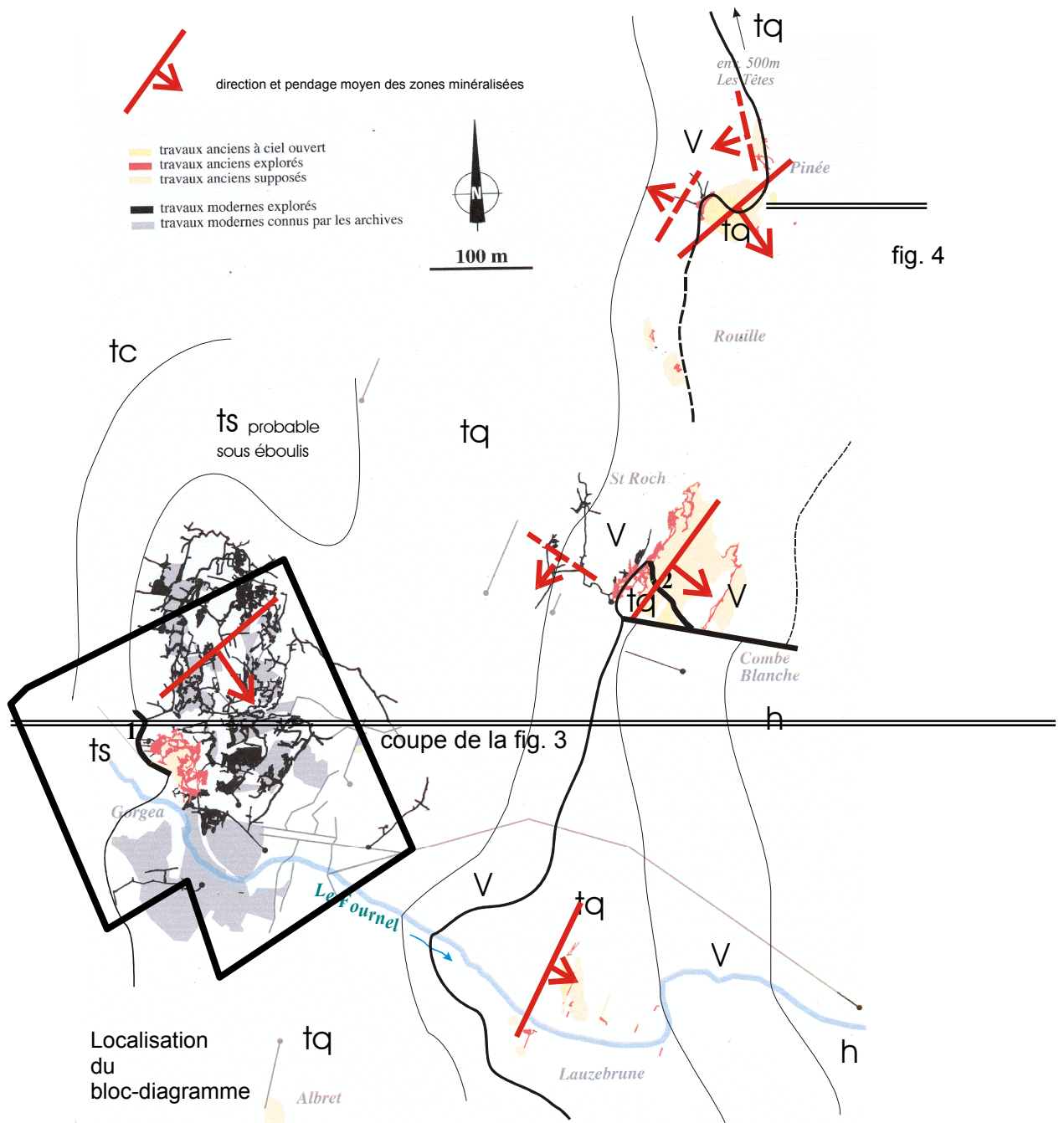


Figure 1 - Carte géologique simplifiée du vallon du Fournel, dressée sur le fond topographique de B. Ancel pour le réseau souterrain.

Légende (dans l'ordre stratigraphique) : grès et schistes houillers d'âge westphalien ~310 Ma (h), conglomérats, quartzites grossiers et schistes rouges permio-triasiques ~260-250 Ma (v), quartzites du Trias inférieur ~250 Ma (tq), schistes du Trias inférieur ~245 Ma (ts) et calcaires du Trias moyen ~240 Ma (tc); en gras, affleurement des chevauchements minéralisés (1) quartzites sur schistes et (2) conglomérats sur quartzites.

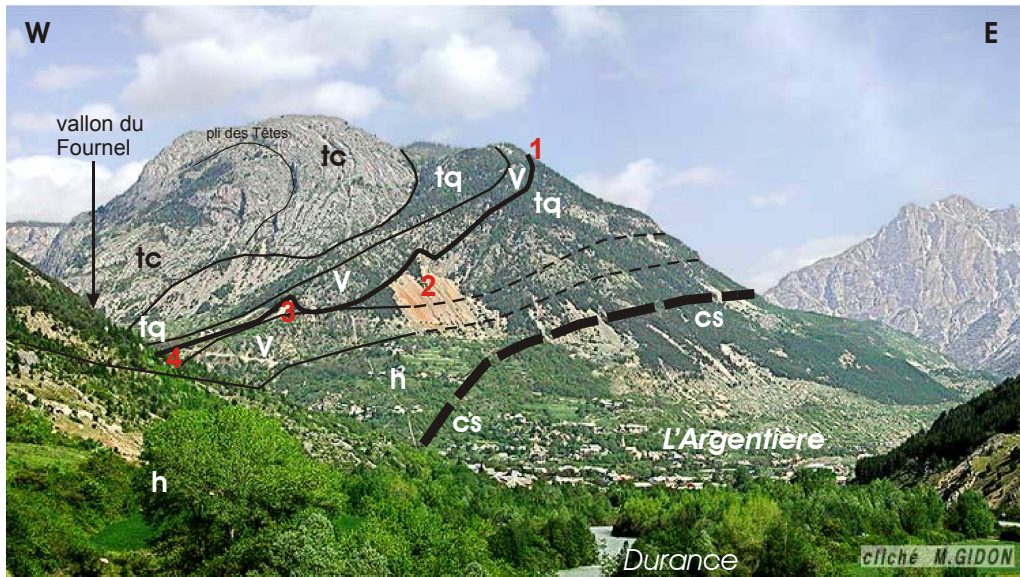


Figure 2 - Vue vers le nord de la nappe Briançonnaise de Champcella et des principaux travaux miniers.

La nappe comporte un matériel carbonifère à triasique (h à tc, cf. légende fig. 1) en contact anormal sur les calcschistes de la zone sub-briançonnaise (cs). Noter le redoublement des conglomérats (V) et quartzites (tq) au niveau des anciens travaux miniers des Têtes (1), de La Pinée - La Rouille (2), de Saint Roch - Combe Blanche (3) et de Lauzebrune (4).

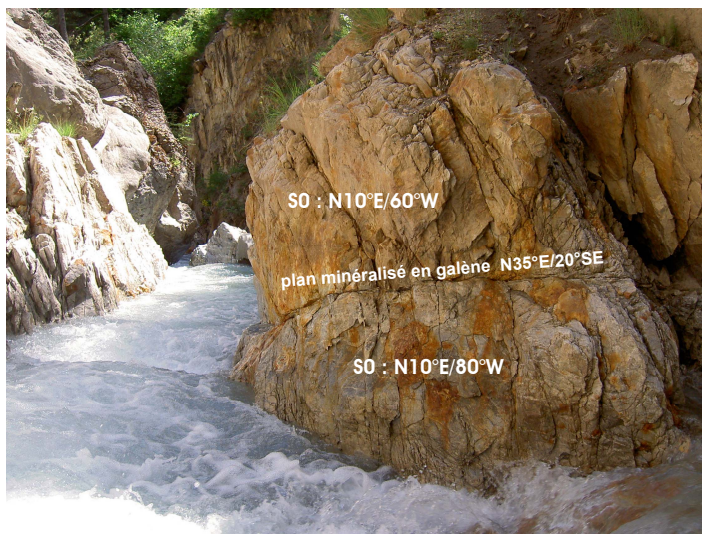


Photo 1 - Quartzites du Trias inférieur en bancs redressés et ployés, en rive droite du Fournel (face aux vieux travaux du Gorgeat) avec fracture minéralisée en galène.

## 2.3. RÉSULTATS

(reprise de l'ensemble des éléments contenus dans les comptes rendus des missions 2004 de J.L. Lescuyer, listés en bibliographie)

Les « filons » Pb-Ag (galène à inclusions de tétraédrite argentifère, rare sphalérite et pyrite, dans gangue siliceuse et barytique) anciennement exploités au XII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles se localisent le long de plans minéralisés moyennement pentés au SE encaissés dans les quartzites triasiques fortement redressés de la nappe Briançonnaise de Champcella (fig. 1 et 2).

### 2.3.1. Précisions sur le type de gisement

Les observations réalisées montrent que la minéralisation est contrôlée par des plans de diaclase perpendiculaires à l'attitude des strates (photo 1 et fig. 3) qui semblent correspondre à une schistosité de fracture acquise lors du plissement déversé vers l'ouest de la nappe de Champcella (Oligocène sup. d'après J.L. Blès, 1997). Ces plans ont fréquemment joué en chevauchement vers l'ouest, avec une flèche atteignant 50 m dans la partie occidentale des vieux travaux du Gorgeat (quartzites en contact anormal sur schistes stratigraphiquement sus-jacents). En surface, un bel exemple d'un tel chevauchement peut être observé au niveau des anciens travaux de Combe Blanche – Saint-Roch. Localement, ces plans chevauchants ont rejoué en faille normale ou en décrochement lors d'épisodes transtensionnels néogènes. Ces épisodes tardifs par rapport à la mise en place de la minéralisation sont également responsables de glissements le long des plans de stratification (failles normales à décrochantes subméridiennes) ainsi que d'une fracturation sublatitudinale. Le jeu combiné et polyphasé (plusieurs générations de stries), parfois d'ampleur décamétrique, de ces failles et fractures en damier provoque un découpage des panneaux minéralisés à l'origine d'une géométrie de détail complexe et de nombreux errements des anciens exploitants.

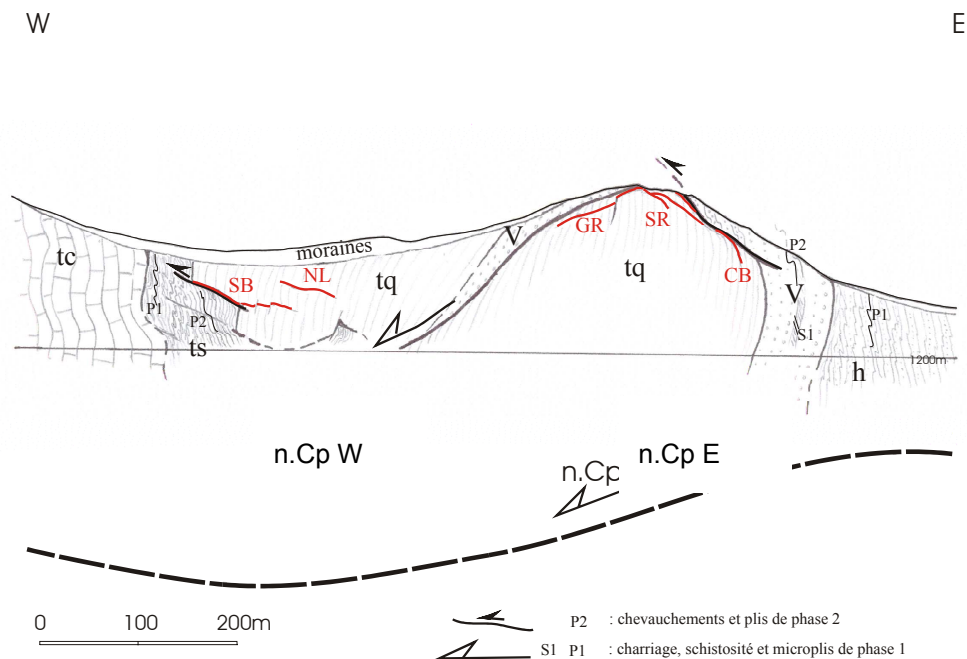


Figure 3 - Coupe géologique passant par les travaux du Fournel - Gorgeat et de Saint-Roch (cf. localisation sur la fig. 1) illustrant les principales observations structurales réalisées.

