



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1255–1264



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux (Métallogénie)

## La mine médiévale d'argent du Pontet, une fente alpine contemporaine de la surrection des massifs cristallins ?

Jean-Louis Feybesse<sup>a,\*</sup>, Marie-Christine Bailly-Maître<sup>b</sup>, Jean Feraud<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Service « Ressources minérales », BRGM, BP 6009, 45060 Orléans, France

<sup>b</sup> Laboratoire d'archéologie médiévale méditerranéenne, UMR 6572, université de Provence–CNRS, 5, rue du Château-de-l'Horloge, BP 647, 13094 Aix-en-Provence cedex, France

Reçu le 11 mai 2003 ; accepté après révision le 29 juin 2004

Disponible sur Internet le 15 septembre 2004

Présenté par Zdenek Johan

### Résumé

La mine du Pontet a été étudiée dans le but d'actualiser la connaissance géologique et, en termes d'archéologie, de préciser l'influence de la géométrie des structures sur la conduite des travaux médiévaux et la forme des chantiers. L'étude structurale permet de replacer la minéralisation dans l'évolution tectonique. La minéralisation et les failles WNW–ESE dextre-normales contrôlant sa mise en place sont rapportées à l'Éocène par analogie avec le faisceau voisin de La Gardette. Ceci confirme l'âge Éocène supérieur à Oligocène classiquement proposé pour la phase 1 et amène à la rapporter plutôt à l'Éocène. Les plis P1 de type Prégentil, décrits par Lameyre (1958), sont attribués ici à la phase 1 ; aussi la surrection tectonique du socle cristallin, dont ils sont contemporains, est-elle à rapporter à cette phase et non à la phase 2. **Pour citer cet article : J.-L. Feybesse et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**The Pontet medieval silver mine: a fente alpine contemporaneous with the uplift of crystalline massifs?** This study of the Pontet mine aimed at updating the understanding of ore-structural geology setting and, in terms of archaeology, at pointing out how the geometry of structures influenced the medieval workings and the shape of the galleries. The mineralisation and the WNW–ESE dextral normal faults controlling its emplacement are assigned to the Eocene by analogy with the neighbouring La Gardette structure. This confirms the Late Eocene to Oligocene age classically proposed for Phase 1 and places it in the Eocene. The Prégentil-type P1 folds described by Lameyre (1958) are here attributed to Phase 1, which raises the question as to whether the contemporaneous tectonic uplift of the crystalline basement should also be assigned to Phase 1 rather than to Phase 2. **To cite this article: J.-L. Feybesse et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [brgm.maps@afribone.net.ml](mailto:brgm.maps@afribone.net.ml) (J.-L. Feybesse).

*Mots-clés* : Isère ; mine du Pontet ; archéologie minière ; structurale ; chronologie ; déformation ; contraintes ; cinématique ; raccourcissement ; minéralisation ; plomb ; argent

*Keywords*: Isère; Pontet mine; mine archaeology; structural; chronology; deformation; constraints; kinematics; shortening; mineralisation; lead; silver

### Abridged English version

Like many mines in France, the Pontet mine is an archaeological site. The inquiry conducted at this site in 1999 [1] has shown the invaluable scientific potential of this mine. Two excavation projects, in 2000 and 2001 (Fig. 1), have led to the establishment, in conjunction with government-funded organizations (SRA Rhône-Alpes, DRIRE and BRGM), of a security development plan to protect the patrimonial interests of this site and a preliminary scientific study programme (archaeology, geology, metallogeny) [1,7]. Conducted in this way, this study is the product of collaboration between BRGM and the Archaeological Services.

The Pontet mine is a classic site of ‘Alpine metallogeny’. The lithotectonic section includes a Hercynian basement ‘overlain’ by Triassic and Liassic sediments. The veins are located within the Hercynian basement (Fig. 2). Two Alpine tectonic phases are described in the Bourg-d’Oisans region [2,4,6,11,16,18]. The first includes moderate folding that extends from the Late Eocene to the Oligocene. The second occurred at the end of the Miocene and is characterized by broken folds (Prégentil type of Lameyre [11]) and the uplift of crystalline massifs. This study uses the structural analysis of the Pontet mineralised veins and its immediate surroundings (Figs. 2–7) to place mineralisation within tectonic evolution. Evolution begins with a tectonic event linked to a WNW–ESE to NW–SE-oriented shortening that can be divided into three episodes (Fig. 8). *Episode 1*, contemporaneous with P1 folding and mineralisation, includes an initialisation phase (Episode 1a) and a paroxysm phase (Episode 1b) of normal dextral movement of the WNW–ESE Pontet mineralised structures. *Episode 2*, a continuation of Episode 1, corresponds to the terminal phase of hydrothermal activity. *Episode 3* corresponds to movement along post-mineralisation, north–south-oriented sinistral faults.

The mineralisation and the faults controlling its emplacement are considered to be Eocene by analogy

with the neighbouring structure of the La Gardette mine, where ages of 36 to 39 Ma have been proposed [14].

Episodes 1 and 2 and the mineralisation of Pontet and La Gardette are thus contemporaneous with the tectonic Phase 1 described for the Bourg-d’Oisans region [2,18]. This confirms the Late Eocene to Oligocene age proposed for this phase and places it more precisely in the Eocene.

The geometry of folds and schistosity and the probable concomitance of dextral faults of Episode 1 and the Prégentil broken fold lead us to believe that this folding belongs to Phase 1 rather than to Phase 2. This would not cast doubt upon the existence of Phase 2, but would signify that the latter corresponds essentially to NE–SW- to north–south oriented dextral strike-slip faults delineating large crustal blocks. On the other hand, if we assume that the Prégentil-type folds result from the tectonic uplift of the crystalline basement, then this uplift would also be ascribed to Phase 1 rather than Phase 2.

