

R

RP-50633



Direction  
de l'architecture  
et du patrimoine

Ministère de l'Economie,  
des Finances et de l'Industrie



Secrétariat  
d'Etat à l'Industrie

**DOCUMENT PUBLIC**

## *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*

Étude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 2000-DEP-409

décembre 2000  
BRGM/RP-50633-FR



Mots clés : Isère, Bourg d'Oisans, Le Pontet, La Gardette, Minéralisation, Contrôle structural, Analyse microstructurale, Cinématique, Géométrie de la déformation, Paléo-contraintes, Chronologie des phases et épisodes structuraux, Raccourcissement, Métallogénie alpine, Fentes alpines, Plomb, argent.

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

Feybesse J.-L. (2000) - 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. BRGM/RP-50633-FR, 74 p., 4 fig., 16 pl., 1 ann.

© BRGM, 2000, ce document ne peut être reproduit en totalité ou partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## **Synthèse**

L'ancienne mine de plomb (légèrement argentifère) du Pontet est située dans le département de l'Isère sur le territoire de la commune de Bourg d'Oisans.

L'étude de la mine a été réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM (fiche programme 2000-DEP-409) cofinancées par le ministère de la Culture à l'occasion du processus national de mise en sécurité des concessions minières orphelines dont la responsabilité est revenue à l'État. Il s'agit d'une action concertée menée en particulier en liaison avec Madame Marie-Christine Bailly-Maître (CNRS et Groupe d'Etude des Mines Anciennes, GEMA) et avec le Secrétariat d'Etat à l'Industrie (S3M/DIMAH).

Avec son voisin le célèbre filon de quartz et d'or de La Gardette, Le Pontet est un des sites les plus emblématiques de la fameuse « métallogénie alpine » et du monde quasi légendaire des cristallières du Dauphiné dont les « fentes alpines » alimentent les musées du monde entier depuis des siècles.

L'arrêt de l'Inventaire minier du BRGM dans les années 80 avait induit l'extinction des études métallogéniques systématiques de l'Université de Grenoble dans les Alpes. Les études scientifiques engagées cette année, sont l'occasion d'entreprendre une rénovation totale des connaissances sur la métallogénie dite alpine, à la lumière des méthodes et outils actuels. La présente étude est une première étape dans ce sens. C'est, pour l'essentiel, une approche structurale et gîtologique, qui s'attache à replacer les minéralisations dans leur contexte géologique, en s'appuyant sur l'analyse structurale du faisceau minéralisé du Pontet et de son environnement.

La pile lithotectonique comprend un socle hercynien « recouvert » par des sédiments du Trias et du Lias.

Les structures minéralisées de la mine du Pontet sont pour l'essentiel situées au sein du socle dont la déformation principale, vraisemblablement synchrone d'un métamorphisme hercynien, est anté-namurienne.

Classiquement, deux phases tectoniques (1 et 2), rapportées à l'évolution de la chaîne alpine, sont décrites dans la région de Bourg d'Oisans. 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 est rapportée à la période comprise entre le Paléocène et l'Oligocène (Chattien) (c'est-à-dire, entre 53 et 28 Ma). La phase 2 est datée de la fin du Miocène (vers 5 Ma).

La caractérisation des événements tectoniques décrits ici fait appel aux techniques de l'analyse micro-structurale. Cette approche permet de réunir les éléments de calage de l'événement hydrothermal du Pontet dans son cadre géologique et structural local.

Le relevé structural des galeries de la mine du Pontet amène à préciser l'organisation géométrique et la cinématique du faisceau de failles WNW-ESE qui a piégé la minéralisation.

Dans le secteur de la mine du Pontet, la pile lithotectonique a connu trois épisodes de fracturation (1, 2 et 3) relatifs à un raccourcissement crustal de direction WNW-ESE à NW-SE.

L'épisode 1 marqué par un faisceau de failles *dextres normales* 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 1 et 2, est partiellement résolu en fonction de l'âge de la minéralisation. Celle-ci recoupe les sédiments du Trias, et les failles contrôlant la minéralisation affectent les dépôts liasiques. La minéralisation apparaît donc post liasique, elle est rapportée à l'Éocène par analogie avec le faisceau voisin de la mine de La Gardette, où des âges de 36 à 39 Ma sont avancés. Compte tenu de cet âge, les épisodes 1 et 2 et la minéralisation sont rapportés à la phase 1.

L'épisode 3 est défini par des failles subméridiennes senestres.

La place des trois épisodes de fracturation et de l'hydrothermalisme du Pontet dans l'évolution géologique et tectonique de la région de Bourg d'Oisans est discutée. Ce calage repose sur une comparaison des épisodes de fracturation avec les déformations régionales décrites. Cette comparaison, en terme de cinématique, de direction du raccourcissement crustal, de chronologie et de géométrie de la déformation, amène à proposer une séquence d'événements intégrant les déformations cassantes et ductiles.

L'évolution enregistrée par le socle et les sédiments du Trias et du Lias débute par une phase tectonique liée à un raccourcissement de direction WNW-ESE à NW-SE. Cette phase 1 se développe entre 53 et 28 Ma, elle se décompose en trois épisodes :

- L'épisode 1 est *contemporain du plissement P1 et de l'hydrothermalisme à l'origine de la minéralisation*. Il comporte un stade d'initialisation (épisode 1a) et un stade de *paroxysme (épisode 1b) du jeu dextre normal du faisceau minéralisé WNW-ESE du Pontet*.
- L'épisode 2 est le *stade terminal de l'épisode 1 et de l'hydrothermalisme*.
- L'épisode 3 correspond au jeu des *failles senestres subméridiennes*. Celle de Prégentil/Villars-Reymond qui est concomitante du pli-faille de Prégentil est probablement l'une d'elles.

L'évolution se poursuit, à la fin du Miocène (~ 5 Ma), avec une tectonique liée à un raccourcissement de direction NE-SE à WSE-ENE. Cette phase 2 est responsable de décrochements dextres qui délimitent les grands blocs crustaux.

Les minéralisations du Pontet et de la Gardette (datées à 36-39 Ma) sont contemporaines de la phase tectonique 1 classiquement décrite pour la région de Bourg d'Oisans. Ce résultat, confirme l'âge Paléocène à Oligocène (Chattien) proposé pour cette phase et amènerait à la rapporter à l'Éocène.

Compte tenu de la géométrie des plis et des schistosités, et de la concomitance probable des failles senestres de l'épisode 1 et du pli-faille de Prégentil, l'appartenance de ce pli à la phase 1 est proposée.

Une telle éventualité ne remettrait pas en cause l'existence de la phase 2 mais signifierait que celle-ci correspond à des décrochements dextres NE-SE à subméridiens. En revanche, dans l'hypothèse où les plis de type Prégentil résulteraient de la surrection tectonique du socle cristallin, cette surrection serait à rapporter à la phase 1 et non à la phase 2.

## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	11
<b>2. Cadre géologique local</b> .....	15
2.1. La pile lithotectonique .....	15
2.2. La déformation dans le « socle » .....	15
2.3. L'évolution tectonique post hercynienne .....	15
<b>3. Les minéralisations du Pontet</b> .....	17
<b>4. Analyse structurale de la mine du Pontet.</b> .....	19
4.1 Méthodologie.....	19
4.2. La convention de mesure des structures.....	19
4.3. La foliation des gneiss .....	20
4.4. Les fractures contrôlant la minéralisation (épisode 1).....	21
4.5. La fracturation postérieure à la minéralisation.....	24
4.5.1. Épisode 2 .....	24
4.5.2. Épisode 3 .....	25
<b>5. Discussion - Interprétation - Conclusion</b> .....	27
5.1. Discussion : place des structures minéralisées dans l'évolution géologique et tectonique locale.....	27
5.2. Interprétation : séquence des épisodes de déformation .....	29
5.3. Conclusion.....	30
5.3.1. Résultats et questions .....	30

5.3.2. Perspectives au plan géologique et tectonique à l'échelle régionale.....	31
5.3.3. Perspectives en terme de modélisation métallogénique et gîtologique .....	31
5.3.4. Traçage isotopique des monnaies médiévales .....	32
<b>Bibliographie.....</b>	<b>33</b>

## Liste des figures

Fig. 1 - Levé structural de la mine du Pontet.....	12
Fig. 2 - Le Pontet : famille de failles dextres liées à un raccourcissement NW-SE à WNW-ESE. ....	22
Fig. 3 - Le Pontet : famille de failles senestres liées à un raccourcissement NW-SE à WNW-ESE. ....	26
Fig. 4 - Séquence des événements tectoniques de la région de Bourg d'Oisans.....	28

## Liste des planches

Pl. 1 - Environnement lithologique des minéralisations du Pontet,	
Pl. 2 - Eléments de chronologie et composition de la pile lithologique à l'aplomb des mines du Pontet.	
Pl. 3 - Vues illustrant la forme lenticulaire des structures exploitées.	
Pl. 4 - Galerie Emma, vue de la structure minéralisée à « la sol » : minerai à gros grain.	
Pl. 5 - Galerie Emma, vues du minerai.	
Pl. 6 - Galerie Emma, vue en couronne d'une zone de relais dextre » de la structure minéralisée principale.	
Pl. 7 - Coupes transverses synthétiques et interprétatives de la structure minéralisée de la Galerie Emma.	
Pl. 8 - Vue de la structure minéralisée principale (= failles d'ordre 1) et des fractures d'ordre 2 associées.	
Pl. 9 - Galerie Emma.	
Pl. 10 - Galerie Emma supérieure - front de taille d'époque médiévale.	
Pl. 11 - Galerie Emma supérieure, système de failles d'ordre 1 et 2 à jeu normal apparent.	

- Pl. 12 - Falaise située à l'WNW de la mine du Pontet (vue depuis la galerie « dite de la cascade »).
- Pl. 13 - « Au jour », le granite et les gneiss sont affectés par un faisceau de failles subparallèle aux failles minéralisées (N130-75N).
- Pl. 14 - Galerie Emma (59 m) - Structures minéralisées (= zone cataclasée, minéralisée et silicifiée) recoupées et envahies par du quartz blanc postérieur à la minéralisation.
- Pl. 15 - Zone d'affleurements à proximité des galeries (« au jour »). Faisceau de failles et microfailles situées dans le prolongement des structures minéralisées suivies par le défilage d'époque médiéval visible sur la photo 16.
- Pl. 16 - Exemples de stries de glissement.

## **Liste des annexes**

- Ann. 1** - Analyse de cristaux de galènes contenus dans les échantillons de minerai prélevés à différents niveaux de l'ancienne mine du Pontet.

## 1. Introduction

La mine de plomb (argentifère ?) du Pontet est située dans le département de l'Isère sur le territoire de la commune de Bourg d'Oisans.

Avec son voisin le célèbre filon de quartz et d'or de La Gardette, Le Pontet est un des sites les plus emblématiques de la fameuse « métallogénie alpine » et du monde quasi légendaire des « *Cristallières du Dauphiné* » dont les « fentes alpines » alimentent les musées du monde entier depuis des siècles.

L'arrêt de l'Inventaire minier du BRGM dans les années 80 avait induit l'extinction des études métallogéniques systématiques de l'Université de Grenoble dans les alpes. Après la thèse de minéralogie d'Assia Laroussi (1992) sur la mine bien connue des Challanches voisine, les études scientifiques engagées cette année, sont l'occasion d'entreprendre une rénovation totale des connaissances sur la métallogénie dite alpine, à la lumière des méthodes et outils actuels. La présente étude est une première étape dans ce sens. C'est, pour l'essentiel, une approche structurale et gîtologique, qui s'attache à replacer les minéralisations dans leur contexte géologique.

B. Ancel et C. Dardignac (2000) rapportent que le filon du Pontet a été exploité anciennement. Les textes médiévaux ne le décrivent pas expressément mais des gîtes de plomb-argent sont cités près de Bourg d'Oisans en 1339. La mine a été ensuite exploitée au XVIII<sup>e</sup> siècle par divers propriétaires, puis au XIX<sup>e</sup> siècle par la compagnie minière de Bourg d'Oisans.

On estime que les anciens ont abattu environ 2 500 tonnes de minerai de plomb d'une teneur moyenne en Argent faible (0,2 à 0,3 ‰) (Ancel et Dardignac, 2000). De fait, les teneurs en argent répertoriées sont relativement faibles (0,1 à 0,7 ‰) d'après les chiffres rapportés vers 1900 par les exploitants. Le BRGM donne des teneurs moyennes de 0,65 ‰ pour le traçage du niveau Jeanne (Meloux, 1975). D'après B. Ancel et C. Dardignac (2000), ces chiffres impliquent que les teneurs en argent du minerai médiéval ne dépassaient pas les 0,4 ‰, et par conséquent, que l'exploitation ancienne avait pour objet principal l'extraction du plomb.