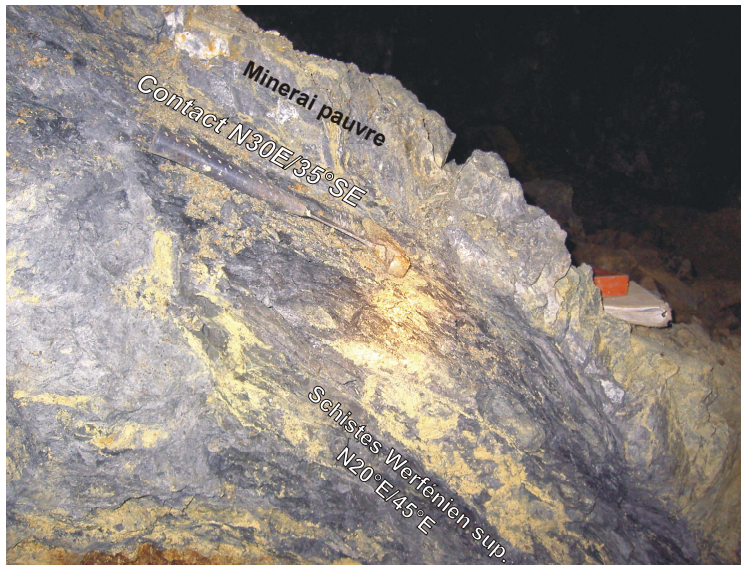


Photo 2 - Minéralisation siliceuse à traînées de galène à la base d'un défilage au contact schistes/quartzites (vieux travaux, salle du Chaos) ; les critères de cisaillement indiquent une direction de chevauchement vers N260°E.



Photo 3 - Minéralisation déformée à galène et barytine intra-quartzites (travaux nord, montage 1905) ; sens de cisaillement apparent vers l'WNW (fortement oblique par rapport au plan de coupe).

L'ensemble des observations réalisées confirme le caractère « syntectonique » de la mise en place des minéralisations plombo-argentifères de l'Argentière qui imprègnent des plans de discontinuité variablement pentés vers le SE lors de leur jeu chevauchant (cf. supra). Les gauchissements ultérieurs des plans minéralisés ainsi que les glissements tardifs qui les affectent rendent délicate l'estimation du sens de mouvement synchrone de l'emplacement de la minéralisation qui ne peut être estimé qu'à l'aide de critères

microstructuraux (relations s/c, microplis d'entraînement, etc.). Les quelques mesures effectuées sur les zones minéralisées au contact schistes/quartzites (photo 2) ou au sein des quartzites (photo 3) suggèrent néanmoins une direction de transport vers l'W (à confirmer par une étude plus précise des échantillons orientés prélevés), en bon accord avec la géométrie d'ensemble de la nappe de Champcella.

La minéralisation se met donc en place en contexte de déformation cisailante fragile (bien que galène et barytine réagissent localement de manière ductile) lors de mouvements chevauchants vers l'ouest, vraisemblablement d'âge oligocène supérieur (env. 25 Ma).

Le problème de l'origine du stock métal, transporté par des solutions hydrothermales de relativement basse température (d'après l'association paragénétique), reste posé en l'absence d'études plus poussées, notamment de géochimie isotopique du plomb. Notons cependant (cf. rapports BRGM antérieurs) que le Trias, tant carbonaté que gréseux, est un métallotecte Pb-Zn-Ba bien connu des massifs cristallins externes des Alpes, de la bordure cévenole, ainsi que des Alpes orientales. Des concentrations précoces de type syn- à diagénétique (disséminations de galène dans des sédiments gréseux de plate-forme peu profonde) remobilisées à l'Alpin restent une source plausible pour les minéralisations plombo-argentifères de l'Argentière. La mise en évidence d'anomalies géochimiques en roche, voire de disséminations minéralisées précoces dans les anciens sables de plage à l'origine des quartzites hôtes de la minéralisation, permettrait d'apporter des arguments en faveur de cette hypothèse « proximale » sur l'origine des minéralisations Pb-Ag de l'Argentière.

### 2.3.2. Représentation en 3-D du cadre géologique et de son évolution

La cartographie de surface montre, au niveau du vallon du Fournel, un redoublement des quartzites triasiques (**tq**) encaissant la minéralisation plombo-argentifère le long d'un plan de faille peu penté vers l'est (roche cataclasée imprégnée localement de pyrite). Cette structure majeure fait ressortir l'unité conglomératique permo-triasique (**V**) au-dessus des quartzites, non seulement dans le vallon du Fournel mais également le long de la crête qui monte depuis les vieux travaux de Saint-Roch jusqu'aux recherches des Têtes (fig. 1 et 2). Il pourrait s'agir d'un repliement de la nappe de Champcella synchrone de sa mise en place, sans doute repris par une faille tardive (pas de critères cinématiques observés) ; les deux sous-unités ainsi individualisées (n.Cp W & E, fig. 3) encaissent respectivement les minéralisations du Gorgeat et celles de Lauzebrune - Saint-Roch - La Pinée - Les Têtes.

Concernant **l'évolution structurale** (fig. 3), la superposition de deux phases tectoniques est clairement identifiable dans les niveaux les moins compétents (schisto-gréseux houiller, schistes rouges permo-triasiques et schistes sombres triasiques) de la série :

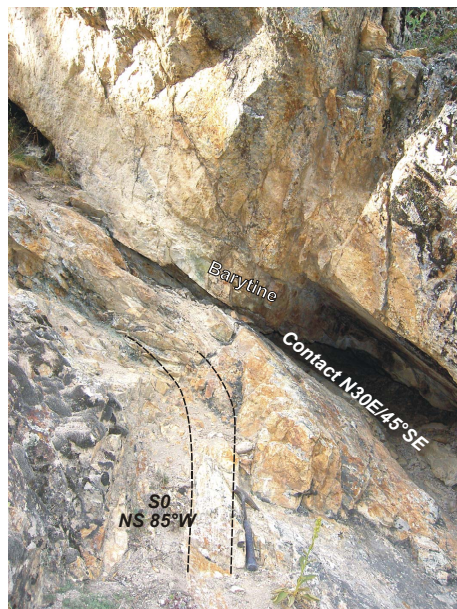
- la première, synchrone du charriage des unités briançonnaises, développe une schistosité globalement pentée vers l'est (S1) ainsi que des microplis (P1) compatibles avec la mise en place de grands plis couchés vers l'ouest ; le développement d'une fracturation à faible pendage SE dans les quartzites plus compétents semble contemporain de cette phase ;

- la seconde, à un niveau structural plus superficiel, correspond à un serrage EW qui entraîne la formation locale de kinks et de plis à plan axial penté vers l'ouest (P2), et surtout de chevauchements vers l'ouest reprenant les plans de fracturation mentionnés ci-dessus.

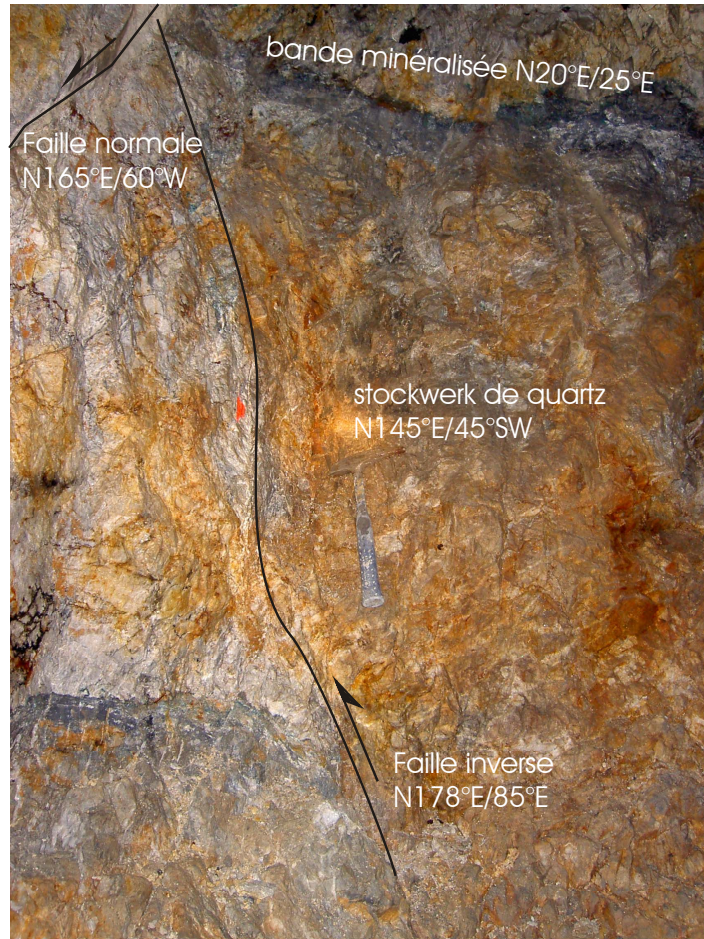
Ces deux phases tectoniques peuvent être rapprochées des phases II (fin Eocène, env. 35 Ma) et III (fin Oligocène, env. 25 Ma) de Tricart (1980).

Ultérieurement, au Néogène, des failles subméridiennes (N165-15°E), utilisant fréquemment les plans de stratification des quartzites, et sublatitudinales (N75-110° E) hachent les quartzites et conglomérats ; leur jeu est polyphasé, avec plusieurs générations de stries localement observables, suggérant un événement distensif (jeu en faille normale) précédant un événement compressif NW-SE [jeu fréquemment senestre des failles NS et dextre des failles EW - bien visible au niveau de la faille de Combe Blanche (fig. 1)].

Les observations réalisées dans tous les travaux miniers accessibles confirment que **l'événement minéralisateur** est bien synchrone de la seconde phase tectonique : les plans de chevauchement « conglomérat sur quartzite » (secteur de Saint-Roch, La Pinée et Les Têtes), « quartzite sur quartzite » (vieux travaux du Gorgeat E, Lacet, Lauzebrune) et « quartzite sur schiste » (vieux travaux du Gorgeat W et réseau Ste Barbe) drainent les solutions minéralisées qui précipitent leur charge métallique au niveau de ces plans variablement pentés vers le SE (cas le plus fréquent, fig. 1). Des plans minéralisés pentés SW à NW (« galerie des romains » W, La Pinée Nord, Les Têtes ; fig. 1 et 3), généralement d'extension limitée, soulignent localement le contact anormal « conglomérat sur quartzite » (décrit plus haut) réactivé lors du serrage de la seconde phase tectonique (photo 4 et 5 ; fig. 4).



*Photo 4 - Contact chevauchant entre microconglomérats à passées de grès argileux schistosés (faciès de transition entre les conglomérats à galets rhyolitiques du Verrucano et les quartzites triasiques) et quartzites ; branche du toit des travaux de Saint-Roch.*



*Photo 5 - Redoublement par faille inverse de la « couche » minéralisée (vieux travaux, chantier du bas) ; noter le stockwerk de quartz synchrone du jeu inverse et la faille normale tardive (coin supérieur gauche).*

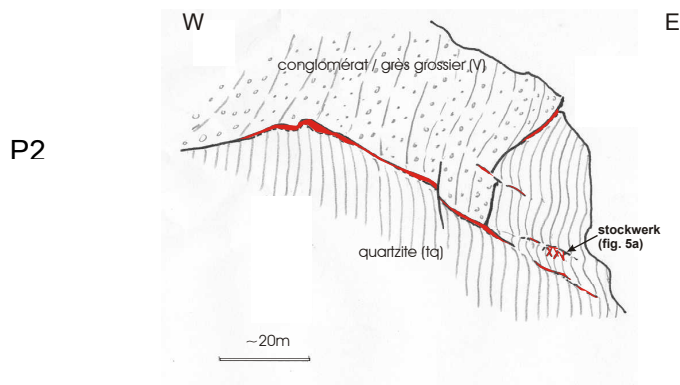


Figure 4 - Coupe schématique du secteur de la Pinée.

Légende géologique identique à celle de la figure 1 ; n.Cp: nappe de Champcella ; en rouge, réseaux minéralisés de Sainte-Barbe (SB) et du Lacet nord (NL), de la « galerie des romains » (GR), de Saint-Roch (SR) et de Combe Blanche (CB).