### 1. Introduction

Dans le cadre des opérations de mise en sécurité (MES) des « concessions minières orphelines », MES qui équivaut à la disparition des vestiges, les ministères de l’Industrie et de la Culture ont convenu qu’une étude préalable serait menée afin d’estimer l’importance archéologique des sites concernés. Ainsi, pour les mines du Pontet et de La Gardette (Villard-Notre-Dame), une première enquête menée en 1999 par le CCSTI de l’Argentière–La Bessée [1] a montré l’incalculable potentiel archéologique de la mine du Pontet. Deux campagnes de fouilles ont donc été conduites en 2000 et 2001, sous la responsabilité de Marie-Christine Bailly-Maître (CNRS) ; elles ont permis d’établir, en concertation avec les services de l’État (SRA Rhône-Alpes, Drire et BRGM), un plan d’aménagement sécuritaire sauvegardant les intérêts patrimoniaux de ce site. Outre sa valeur archéologique

indéniable, la mine du Pontet est un des sites emblématiques de la « métallogénie alpine ». À ce titre, elle s'inscrit dans le patrimoine métallogénique français, mais, contrairement à sa voisine de La Gardette, elle n'a pas fait l'objet d'une expertise géologique récente ; aussi une analyse géologique et géologique a-t-elle été menée [7] pour actualiser les connaissances avant la MES des lieux. Menée dans ce cadre, la présente étude est le fruit d'une collaboration entre le BRGM et les services de l'Archéologie ; il s'agit d'une approche structurale s'attachant à replacer les minéralisations dans leur contexte géologique. C'est donc un exemple de nouvelles données sur la métallogénie alpine apportées par les expertises menées en appui aux politiques publiques de MES et d'étude archéologique des concessions minières orphelines.

## 2. La mine médiévale du Pontet

Un texte d'archive incitait à identifier le site du Pontet à l'une des mines citées pour le massif de l'Oisans dans une enquête delphinale réalisée en 1339, *Item habet dominus plures crocos minarum argentearum in Oysencio videlicet apud Sanctum Christophorum (Saint-Christophe) et apud Vilare Arenarum (Villard-d'Arène) et apud Vennoscum (Venosc), apud Cuculetum (Cuculet/Mont-de-Lans), apud Ornonem (Ornon), apud Sanctu Laurentium (Saint-Laurent-du-Lac/Bourg-d'Oisans). Item habet menam plumbeam et coprosem in comba de malavalle (combe de Malavalle/le Grand-Clot). Item in Alpeta de Mena Cuprea (l'Alpette/La Fare ?). Item habet apud Garda (La Garde) et apud Livetum de Mena Ferri (Livet) (ADIB 3120 – enquête de 1339 en vue du transport du Dauphiné). Les opérations archéologiques menées depuis 1999 sur ce site confirment une exploitation médiévale, mais sur un temps plus long et, fait nouveau, livrent des datations antiques. La fouille de quelques secteurs, à l'intérieur des réseaux souterrains, a permis de recueillir des charbons de bois, prélevés dans des niveaux bien stratifiés. Ces échantillons, confiés au laboratoire du radiocarbone de Lyon donnent les fourchettes chronologiques suivantes : 89–125, 605–639, 997–1015, 1046–1156, 1075–1175. Ceci témoigne d'une exploitation sur plusieurs siècles, mais de façon probablement sporadique, car le gisement est peu important en développement. Les traces d'outils et la forme des chantiers confirment l'ancien-*

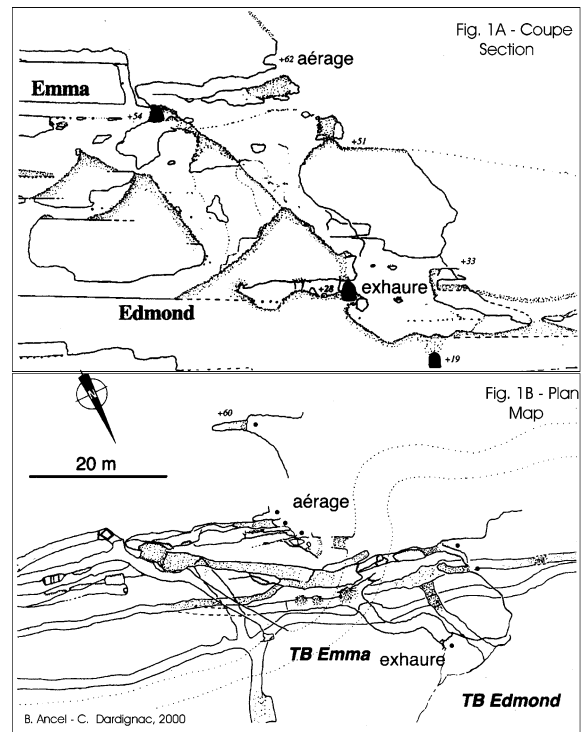


Fig. 1. Coupe (A) et plan (B) des travaux anciens ouest [1].