L'étude de la mine du Pontet a été réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM (fiche programme 2000-DEP-409) cofinancées par la Direction de l'Archéologie du Ministère de la Culture. Il s'agit d'une action concertée menée en particulier en liaison avec Madame Marie-Christine Bailly-Maître (CNRS et Groupe d'étude des Mines Anciennes, GEMA), le secrétariat d'Etat à l'Industrie (S3M/DIMAH), la DRAC de Rhône-Alpes, et la Sous-Direction de l'Archéologie à la Direction du Patrimoine du Ministère de la Culture (Jacques Philippon, Hélène Barge).

Le relevé structural des galeries Jeanne, Emma, Edmond, Jeanne supérieure, Emma supérieure et Monique ainsi que des recherches Sud et Ouest ont été réalisés par J.L. Feybesse (fig. 1). Un encadrement sécurité a été mis en place pendant toute la durée de la mission.

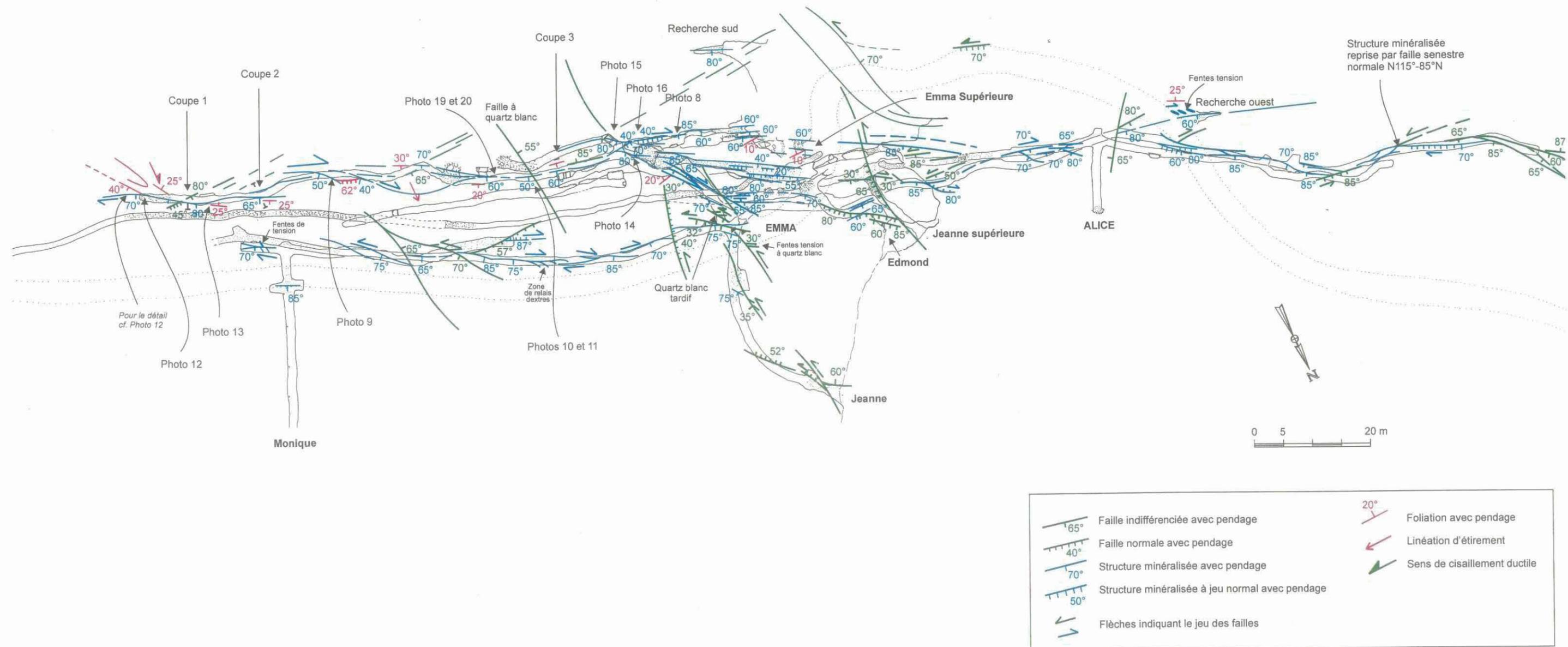


Fig. 1 - Levé structural de la mine du Pontet.

Christian Vialaron, archéologue minier du Groupe d'Étude des Mines Anciennes (GEMA) a participé aux travaux de terrain en apportant notamment à l'équipe une assurance spéléologique, ainsi qu'un appui par sa connaissance du réseau de galeries, et de la minéralogie pour l'échantillonnage du minerai. Cet échantillonnage a été réalisé par la méthode dite de l'écaillage encore appelé « chip sampling ». En effet, le but n'étant pas de « cuber » le gisement mais de contrôler la teneur en argent de la galène<sup>1</sup> un rainurage s'avérait inutile. Les analyses, réalisées au BRGM, sont fournies en annexe 1. Elles confirment que les teneurs en argent sont faibles et que vraisemblablement seul le plomb pouvait présenter un intérêt économique.

Nous remercions Bruno Ancel qui nous a communiqué ses fichiers informatiques des plans de la mine qu'il a levés en 1999 (fig. 1).

Ce rapport concerne, pour l'essentiel, l'analyse structurale de la mine du Pontet.

Les résultats et interprétations présentés ici reposent sur des observations réalisées au cours de trois jours et demi de terrain, ce qui est suffisant pour mener une analyse structurale pertinente du système de fractures minéralisées et intégrer ce système dans son cadre géologique et tectonique local. En revanche, au terme d'une étude aussi courte, il ne serait pas crédible de prétendre intégrer le système de fractures du Pontet et l'hydrothermalisme associé dans un cadre régional plus vaste, surtout dans un contexte aussi complexe que la chaîne alpine.

---

<sup>1</sup> En volume, la galène constitue l'essentiel du minerai et la seule motivation de l'exploitation.

## 2. Cadre géologique local

### 2.1. LA PILE LITHOTECTONIQUE

Dans le secteur de la mine du Pontet, la pile lithotectonique comprend (pl. 1 et 2) :

- à la base (géométrique) un socle réputé hercynien constitué d'un granite rapporté au Namurien, daté à 327-319 Ma, (Rb-Sr sur biotite ; Barféty *et al.*, 1972) et intrusif dans des gneiss à amphibole et des amphibolites ;
- des sédiments du Trias et du Lias reposant sur le socle.

### 2.2. LA DÉFORMATION DANS LE « SOCLE »

La déformation ductile des gneiss qui constituent une partie de l'encaissant des veines minéralisées est antérieure à la mise en place du granite, car ce dernier contient les gneiss en enclaves (pl. 1 – photo 1) ou les recoupe (pl. 2 – photo 5). Par conséquent, dans l'hypothèse où l'âge namurien du granite est valide, la déformation des gneiss est anté-namurienne (hercynienne ?).

### 2.3. L'ÉVOLUTION TECTONIQUE POST-HERCYNIENNE

D'un point de vue tectonique, les environs de Bourg d'Oisans ont été étudiés par J. Lameyre (1958), M. Bornuat (1962), J. Reboul (1962) et P. Vialon (1968). Ceux-ci rapportent l'existence de deux phases tectoniques : la première se marquant par un plissement modéré, la seconde correspondant à la surrection des massifs cristallins.

Dans les sédiments P. Vialon, décrit une phase 1 de plissement droit à l'origine du synclinal de Bourg d'Oisans. Les axes des plis sont orientés N20 à N30 et plongent faiblement vers le sud ou le nord ; le plan axial est subvertical. À ce plissement P1 est associée une schistosité de flux S1 de direction N10 à N20 et de pendage subvertical, à l'aplomb de la mine du Pontet (pl. 12). *La phase 1 est antérieure à la surrection des massifs cristallins.* Cette surrection provoquerait les déformations de la phase 2 par basculement, et torsion des structures de la phase 1. La phase 2 correspond en particulier à un développement local de plis-failles (ex. : celui de Prégentil) et de chevauchements. Cette reprise des structures de la phase 1 se marque également par une déformation de la schistosité S1 et par une schistosité S2 plus erratique qui par endroits recoupe la première. La schistosité S2 présente une direction plus méridienne (N-S) que la schistosité S1. Enfin, le fonctionnement « d'accidents coulissants » est rapporté (Vialon, 1968) à la surrection des massifs cristallins.

Barféty *et al.* (1972) rapportent la phase 1 à la période comprise entre le Paléocène et l'Oligocène (Chattien) (c'est-à-dire, entre 53 et 28 Ma). La phase 2 est datée de la fin du Miocène (Ponto-Pliocène) (De-Belmas, 1963 ; Vialon, 1968), soit un âge d'environ 5 Ma.

### **3. Les minéralisations du Pontet**

Les filons exploités recoupent les gneiss et le granite hercyniens ; ils sont orientés globalement N110 avec un pendage moyen de 70 à 75° vers le nord, leur puissance moyenne est de 0,5 à 1 m et leur extension maximale est de 500 m. La gangue du minerai est constituée principalement de quartz et, par endroits de calcite et de barytine. Le minerai comprend galène, pyrite, chalcopryrite, blende brune, cuivre gris (Meloux, 1975).

## 4. Analyse structurale de la mine du Pontet<sup>2</sup>

Le relevé structural des galeries de la mine du Pontet a permis de préciser l'organisation géométrique et la cinématique du faisceau de failles qui a piégé la minéralisation. Cette analyse avait également pour objectif d'établir une chronologie des déformations, plus particulièrement des familles de fractures (failles, diaclase, fentes de tension), et ainsi de réunir les éléments de calage de l'événement hydrothermal du Pontet dans son cadre géologique et structural local.

### 4.1. MÉTHODOLOGIE

La caractérisation des événements tectoniques fait appel aux *techniques de l'analyse micro-structurale*. Il s'agit de l'étude des structures tectoniques de tous ordres et de toutes dimensions observées dans les galeries et « au jour » dans l'environnement de la mine.

La définition de la géométrie et de la cinématique des éléments tectoniques permet de déterminer des systèmes de fractures mécaniquement cohérents et représentatifs d'épisodes tectoniques en compression ou en distension. Outre cette approche, la distinction et la séparation des épisodes tectoniques reposent également sur l'établissement d'une chronologie et l'évaluation de la direction des paléo-contraintes à partir des mouvements observés sur des plans de failles contemporains (en particulier pour un système de failles mécaniquement cohérent).

La chronologie des épisodes est établie par l'observation des relations mutuelles entre les éléments structuraux et par l'analyse de la superposition de mouvements distincts sur un même plan de faille (en particulier, des plans de failles présentent deux générations de stries indiquant deux jeux successifs).

### 4.2. LA CONVENTION DE MESURE DES STRUCTURES

*L'orientation des plans* (foliation, schistosité, fractures,...etc.) est indiquée selon la convention dite « du pendage orienté ». L'orientation est définie par deux paramètres : la direction et le pendage.

La *direction d'un plan* est l'azimut par rapport au nord de l'horizontale du plan (la ligne définie par l'intersection du plan considéré avec l'horizontale). La valeur de l'azimut est exprimée en degrés, elle varie de 0 à 180°. Dans l'espace défini par les points cardinaux, l'azimut des plans est croissant dans le sens horaire depuis le nord égal à 0°, jusqu'au sud égal à 180. La notation abrégée est par exemple N65° : N pour indiquer que la

---

<sup>2</sup> Dans ce chapitre, la méthodologie et la convention de mesure des structures sont l'objet d'un paragraphe spécifique, la définition des principales structures décrites est en revanche donnée au fil du texte.

direction est un azimut par rapport au nord et 65 pour indiquer que la valeur de l'azimut est de 65°.

Le *pendage d'un plan* est défini par l'inclinaison de sa ligne de plus grande pente par rapport à l'horizontale et par le sens de l'inclinaison, c'est-à-dire vers quel secteur de l'espace défini par les points cardinaux le plan est incliné. L'inclinaison s'exprime en degrés, sa valeur est comprise entre 0 (= pendage horizontal) et 90° (= pendage vertical). Le sens de l'inclinaison est défini par rapport aux points cardinaux : le plan sera donc incliné vers le nord, le sud, l'est,... En abrégé, le pendage sera noté par exemple 25S, ce qui signifie que le plan est incliné (ou est « penté ») de 25° vers le sud.

En abrégé l'orientation d'un plan sera définie par sa direction suivie de son pendage et notée par exemple N65-25S.

*L'orientation d'une ligne* (axe de pli, linéation, strie... etc.) est définie par la valeur de son plongement et par la direction vers laquelle elle plonge. Le *plongement* est mesuré dans un plan vertical contenant la ligne et sa valeur mesurée en degré est l'angle entre la ligne et l'horizontale. La valeur du plongement est comprise entre 0° (= horizontal) et 90° (= vertical). *La direction vers laquelle la ligne plonge* est l'azimut par rapport au nord. Pour pouvoir exprimer toutes les directions l'azimut varie de 0 à 360°. On dira donc qu'une ligne plonge de 0 à 89° dans une direction comprise entre N0° et N360° (par définition une verticale, donc de plongement égal à 90°, n'a pas de direction). Par abréviation on dira, par exemple, qu'une ligne plonge de 20° au 305. Si la valeur du plongement n'apporte rien au propos on dira que la ligne plonge dans une direction comprise entre N0° et N360° ; par abréviation on dira, par exemple, que la ligne plonge au 35. L'orientation des stries peut être déterminée de cette façon, mais fréquemment, ces lignes sont définies par leur pitch.