On y remarque la localisation des zones minéralisées (en rouge) dans ou à proximité du contact anormal conglomérat sur quartzite repris lors de la seconde phase tectonique. Noter aussi l'épaississement de la minéralisation dans la zone de plissement (P2) affectant le contact.

La mise en place de la minéralisation plombo-argentifère est guidée par la perméabilité de fracture affectant les quartzites silicifiés au voisinage des plans de chevauchement.

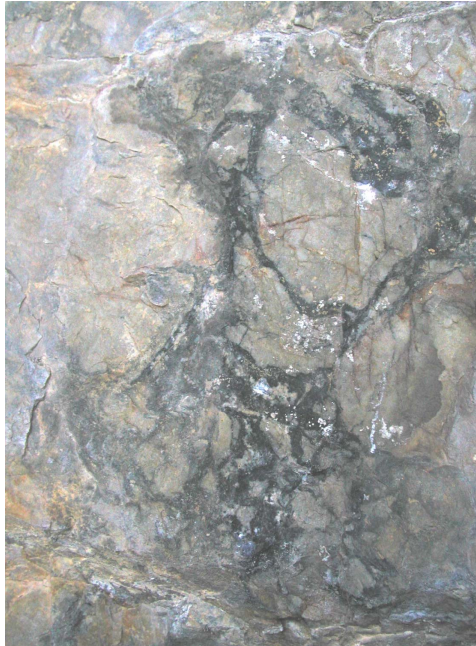
Il en résulte une résille minéralisée ou stockwerk caractérisée (photo 6) par des fissures à galène ( $\pm$  quartz, barytine, tétraédrite, etc.) qui peuvent affecter la roche sur des épaisseurs plurimétriques (notamment dans les zones de relais entre plans minéralisés parallèles).



Photo 6 - Stockwerk de minéral riche en galène bréchifiant les quartzites silicifiés (salle des Machines) ; noter la faille subméridienne qui effondre la « couche » de plusieurs mètres côté ouest.

L'intensification du phénomène sous l'influence de la pression des fluides minéralisateurs aboutit fréquemment à la formation de brèches hydrothermales (photo 7) où les éléments fragmentés de quartzites silicifiés sont cimentés (et partiellement corrodés) par la précipitation de sulfures -galène principalement- et de barytine plus tardive (cette dernière surtout abondante dans l'axe Saint-Roch - La Pinée - Les Têtes). Cette bréchification hydrothermale est maximale au niveau des plans de chevauchement (photo 8) avec imprégnation sulfurée pervasive des quartzites fragmentés sur des épaisseurs d'ordre centimétrique à décimétrique.

**NW**



**SE**

*Photo 7 - Stockwerk évoluant en brèche hydrothermale, cimentée par galène puis barytine (env. 1 m de hauteur, La Pinée, cf. loc. sur fig. 4).*



*Photo 8 - Intensification de la bréchification hydrothermale au voisinage d'un plan de chevauchement (Saint-Roch, galerie des Romains).*

La poursuite des mouvements tectoniques durant le dépôt de la minéralisation explique l'aspect fréquemment rubané des dépôts de galène et barytine jalonnant ces plans. Il ne s'agit donc pas à proprement parler de « filons » -dans le sens d'ouvertures subverticales à remplissage plus ou moins concrétionné- mais plutôt de « couches » minéralisées syntectoniques.

## **2.4. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS**

Les conclusions exposées ci-dessus sont complétées par différents documents originaux remis au CCSTI pour servir à une exploitation scénographique au sein de la muséographie qu'ils ont mise en place dans le château Saint-Jean ou lors d'expositions temporaires.

Il s'agit de coupes du système minéralisé du Fournel et d'un bloc-diagramme en couleur plus spécialement centré sur les travaux miniers du Gorgeat (cf. fig. 5 ci-après localisation sur figure 1). Ces tracés exposent de manière synthétique et compréhensible par les non-spécialistes la géologie complexe de cette zone, et présentent un éclaté des zones minéralisées exploitées.

Au-delà de la réalisation de ce travail contractuel, il serait souhaitable de valoriser les résultats gîtologiques obtenus avec B. Ancel dans une publication scientifique qui pourrait intégrer une interprétation des analyses isotopiques du plomb (collaboration possible avec Eric Marcoux de l'université d'Orléans, qui avait collaboré aux rapports BRGM antérieurs).

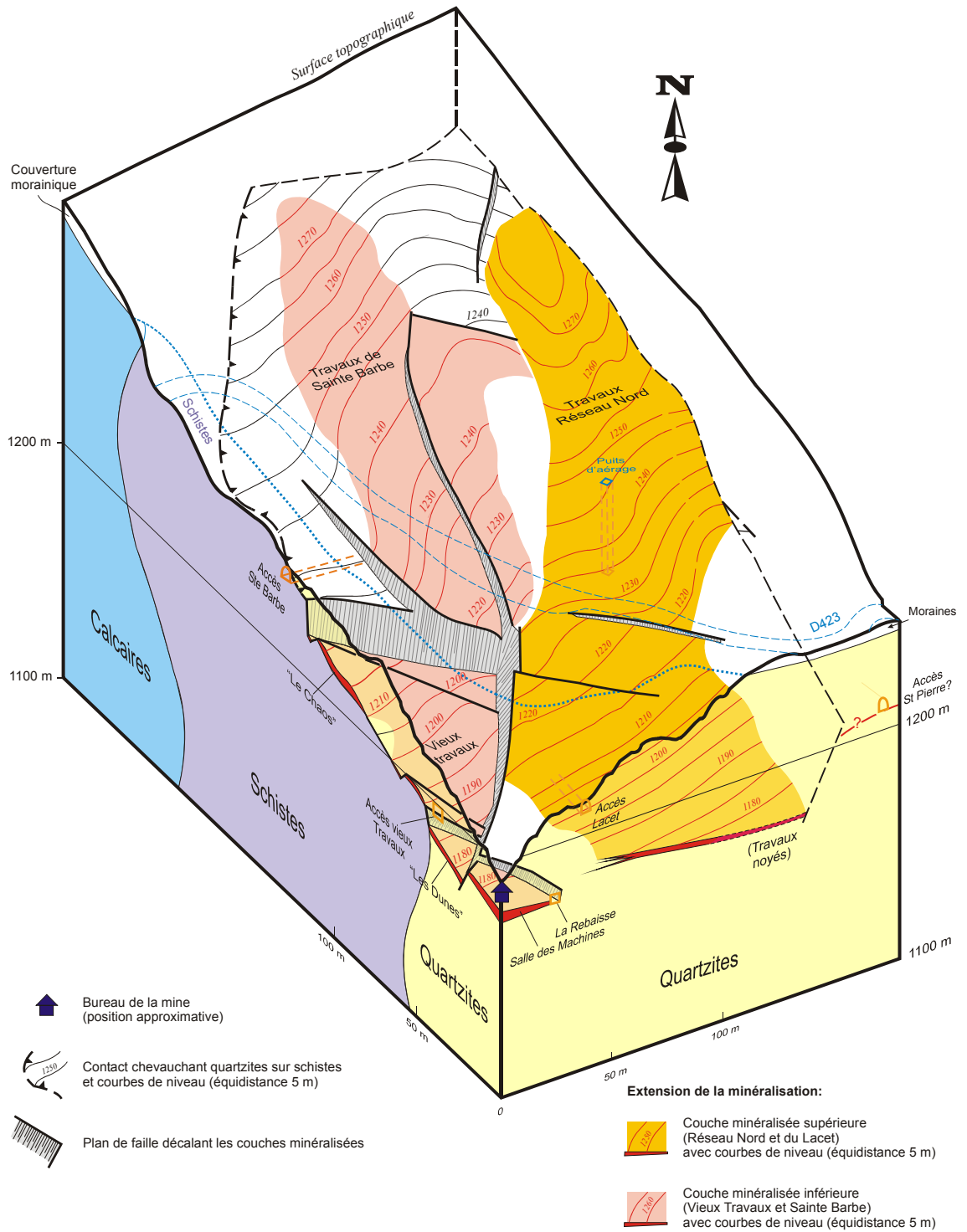


Figure 5 - Bloc diagramme des travaux miniers du Fournel (L'argentière-la-Bessée).



### **3. Le module d'appui au SRA de Champagne-Ardenne : « minières de fer de Poissons »**

Le module mis au point avec le Service Régional de l'Archéologie (SRA) de la région Champagne-Ardenne était un programme de collaboration avec des chercheurs du CNRS et de l'équipe ERMINA du PCR « Mines et minerais de fer de Haute-Marne » (responsable du projet : Denis Morin) ayant pour sujet les anciennes mines de fer de Poissons dans le département de Haute-Marne.

#### **3.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'INTERVENTION**

Le département de la Haute-Marne a été le siège d'une intense activité d'exploitation de minerais de fer et de traitement sidérurgique. Il concentre le plus grand nombre d'établissements sidérurgiques de l'histoire de France sur une durée de deux millénaires. Une étude scientifique de ces sites a été entreprise par le CNRS et par un archéologue spécialiste notamment du fer, Denis Morin, en liaison avec SRA de la région Champagne-Ardenne. Des sentiers de découverte pédagogique et touristiques sont également en projet.

Dans le cadre de la convention d'application 2001 de la convention cadre SDA-BRGM, le BRGM a réalisé en 2001, en collaboration avec l'équipe du PCR « Mines et minerais de fer de Haute-Marne » (responsable du projet : Denis Morin) un inventaire des minières de fer de Haute-Marne (Thibaut, 2001). Ce travail a été effectué à partir de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, de l'examen des cartes géologiques et de la bibliographie existante. Il a permis d'identifier au total 90 sites, géoréférencés et cartographiés sur le fond des cartes géologiques à 1/50 000 du département. Parmi ces sites, une vingtaine d'entre eux, situés entre la vallée de la Blaise et l'Est de Joinville, dont neuf aux environs de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance, sont décrits comme contenant un minerai de type « géodique », et reposent dans les dépressions et poches karstiques des calcaires du Jurassique supérieur (Portlandien).

Les résultats de cette première collaboration ont été présentés dans un mémoire de synthèse pluridisciplinaire en 2002 (Morin *et al.*, 2002). Dans ce mémoire, un projet d'étude du site de Poissons a été proposé par Denis Jacquemot pour l'exercice 2003. Durant 2003, le géologue régional du BRGM a participé à trois réunions préparatoires de ce projet.

L'objectif convenu avec le SRA pour l'étude du BRGM qui a été réalisée en 2004 a été de déterminer le contexte géologique et géomorphologique du site de Poissons, et de caractériser les différents types de minerais et leur origine géologique, ainsi que les résidus de lavage recueillis sur place (ce site étant considéré comme le plus complexe et le plus vaste des gîtes ferrifères de la Haute-Marne).

Cette étude était initialement prévue sur les secteurs de Calais et de Laiçon de part et d'autre de la route des lacets de Mélaire (environ 1,5 km au nord de Poissons). Mais elle a été étendue au secteur dit des « Hautes Minières » sur la commune de Montreuil-sur-Thonnance, environ 3 km au nord du premier secteur. En effet, si le premier secteur est plus « spectaculaire » quant au contexte du gisement, il a été totalement défilé, alors que le second, moins intensément exploité, a l'avantage de conserver du minerai encore en place *in situ*.

## **3.2. TRAVAUX RÉALISÉS ET MOYENS MIS EN OEUVRE**

### **3.2.1. Travaux réalisés**

Le programme a comporté les études et analyses suivantes.

#### **a) Des travaux de terrain**

Leur objectif a été d'identifier et de comprendre le contexte géologique et géomorphologique des sites de Poissons et des Hautes Minières. Ils ont consisté en :

- levé de terrain et report sur le fond topographique IGN (échelle 1/2 5000 agrandie à 1/12 500) des gisements sur 2 sites différents (Mélaire Le Laiçon et les Hautes Minières) représentant un secteur de 3 km<sup>2</sup> environ au nord de Poissons : lithostratigraphie, géologie structurale et géomorphologie, hydrogéologie, dans le contexte local de la formation carbonatée karstifiée du Jurassique et des placages résiduels du Crétacé ;
- échantillonnage des faciès les plus représentatifs de minerais ;
- restitution d'une carte numérisée multicouche sous format MAPINFO.