Fig. 1. Cross section (A) and plan view (B) of the west old workings [1].

neté des travaux. Les chantiers du XIX<sup>e</sup> siècle percent, en plusieurs endroits, ce que les ingénieurs des mines, et les archéologues, appellent des « vieux travaux », c'est-à-dire antérieurs à l'usage de la poudre en mine (donc antérieurs au XVII<sup>e</sup> siècle). L'ensemble le plus intéressant se trouve en tête des filons, là où le gisement affleurerait, au point le plus haut de l'exploitation (Fig. 1). C'est à ce niveau qu'a été percée la galerie Emma, recoupant les anciens chantiers. L'architecture souterraine est caractéristique des exploitations médiévales, avec maintien de piliers résiduels horizontaux, parois des galeries conservant des traces d'abattage au feu et front de taille à double saignées latérales. La courte galerie, dite d'aérage (Fig. 1), est en fait un chantier médiéval ; la fouille de son entrée a mis en évidence un carreau de mine avec sol de circulation, sur lequel étaient encore en place deux mortiers à concasser le minerai et un tas de minerai en cours de traitement. Les faibles teneurs [3,7,13] pourraient faire douter d'une exploitation pour l'argent au Moyen Âge. Et pourtant, à cette période, la monnaie est soumise à

un monométallisme quasi exclusif, incitant les princes ayant droit de battre monnaie à faire exploiter le plus petit gisement qui soit à l'intérieur de leur territoire. Comme de nos jours, la réalité d'une mine est soumise au contexte économique et politique du moment.

### 3. Environnement géologique et minéralogie de la mine du Pontet

La pile lithotectonique comprend un socle hercynien recouvert par des sédiments du Trias et du Lias. Les filons du Pontet recoupent le socle déformé à l'Hercynien (Fig. 2). Deux phases tectoniques alpines sont décrites dans la région de Bourg-d'Oisans [2,6,11,16,18]. La première se marque par un plissement modéré, la seconde correspond à des plis-failles de type Prégentil et à la surrection des massifs cristallins. La phase 1 interviendrait entre l'Éocène supérieur et l'Oligocène. La phase 2 est fini-Miocène. Les filons, de 500 m d'extension, sont orientés N110, avec un pendage de 70 à 75° vers le nord, et leur puissance est de 0,5 à 1 m. Le minerai comprend galène, pyrite, chalcopryrite, blende brune, cuivre gris. La gangue est constituée de quartz ( $\pm$  calcite et barytine) [15].

### 4. Analyse structurale de la mine du Pontet

Le relevé structural des galeries (Fig. 3) a permis de préciser l'organisation géométrique et la cinématique du faisceau de failles qui a piégé la minéralisation, d'établir une chronologie des déformations et ainsi de réunir les éléments de calage de l'événement hydrothermal du Pontet dans son cadre géologique et structural local. Les fractures observées dans la mine du Pontet appartiennent à différentes générations; toutes recoupent le socle et la foliation d'âge Hercynien des gneiss.

#### 4.1. Les faisceaux de fractures contrôlant la minéralisation (épisode 1)

Les faisceaux de fractures contrôlant la minéralisation (épisode 1) sont les plus précoces, et d'orientation moyenne N100 à 110 (Fig. 5). Les structures principales ont été exploitées en priorité: il s'agit de veines de quartz ou de zones où la roche est microfracturée

et silicifiée; leur orientation est généralement N100 à 130, plus rarement est-ouest et le pendage dominant est vers le nord de 30 à 85°. Les veines sont les plus riches en minerai, les zones broyées et silicifiées pouvant ne pas être minéralisées. Les veines minéralisées sont d'extension et d'épaisseur variables. Cette géométrie a fortement influencé le tracé et la section des galeries médiévales, qui suivent la disposition échelonnée des corps minéralisés, ceux-ci étant reliés par des relais plus ou moins complexes d'orientation et de pendage différents, où la minéralisation peut être plus riche.

La cinématique est déterminée, soit par l'étude des tectoglyphes, soit par l'analyse de l'organisation dans l'espace et des relations géométriques des fractures. Les failles contrôlant la minéralisation ont un jeu dextre avec une composante normale. L'orientation de la contrainte principale maximale ( $\sigma_1$ ) assimilée au raccourcissement crustal varie de N110 à N135 (NW–SE à WNW–ESE). Elle a été définie directement à partir des fentes de tension, qui sont parallèles à l'axe du raccourcissement, ou indirectement d'après l'orientation des failles et des stries par la méthode des dièdres droits (Figs. 6 et 7).

L'analyse de l'organisation et du fonctionnement des failles permet de préciser les modalités de piégeage de la minéralisation. La minéralisation disséminée se met en place dans le réseau de microfractures des zones broyées, en même temps qu'une silicification diffuse des roches. Quant aux veines de quartz minéralisées, elles se mettent en place à la faveur de fentes de tension et d'ouvertures ménagées, par écartement avec glissement, dans les plans des failles d'ordre 1 et 2, ou encore dans des zones de relais (Figs. 3–5). Dans le dernier cas, la formation d'ouvertures est liée à la rotation de blocs, provoquée par le fonctionnement de failles normales dextres, jouant pro parte comme des fractures d'extension (car d'orientation proche de celle du raccourcissement).

#### 4.2. La fracturation postérieure à la minéralisation (ss)

Deux générations de fractures (épisodes 2 et 3) sont sécantes sur les veines minéralisées; elles sont associées à des veines et des fentes de quartz blanc. L'épisode 2 correspond à des failles *dextres* de direction N70 à N90, auxquelles sont associées des veines et des