Le *pitch* est défini par l'angle, mesuré dans le plan porteur, entre la strie et l'horizontale (cet angle est compris entre 0 et 90°) et par le sens du pitch. Le sens du pitch est déterminé en fonction de la position de la strie par rapport à la ligne de plus grande pente et par rapport à la direction du plan. Par exemple, pour un plan N25-65W portant une strie faisant un angle de 30 avec l'horizontale : le pitch de la strie sera de 30° vers le nord si l'angle entre la strie et l'horizontale s'ouvre vers le nord ; à l'inverse, si cet angle s'ouvre vers le sud le pitch sera de 30° vers le sud.

*Le vecteur déplacement* (souvent matérialisé par les stries) est l'axe selon lequel le déplacement des compartiments s'effectue de part et d'autre d'une faille. Si le déplacement constaté est défini en fonction de ce vecteur, il est dit réel (on parlera alors de jeu normal, inverse, dextre, senestre,... etc.) ; sinon on parlera de jeu apparent (ex. : un jeu normal apparent).

### 4.3. LA FOLIATION DES GNEISS

Les fractures observées dans la mine du Pontet appartiennent à différentes générations ; toutes recoupent le granite et les gneiss, et en particulier la foliation de ces derniers. La

foliation des gneiss présente un pendage faible 10 à 25° vers le nord ou le sud, sa direction est assez variable (N75 à 140) ; elle porte une linéation d'étirement de direction N-S à N30 associée à un cisaillement ductile vers le sud.

#### 4.4. LES FRACTURES CONTRÔLANT LA MINÉRALISATION (ÉPISODE 1)

Les fractures contrôlant la minéralisation sont les plus précoces. La minéralisation est associée à des faisceaux de fractures dont l'orientation globale *N100 à 110* est soulignée par les galeries d'exploitation (fig. 1).

Un examen global des galeries amène, dans un premier temps, à distinguer des structures minéralisées principales et mineures. Les structures principales ont été exploitées en priorité, il s'agit de veines de quartz ou de zones de roche broyées, microfracturées (= cataclasées) et silicifiées ; leur orientation est généralement *N100 à 130*, plus rarement E-W et le pendage dominant est vers le nord de *30 à 85°* (fig. 2 - A et B). Les veines semblent être 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 : elles se ferment plus ou moins rapidement en aval ou en amont pendage et latéralement. Cette géométrie a fortement influé sur le tracé et la section des galeries médiévales. Les sections présentent les mêmes asymétries que la lentille exploitée, ceci est souvent net en couronne, plus localement à la sole car celle-ci a été nivelée. De fait, les corps minéralisés qui ont été exploités étaient vraisemblablement de forme lenticulaire, à ce titre l'entrée de la galerie médiévale Emma supérieure et de la reconnaissance sud sont très démonstratives (pl. 3 – photos 6 et 7) de même que la section de la galerie Emma (pl. 3 – photo 8). Quant au tracé des galeries (fig. 1), il résulte essentiellement de la disposition échelonnée des corps minéralisés (fig. 1) qui sont reliés par des relais plus ou moins complexes d'orientation et de pendage différents où la minéralisation peut-être plus riche.

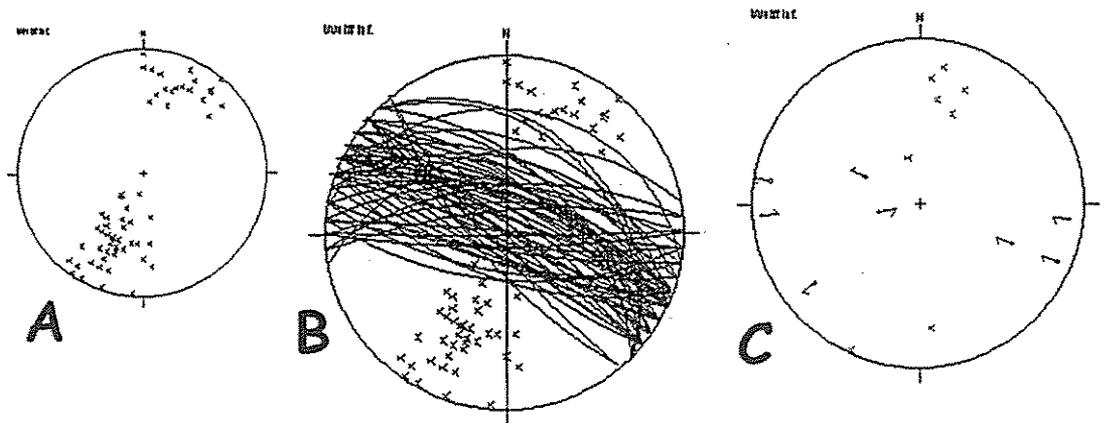
Dans le détail, les faisceaux sont constitués de fractures de nature et d'orientation variés. On distingue des diaclases, des failles et des fentes de tension.

*Les diaclases*<sup>3</sup> sont des fractures dont la formation n'a pas entraîné un déplacement notable. Ce type de fracture est cité pour mémoire car il est ici peu représenté.

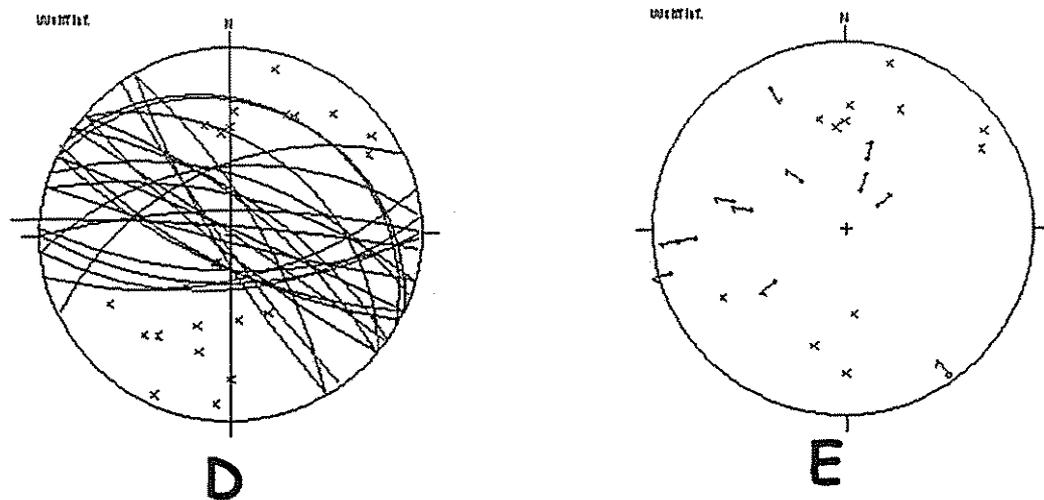
A l'opposé *les failles*\* présentent de nombreuses évidences de déplacement des compartiments qu'elles séparent. Les principales évidences (ou critères) de déplacement notées ici sont :

- le polissage du plan de faille\* (souvent décrit comme un « miroir de faille ») sous l'action de la friction liée au déplacement ;
- le broyage, la cataclase, la microfracturation, la bréchification (*s.l.*) (pl. 13) des roches de part et d'autre du plan de faille\* ;

<sup>3</sup> Les définitions indexées d'une \* sont génériques ; elles sont valables pour l'ensemble des familles de fractures décrites dans ce rapport.



) Trace « cyclographique »     $\circ \rightarrow$  Symbole de strie    X Polaire de plan



- A : Ensemble des structures minéralisées principales mesurées (= plans de failles dextres d'ordre 1 représentés par leur polaire)
- B : Mêmes structures que A mais avec leur représentation « cyclographique »
- C : Exemple d'une famille de failles dextres d'ordre 1 (polaires des plans de stries)
- D : Plans de failles dextres d'ordre 2 reportés avec leur polaire et représentés par leur trace cyclographique
- E : Exemple d'une famille de plan de failles dextres d'ordre 2 (les plans sont représentés par leur polaire et reportés avec leur stries).

Fig. 2 - Le Pontet : famille de failles dextres liées à un raccourcissement NW-SE à WNW-ESE.

- la striation des plans de faille\* (cf. pl. 16) ; celle-ci correspond en quelque sorte à des rayures du plans de failles par des débris de roche coincés entre les deux compartiments en mouvement ;
- les arrachements\* de « copeaux » de roches (encore appelés niches, cupules, marches, ou gradins d'arrachement) ;
- diverses microstructures\* associées au plan de failles et induites par le déplacement telles que les fentes de tension, les cristallisations en zone abritée, les microfractures secondaires, les zones de rapprochement par glissement,... ;
- l'ouverture des fractures par écartement avec glissement\* ici marquée par un remplissage de quartz ;
- la déformation et/ou le décalage de structures préexistantes\* ; dans le cas présent, il s'agit de la flexion (appelée « crochon ») de la foliation des gneiss.

Les *fentes de tension*\* marquent l'ouverture de fractures par traction ; ici les fentes sont remplies de quartz et minéralisées ou non.

L'analyse géométrique des critères de déplacement relatifs aux failles et aux fentes de tension permet, dans les cas favorables, de déterminer le sens de déplacement (aussi appelé cinématique) des failles. A ces critères s'ajoutent l'organisation et les relations géométriques des failles dans l'espace. En particulier, dans un faisceau de failles on distingue :

- des failles d'ordre 1\* qui sont en fait les failles principales (dans le cas présent, il s'agit souvent des structures minéralisées principales ; cf. fig. 2 - A et B) ;
- des failles d'ordre 2\* qui sont en fait des failles de moindre importance (ici certaines failles d'ordre 2 correspondent à des structures minéralisées mineures ; cf. fig. 2 - D).

La disposition des failles d'ordre 2 par rapport aux failles d'ordre 1 est directement en relation avec la cinématique des failles\*. Cette interdépendance permet donc par l'analyse de ces relations géométriques de déterminer la cinématique, au moins apparente, du système de failles concerné (cf. pl. 6 à 11). Ceci est vrai notamment dans des zones particulières appelées relais\* où les fractures secondaires permettent un « relais » entre deux failles d'ordre 1 (cf. pl. 6).

Lorsque les plans de failles présentent des stries, les critères cinématiques évoqués précédemment permettent de définir le sens mais aussi l'axe réel de déplacement\*.

L'utilisation des critères cités ci-dessus permet, au Pontet, de constater que *les failles contrôlant la minéralisation ont un jeu dextre avec une composante normale plus ou moins affirmée suivant l'orientation des fractures par rapport au système de contraintes.*

La cinématique des failles\* est fonction de la direction des contraintes s'exerçant sur le bâti rocheux. En effet, l'individualisation des failles et le déplacement des compartiments sont une réponse aux sollicitations tectoniques (= les contraintes tectoniques) s'exerçant sur la croûte. En particulier, dans le contexte tectonique compressif qui nous intéresse ici, le jeu des

failles est contrôlé par la contrainte principale maximale ( $\sigma_1$ ) qui peut être assimilée au raccourcissement crustal responsable des déformations. L'orientation du raccourcissement est donc l'un des paramètres discriminants pour caractériser et différencier les événements tectoniques. Cette orientation peut être définie :

- directement à partir des fentes de tension qui sont parallèles à l'axe du raccourcissement ;
- indirectement en fonction de l'orientation des failles et des stries associées (fig. 2 – C et E).

Pour ce qui concerne *les failles contrôlant la minéralisation du Pontet, l'orientation des fentes de tension et l'analyse des familles de failles et de stries permet d'estimer la direction du raccourcissement : celle-ci varie de N110 à N135 (NW-SE à WNW-ESE).*

L'analyse de l'organisation et du fonctionnement des failles permet de préciser les modalités de piégeage de la minéralisation du Pontet.

Une minéralisation disséminée se met en place dans le réseau de microfractures des zones broyées, en même temps qu'une silicification plus ou moins complète des roches.

Des veines de quartz minéralisées se mettent en place à la faveur :

- d'ouvertures ménagées dans les plans des failles d'ordre 1 et 2 (ouverture par écartement avec glissement) ;
- de fentes de tension ;
- de zones de relais, où 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).

#### 4.5. LA FRACTURATION POSTÉRIEURE À LA MINÉRALISATION

Deux générations de fractures (épisodes 2 et 3) postérieures à la minéralisation ont été reconnues, toutes les deux sont associées à des veines et des fentes de quartz blanc sécantes sur les veines minéralisées.