#### **b) Des études en laboratoire**

Il s'est agi de caractériser les différents types de minerais et d'un résidu de lavage en provenance d'un bocard. Le travail a comporté :

- description de la pétrographie, de la minéralogie et de la texture, par examen optique, de 8 échantillons de minerais ;
- étude minéralogique de 3 de ces échantillons sur lames minces polies, et contrôle au Microscope Electronique à Balayage (MEB) afin de déterminer la structure, la minéralogie et la répartition des éléments majeurs dans ces 3 minerais sélectionnés ;
- analyse chimique élémentaire « 9 éléments de minerais de fer » par fluorescence X sur les 8 échantillons.

#### **c) La synthèse des données**

### **3.2.2. Moyens mis en œuvre**

Le personnel BRGM intervenant dans l'étude a comporté :

- un géologue sénior (Pascal Marteau, Service Géologique Régional Champagne Ardenne) ;
- une hydrogéologue (Murielle Chabart, Service Géologique Régional Champagne Ardenne ) pour le contexte karstique des gisements ;
- un technicien SIG (Franck Joublin, Service Géologique Régional Champagne Ardenne) ;
- le personnel spécialisé de laboratoire (P. Jézéquel pour la minéralogie, D. Martineau pour les analyses chimiques et J. Breton pour le MEB) ;
- la collaboration de stagiaires SGR/CHA (F. Simon, cartographie et SIG, F. Alcoser levés de terrain).

Les équipements de laboratoire mis en œuvre ont été listés au paragraphe précédent.

### **3.3. RÉSULTATS**

(synthèse détaillée des éléments contenus dans le rapport 2004 de P. Marteau *et al.* listé en bibliographie, auquel on devra se reporter pour complément d'information).

La synthèse des données de terrain et des résultats d'analyses a permis une comparaison des différents types de minerais, de leurs origines et de leurs évolutions possibles, aboutissant ainsi à une reconstitution de la genèse des gisements, qui permet de comprendre ainsi les particularités de leur contexte gîtologique.

Il apparaît que le minerai de fer des minières de la région de Poissons est le reliquat d'une cuirasse latéritique ferrugineuse formée en climat tropical pendant une phase d'émersion du Crétacé inférieur, puis démantelée et piégée dans des poches karstiques en formation dans le substrat calcaire jurassique sous-jacent dès cette époque.

Sur le plan archéologique, cette étude contribue à expliquer comment ont pu être découverts ces gisements, et comment ont pu se dérouler les différentes phases d'exploitation possibles, connues depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, les premières extractions remontant probablement à une période plus ancienne (Antiquité gallo-romaine ou Âge du Fer ?).

#### **3.3.1. Géologie et géomorphologie des sites de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance**

La surface réellement concernée par l'emprise des extractions anciennes du secteur de Mélaire - Le Laiçon au nord de Poissons couvre un maximum de 2 km<sup>2</sup> environ,

celle du secteur des Hautes Minières au nord-ouest de Montreuil-sur-Thonnance, de l'ordre de 1 km<sup>2</sup> environ.

### **a) Historique des connaissances géologiques**

Les gisements de fer de la région de Poissons et leur singularité ont attiré depuis longtemps l'attention des naturalistes et des géologues, qui ont fait des observations, de plus en plus interprétatives, répertoriées depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Parmi eux, on peut citer :

- Grignon (1761), qui évoque déjà des « minières épuisées creusées jusqu'à 150 pieds, fouillées dans des *fentes longitudinales, quarrées, irrégulières ou circulaires*, composées de pierres calcaires » ;
- Cornuel (1856), qui indique que « le minerai rempli des fentes, des boyaux ou puits, des entonnoirs ou autres cavités qui existent dans la masse du calcaire portlandien, et dont plusieurs pénètrent jusqu'à l'argile kimméridgienne » ;
- Tombeck (1875), qui décrit des « puits dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 à 2 m, qui s'évasent d'ordinaire à la partie supérieure en forme d'entonnoirs, et dont la profondeur va parfois jusqu'à 150 et même 200 m (!) ». Ils sont « tantôt vides, tantôt remplis en grande partie de limon diluvien, et principalement, comme ceux de Poissons, de minerai erratique ».

De même à partir du début du XIX<sup>e</sup> siècle, la réglementation de ces exploitations et leur suivi technique ont donné lieu à des informations intéressantes (mais pas toujours exactes). Ainsi Roussel Galle (1824), ingénieur des mines, indique que le minerai de Montreuil-sur-Thonnance et de Poissons « gît en amas à la partie supérieure des coteaux, dans les dépressions du calcaire jurassique, *en couches horizontales* ».

Le contexte particulier de ces gisements (puits, verticalité, étroitesse...) a donc mené rapidement les observateurs à considérer qu'il s'agissait d'un remplissage de cavités (pré-existantes pour beaucoup d'entre eux) par du minerai, mais le phénomène de karstification n'est pas encore bien appréhendé, ainsi que l'origine du (ou des) minerai(s) et la chronologie des phases de remplissage.

C'est ainsi que les interprétations suivantes ont été proposées :

- pour Cornuel (1879), « les eaux diluviennes ont déposé en désordre dans les excavations ce qu'elles avaient entraîné » et « quand ses canaux d'écoulement furent à peu près obstrués par l'entassement du minerai, le comblement s'acheva par une partie centrale, en cône allongé, rouge plus terreuse et à minerai plus menu que le reste », ce minerai provenant du démantèlement des couches crétacées situées à proximité ;
- pour Salzard (1878), les « minerais de fer portlandiens sont oolithiques et géodiques », et seraient un mélange de deux minerais majeurs du Crétacé sus-jacent ;
- dans la carte géologique à 1/80 000 feuille Wassy, Abrard et Corroy (1930) considèrent qu'il s'agit « de Valanginien remanié » ;

- pour Schtépinsky (1962), qui établit les levés de la carte géologique à 1/50 000 de Joinville, le remplissage est d'âge quaternaire récent (Pléistocène), d'après les fossiles de vertébrés (*Bos primigenius*, *Cervus elaphus*, *Elephas primigenius*) qui y ont été trouvés pendant l'exploitation récente, même si le minerai géodique provient du Valanginien des couches créacées situées à proximité, et qu'il a été déposé après la fonte des glaces post-wurmiennes. Il semble qu'il existe dans cette cartographie une confusion entre les minerais « valanginiens » en place et ceux qui auraient été remaniés au Quaternaire.

Ces diverses propositions, pour intéressantes qu'elles soient compte tenu des connaissances scientifiques aux époques où elles ont été formulées, apparaissent assez fragmentaires, et ne donnent pas une vision claire et complète de l'origine des gisements de fer de la région de Poissons, ce qui est d'ailleurs relevé par Jaillet (2000), dans son travail de thèse sur la structure du karst du Barrois.

En ce qui concerne, notamment, une origine quaternaire pour ces gisements, aucune indication précise n'explique la position des fossiles de vertébrés dans les gisements des minières, qui devaient très probablement appartenir aux dépôts superficiels sommitaux des puits et des dépressions karstiques, où ils avaient pu être piégés ou amenés par les ruissellements. Le fait que ce soit les mineurs eux-mêmes qui aient trouvé et vendu ces pièces accentue le doute sur leur origine et leur position exacte.

### **b) Cadre lithostratigraphique et géographique**

Les sites des minières de Poissons - Mélaire, et de Montreuil - Hautes Minières sont entièrement et exclusivement intégrés dans la série des calcaires jurassiques d'âge portlandien (ou tithonien d'après l'échelle stratigraphique la plus récente). Cette situation n'est pas due au hasard, mais résulte de l'histoire géologique de ces sites, comme elle sera décrite plus loin.

A partir des observations de terrain, de la bibliographie récente et des données analytiques, il est proposé une interprétation actualisée du contexte géologique des gisements de fer de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnace, de leur évolution et de l'origine des minerais. Dans le rapport détaillé (Marteau *et al.*, 2004), la représentation du cadre géologique d'après les levés de terrain est faite sur le fond topographique IGN à 1/25 000 agrandi à 1/12 500, correspondant à la partie représentative des gisements étudiés et de leurs environs. Sur cette carte figurent un certain nombre de puits et de cavités reconnues, dont certaines ont fait l'objet de relevés par l'équipe de prospection archéologique du PCR-CNRS (responsable Denis Jacquemot), la toponymie adoptée étant reprise ici (*i.e.* dans le secteur du Laiçon : puits Daphnée, puits de l'Echelle, etc.).

La lithologie et la stratigraphie des formations du Jurassique sont bien connues sur l'ensemble du secteur, d'après la notice de la carte géologique (feuille Joinville, Schtépinsky 1962). Ces données peuvent être validées, tandis qu'une nouvelle interprétation concernant les terrains de la couverture post-jurassique est proposée.

### • Site de Mélaire - Le Laiçon

Les poches karstiques du site de Mélaire ayant piégé le minerai de fer sont entièrement creusées dans la moitié supérieure de la formation des calcaires du Portlandien inférieur (zone à *Cyprina brongniarti* et zone à *Gravesia*). Ce sont des calcaires à texture fine, sublithographiques, parfois légèrement oolithiques, relativement durs, parfois en bancs assez massifs, mais qui se débitent facilement en plaquettes et en petits blocs de quelques centimètres à quelques décimètres (site de Mélaire).

Une faune caractéristique est décrite dans la notice de la carte géologique. Toutefois, les fossiles ne sont pas fréquents, et ce n'est que localement que l'on a pu observer quelques fossiles (*ostrea*) sur une surface durcie (niveau de discontinuité stratigraphique), mais l'échantillon n'était pas en place.

L'épaisseur totale de ces formations calcaires est de l'ordre de 100 m, peut-être un peu moins ici, du fait de l'érosion qui a pu tronquer le sommet de la série.

Par contre, la présence des « sables valanginiens » du Crétacé, qui devraient apparaître en placages relativement épais et continus, n'a pas été vérifiée sur les secteurs du Laiçon et de La Montagne, où les calcaires jurassiques affleurent directement. Ce fait est confirmé par Jaillet (2000) dans sa thèse sur les karsts du Barrois, qui n'a pas non plus observé de Valanginien en place dans le secteur du Laiçon.

Il pourrait éventuellement subsister, localement, des nappages résiduels de ces sables, mais on ne peut pas considérer qu'ils représentent dans ces secteurs un ensemble cartographiable. Salzard (1878) signale des débris de calcaire à Spatangues (Valanginien), mais nous ne les avons pas identifiés non plus.

Les remplissages d'origine des poches karstiques ayant été entièrement exploités, leur composition lithologique exacte n'est pas connue. Tout au plus, une argile rouge a pu être prélevée in situ dans le puits Daphnée sur le secteur du Laiçon, mais il est difficile de savoir s'il s'agit d'une argile de décalcification, ou d'une argile résiduelle provenant du profil latéritique démantelé avec sa cuirasse.

Les références de la bibliographie donnent des informations très partielles sur la nature de ce remplissage : Tombeck (1875) cite un « limon diluvien » (!), tandis que Salzard (1878) voit du « minerai de fer géodique concassé » n'ayant pas besoin d'être lavé, et donc sans matrice argileuse, et que Cornuel (1879) mentionne dans les conduits karstiques une « partie centrale en cône allongé, rouge plus terreuse et à minerai plus menu ».

Il est probable que le remplissage d'origine était très hétérogène, avec une proportion variable d'argiles et de sables résiduels, provenant soit du profil latéritique développé sur les sables et argiles du Valanginien, soit éventuellement des formations post-valanginiennes démantelées (le « limon diluvien de Tombeck »). Il est également possible que, localement, ce remplissage lessivé laisse en place des concentrations de débris de cuirasse ferrugineuse relativement propres.

Dans un puits de Mélaire (échantillon POI 6) et dans un autre du Laiçon, on peut encore observer en place des débris de cuirasse plaqués contre la paroi de la cavité.

#### • Site des Hautes Minières

Le site des Hautes Minières se trouve dans le même contexte lithostratigraphique que celui de Mélaire, à savoir le sommet des calcaires du Portlandien inférieur (zone à *Cyprina brongniarti* et zone à *Gravesia*). Dans une tranchée actuelle des Hautes Minières, creusée par un agriculteur, on observe à petite échelle, sous la surface, un remplissage karstique argileux rouge contenant des débris de cuirasse ferrugineuse (photo 7 du rapport détaillé), pouvant donner une idée de ce qu'était un remplissage des cavités de grandes dimensions, dans lesquelles cependant, les formations devaient être plus évoluées et relativement indurées.