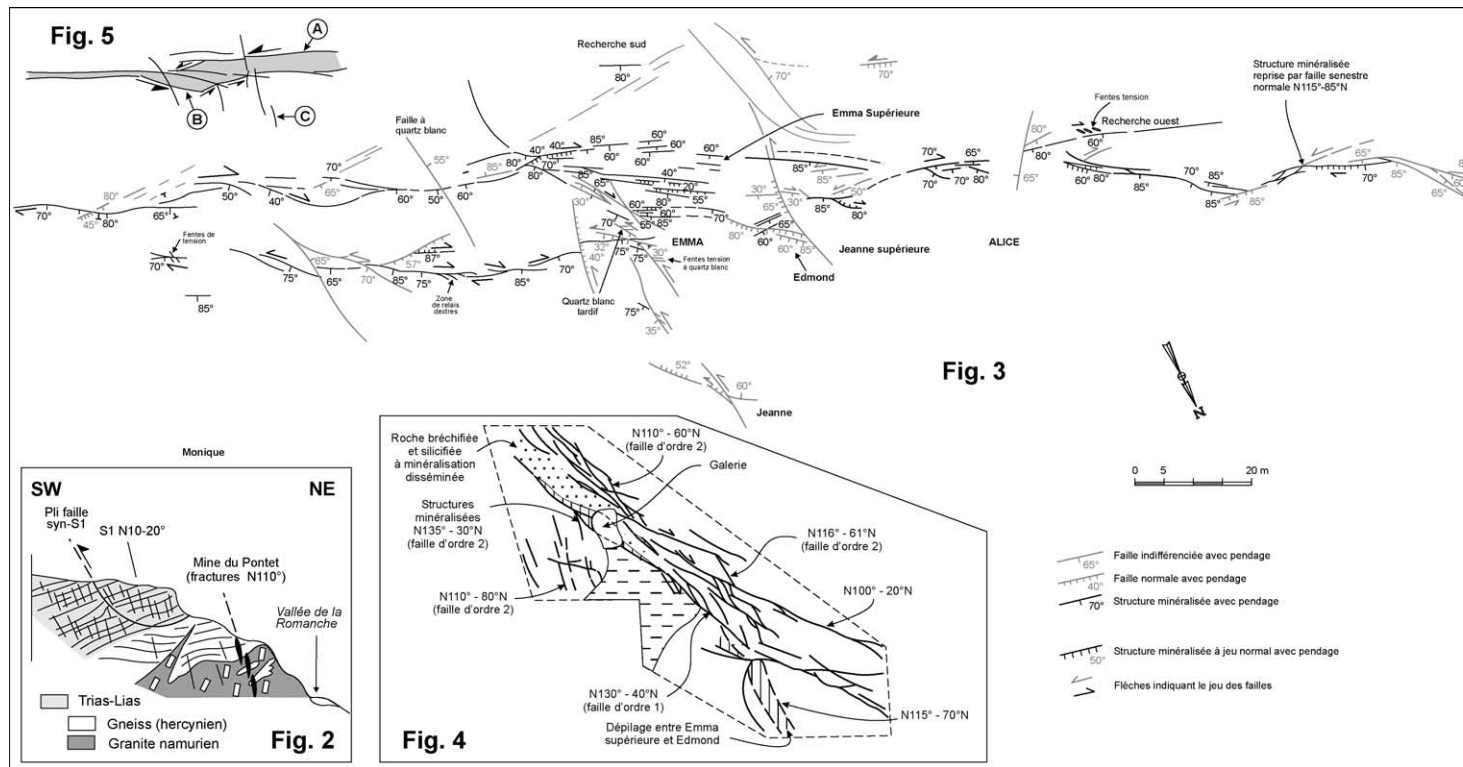


Fig. 2. Coupe litho-tectonique illustrant la composition de la pile à l'aplomb de la mine du Pontet.

Fig. 2. Lithotectonic cross-section illustrating the composition of the succession overlying the Pontet mine.

Fig. 3. Relevé structural du faisceau minéralisé du Pontet.

Fig. 3. Structural map of the Pontet mineralised structures.

Fig. 4. Vue en coupe illustrant les relations géométriques entre la structure minéralisée principale (failles d'ordre 1) et les structures secondaires (failles d'ordre 2).

Fig. 4. Cross-sectional view illustrating the geometric relationships between the principal mineralised structure (1st-order faults) and secondary structures (2nd-order faults).

Fig. 5. Vue en couronne de la galerie (donc inversée) d'une zone de relais dextre de la structure minéralisée principale (épisode 1). (A) Faille dextre inverse d'ordre 1 N120–70°N stries, pitch 31° au nord-ouest. (B) Failles d'ordre 2 N135–75°E. (C) Microfailles N20–50°E (attribuées à l'épisode (3) qui sont à jeu polyphasé, car elles présentent deux générations de stries qui indiquent un jeu sénestre (les stries correspondantes ont un pitch de 2° vers le nord) et un jeu en faille inverse (les stries correspondantes présentent un pitch de 70° vers le nord).

Fig. 5. View of a gallery roof (thus upside down) of a dextral relay zone of the principal mineralised structure (Episode 1). (A) First-order N120–70°N dextral reverse fault, with striations pitching 31° to the northwest. (B) 2nd-order N135–75°E faults. (C) N020–50°E microfaults (attributed to Episode 3) showing multiphase activity reflected by two generations of striations that indicate sinistral (corresponding striations pitch 2° to the north) and reverse (corresponding striations pitch 70° to the north) movement.