##### 4.5.1. Épisode 2

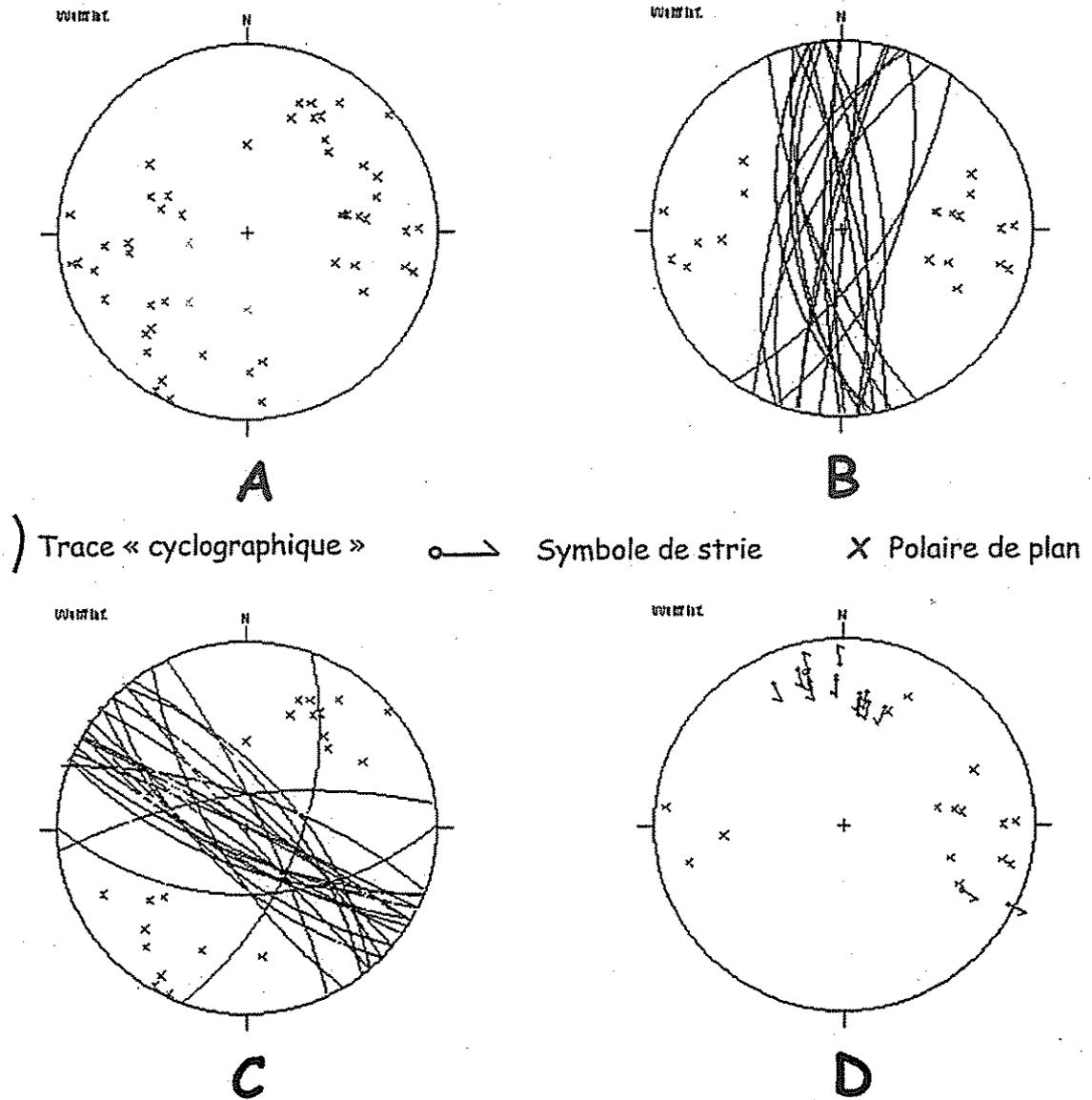
La première génération de fractures, correspond à des failles **dextres** de direction N70 à N90. Aux failles, sont associées des veines et des fentes à quartz blanc dépourvues de galène, mais présentant dans certains cas de la calcite et de la chalcopryrite.

Les veines et les fentes à quartz blanc ont une direction N100 à 105 indiquant un raccourcissement de même direction. Cette direction de raccourcissement est relativement proche de celle déduite pour les failles contrôlant la minéralisation. Une telle similitude dans le raccourcissement et la cinématique ainsi que la présence sporadique de chalcopryrite indiquent vraisemblablement que ces failles dextres marquent un stade terminal de l'épisode qui contrôle la mise en place de la minéralisation.

#### 4.5.2. Épisode 3

La seconde génération de fractures correspond à des failles senestres (fig. 3 – A) recoupant les veines minéralisées (pl. 12 : *exemple de microfailles senestres N20 recoupant la structure minéralisée*).

Les failles senestres d'ordre 1 sont de direction N340 à N30 (fig. 3 – B). A ces failles d'ordre 1 sont associées des failles senestres d'ordre 2 de direction NW-SE (fig. 3 – C) et des fentes de tension à remplissage de quartz blanc stérile de direction N140 à 155 et recoupant les structures minéralisées principales (pl. 14). *L'orientation des fentes de tension et, l'analyse des familles de failles et de stries* (fig. 3 – D ; pl. 16) *permettent d'estimer la direction du raccourcissement : celle-ci varie de N120 à N155 (NW-SE à NNW-SSE)*. Le développement de ces failles senestres s'accompagne d'un rejeu des failles dextres de l'épisode 1-2. Le remplissage à quartz et galène est alors pour partie conservé dans les pseudotachylites développées dans le plan des failles senestres. Ceci indique que le jeu senestre est postérieur à la minéralisation (pl. 15).



- A : (B+C) : Ensemble de failles senestres observées
- B : Failles senestres d'ordre 1 (représentation « cyclographique » et polaire des plans)
- C : Failles senestres d'ordre 2 (représentation « cyclographique » et polaires des plans)
- D : Exemple d'une famille de plans de failles senestres (d'ordre 1 et 2) relevées sur une station (les plans sont représentés par leur polaire et reportés avec leur stries)

**Fig. 3 - Le Pontet : famille de failles senestres liées à un raccourcissement NW-SE à WNW-ESE.**

## 5. Discussion - Interprétation - Conclusion

### 5.1. DISCUSSION : PLACE DES STRUCTURES MINÉRALISÉES DANS L'ÉVOLUTION GÉOLOGIQUE ET TECTONIQUE LOCALE

Dans le secteur de la mine du Pontet, la pile lithotectonique a connu, « à l'alpin » trois épisodes de fracturation (1, 2 et 3) relatifs à un raccourcissement crustal de direction WNW-ESE à NW-SE.

Comment ces épisodes de fracturation s'insèrent-ils dans l'évolution tectonique en deux phases décrites par les différents auteurs dans la région de Bourg d'Oisans?

A l'échelle de la région de Bourg d'Oisans trois directions principales de failles ont été cartographiées (carte de Vizille, Barféty *et al.*, 1972) :

- des failles subméridiennes senestres telles que celles du faisceau de Livet ou celui de Prégentil/Villard-Reymond situé immédiatement à l'ouest du Pontet ;
- des failles NE-SW telles que celle d'Allemont ;
- les accidents transversaux WSW-ENE signalés par J. Lameyre, (1958). À l'examen de la carte de Vizille, il apparaît que ces accidents sont polyphasés.

Les accidents subméridiens et NE-SW sont les plus importants ; ils limitent les grands blocs crustaux.

Du point de vue strict de la direction, les failles observées dans la mine et dans son environnement immédiat peuvent être *pro parte* rapportées à l'une des trois catégories citées ci-dessus. Toutefois, de telles corrélations doivent aussi reposer sur des arguments d'ordre cinématique, chronologique et géométrique (géométrie de la déformation).

Le lien éventuel des accidents avec l'une ou l'autre des phases tectoniques 1 et 2 évoquées par les divers auteurs, est peu discuté mis à part pour les accidents rapportés à la phase 2.

Le fonctionnement « d'accidents coulissants » tel que la faille NE-SW d'Allemont (limite ouest du bassin de Bourg d'Oisans) est rapporté à la surrection des massifs cristallins (phase 2) (Vialon, 1968). Ces accidents sont décrits comme des décrochements dextres (Barféty *et al.*, 1972). Les chevauchements type Rochail qui provoquent la remontée du socle sur les sédiments liasiques sont attribués à cette phase : par exemple, vers Villars-Notre-Dame, le contact entre le socle et les sédiments triasiques est contrôlé par un accident à faible pendage (15°) et de direction N175 ; de même, à l'est de Bourg d'Oisans, ce contact est marqué par des accidents inverses-dextres N15-64E associés à des veines de quartz blanc et à des failles inverses d'ordre 2 N95-60N (ce travail). De par leur orientation, leur cinématique dextre et l'attitude des stries, ces accidents sont géométriquement compatibles avec un raccourcissement NE-SE à WSE-ENE (fig. 4).

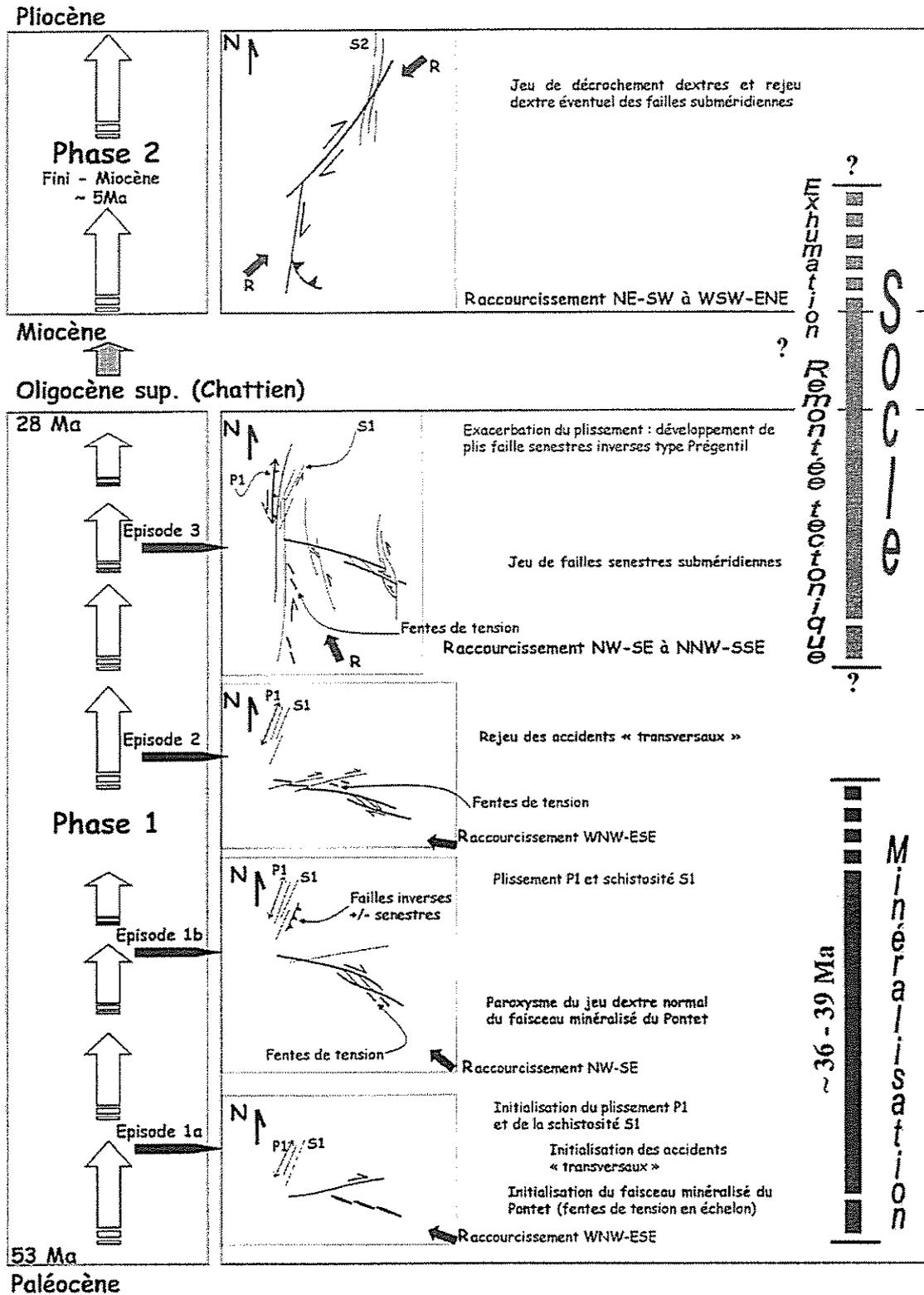


Fig. 4 - Séquence des événements tectoniques de la région de Bourg d'Oisans.

Un raccourcissement NE-SE à WSE-ENE n'est à priori pas compatible avec le jeu senestres des failles subméridiennes 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 subméridiennes qui sont donc vraisemblablement antérieures.

L'essentiel de la fracturation observée dans la mine est relative aux deux premiers épisodes (1 et 2). L'épisode 1 est synchrone de la minéralisation, le second correspond en fait au stade terminal du premier. La question du calage de ces épisodes par rapport aux phases tectoniques régionales peut donc être partiellement résolu à partir de l'âge de la minéralisation.