### c) Cadre structural

#### • Site de Mélaire

Le site de Mélaire est traversé par une faille (« faille de Poissons »), d'amplitude probablement régionale, qui délimite deux compartiments correspondant aux secteurs du Laiçon au nord-est et au secteur Calais - Bois de Mélaire au sud-ouest. Bien que le jeu de cette faille soit principalement d'âge alpin, il semble qu'il y ait un contrôle tectonique dans la mise en place ou le fonctionnement de certaines cavités, comme cela semble être le cas au niveau des excavations de la partie sud du secteur du Laiçon. Les cavités, à partir du puits de l'Echelle, sont en effet alignées selon une direction N 140° Est, parallèle à la faille de Poissons, de même que les dolines de la partie sud du site de Mélaire. Ce contrôle pourrait avoir agi de façon relativement récente (au cours du Tertiaire ?).

#### • Site des Hautes Minières

Le site des Hautes Minières semble se placer en dehors des tracés de faille d'ordre régional, bien que certaines combes situées au sud et au nord du site paraissent suivre des emplacements de failles (au sud, Combe aux Noyers, parallèle à la faille de Poissons, et au nord Combe du Gros Fourneau et Combe Chivard). Ce site n'est donc pas affecté directement par une tectonique cassante, et on ne note pas de contrôle dans la répartition des poches de minerai, même si un remaniement de ce minerai semble avoir rempli le talweg N-S, se raccordant à la Combe Chivard, situé dans la partie nord du site.

### d) Géomorphologie et aspects hydrogéologiques actuels

La géomorphologie actuelle des sites de Mélaire - Le Laiçon et des Hautes Minières est marquée par une position de plateaux armés par les calcaires jurassiques, entaillés par des vallées encaissées. Notons que le contexte paléogéographique de la période d'émergence des sites, qui a vu se former puis se concentrer le minerai de fer, était de type supra-littoral, *et donc que la géomorphologie des sites d'origine devait cependant être complètement différente de ce que l'on observe actuellement.*

On observe maintenant les traits géomorphologiques particuliers suivants :

- une répartition relativement plane des poches karstiques au niveau des grands ensembles que constituent les secteurs de Mélaire, du Laiçon et des Hautes Minières ;
- une grande variété dans la typologie des excavations : puits correspondant à de petits avens, poljés, fentes étroites liées à la fracturation, avec présence localement de dépressions d'aspect en dolines, situées préférentiellement sur le rebord ouest du secteur de Mélaire ;
- un remaniement local de minerai dans des talwegs, l'un de dimension réduite sur le rebord ouest du plateau de Mélaire, l'autre atteignant 500 m de long, sur le flanc nord du site des Hautes Minières, talwegs qui pourraient correspondre à des vallées sèches, dans lesquelles le minerai a pu être entraîné et reconcentré par le ruissellement et les fontes de glace au Quaternaire ;
- une position topographique anormale des poches de minerai sur le flanc nord du secteur de Mélaire, abaissée à une altitude de 330-335 m.

Ces caractéristiques géomorphologiques sont à mettre, du moins en partie, en relation avec les structures tectoniques locales :

- différence d'altitude entre les secteurs de Mélaire (panneau surélevé à 390 m) et du Laiçon (panneau abaissé à 360 m environ) due à la faille de Mélaire, dont le rejet est de l'ordre de 30 m ;
- flexure du panneau de Mélaire en bordure de la faille, ou petit compartiment abaissé entre la faille principale et une faille annexe, expliquant la position des poches de minerai sur le flanc nord du secteur de Mélaire ;
- alignement des dolines et des cavités selon un axe NW-SE, pouvant être lié à l'orientation et la direction de la faille de Mélaire.

En ce qui concerne les excavations actuellement visibles depuis la surface, celles-ci se répartissent de façon relativement aléatoire, bien qu'en grande densité dans les zones centrales, sur les sites de Mélaire, du Laiçon et des Hautes Minières.

La surface des formations calcaires jurassiques apparaît donc comme très karstifiée, avec des cavités de types variés, et de dimensions pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de long et plusieurs dizaines de mètres de profondeur : puits, fentes et conduits verticaux à ramifications plus ou moins horizontales, qui ont été mis à jour par l'exploitation minière. Certaines de ces cavités ont fait l'objet de relevés détaillés par l'équipe de prospection et d'exploration souterraine (D. Jacquemot).

Les parois de ces excavations, poches et puits, etc. sont souvent altérées, déstructurées et donc difficiles à observer. Cette altération pourrait être ancienne, contemporaine du remplissage par les matériaux latéritiques, puis elle s'est généralisée et a conduit à une destruction des parois après le dépilage du minerai et l'exposition aux conditions atmosphériques, avec formation d'éboulis mal stabilisés en pied de paroi. Localement, dans le secteur du Laiçon, on peut cependant voir des surfaces cannelées et des stries verticales très nettes et intactes, qui montrent bien la nature typiquement karstique de ces puits et cavités.

Sur le site des Hautes Minières, les excavations sont également de types variés, avec plutôt une prédominance des poljés formant des structures allongées, mais il y a aussi des puits verticaux très nets, et des structures évoquant des dolines, mais dont les flancs ont peut-être flué pour avoir une forme aussi nette. L'intérêt du site est de montrer dans une tranchée actuelle creusée à la pelle par un agriculteur un remplissage de karst par un matériau argileux rouge contenant des débris de cuirasse abondants, et qui pourrait être assez représentatif, quoique de petite dimension, de ce qu'étaient les poches avant leur exploitation.

### **e) Fonctionnement du karst**

Dans le contexte local de la formation carbonatée du Jurassique avec sa surface karstifiée et des éventuels placages ferrugineux résiduels du Crétacé, l'incision de la Marne et de la Saulx a pu accentuer les phénomènes de karstification, car il y a eu alors ouverture d'une « fenêtre hydrogéologique » dans l'aquifère captif des calcaires jurassiques (Jaillot, 2000).

Cependant, nous considérons que la karstification a commencé de façon très précoce, dès l'émersion crétacée, même si elle s'est poursuivie ultérieurement.

Actuellement, le drainage général des sites se fait par les talwegs qui les entourent, ou par infiltration karstique dans les calcaires de plateau ou dans les formations de pente. La karstification peut se poursuivre, mais elle est très modifiée par le fait que les cavités ont été évidées.

### **3.3.2. Caractérisation des minerais**

Au cours des campagnes de terrain, dix échantillons de minerais et de gangue argileuse, dont certains en place, d'autres en dehors de leur emplacement d'origine, ont été prélevés sur le site de Mélaire - le Laiçon, six échantillons considérés comme en place ou sub-en place sur le site des Hautes Minières, et un sur le bocard de Montreuil, où du minerai était lavé et concassé. Huit de ces échantillons ont été retenus pour caractérisation pétrographique et minéralogique, avec analyse chimique :

- 4 échantillons des Hautes Minières ;
- 3 échantillons du site de Mélaire - Le Laiçon ;
- l'échantillon du bocard de Montreuil.

Les méthodes analytiques utilisées ont été les suivantes :

- étude optique descriptive de la nature et de la texture des différents minerais (déterminations P. Jézéquel) ;
- étude minéralogique au microscope avec contrôle au Microscope Electronique à Balayage (MEB) sur 3 échantillons (J. Breton, P. Jézéquel) ;
- analyse chimique par fluorescence X sur les 8 échantillons.

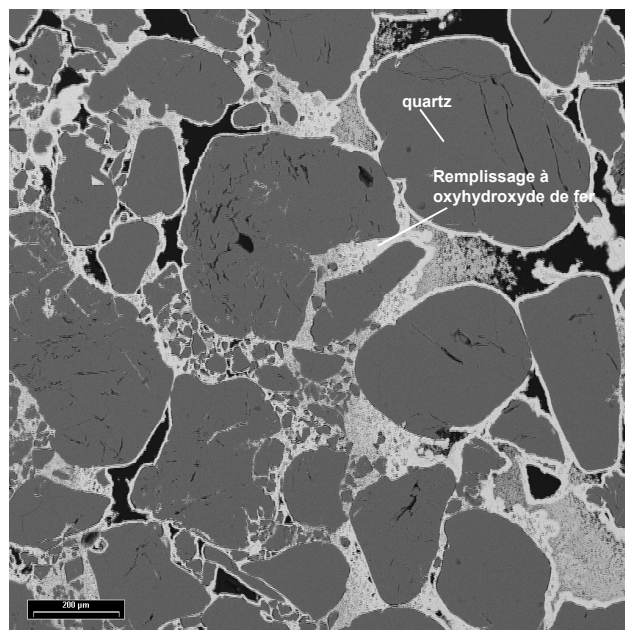
### **a) Description pétrographique et minéralogique optique, contrôle au MEB**

Contrairement au module de PACA où le travail de déterminations au microscope et d'analyses chimiques avait déjà été fait lors des campagnes antérieures, l'étude de Haute-Marne comportait un volet très important d'investigations dans ce domaine absolument vierge. Les résultats analytiques sont donc très volumineux.

Afin de conserver à ce rapport de bilan annuel un volume qui permette au lecteur une vision synthétique, on ne donnera que quelques exemples, notamment dans le but de donner une idée des techniques mises en œuvre. Le lecteur est invité à se reporter au rapport détaillé (Marteau *et al.*, 2004) pour accéder à l'ensemble des données analytiques, site par site et échantillon par échantillon.

#### **HM 1 - Echantillon sub-en place, prélèvement au niveau d'une excavation à l'est des Hautes Minières**

Grès ferrugineux à quartz dominant en grains limpides et/ou laiteux, anguleux à arrondis, dans une matrice à oxyde de fer moulant les grains de quartz quasiment jointifs. La granulométrie du quartz varie de la centaine de microns au millimètre, mais présente un aspect relativement homogène. La surface externe de l'échantillon, de couleur ocre - brune, correspond à un enduit de surface à limonite - silicates (microphyllites visibles) et à un début d'altération de la matrice ferrugineuse qui donne la limonite de surface (photo 9).



*Image MEB n°1, électrons rétrodiffusés*

*Photo 9 - HM 1 : contrôle morphoscopique des grains de quartz au MEB.*

L'aspect général est homogène. Les indices d'émoussé observés sur les grains, l'homogénéité apparente de ces grains de quartz font penser à des sables cénomaniens recimentés par des apports ferrugineux.

Ce sable serait d'origine marine plutôt que continentale (vestiges albo-cénomaniens probables). Les arrivées sableuses à quartz sont piégées en zone karstique et cimentées par une ferruginisation intense. Présence dans le liant ferrugineux de grains à  $\text{TiO}_2$  (rutile), ainsi que de grains à  $\text{Ti} > \text{Fe}$  (ilménite ?) (photo 10).

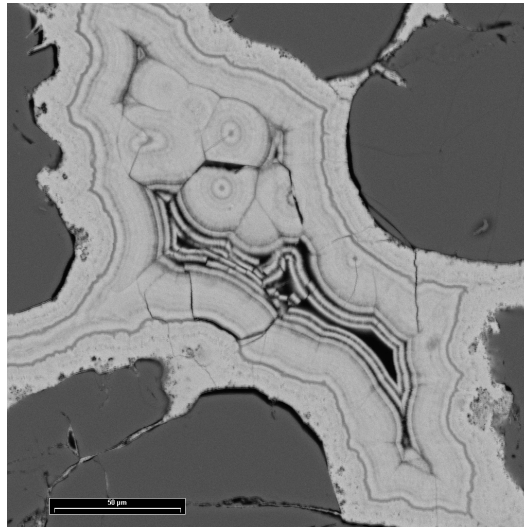
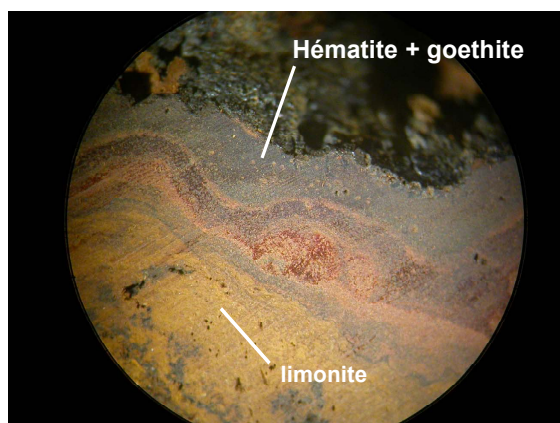


Image MEB n°2, électrons rétrodiffusés

Photo 10 - HM 1 : remplissage ferrugineux cimentant les grains de quartz.