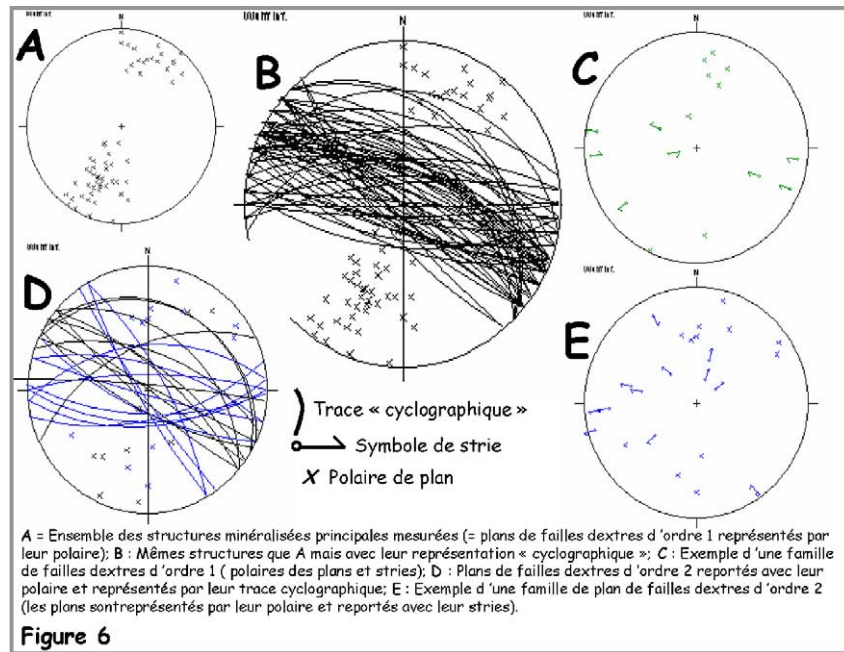


Fig. 6. Famille de failles dextres liées à un raccourcissement NW–SE à WNW–ESE.

Fig. 6. Dextral faults related to NW–SE to WNW–ESE shortening.

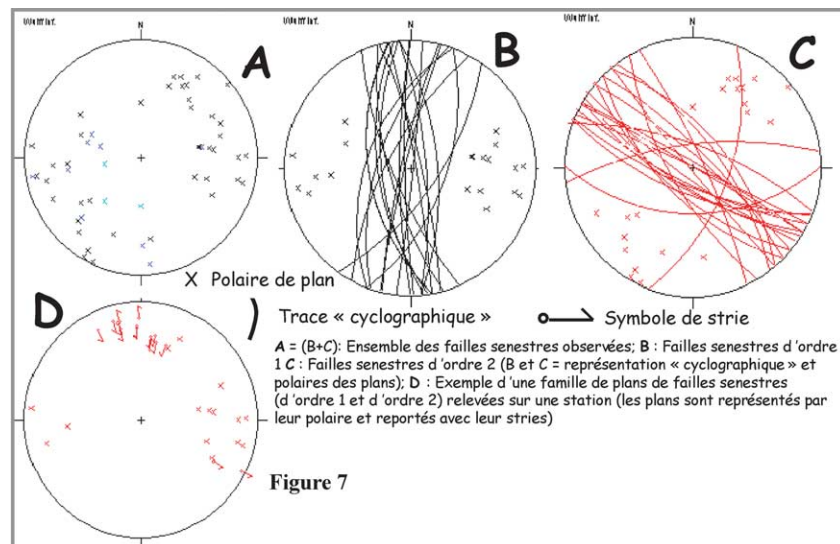


Fig. 7. Famille de failles sénestres liées à un raccourcissement NW–SE à WNW–ESE.

Fig. 7. Sinistral faults related to NW–SE to WNW–ESE shortening.

fentes à quartz blanc, dépourvues de galène, mais localement à calcite et chalcopryrite. Ces veines et ces fentes ont une direction N100 à 105 indiquant un rac-

courcissement de même direction, donc très similaire au raccourcissement associé à l'épisode 1. Cette similitude dans le raccourcissement et la cinématique ainsi

que la présence sporadique de chalcopryrite indiquent que ces failles marquent un stade terminal de l'épisode qui contrôle la mise en place de la minéralisation.

L'épisode 3 correspond à des failles sénestres recoupant les veines minéralisées (Fig. 5). Les failles sénestres d'ordre 1 sont de direction N340 à N30. À ces failles sont associées des failles sénestres d'ordre 2, de direction NW–SE, et des fentes de tension à remplissage de quartz blanc stérile, de direction N140 à 155, recoupant les structures minéralisées principales. L'orientation des fentes de tension et l'analyse des familles de failles et de stries permettent d'estimer la direction du raccourcissement : celle-ci varie de N120 à N155 (NW–SE à NNW–SSE). À ce stade, certaines failles dextres de l'épisode 1–2 rejouent. Le remplissage à quartz et galène est alors pour partie conservé dans les pseudotachylites développées dans le plan des failles sénestres. Ceci confirme que le jeu sénestre est postérieur à la minéralisation.

#### 4.3. La minéralisation synchrone de l'épisode 1

La minéralisation est synchrone de l'épisode 1. Les fractures de l'épisode 1 et la minéralisation qu'elles contiennent sont recoupées par les structures de l'épisode 2, qui s'inscrit dans un continuum avec l'épisode 1 : cela indique indirectement que la minéralisation est contemporaine de l'épisode 1. Par ailleurs, ponctuellement, dans les ouvertures par glissement, formées selon les plans de faille, des cristaux de quartz sont orientés selon  $\sigma_3$ , ce qui a priori indique qu'ils sont syn-tectoniques.

### 5. Discussion – Interprétation – Conclusion

L'intérêt d'une confrontation des données archéologiques et géologiques est double. Pour les géologues, le relevé structural des galeries apporte des informations sur l'organisation des failles minéralisées et sur la chronologie de cet ensemble. Pour les archéologues, il permet de mieux comprendre comment les exploitants ont été guidés par des indices géologiques et d'appréhender l'influence de la géométrie des structures sur la conduite des travaux médiévaux et la forme des chantiers.