La mine de plomb argentifère du Pontet est située entièrement au sein du socle, mais des structures à quartz rubéfié, semble-t-il liées au même événement tectonique et hydrothermal que les structures du Pontet et de la Gardette, pénètrent dans les sédiments triasiques (Meloux, 1975 ; Ancel et Dardignac, 2000). De fait, pour le filon voisin de La Gardette<sup>4</sup>, la minéralisation recoupe les sédiments du Trias (eux-mêmes minéralisés) (Marignac *et al.*, 1997). De même, près de Villars-Notre-Dame des veinules de quartz à galène recoupent les sédiments triasiques, ces veinules orientées N95-85N ont la même direction que les veines minéralisées du Pontet et de la Gardette (ce travail). De plus, les failles contrôlant la minéralisation affectent les dépôts liasiques. La minéralisation apparaît donc post liasique, ce que paraissent confirmer les âges éocènes obtenus par Marignac *et al.* (1997) concernant l'hydrothermalisme observé à la Gardette. Ces auteurs rapportent que « Ion probe analyses of brannerite and U/Pb determination yielded an age of 36-39 Ma ». 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 au cours de la période comprise entre 53 et 28 Ma (Barféty *et al.*, 1972). De fait, l'attitude des plis droits P1 et de la schistosité S1 (Vialon, 1968 ; Barféty *et al.*, 1972, 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. 4) tout a fait comparable à celui déduit de l'analyse des fractures des épisodes 1 et 2.

## 5.2. INTERPRÉTATION : SÉQUENCE DES ÉPISODES DE DÉFORMATION

Les résultats et l'analyse présentés précédemment amènent à proposer la séquence d'événements exposée ci-après et résumée dans la figure 4.

L'évolution enregistrée par le socle et les sédiments du Trias et du Lias débute par une phase tectonique liée à **un raccourcissement de direction WNW-ESE à NW-SE**.

---

<sup>4</sup> Distants de 1,5 km du Pontet et classiquement rapportés au même faisceau de structures minéralisées.

Cette **phase 1** se développe entre 53 et 28 Ma, à l'Eocène vers 36-39 Ma ; elle se décompose en 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 subparallèle au raccourcissement. En effet les veines de quartz minéralisées de la galerie Emma sont disposées en échelon (fig. 1) : il s'agit d'un ensemble de fentes de tension disposées en échelon dextre (= cisaillement potentiel dextre) ayant joué en failles de relais dextre (faille d'ordre 2) lors de l'épisode 1b. *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. Il correspond à une réactivation des accidents « transversaux » WSW-ENE.
- **L'épisode 3** correspond au jeu des failles senestres subméridiennes. Celle de Prégentil/Villars-Reymond qui est concomitante du pli-faille de Prégentil (Barféty *et al.*, 1972) est probablement l'une d'elles.

L'évolution enregistrée par le socle et les sédiments du Trias et du Lias se poursuit par une phase tectonique liée à **un raccourcissement de direction NE-SW à WSW-ENE**. Cette **phase 2** se développe autour de 5 Ma, à la fin du Miocène (Ponto-Pliocène). Cette phase est pour l'essentiel responsable de décrochements dextres qui délimitent les grands blocs crustaux.

### 5.3. CONCLUSION

#### 5.3.1. Résultats et questions

Les minéralisations à galène, pyrite, chalcopryrite, blende brune, cuivre gris (+/- or) du Pontet et de la Gardette sont contemporaines de la phase tectonique 1 classiquement décrite pour la région de Bourg d'Oisans. Ce résultat, compte tenu des datations (36-39 Ma) obtenues par Marignac *et al.* (1997) ; confirme l'âge compris entre le Paléocène et l'Oligocène (Chattien) proposé par Barféty *et al.* (1972) pour cette phase 1 et amènerait à rapporter cette dernière à l'Eocène.

À notre sens, une interrogation subsiste concernant l'attribution des plis-failles de type Prégentil à la phase 2. En effet, compte tenu des caractères géométriques des plis, schistosités et linéations relatifs aux phases 1 et 2 (Vialon, 1968), on peut s'interroger sur l'opportunité d'envisager un continuum de déformation pour ce qui concerne ces structures et donc d'attribuer les plis-failles type Prégentil à la phase 1.

En effet :

- les plans d'aplatissement (matérialisés par les schistosités S1 et S2) paraissent très proches<sup>5</sup> ;
- les linéations d'étirement relatives aux phases 1 et 2 paraissent 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.

En plus, il faut rappeler que les failles senestres subméridiennes, dont celle associée au fonctionnement du pli-faille du Prégentil (Barféty *et al.*, 1972), sont à rapporter à la phase 1.

### Conséquences

Une telle éventualité ne remettrait pas en cause l'existence de la phase 2 mais signifierait que celle-ci correspond essentiellement à des décrochements dextre, 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.

### 5.3.2. Perspectives au plan géologique et tectonique à l'échelle régionale

De l'énoncé des résultats, questions et conséquences évoqués ci-dessus, il ressort que *la relation entre la surrection tectonique du socle et les événements minéralisateurs reste à préciser* à l'échelle régionale en terme de chronologie, de processus tectonique, de métamorphisme et de drainage des fluides. A ce titre, l'étude structurale et gîtologique réalisée ici doit être étendue aux autres mines de la région de Bourg d'Oisans pour asseoir les interprétations proposées et établir un modèle gîtologique à valeur régionale.

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

Au plan de l'environnement litho-stratigraphique le filon du Pontet et celui de La Gardette sont, comme de nombreuses minéralisations de ce type dans les Alpes franco-italiennes et en Provence ou dans le Massif central, associés spatialement à la paléosurface continentale anté-triasique<sup>6</sup>. Cette paléosurface, est soulignée par un tégument de grès, calcaires et dolomies qui sépare un socle fissuré perméable en grand, de marnes liasiques imperméables. La question du rôle éventuel de cet interface socle-couverture a été posée par J. Féraud (1983). Dans le contexte très tectonisé et schistose des Alpes, le problème est de savoir s'il s'agit là simplement d'une zone de drainage

<sup>5</sup> Si ces schistosités sont bien développées dans un contexte de déformation coaxiale, ce qui paraît douteux dans le cas de la phase 2.

<sup>6</sup> Le mot triasique étant pris dans un sens large, puisque la formation sédimentaire transgressive sur le socle est très diachrone d'une région à l'autre, allant du Trias au Lias.

privilegié de circulations paléohydrologiques à diverses époques géologiques et notamment à l'Alpin, ou bien s'il y avait eu (déjà) en cet endroit, à la fin du Permien ou pendant le Trias, une accumulation de préconcentrations métalliques (résultant de l'altération continentale du socle ou d'autres processus) qui ont été remobilisées ensuite à l'Alpin par des fluides plus ou moins syntectoniques et synmétamorphiques.

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 de le Roux (Marcoux, 1986) voisins du Pontet.

La réponse réside probablement partiellement dans la caractérisation des fluides en terme de composition (pétrologie de l'altération hydrothermale, signature géochimique du minerai, inclusions fluides), de rapports isotopiques (oxygène, soufre, plomb) et de conditions de mise en place (inclusions fluides, isotopes stables). Ceci fournirait des informations plus précises sur l'origine des fluides minéralisateurs, sur la participation éventuelle de fluides météoriques, ou sur la source des métaux. Cette approche qui fera suite au travail présenté ici a pour partie été réalisée sur la mine de la Gardette par Marignac *et al.* (1997). Sur la base d'une étude des inclusions fluides, ces auteurs envisagent deux processus à l'origine de la cristallisation du quartz de la gangue :

- production d'un liquide riche en silice par déshydratation et illitisation des sédiments liasiques,
- changements rythmiques de pression dans l'encaissant en liaison avec une activité sismique pulsatoire.

Il paraît légitime d'avancer ces deux hypothèses, la première tient compte de l'âge de la minéralisation et de la constitution de la pile lithotectonique, la seconde rend compte du contrôle structural du piégeage 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 qu'elle ne répond pas à la question de l'origine du stock métal posée aussi par J. Féraud.

Au terme de cette étude scientifique préliminaire, il est clair que le développement éventuel d'un programme scientifique pluridisciplinaire, tel qu'il est envisagé, devra associer divers laboratoires réputés dans les spécialités évoquées.

#### **5.3.4. Traçage isotopique des monnaies médiévales**

Outre un éclairage sur la genèse de la minéralisation du Pontet, l'étude des isotopes du plomb dans la galène offre la perspective, pour les archéologues d'analyser par marquage des monnaies les flux commerciaux des époques anciennes. Pour cette dernière application, une des méthodes envisageable est la sonde ionique qui, à l'analyse ne dégrade l'échantillon (ici la pièce de monnaie) que sur un puits de diamètre inférieur à 15 microns (donc invisible à l'œil nu).

## Bibliographie

- Ancel B., Dardignac C. (2000) - 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, 250 p.
- Barfély J.C, Bordet P., Bornuat M., Buffière, Carme F., Debelmas J.M., Gidon M., Giraud P., Meloux M., Mont-Juvent, Mouterde R., Poulain P.A., Reboul J., Sarrot-Reynauld J., Vernet J. (1972) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Vizille (797). Orléans : BRGM Notice explicative par Barfély J.C, Bordet P., Carme F., Debelmas J., Meloux M., Mont-Juvent G., Mouterde R., Sarrot-Reynauld J. (1972), 35 p.
- Barfély J.C, Bordet P., Carme F., Debelmas J., Meloux M., Mont-Juvent G., Mouterde R., Sarrot-Reynauld J. (1972) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Vizille (797). Orléans : BRGM 35 p. Carte géologique par Barfély J.C., Bordet P., Bornuat M., Buffière, Carme F., Debelmas J.M., Gidon M., Giraud P., Meloux M., Mont-Juvent G., Mouterde R., Poulain P.A., Reboul J., Sarrot-Reynauld J., Vernet J. (1972).
- Bornuat M. (1962) - Etude de la couverture sédimentaire de la bordure ouest du Massif des Grandes-Rousses au nord de Bourg-d’Oisans (Isère). *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, t. 38, p. 145-203.
- Feraud J. (1983) - Ore veins linked to old emersion surfaces in the crystalline basement of Provence and of the external belt of the french-italian Alps. Proceedings of the 4th International Symposium on the Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine epoch in Europe (IV. ISMIDA), H.J. Schneider eds, Special Publication No. 3 of the Soc. for Geology Applied to Mineral Deposits, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 128-135.
- Lameyre J. (1958) - La partie nord du Massif des Grandes-Rousses. *Trav. Lab. Géol. Grenoble*, t. 34, p. 83-152.
- Laroussi A. (1990) - Etude 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, 198 p. et 9 planches photo.
- Marcoux E. (1986) - Isotopes du plomb et paragenèses métalliques traceurs de l’histoire des gîtes minéraux. Documents du BRGM, n° 117, 388 p.
- Marignac C., Cathelineau M., Banks D., Boiron M.C., Ayt Ougoudal M., Argouarch Y., Poty B. (1997) - Alpine fault sealing at the contact between a crystalline basement

- Marignac C., Cathelineau M., Banks D., Boiron M.C., Ayt Ougoudal M., Argouarch Y., Poty B. (1997) - Alpine fault sealing at the contact between a crystalline basement and sedimentary cover : La Gardette (French Alps). *In: Proceedings of the XIVth European current research on fluid inclusions (ECROFI)*. 14, p. 194-195. Nancy France. July 1-4, 1997. Copyright 2000, American Geological Institute.
- Reboul J. (1962) - Etude 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*, t. 38, p. 121-146.
- Vialon P. (1968) - Clivage schisteux et déformations : répartition et genèse dans le bassin mésozoïque de Bourg-d'Oisans (Alpes du Dauphiné). *Géologie Alpine*, t. 44, 1968.
- Meloux J. (1975) - Alpes-Nord, bilan synthétique de dix années de prospection. Rapport BRGM 75 RME 023 FE, 104 p.