HM 4 - Echantillon en place, prélèvement dans une tranchée actuelle au nord des Hautes Minières. Bloc scoriacé de minerai de fer présentant des cavités géodiques tapissées de goéthite mamelonnée sombre, formant une couche d'épaisseur millimétrique à plurimillimétrique. Cette couche est suivie d'une série de niveaux où alternent limonite ocre, hématite rouge et à nouveau limonite plus épaisse et poreuse. Cette organisation en couches successives donne un aspect bariolé à cet échantillon particulièrement riche en cavités. La structure oolithique n'est pas visible sur cet échantillon (photo 11).



vue générale du minerai



détail des niveaux ferrugineux

Photo 11 - Examen pétrographique de l'échantillon HM 4 au microscope optique.

Contrôle MEB Echantillon HM 4 L1G2 : Fe >>> O ε Ti, Mn, Al, Si (spectre EDS n° 1) (photo 12).

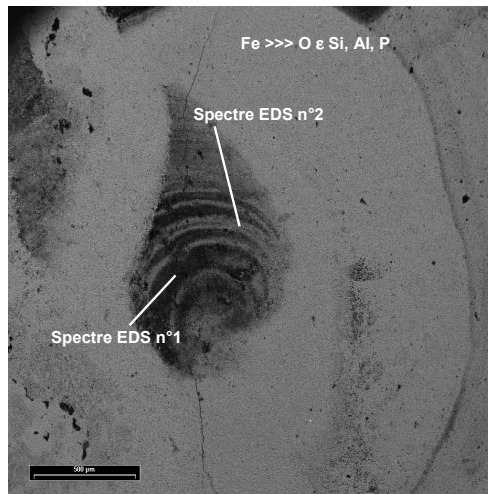


Image MEB n°3 . Electrons rétrodiffusés

Photo 12 - HM 4 : relique de structure oolithique visible dans une plage à Fe>>> O, εSi, Al, P.

Dans cet échantillon, on observe une alternance de bandes parallèles aux bords de cavités ouvertes qui donnent en électrons rétrodiffusés, pour les bandes claires : Fe, O avec traces de Si et Al et pour les bandes sombres, les mêmes éléments + P et Ca (fig. 6, 7, photo 13).

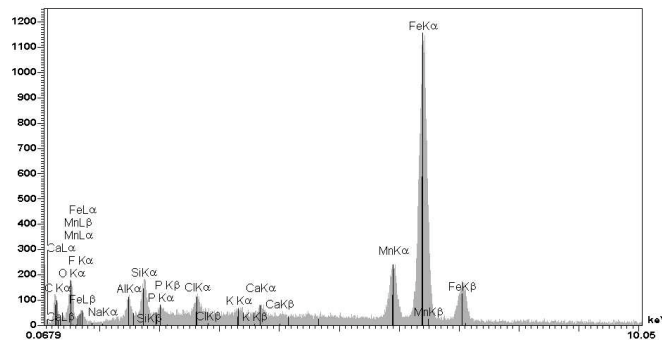


Figure 6 - Spectre EDS n° 2 . Echantillon HM 4. Analyse globale des anneaux concentriques sombres.

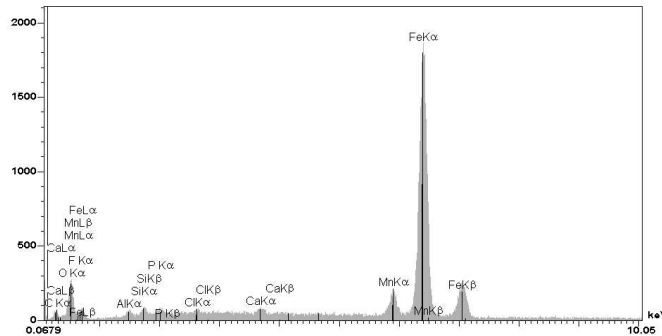
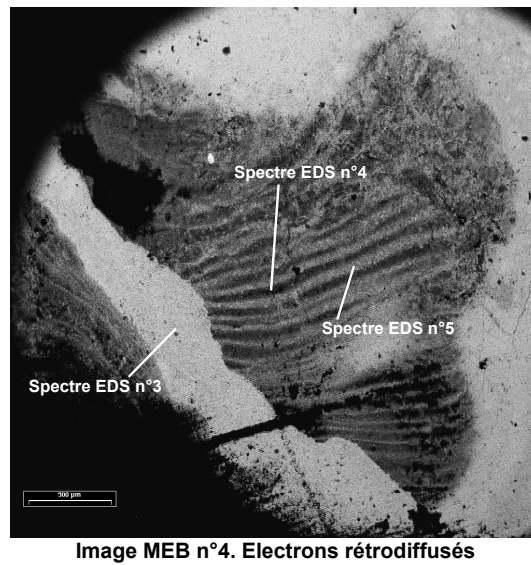


Figure 7 - Spectre EDS n° 3 . Echantillon HM 4. Analyse globale des anneaux concentriques clairs.

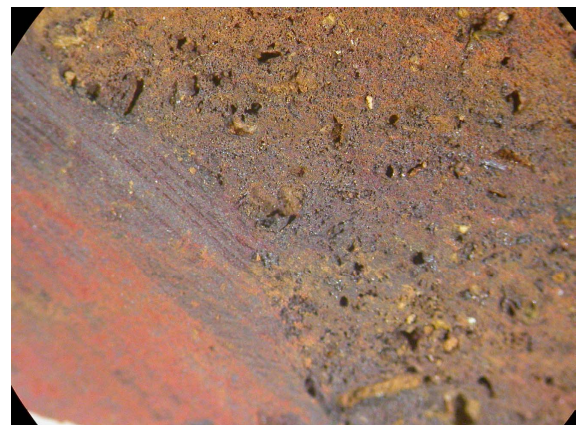


*Photo 13 - HM 4 : reliques d'argilanes ferruginisés à texture microgrenue.*

POI 6 - Echantillon en place, prélèvement dans un puits du secteur du bois de Mélaire. Echantillon pluricentimétrique d'aspect scoriacé, microporeux, constitué de lits d'hématite massive alternant avec des plages à goethite - limonite dans lesquelles la structure oolithique est encore visible bien que fortement altérée, limonitisée. Les cavités arrondies ou sphériques restent encore visibles localement. L'extérieur de l'échantillon ainsi que les cavités internes sont tapissés de carbonates associés à la limonite (ocre clair). La présence de sidérite n'est pas exclue dans ce type d'échantillon (photos 14 et 15).



plage à goethite - limonite



alternance d'hématite rouge et plage oolithique altérée

*Photo 14 - Pétrographie échantillon POI 6.*

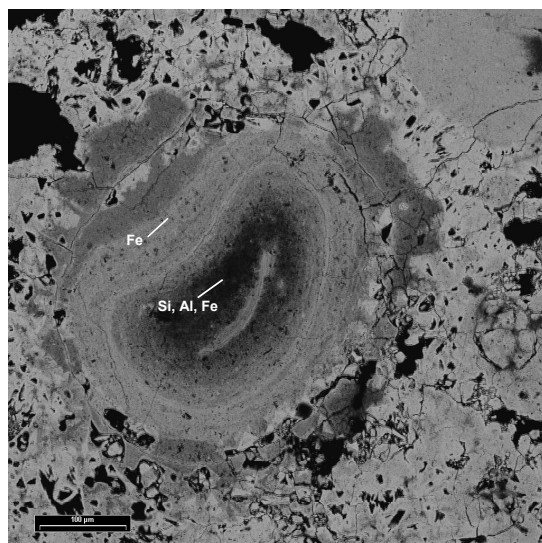


Image MEB n°5, électrons rétrodiffusés

Photo 15 - Echantillon POI 6 : image d'une structure pisolitique.

Al est toujours associé à Si et donc lié à la présence d'argile. Présence également de particules lamellaires à Mn >> K. On constate une grande variabilité de la structure comme le montre l'image MEB n° 4 de la photo.

### b) Analyses chimiques par fluorescence X

L'analyse chimique de type « minerais de fer » a été réalisée sur les huit échantillons pour les éléments suivants : Fe total, Al, Ca, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti et perte au feu.

Les résultats d'ensemble sont reportés dans le tableau 2.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF (Perte au feu à 1000°C)	SiO <sub>2</sub>
<b>Limite</b>	0.2	0.1	0.05	0.05	0.2	0.02	0.2	0.05	0.05	0.1	0.2
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>HM-01</b>	1,1	0,1	<b>31,3</b>	< LQ	0,2	0,03	0,4	0,05	0,08	4,88	62,7
<b>HM-02</b>	5,6	0,3	<b>72,5</b>	0,1	0,3	0,18	0,4	1,29	0,1	14,7	4,5
<b>HM-03</b>	7	0,1	<b>70,3</b>	0,05	0,3	0,2	0,2	0,38	0,05	14,6	6,4
<b>HM-04</b>	4,7	0,3	<b>70,2</b>	0,24	0,3	1,31	0,8	0,98	0,13	15,8	4,8
<b>POI-06</b>	3,9	0,3	<b>78,2</b>	0,18	0,3	0,32	0,2	0,26	0,11	11,9	4,9
<b>POI-08</b>	9,4	0,3	<b>63,6</b>	0,17	0,7	0,15	0,3	0,62	0,09	15,6	9,7
<b>POI-10</b>	7,6	3,7	<b>64</b>	0,07	0,4	0,12	0,2	0,66	< 0,05	17,1	6,3
<b>Bocard Montreuil</b>	6,9	0,3	<b>62,1</b>	0,09	0,2	0,19	0,3	0,77	0,07	14,8	13,4

Tableau 2 - Composition chimique des échantillons de minerais de fer de Haute-Marne étudiés.

On remarque les points suivants :

- les minerais sont **riches en fer** (sauf l'échantillon de grès ferrugineux du site des Hautes Minières), les trois échantillons représentatifs de ce site étant en moyenne légèrement plus riches (71 %) que ceux de Poissons (68,6 %), bien que l'échantillon le plus riche vienne de ce dernier site (POI 6 : 78,2 %) ;
- les minerais sont **peu bauxitiques** ( $Al_2O_3 < 10 \%$ ), mais la teneur moyenne des échantillons de Poissons est légèrement supérieure à celle des échantillons des Hautes Minières (7 % contre 5,8 %) ;
- les teneurs en **silice** sont **faibles**, sauf dans l'échantillon du bocard de Montreuil (et bien sur dans l'échantillon gréseux des Hautes Minières) ;
- les teneurs en **phosphore** sont **faibles** dans les échantillons de Poissons (moins de 1 %) alors qu'elles sont légèrement plus élevées dans ceux des Hautes Minières ;
- les teneurs en **calcium** sont **faibles** et peu significatives, sauf pour l'échantillon POI 10, dans lequel des carbonates de fer néoformés (ankérite) se traduisent par une teneur de 3,7 % ;
- les teneurs en manganèse sont faibles, sauf dans l'échantillon HM 4, où cet élément peut se trouver en substitution du fer ;
- les teneurs en **potassium, magnésium, sodium et titane** sont **faibles** et peu significatives ;
- les **pertes au feu**, comprises entre 11,9 et 17,1 %, sont élevées et du même ordre de grandeur pour tous les échantillons, hormis le grès ferrugineux provenant des Hautes Minières (4,9 %). Ces valeurs élevées sont liées à la présence de limonite de formule générale  $FeO(OH)$ , oxyde hydraté produit à partir de la goethite et de l'hématite. La valeur la plus élevée (17,1 %) est due à la présence de carbonates dans l'échantillon POI 10.

### ***c) Synthèse des données pétrographiques et analytiques***

On distingue cinq types de minerais d'après les données pétrographiques et analytiques :

- L'échantillon **HM4**, provenant des Hautes Minières, est un exemple type de débris de **cuirasse latéritique ferrugineuse massive**, à structure stratifiée, correspondant au minerai « géodique » des anciens.
- Les échantillons **HM3 et POI 10** sont entièrement constitués de pisolithes, formés par **nodulisation d'une cuirasse, et cimentés par un liant ferrugineux**, dû à la mobilité du fer.
- Les échantillons **HM2, POI 6 et POI 8** sont des **minerais mixtes**, où le faciès pisolithique côtoie le faciès massif dont il est issu.
- L'échantillon gréseux **HM1** qui provient des Hautes Minières est probablement représentatif d'une **remobilisation de fer qui a cimenté un sable** d'origine crétacé.