La pile litho-tectonique a connu, « à l'alpin » trois épisodes de fracturation relatifs à un raccourcisse-

ment crustal de direction WNW–ESE à NW–SE. Comment ces épisodes s'insèrent-ils dans l'évolution tectonique en deux phases décrite dans la région de Bourg-d'Oisans (Fig. 8), où trois directions principales de failles ont été cartographiées [2]? Ce sont : (1) les failles nord–sud sénestres des faisceaux de Livet ou de Prégentil/Villard-Reymond, situés immédiatement à l'ouest du Pontet, (2) les failles NE–SW telles que celle d'Allemont et (3) les accidents « transversaux » WSW–ENE [11]. Les accidents nord–sud et NE–SW limitent les grands blocs crustaux. Les décrochements dextres NE–SW [2] tels que celui d'Allemont (limite ouest du bassin de Bourg-d'Oisans) sont rapportés à la surrection des massifs cristallins (phase 2) [18], de même que les chevauchements de type Rochail, qui provoquent la remontée du socle sur les sédiments liasiques. De fait, vers Villard-Notre-Dame, le contact entre le socle et le Trias est contrôlé par un accident N15 à faible pendage (18°); de même, à l'est de Bourg-d'Oisans, ce contact est marqué par des accidents inverses–dextres N15–64E (ce travail). De par leur orientation, leur jeu dextre et l'attitude des stries, ces accidents sont géométriquement compatibles avec un raccourcissement NE–SW à WSW–ENE (Fig. 8). Un tel raccourcissement n'est pas compatible avec le jeu sénestre des failles nord–sud des faisceaux de Livet ou de Prégentil/Villars-Reymond et de l'épisode 3, reconnu au niveau de la mine du Pontet. De fait, les failles dextres relatives à ce raccourcissement décalent les failles nord–sud, qui sont donc antérieures.

L'essentiel de la fracturation observée dans la mine est relative aux épisodes 1 et 2. L'épisode 1 est synchrone de la minéralisation, le second correspond au stade terminal du premier. La question du calage de ces épisodes par rapport aux phases tectoniques régionales peut donc être résolue à partir de l'âge de la minéralisation. Des structures à quartz rubéfié, liées au même événement tectono-hydrothermal que les structures du Pontet et de la Gardette,<sup>1</sup> pénètrent dans les sédiments du Trias et du Lias [1,14,15]. De même, près de Villard-Notre-Dame, des veinules de quartz à galène, de même direction que les veines minéralisées du Pontet et de la Gardette, recoupent les sédiments triasiques (ce travail). La minéralisation apparaît donc

<sup>1</sup> Distants de 1,5 km du Pontet et classiquement rapportés au même faisceau de structures minéralisées.

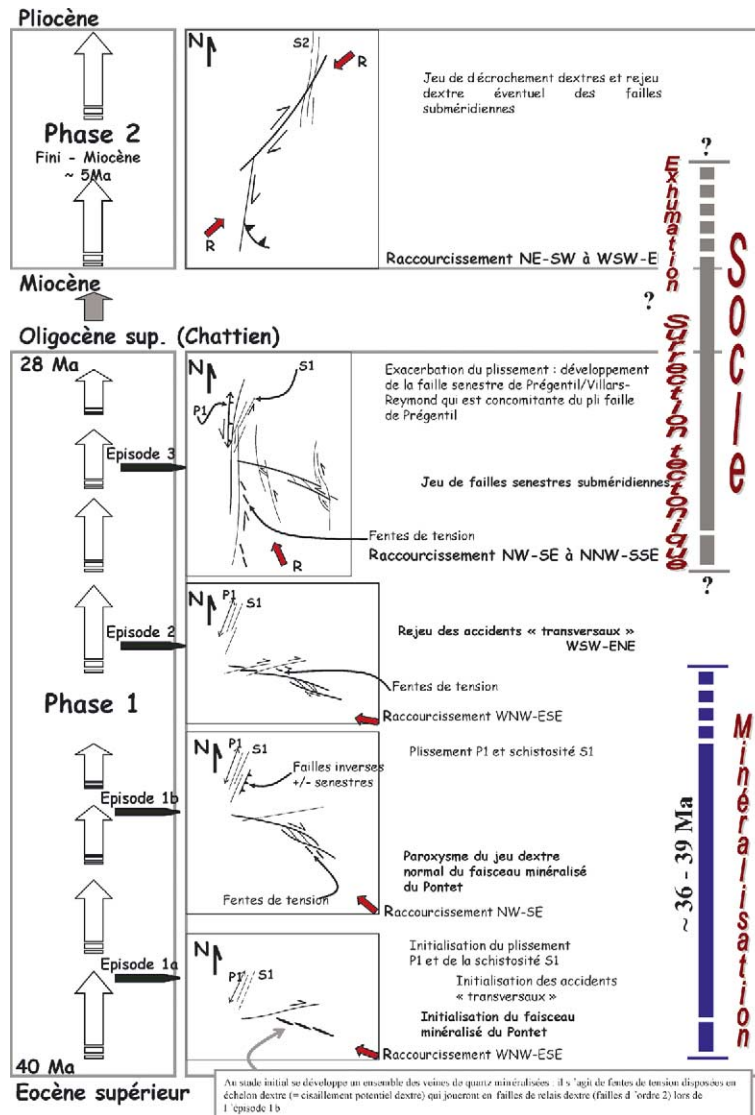


Fig. 8. Séquence des événements tectoniques de la région de Bourg-d'Oisans.

Fig. 8. Chronology of the tectonic events in the Bourg-d'Oisans area.

post-liasique, ce que confirment les âges éocènes (36 à 39 Ma) obtenus [14] pour l'hydrothermalisme de la Gardette. Ces âges confirment le lien entre, d'une part, l'événement minéralisateur et les épisodes 1 et 2 et, d'autre part, la phase 1, car celle-ci intervient entre l'Éocène supérieur et l'Oligocène [2,3,9,17]. De fait, l'attitude des plis droits P1 et de la schistosité S1 [2, 18] (ce travail) indique que ces structures, développées dans un contexte de déformation coaxiale (ce travail)

sont compatibles avec un raccourcissement crustal de direction WNW–ESE (Fig. 8), tout à fait comparable à celui déduit de l'analyse des fractures des épisodes 1 et 2.