## **Planches photographiques**



(3) Sédiments du Trias et du Lias sus-jacent.  
Noter la schistosité S1 recoupant la stratification et réfractée dans les niveaux plus compétents

(1) et (2) Socle hercynien :

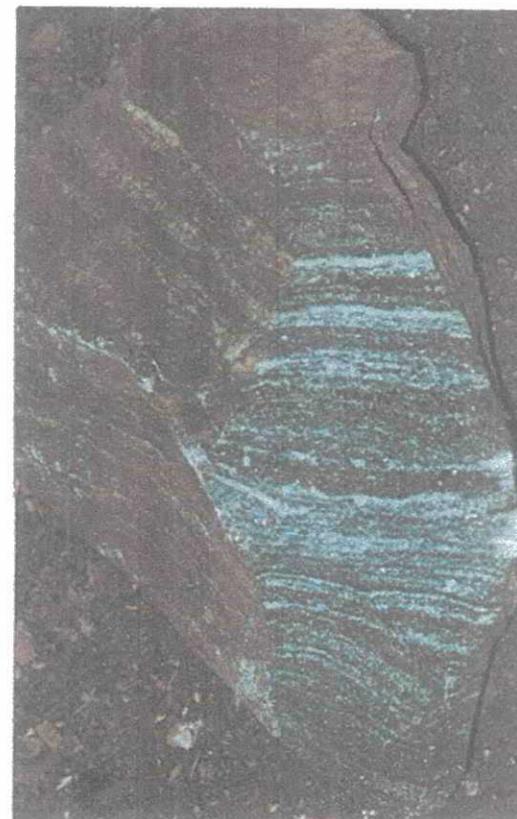
- 1) granite namurien
- 2) gneiss à amphibole

1



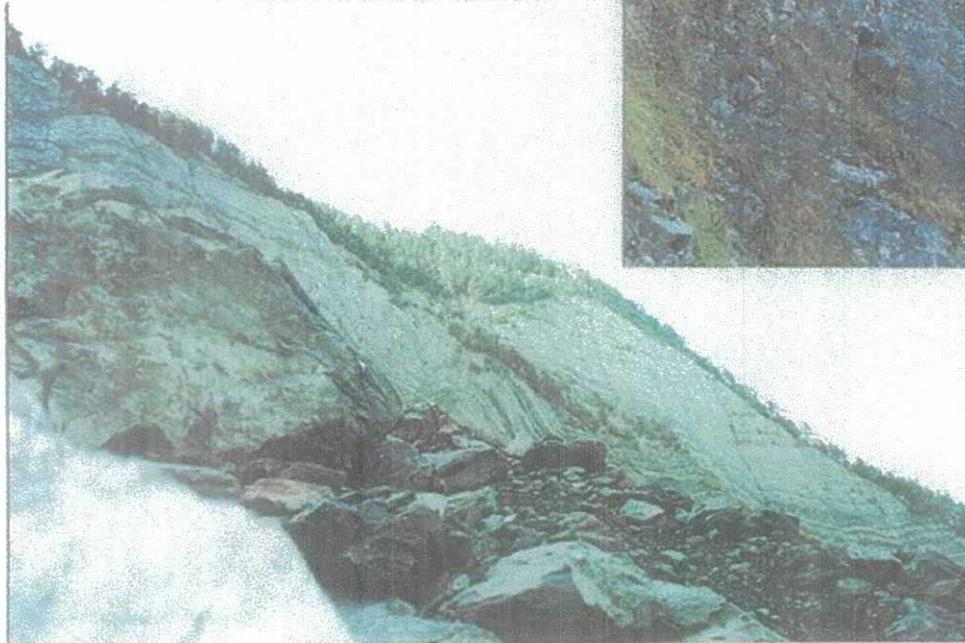
3

2



Filon du granite namurien du Pelvoux (Le Rochail) recoupant les gneiss

5



4 Vue de la pile lithotectonique au niveau de la Roche du Pontet : sédiments du Trias et du Lias (falaise) reposant sur le granite et les gneiss hercyniens (premier plan)

Coupe lithotectonique

500 m

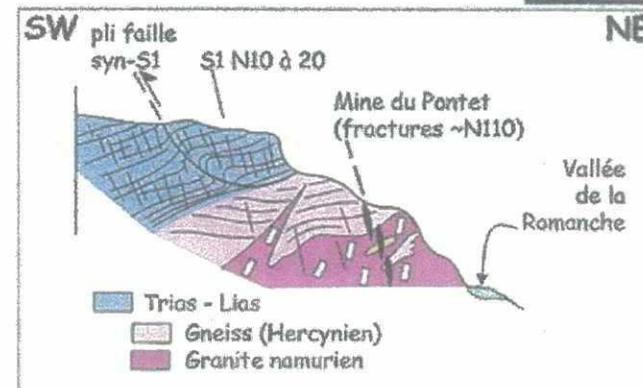
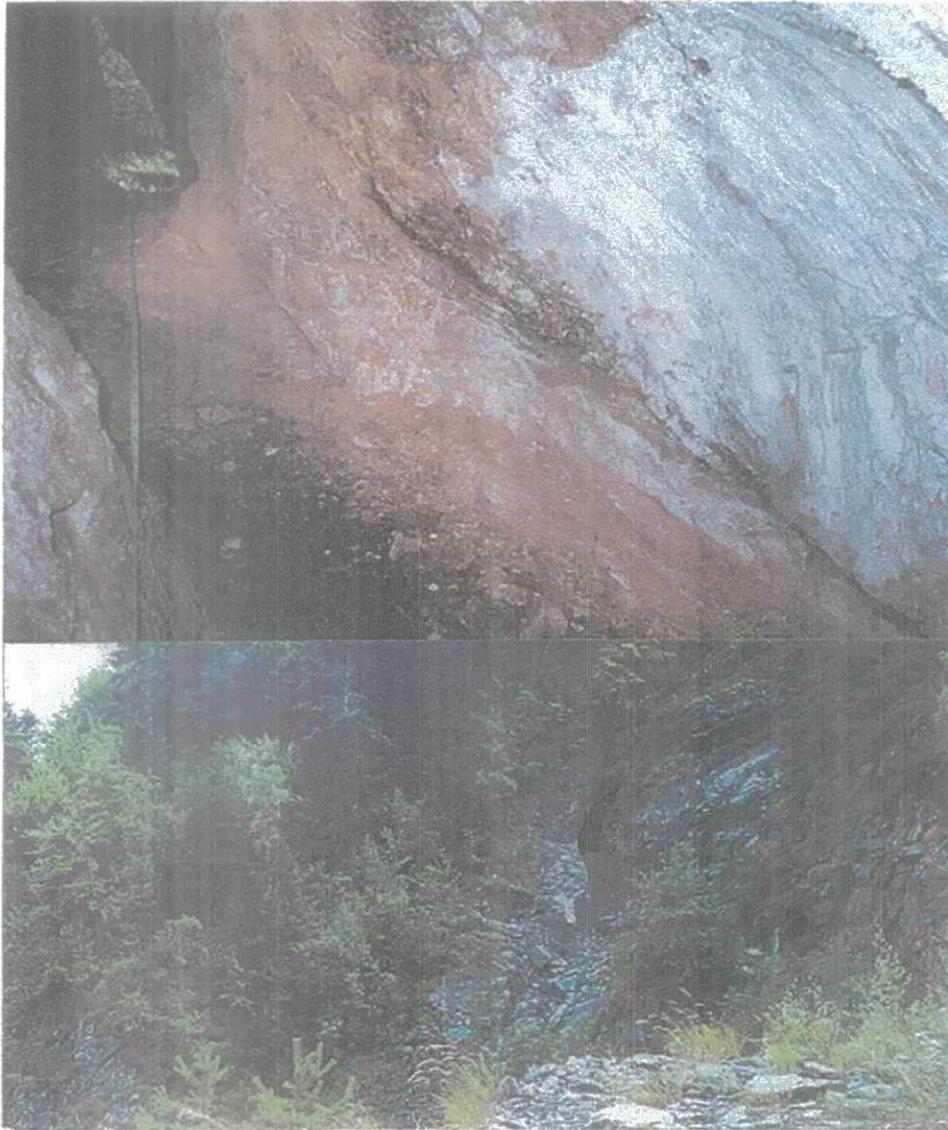


Planche 2 – Éléments de chronologie et composition de la pile lithologique à l'aplomb des mines du Pontet.



8

Galerie Emma :  
la galerie a  
partiellement  
conservé la forme  
lenticulaire de la  
structure  
exploitée

interprétation

7

Entrée de la  
galerie  
médiévale :  
noter la  
forme  
lenticulaire  
de la  
structure  
minéralisée  
exploitée

6

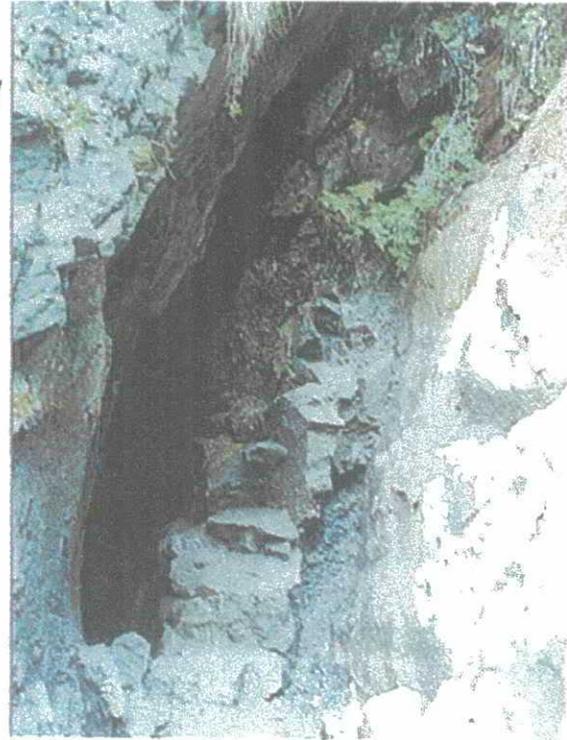
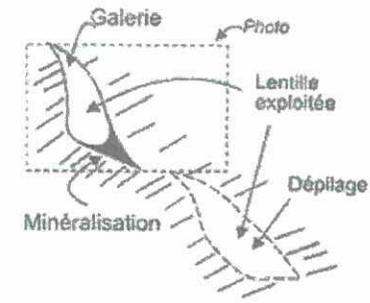
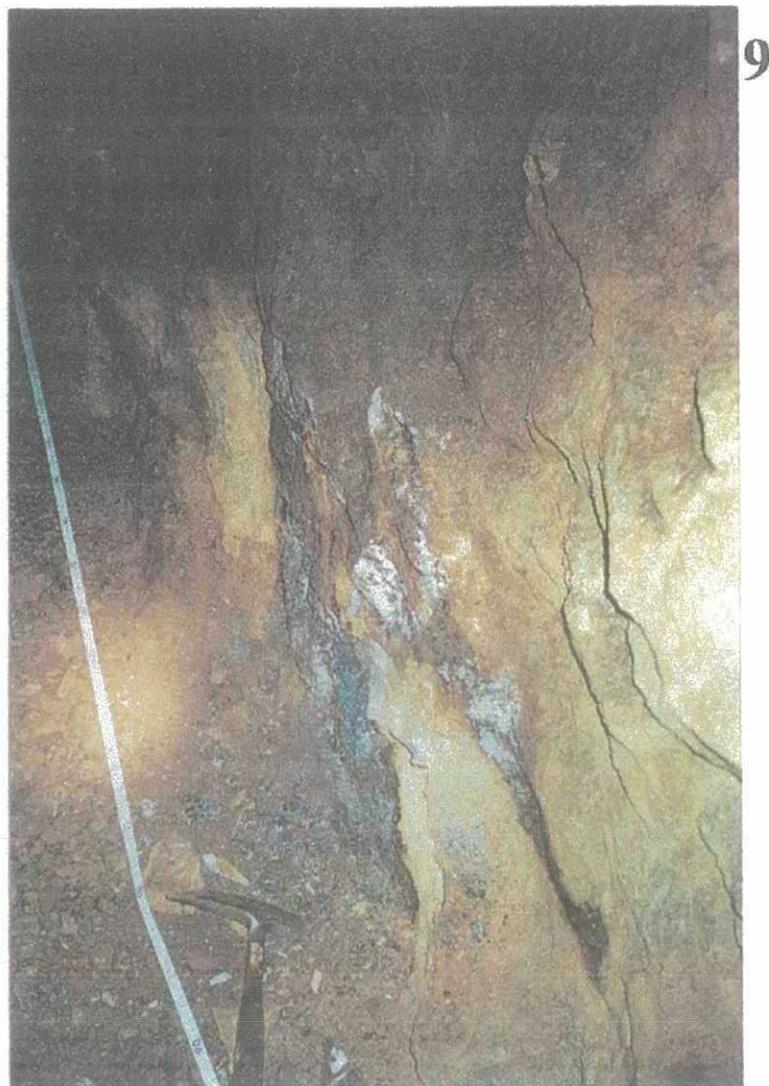


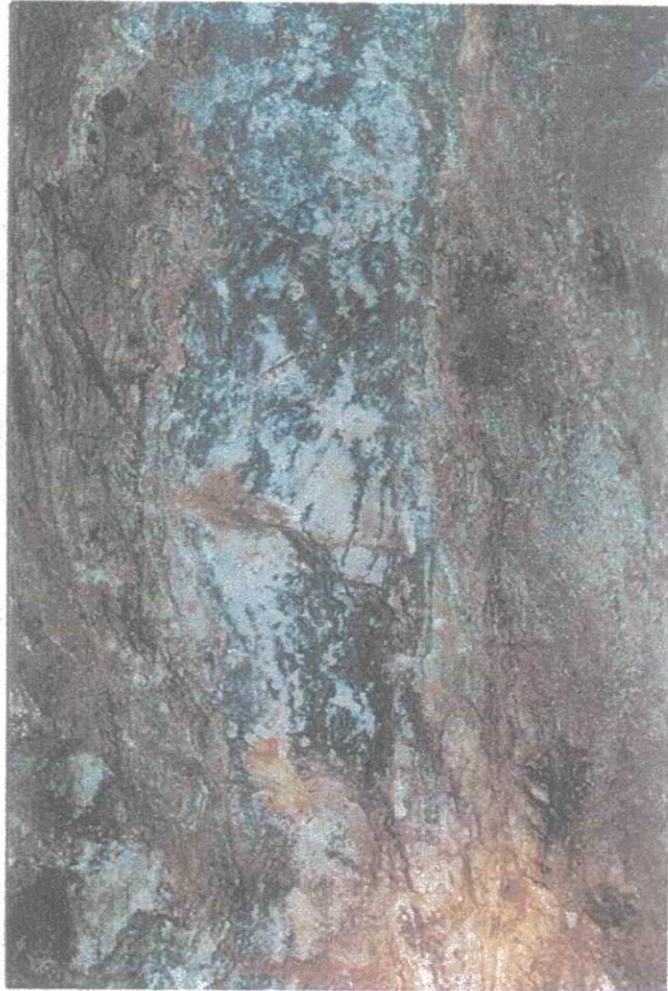
Planche 3 – Vues illustrant la forme lenticulaire des structures exploitées.