- L'échantillon provenant du **bocard de Montreuil** ne correspond pas aux types classiques de minerais décrits plus haut, mais pourrait résulter d'un **remaniement d'éléments détritiques hétérogènes** (pisolithes, quartz, débris ligneux) **cimentés par un liant ferrugineux** diagénétique.

Les divers échantillons de minerais de fer encore en place, ou remaniés en surface, correspondent donc pour la plupart à des débris d'encroûtements latéritiques constitués d'hématite - goethite en plaques ou en petits nodules et pisolithes, altérées localement en limonite, qui ressemblent tout à fait aux cuirasses latéritiques développées en climats tropicaux et observables actuellement en Afrique et Amérique du Sud.

Ces observations sont confirmées par les travaux développés depuis une vingtaine d'années, qui ont reconnu au niveau régional une phase d'altération continentale de type latéritique, d'âge crétacé inférieur, développée ici sur les formations argilo-gréseuses du Valanginien et les calcaires jurassiques (cf. Wyns *et al.*, Géologie de la France n° 1, 2003).

Les minerais « primaires » provenant des sites de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance sont riches en fer, pauvres en aluminium et en phosphore : ils constituent ainsi d'excellents minerais, dont le traitement minéralurgique était facile.

### **3.3.3. Synthèse géologique et proposition d'un modèle de genèse du gisement**

A la suite de la surrection du bouclier rhénan consécutivement à l'ouverture de l'Atlantique nord au début du Crétacé, et à l'émersion des terrains jurassiques et crétacés qui le bordaient, une phase d'altération latéritique en climat tropical a affecté l'ensemble de ces formations (Wyns *et al.*, 2003).

Les gisements de fer reposant sur une surface jurassique karstifiée sont ainsi connus en Ardennes (Voisin, 1994), Lorraine, Bourgogne et Franche-Comté (Morin, 1993).

En ce qui concerne les gisements de la région de Poissons, on peut d'après les résultats de la présente étude, proposer un modèle génétique cohérent, même si certains aspects chronologiques semblent encore indéterminés.

#### **a) Altération latéritique lors de la phase d'émersion éo-crétacée, formation et piègeage du minerai « géodique »**

La répartition des gisements de la région de Joinville, d'après les cartes géologiques, est assez uniforme sur la surface d'émersion éo-crétacée reposant sur formations détritiques du Valanginien et les calcaires du Portlandien.

Au cours de cette émersion, l'altération latéritique, avec formation de profils complets comportant le terme ultime de l'évolution que constitue la cuirasse alumino-ferrugineuse, a affecté la couverture crétacée, tandis que la karstification du substratum calcaire jurassique a été probablement active et continue pendant toute cette période d'émersion.

C'est ainsi que Jaillet (2000) a observé dans le gouffre du Tunnel, dans la région de Savonnières-en-Perthois, environ 20 km au nord de Poissons, du Valanginien ferrugineux en contact stratigraphique direct avec les calcaires du Portlandien.

Cet auteur décrit également le développement de poches de fer crypto-karstiques sous couverture dans les calcaires du Portlandien de la carrière souterraine d'Aulnois-en-Perthois. On peut y voir un remplissage ferrugineux constitué par les débris de minerai en plaquettes, dans une matrice argileuse, provenant d'une cuirasse démantelée et sous-tirée par la karstification.

En ce qui concerne les gisements de la région de Poissons, on peut donc représenter le schéma génétique suivant (fig. 8) :

- formation d'un profil d'altération latéritique et d'une cuirasse ferrugineuse sur la couverture crétacée (et une partie des formations carbonatées ?), avec karstification simultanée du substratum calcaire. La formation de ce profil a duré une longue période (de l'ordre d'un ou plusieurs MA), car la cuirasse ferrugineuse, qui en est le terme extrême, ne peut se former qu'après une longue évolution chimique ;
- démantèlement des cuirasses, sous-tirage karstique et érosion, piégeage et concentration simultanés d'une fraction des argiles latéritiques et des débris résiduels de cuirasse ferrugineuse dans les cavités et dépressions karstiques (minerai « géodique », ou « fer géodique inférieur » de Thiria), avant l'épisode transgressif de l'Hauterivien ;
- scellement des formations résiduelles et des gisements karstiques par les dépôts transgressifs marins carbonatés du Crétacé inférieur. Dans la région de Poissons, cette couverture a été érodée, alors que plus au nord, dans la région de Saint-Dizier, elle a protégé les gisements de fer « géodique », qui ont été exploités en souterrain.

### ***b) La transgression crétacée et la formation du minerai « oolithique »***

La transgression marine qui scelle les formations latéritisées et karstifiées se produit dès l'Hauterivien, étage qui succède au Valanginien latéritisé. Au Barrémien, étage succédant à l'Hauterivien, une nouvelle phase d'émersion (Barrémien supérieur) se traduit à nouveau, par la formation d'un profil d'altération latéritique caractéristique, visible à l'ouest de la Marne, et dans le graben de Nancy, à une vingtaine de kilomètres au nord de Joinville, avec de bas en haut, des sables et grès plus ou moins ferrugineux, des argiles « panachées », équivalent probable des argiles tachetées des profils latéritiques, et un minerai de fer « oolithique », qui a été exploité dans les environs de Maizières et de Nancy. Les formations de l'Aptien et de l'Albien qui succèdent au Barrémien sont entièrement marines.

D'autres phases d'émersion altération ont pu se produire par la suite, comme c'est le cas pour les minéralisations ferrifères de la région de Montbéliard, qui sont interprétées comme « des sols anciens, témoins d'une longue période d'altération ferralitique et de karstification, qui s'étend du Crétacé terminal à l'Eocène » (Monthel, 2003). Ces minéralisations sont donc plus récentes que celles de Poissons, mais se présentent également, du moins pour partie, « en amas ou boyaux dans les calcaires jurassiques,

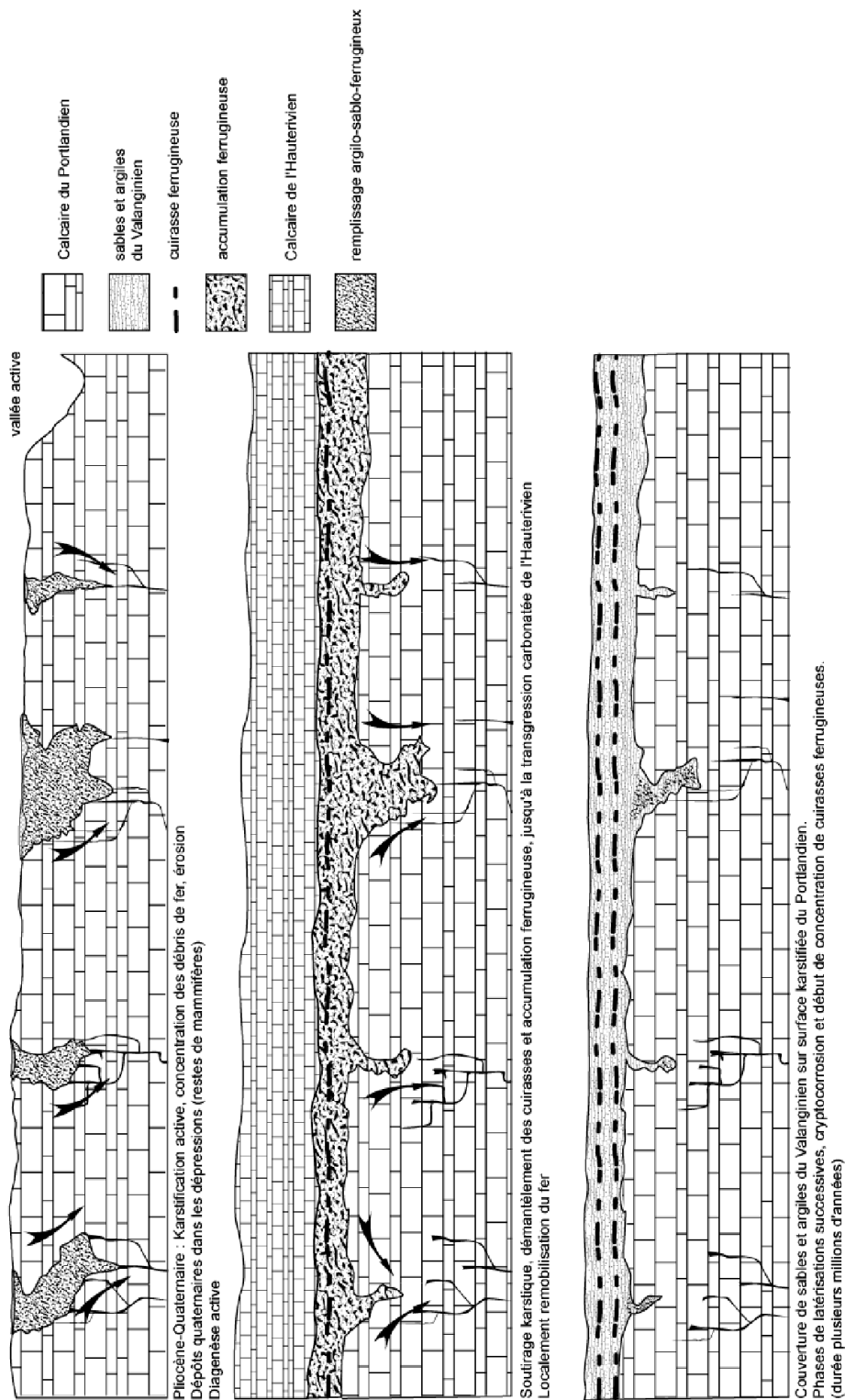


Figure 8 - Schéma de mise en place des gîtes ferrifères de Poissons.

s'agissant de remplissage de cavités karstiques par des argiles sidérolitiques ». Les gisements sont recouverts par des formations tertiaires, sauf dans l'ancienne mine de Bussurel, qui affleure dans un panneau surélevé par failles. Le minerai a été exploité depuis 1440, mais surtout au XIX<sup>e</sup> siècle (Morin, 1993).

### ***c) Evolution des gisements après leur mise en place***

Il est certain que les dépôts ferrugineux piégés en système karstique ont par la suite évolué, notamment lors de la surrection définitive des terrains et de la tectonique alpine, puis de remaniement de surface au cours des périodes de glaciations et de déglaciations quaternaires.

Pendant les diverses émergences et transgressions marines du Crétacé, du minerai de type oolithique a pu se former par reprise (dissolution, diagenèse) d'un stock de minerai préexistant. Le fer sous forme oxydé étant très mobile, une évolution diagénétique des minerais avec dissolutions et cimentations s'est produite et a été à l'origine de formation de minerais secondaires, comme le grès à ciment ferrugineux trouvé sur le site des Hautes Minières.

La répartition actuelle des gisements ne correspond sans doute pas à celle d'origine, par suite d'érosion d'une partie d'entre eux. Aussi la surface formée par le substratum calcaire portlandien et concernée par le piégeage de cuirasse démantelée devait être plus importante que celle qui est maintenant observable.

### ***d) Relations possibles entre les caractéristiques des gisements et leur exploitation historique***

Les minières de Poissons sont exploitées de façon certaine depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, comme l'atteste un texte des titres et charte de la seigneurie de Poissons daté de 1693, mentionnant que « du minerai avait été tiré et fouillé dans les bois d'usage communs depuis plus de trente ans ». Au XVIII<sup>e</sup> siècle, certaines parties des gisements sont déjà épuisées.

Dans la vallée du Rognon (à Bourdons), le minerai a été extrait depuis le XII<sup>e</sup> siècle (d'après les recherches documentaires de M. Philippe, membre du PCR), aussi il est possible que l'exploitation de ce minerai ait commencé dès le Moyen-Age, ou même à l'époque gallo-romaine, comme cela a été noté par Salzard (1878) à Bettancourt-la-Ferrée près de Saint-Dizier. Dans cette localité, la présence d'anciens crassiers sur les sites d'exploitation doit, pour cet auteur, remonter à l'époque des forges à bras gallo-romaines. A partir des alignements de dolines, les mineurs ont atteint plus facilement la couche à fer géodique, qu'ils ont alors exploité en souterrain.