L'analyse présentée précédemment amène à proposer la séquence d'événements résumée dans la Fig. 8. L'évolution enregistrée par le socle et sa couverture débute par une phase tectonique liée à un raccourcissement de direction WNW–ESE à NW–SE. Cette



*phase 1* se développe à l'Éocène, vers 36–39 Ma, et comprend trois épisodes. L'épisode 1 est contemporain du plissement P1 et de l'hydrothermalisme à l'origine de la minéralisation. Il débute probablement par un stade d'initialisation du faisceau minéralisé du Pontet (épisode 1a), avec le développement d'un système de fentes de tension en échelon sub-parallèles au raccourcissement. L'épisode 1b correspond au paroxysme du jeu dextre normal du faisceau minéralisé WNW–ESE du Pontet. L'épisode 2 marque en fait le stade terminal de l'épisode 1 et de l'hydrothermalisme. L'épisode 3 correspond au jeu des failles sénestres nord–sud. L'évolution se poursuit à la fin du Miocène avec la phase 2, liée à un raccourcissement de direction NE–SW à WSW–ENE et responsable de décrochements dextres, qui délimitent les grands blocs crustaux.

Les minéralisations du Pontet et de La Gardette sont donc contemporaines de la phase tectonique 1 décrite pour la région de Bourg-d'Oisans. Ce résultat, compte tenu des datations (36–39 Ma) obtenues pour les minéralisations [14], confirme l'âge Éocène supérieur à l'Oligocène proposé [2] pour cette phase 1 et amènerait à rapporter cette dernière à l'Éocène supérieur.

L'analyse des caractères géométriques des plis, schistosités et linéations relatifs aux phases 1 et 2 [18] nous amène à envisager un continuum de déformation pour ce qui concerne ces structures. En effet :

- les plans d'aplatissement (matérialisés par les schistosités S1 et S2) sont très proches ;
- les linéations d'étirement relatives aux phases 1 et 2 sont d'orientations comparables ;
- les plis failles de type Prégentil pourraient être interprétés comme l'exacerbation du plissement P1 au cours de la phase 1 ;
- les schistosités S1 et S2 pourraient correspondre à deux stades successifs de schistogenèse au cours de la phase 1.

Ceci conduit à attribuer les plis failles de type Prégentil à la phase 1 plutôt qu'à la phase 2. Ceci ne remettrait pas en cause l'existence de la phase 2, mais signifierait que celle-ci correspond essentiellement à des décrochements dextres et à des failles inverses. En revanche, dans l'hypothèse où les plis de type Prégentil résulteraient de la surrection du socle cristallin, l'âge de cette surrection serait à reconsidérer.

## 6. Perspectives en terme de modélisation métallogénique et gîtologique

Le filons du Pontet et de La Gardette sont, comme de nombreuses minéralisations de ce type dans les Alpes et dans le Massif central, associés spatialement à la paléosurface continentale anté-triasique,<sup>2</sup> qui est soulignée par un tégument triasique de grès, calcaires et dolomies séparant un socle fissuré, perméable en grand, de marnes liasiques imperméables. La question du rôle éventuel de cette interface socle–couverture se pose [8,12]. S'agit-il là (1) d'une zone de drainage privilégié de circulations paléo-hydrologiques à diverses époques et notamment à l'Alpin, ou bien (2) d'un métallotecte Pb–Zn précoce, en liaison avec le rift téthysien [10] et bien connu sur les bordures du Massif central [5], les minéralisations liées étant remobilisées ensuite à l'Alpin par des fluides plus ou moins syntectoniques et symmétamorphiques. Les hypothèses évoquées précédemment supposent une genèse polyphasée et peut-être des origines très diverses pour les fluides minéralisateurs. D'après l'étude des isotopes du plomb, une telle éventualité est envisageable pour ce qui concerne les filons d'Oulles et du Roux [13], voisins du Pontet. La réponse peut résider dans la caractérisation des fluides minéralisateurs en termes de composition, de rapports isotopiques et de conditions de mise en place. Ceci fournirait des informations plus précises sur leur origine, sur la participation éventuelle de fluides météoriques ou sur la source des métaux. Cette approche a pour partie été réalisée pour la mine de La Gardette [14]. Sur la base d'une étude des inclusions fluides, deux processus sont envisagés concernant l'origine de la cristallisation du quartz de la gangue :

- production d'un liquide riche en silice par déshydratation et illitisation des sédiments liasiques (à noter sur ce plan que la silice pourrait également provenir de la saussuritisation des plagioclases du socle, soumis alors à un métamorphisme) ;

<sup>2</sup> Le mot triasique est pris dans un sens large, car d'une région à l'autre la formation sédimentaire transgressive sur le socle est diachrone (Trias à Lias).

- changements rythmiques de pression dans l'encaissant, en liaison avec une activité sismique pulsatoire.

Il paraît légitime d'avancer ces hypothèses, la première tenant compte de l'âge de la minéralisation et de la composition de la pile lithologique, la seconde rendant compte du piégeage structural de la minéralisation, ce qui amène fort logiquement à envisager un rôle de la tectonique dans la libération des fluides. On notera que cette approche propose des solutions pour ce qui concerne l'origine des fluides porteurs de la minéralisation, mais que la question de l'origine du stock de métal reste posée [8].

## Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de service public du BRGM, cofinancé par la direction de l'archéologie du ministère de la Culture. Il s'agit d'une action concertée menée en liaison avec Mme M.-C. Bailly-Maître (CNRS et Groupe d'étude des mines anciennes, GEMA), le secrétariat d'État à l'Industrie (S3M/DIMAH), la Drac Rhône-Alpes, et la sous-direction de l'archéologie à la direction de l'archéologie et du patrimoine du ministère de la Culture (J. Philippon, H. Barge), que nous remercions.

## Références

- [1] B. Ancel, C. Dardignac, La concession minière de La Gardette–Le Pontet (Villars-Notre-Dame/Bourg-d'Oisans, Isère). Cadre, méthodes, enseignements, note de synthèse. Document final de synthèse, Service culturel Municipal (CCSTI) de L'Argentière-La-Bessée – Service régional de l'Archéologie Rhône-Alpes, 2000, 250 p.
- [2] J.-C. Barféty, P. Bordet, F. Carme, J. Debelmas, M. Meloux, G. Mont-Juvent, R. Mouterde, J. Sarrot-Reynauld, Notice explicative, Carte géol., France (1:50 000), feuille Vizille (797), BRGM, Orléans, 1972, 35 p. Carte géologique par J.-C. Barféty, P. Bordet, M. Bornuat, X. Buffière, F. Carme, J.-M. Debelmas, M. Gidon, P. Giraud, M. Meloux, G. Mont-Juvent, R. Mouterde, P.A. Poulain, J. Reboul, J. Sarrot-Reynauld, J. Vernet, 1972.
- [3] S. Ceriani, B. Fügenschuh, M. Schmid, Multi-stage thrusting at the "Pennic Front" in the Western Alps between Mont Blanc and Pelvoux massifs, *Int. J. Earth Sci.* 90 (2001) 685–702.
- [4] M. Bornuat, Étude de la couverture sédimentaire de la bordure ouest du massif des Grandes-Rousses au nord de Bourg-d'Oisans (Isère), *Trav. Lab. Géol. Grenoble* 38 (1962) 145–203.
- [5] J. Bouladon, P.C. de Graciansky, Les minéralisations dites de couverture (plomb, zinc, cuivre, uranium, barytine, fluorine...) du Trias au Pliocène, en France. Leurs relations avec les phénomènes connexes de l'ouverture de la Téthys et de l'Atlantique nord, in: *Chron. Rech. Min.*, vol. 480, 1985, pp. 17–33, 13 fig.
- [6] J. Debelmas, Alpes (Savoie et Dauphiné), Collection « Guides géologiques régionaux », Masson, Paris, 1970, 213 p.
- [7] J.-L. Feybesse, Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère). Nouvelles données sur la métallogénie alpine apportées par les expertises en appui aux politiques publiques de mise en sécurité et d'étude archéologique des concessions minières orphelines, rapport BRGM 50633 – FR p., 4 fig., 16 pl., 1 ann.
- [8] J. Feraud, Ore veins linked to old emersion surfaces in the crystalline basement of Provence and of the external belt of the French-Italian Alps, in: H.J. Schneider (Ed.), *Proc. 4th Int. Symp. on the Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine epoch in Europe (IV. ISMIDA)*, Spec. Publ. No. 3 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1983, pp. 128–135.
- [9] M. Ford, W.H. Lickorish, N.J. Kusznir, Tertiary foreland sedimentation in the Southern Subalpine Chains, SE France: a geodynamic appraisal, *Basin Res.* 11 (1999) 315–336.
- [10] M. Gidon, J.-C. Barféty, Les dispositifs dus à la paléotectonique jurassique dans la zone dauphinoise, in: S. Amaudric du Chaffaut, S. Fudral (Eds.), *De la marge océanique à la chaîne de collision dans les Alpes du Dauphiné*, *Bull. Soc. géol. France*, 8<sup>e</sup> série II (2) (1986) 197–231.
- [11] J. Lameyre, La partie nord du massif des Grandes-Rousses, *Trav. Lab. Géol. Grenoble* 34 (1958) 83–152.
- [12] A. Laroussi, Étude minéralogique et paragenétique de la minéralisation complexe à Co–Ni–Ag–As des Chalanches (Isère). Comparaison avec le district de Cobalt (Ontario), thèse, université d'Orléans, 1990, 198 p. et 9 planches photo.
- [13] E. Marcoux, Isotopes du plomb et paragenèses métalliques traceurs de l'histoire des gîtes minéraux, *Doc. BRGM*, n° 117, 1986, 388 p.
- [14] C. Marignac, M. Cathelineau, D. Banks, M.-C. Boiron, M. Ayt Ougougdal, Y. Argouarc'h, B. Poty, Alpine fault sealing at the contact between a crystalline basement and its sedimentary cover: La Gardette (French Alps), in: *Proc XIVth Eur. Curr. Res. on Fluid Inclusions (ECROFI)*, Nancy, France, 1–4 juillet 1997, American Geological Institute, 2000, pp. 194–195.
- [15] J. Meloux, Alpes-Nord, bilan synthétique de dix années de prospection, rapport BRGM 75 RME 023 FE, 1975, 104 p.
- [16] J. Reboul, Étude stratigraphique et tectonique des formations sédimentaires du massif du Grand-Renaud et du pic d'Ornon près de Bourg-d'Oisans (Isère), *Trav. Lab. Géol. Grenoble* 38 (1962) 121–146.
- [17] D. Seward, M. Ford, J. Bürgisser, H. Lickorish, E.A. Williams, W.L.D. Meckel III, Preliminary results of fission-track analyses in the Southern Pelvoux area, SE France, *Mem. Soc. Geol.* 51 (1999) 25–31.
- [18] P. Vialon, Clivage schisteux et déformations : répartition et genèse dans le bassin mésozoïque de Bourg-d'Oisans (Alpes du Dauphiné), *Géol. Alpine* 44 (1968).