*Planche 4 - Galerie Emma, vue de la structure minéralisée à « la sol » : minerai à gros grain.*



**10** Minerai rubané



Minerai non rubané

**11**

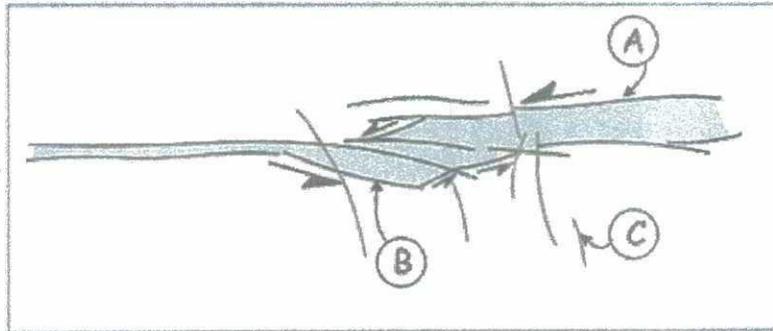
*Planche 5 – Galerie Emma, vues du minerai.*



Remarque : le jeu apparent est senestre par ce que la zone de relais est vue de dessous ce qui inverse en apparence la cinématique.

12

Interprétation  
de la zone de  
relais



- A) Faille dextre inverse d'ordre 1  
N 120 - 70N stries, pitch 31 au NW
- B) Failles d'ordre 2 N 135 - 75 E
- C) Microfailles N 20 - 50E

Noter les microfailles N20 (C). Ces microfailles sont à jeu polyphasé car elles présentent deux générations de stries, qui indiquent :

- un jeu en décrochement senestre (les stries correspondantes présentent un pitch de 1° au NNE)
- un jeu en faille inverse (les stries correspondantes présentent un pitch de 70° vers le N).

*Planche 6 – Galerie Emma, vue en couronne d'une zone de relais  
« dextre » de la structure minéralisée principale.*

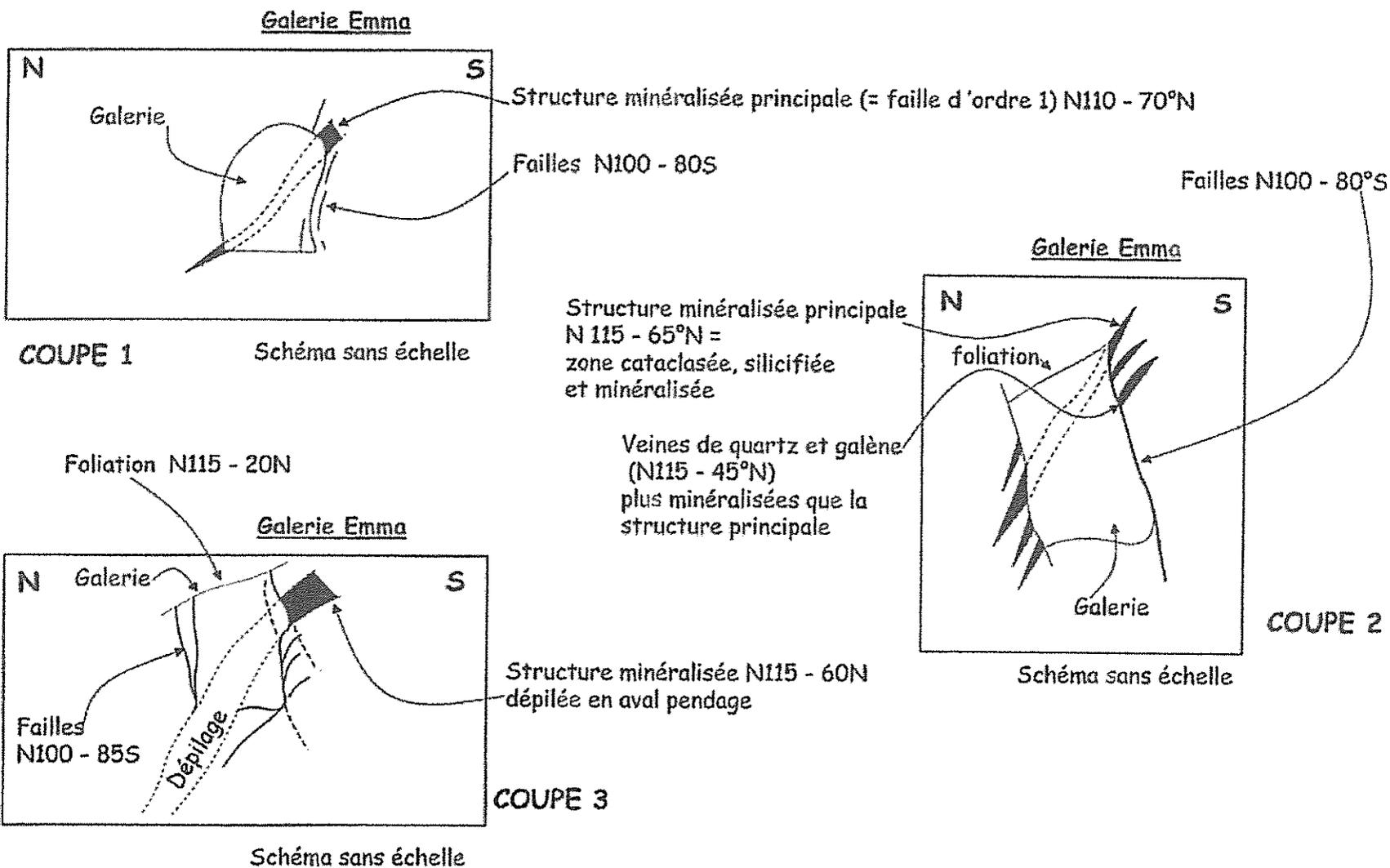
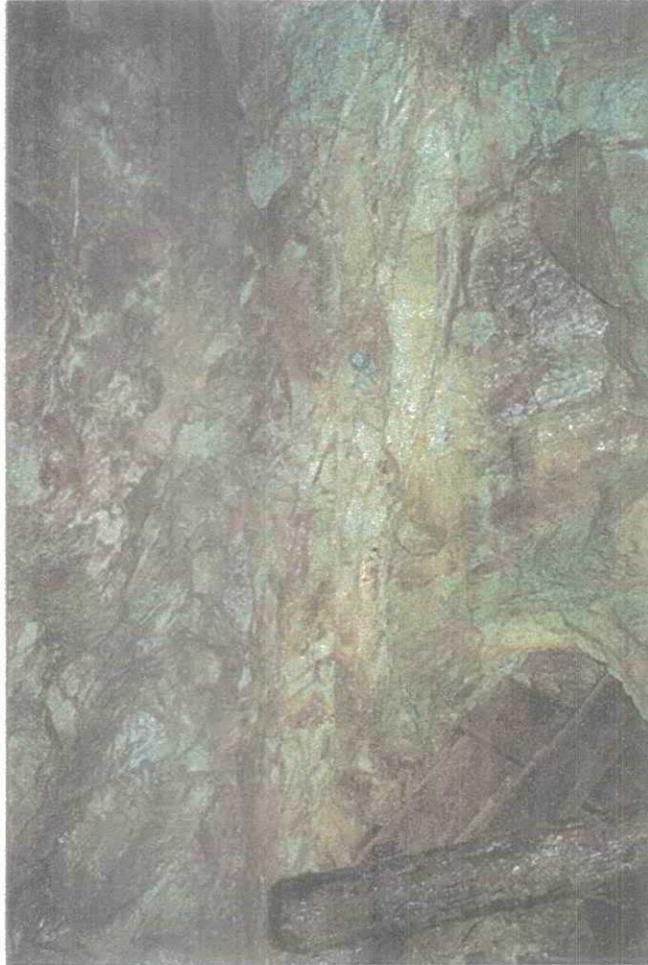


Planche 7 – Coupes transverses synthétiques et interprétatives de la structure minéralisée de la Galerie Emma.

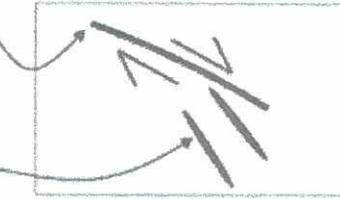
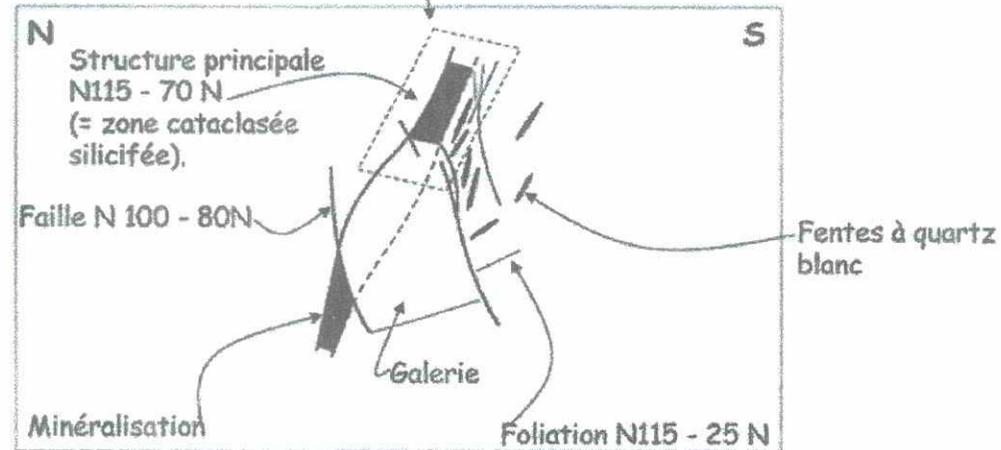
## Galerie Emma



13

Structure principale  
N115 - 70 N

Fente N115 - 70 N

Interprétation en plan =  
jeu dextre apparentL'organisation géométrique des fractures indique un jeu normal  
apparent

Interprétation en coupe = jeu normal apparent

**INTERPRETATION GLOBALE :** d'après la photographie et les schémas, la faille minéralisée a un jeu dextre normal contemporain de la minéralisation. Postérieurement à la minéralisation, le jeu dextre est contemporain d'un remplissage de quartz blanc.

Planche 8 – Vue de la structure minéralisée principale (=failles d'ordre 1) et des fractures d'ordre 2 associées.