Les gisements de la région de Poissons présentent dans ce cas des caractéristiques beaucoup plus favorables à une exploitation ancienne, ceci pour les raisons mentionnées ci-dessous :

- Présence du minerai très apparente à la surface du sol : au départ, la présence de blocs de minerais, de taille parfois pluridécimétrique, concentrés dans des poches

karstiques et donc en grande densité au sol, a dû attirer l'attention, d'autant plus que la végétation sur place devait présenter quelques particularités compte tenu de la nature et de la composition chimique des terrains, donc des sols développés dessus (minerais de fer et argiles dominants, différents des terrains sur substratum calcaire aux alentours).

- Facilité d'extraction à partir de la surface, du moins au début de l'exploitation : l'exploitation du minerai à partir d'affleurements au sol n'a pas posé de difficultés sur le plan minier, du moins dans la phase initiale puisqu'il suffisait de creuser à partir de la surface, les blocs pouvant être recueillis à la main ou à la pelle et la pioche (exploitation épidermique) quand ils étaient erratiques. Par la suite, les moyens techniques se sont adaptés aux conditions plus complexes de l'extraction en puits ou en galeries, mais on sait que les gallo-romains maîtrisaient déjà des techniques de ce genre en d'autres endroits.

Les différentes phases d'exploitation successives, selon les époques, ont remanié et détruit les traces précédentes laissées sur les sites, telles que des amas de stériles (blocs de calcaire) et les dépressions, de plus en plus importantes. Aussi le contexte actuel très dégradé, à l'exception de galeries profondes préservées, rend la lecture des phases d'exploitation peu aisée.

### **3.4. CONCLUSION, RECOMMANDATIONS**

#### **3.4.1. Conclusion**

Les gisements de fer de Poissons (Mélaire, Le Laiçon) et de sa région (Hautes Minières), connus depuis longtemps, ont toujours intrigué par la diversité, l'hétérogénéité et la complexité des contextes dans lesquelles se trouvaient les minerais. De ce fait, la genèse des gisements et l'origine des minerais n'apparaissent pas clairement compréhensibles.

Aussi, après des explications plus ou moins réalistes avancées depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, il apparaît que ces gisements se placent dans le cadre d'une évolution géologique régionale dont l'histoire commence pendant la phase d'émersion éo-crétacée et la période de latéritisation en climat tropicale ayant affecté les terrains sédimentaires émergés.

Les minerais de fer ont été formés pendant une longue période d'altération latéritique, de l'ordre d'un à plusieurs millions d'années, et sont de type cuirasse ferrugineuse légèrement alumineuse, telle que celles qui sont connues dans les régions tropicales actuelles, et qui sont aussi à l'origine des gisements de bauxite en France.

Cette cuirasse a été démantelée par l'érosion et les résidus ont été piégés de façon précoce dans les poches karstiques creusées dans le substratum calcaire sous-jacent, le phénomène de karstification ayant joué dès la phase d'émersion régionale.

Les gisements primaires ainsi formés ont été préservés par les dépôts marins du Crétacé, puis mis à jour par l'érosion, partiellement détruits, et ont subi des phases de remaniement et de diagenèse aboutissant à l'aspect qu'ils présentaient avant leur exploitation. La singularité des gisements, composés de blocs de cuirasse ferrugineuse dans une matrice argileuse rouge, affleurant au milieu des terrains calcaires, dans un contexte géomorphologique très apparent, est très probablement à l'origine d'une exploitation ancienne (Antiquité ?).

L'aspect actuel des sites, maintenant que le minerai exploité montre une grande diversité de modelé karstique, est donc le résultat d'une histoire géologique relativement longue, puis d'une intervention humaine datant probablement de plusieurs millénaires.

Les traces d'exploitation sont rares sur les sites étudiés, et celles du traitement du minerai (bocard et fourneaux) sont situées en dehors des zones exploitées. L'étude pétrographique d'un échantillon provenant du bocard de Montreuil, entre les sites de Poissons Mélaire et de Montreuil Hautes Minières, dont la composition est différente des autres échantillons prélevés sur les sites d'extraction, laisse à penser que du minerai provenant d'autres sites pouvait être traité avec celui des gisements étudiés.

### **3.4.2. Recommandations**

Le nombre considérable et la pertinence des résultats obtenus sur le site de Poissons en une seule campagne ont incité l'équipe pluridisciplinaire du PCR Haute-Marne à formuler fin 2004 le souhait d'une poursuite des investigations sur le thème géologie-gîtologie. Ses recommandations se déclinent suivant trois directions :

- étendre ce type d'étude à un autre secteur remarquable de la région, qui semble appartenir à un contexte gîtologique tout à fait différent ;
- étudier à titre de comparaison un gisement ferrifère qui a été nouvellement découvert à la limite de la Haute-Marne et de la Meuse (thèse Jaillot, 2000) ; ce site est unique et très prometteur dans la mesure où il semble être resté intact sous sa couverture sédimentaire ; ainsi protégé de l'érosion, il fournira aux chercheurs du PCR le modèle complet « étalon » des gîtes de fer exploités en Haute-Marne ;
- associer la géologie à la « muséographie de plein air » qui sera mise en scène dans les sentiers de découverte qui sont en projet.



## **4. Module « acquisition des droits d'utilisation de la carte géologique de la France image géoréférencée à 1/50 000 »**

Ce module a été programmé le 30 janvier 2003 de façon à solder le reliquat de budget de la convention d'application 2001 mais l'ensemble du financement nécessaire pour la totalité de la carte n'a été réuni qu'à la signature de la convention 2003. L'envoi des cédéroms de la carte géologique image géoréférencée à 1/50 000 a été retardé dans l'attente de la signature de la convention sur les droits d'utilisation. Cette formalité ayant été accomplie en automne 2004, ils ont été aussitôt livrés.

### **4.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS**

Les Services Régionaux de l'Archéologie sont chargés d'établir des cartes de gestion du patrimoine archéologique et des cartes thématiques pour illustrer les dossiers et analyser les informations patrimoniales rassemblées par les archéologues et les chercheurs.

Les Services Régionaux d'Archéologie ont souhaité disposer des cartes géologiques à 1/50 000 sous forme scannée et géo-référencée. Ces données numériques seront utilisées par un groupe d'agents dans chaque Direction Régionale des Affaires Culturelles. Aussi, la licence d'utilisation est de type réseau multi-utilisateur pour huit postes de travail sur chaque site d'utilisation.

### **4.2. DISPOSITIONS TECHNIQUES**

Il a été convenu que le BRGM mette à disposition la carte géologique numérique à 1/50 000 auprès des Services Régionaux de l'Archéologie (SRA) dans les conditions suivantes :

- désignation des données : carte géologique numérique de la France image à 1/50 000 ;
- nature des données : cartes scannées, mosaïquées et livrées en dalles jointives de 10 x 10 km ; légendes scannées correspondantes ;
- format : TIFF non compressé géo-référencé en Lambert 2 étendu ;
- zone couverte : chaque destinataire a reçu les dalles couvrant sa région administrative ;

Liste des bénéficiaires désignés par la SDA :

- la SDA ;

- les 22 SRA métropolitains ;
- les 4 SRA des départements d'Outre-Mer (Guyane exceptée car pas de donnée disponible) ;
- le Centre National d'Archéologie Urbaine (Tours) ;
- le Centre National de la Préhistoire (Périgeux) ;
- le Département des Recherches subaquatiques et sous-marines (DRASSM).

Mode de livraison : cédérom (ou DVD pour les destinataires nationaux) contenant les dalles géo-référencées et les légendes scannées.

Conditions d'utilisation : contrat de licence d'utilisation de type « réseau-multiposte » établi entre le BRGM et la SDA et transmis à chaque destinataire.

Extraits du contrat de licence :

« La licence autorise l'utilisation des fichiers pour un usage interne personnel et professionnel sur une à huit machines monoposte mono-utilisateur de type micro-ordinateur ou station de travail ».

« La licence inclut l'installation des fichiers sur un serveur afin de constituer une copie de sauvegarde centralisée. La licence exclut, entre autres, la diffusion des fichiers par copie à distance hors du site d'utilisation ou procédure de téléchargement en mode client/serveur, intranet, extranet ou internet ».

« La licence inclut la fourniture des fichiers de mise à jour annuelle concernant les cartes géologiques images à 1/50 000 scannées dallées qui restent à publier (environ 100 cartes) ».

#### **4.3. CONCLUSION**

Au terme de ce module, 29 jeux de fichiers ont été remis à la SDA et à ses services.

## 5. Conclusions générales

Les trois modules programmés ont été menés à leur terme prévu.

Le premier module a été lancé à la demande du SRA de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les travaux réalisés en collaboration avec le SRA et avec les archéologues du CCSTI de l'Argentière-la-Bessée ont permis de mettre au net de nouveaux résultats scientifiques très pertinents sur cette mine de plomb argentifère exemplaire du phénomène géologique que les spécialistes appellent « la métallogénie alpine ». La mise en place syntectonique alpine du gisement est confirmée. Elle est mise en scène par des coupes précises en 3 dimensions, qui peuvent être utilisées par les archéologues du CCSTI pour leur scénographie.

A bien des égards, cette « mine-musée » en perpétuelle « ébullition de découvertes » apparaît donc désormais aussi remarquable au point de vue géologique qu'elle l'était déjà au point de vue archéologique. Ce site ressort donc encore plus comme un point de mire pour les chercheurs comme pour les scolaires, les touristes et le grand public.

La publication scientifique de ces résultats conjointement par les géologues et les archéologues dans un magazine géologique d'audience internationale est vivement recommandée.

Le second module a été lancé à la demande du SRA de la région Champagne-Ardenne. Les travaux réalisés en collaboration avec le SRA et avec les archéologues du PCR « Mines et minerais de fer de Haute-Marne » ont apporté une moisson de découvertes inédites sur l'ancienne mine de Poissons. Au sein du district minier qui concentre le plus grand nombre d'établissements sidérurgiques de l'histoire de France sur 2 000 ans, cette mine apparaît d'autant plus emblématique.

Ces découvertes en soi très instructives au plan académique sont rehaussées par celles de la vaste campagne de fouilles en cours par les archéologues. La pertinence des observations à toutes échelles et les techniques modernes de laboratoire mises en œuvre ont mis ce très ancien district minier jusqu'alors méconnu au rang des sites miniers français les mieux documentés et ceci de façon pluridisciplinaire. La Haute-Marne se classe donc désormais parmi les régions phares de l'archéologie minière française, notamment en ce qui concerne le fer. Une poursuite des études géologiques est recommandée, notamment en perspective des itinéraires de découverte pédagogiques et touristiques qui sont en projet pour valoriser le patrimoine de la région.

Enfin, le troisième module avait été initié à la demande de la SDA (et de l'ensemble des SRA membres du comité de pilotage de la convention) à la fin de la convention d'application antérieure. Son financement et sa réalisation ont été achevés dans le cadre de la convention 2003. Ce module a consisté en l'acquisition par la SDA auprès du BRGM, des droits d'utilisation de la carte géologique numérique de la France à 1/50 000 (image scannée géoréférencée). Au total, 29 services de la SDA ont été pourvus.

Le produit consiste en cartes scannées, mosaïquées et livrées en dalles jointives de 10 x 10 km avec les légendes scannées correspondantes. Chaque destinataire a reçu les données numériques couvrant sa région administrative sous la forme d'un cédérom. Les conditions d'utilisation ont fait l'objet d'un contrat de licence d'utilisation de type « réseau-multiposte » établi entre le BRGM et la SDA. Il a été transmis à chaque destinataire des cartes numériques.

Les objectifs des trois modules et notamment ceux des deux études géologiques de terrain sont à souligner. Il ne s'est pas agi seulement d'un travail de recherche académique, mais véritablement d'une étude de Service public dans l'esprit de la collaboration jusqu'ici réalisée entre le BRGM et les archéologues, comme une publication de X. Guthertz et H. Barge en 1998 l'a souligné à propos de « l'opération pilote PACA ». Elle a démontré toute l'utilité de faire contribuer les Sciences de la Terre à une étude pluridisciplinaire d'archéologie, dans une triple perspective :

- de réaménagement du territoire ;
- de développement économique et touristique ;
- de valorisation, auprès du public, de son histoire et de son patrimoine scientifique et culturel.



**Centre scientifique et technique**  
**Service Ressources minérales**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34