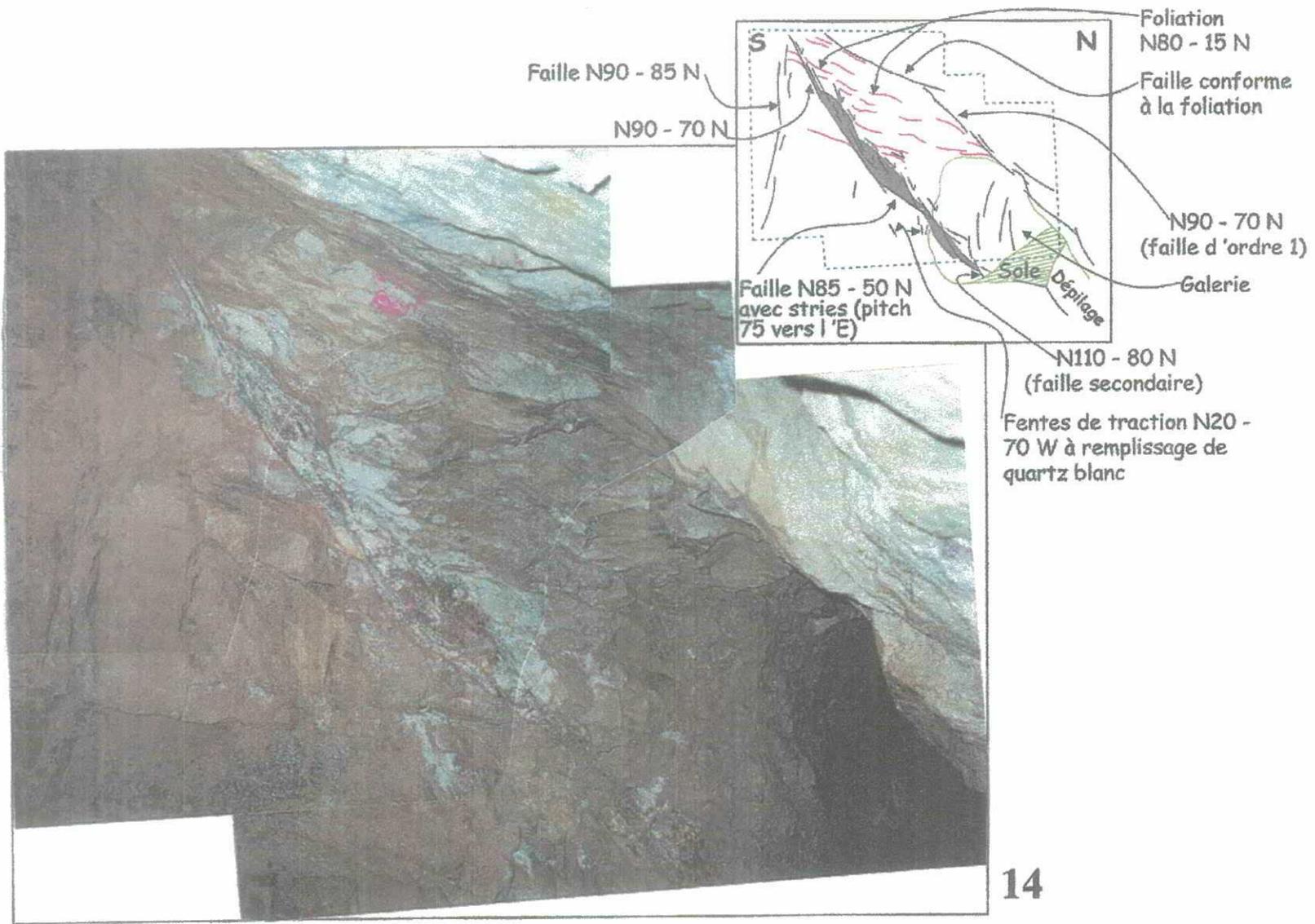


Planche 9 – Galerie Emma.

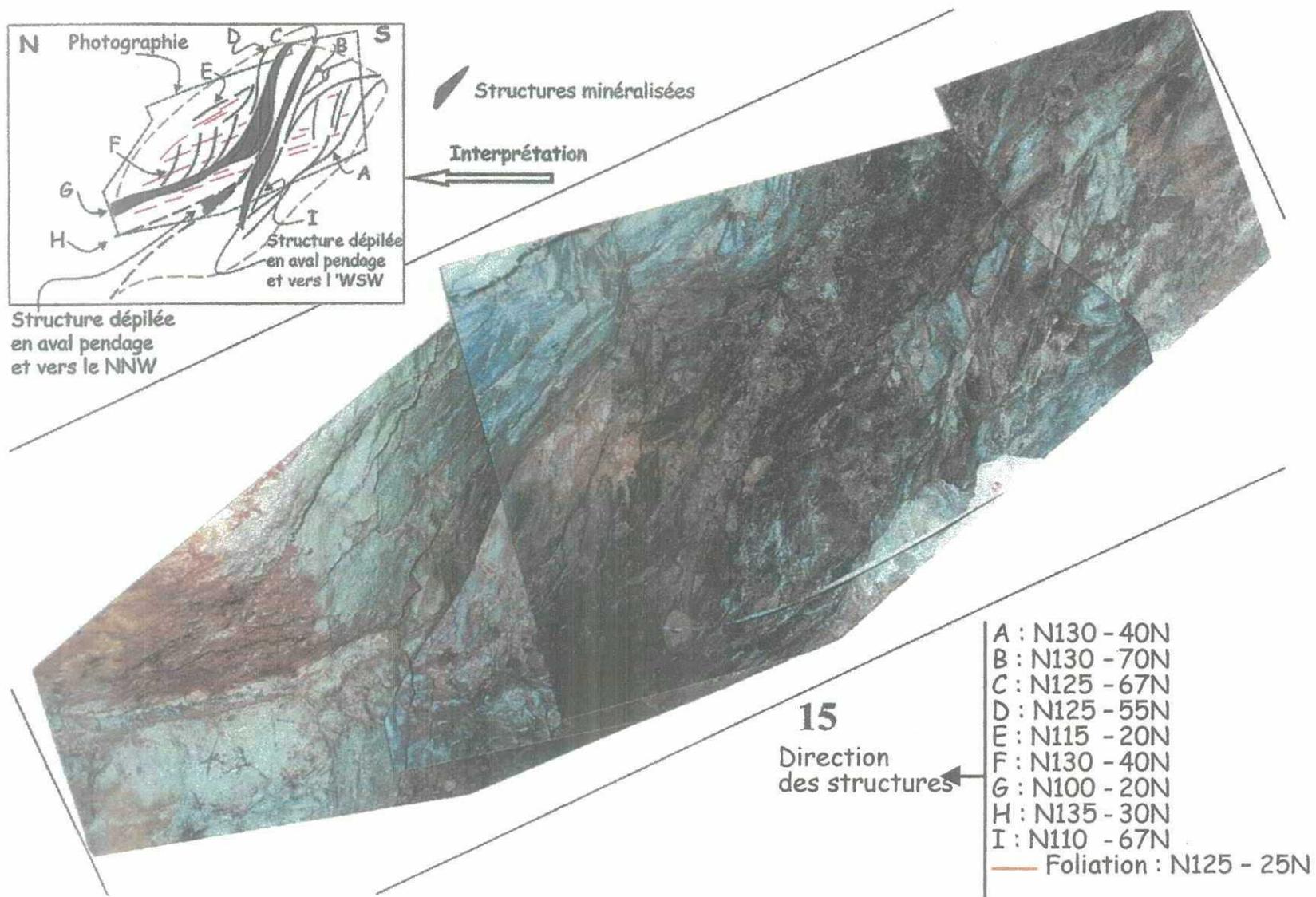


Planche 10 – Galerie Emma supérieure – front taille d'époque médiévale.

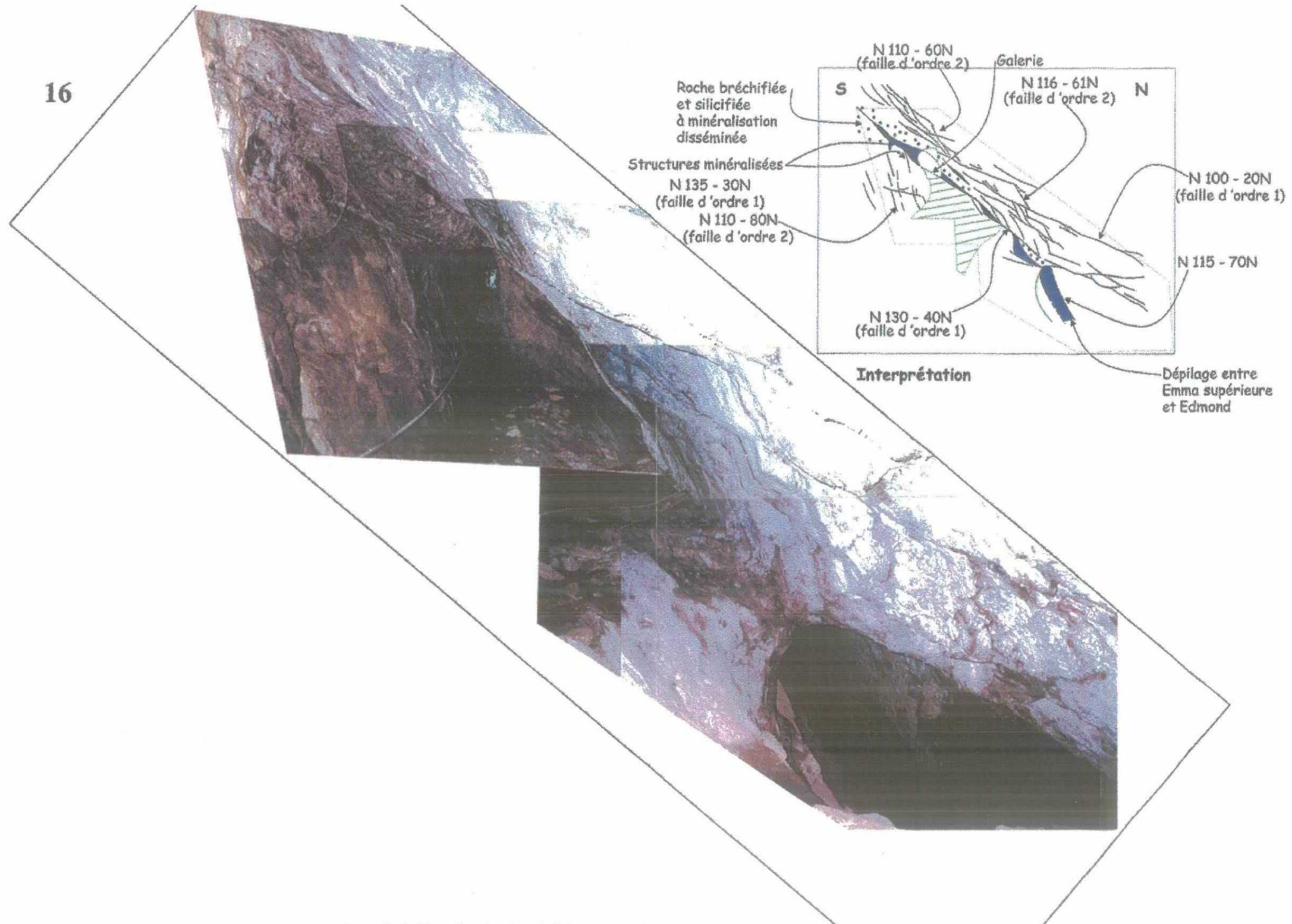
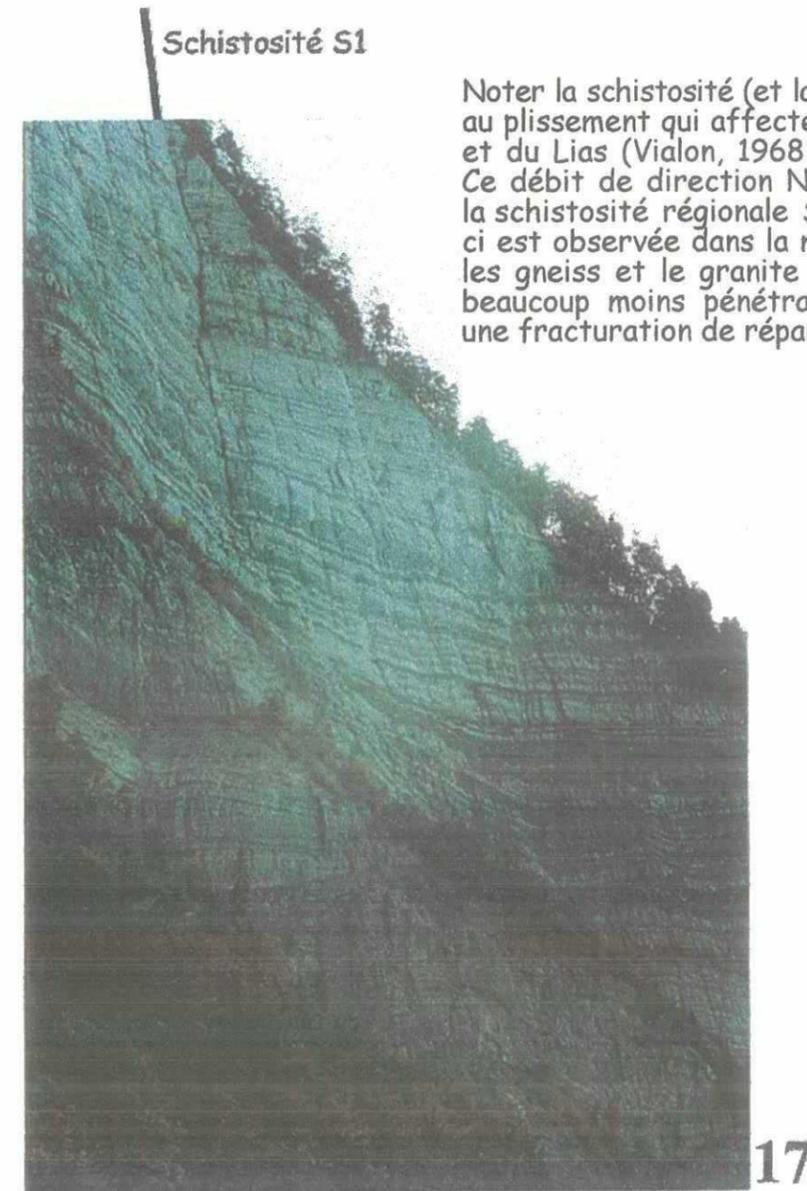


Planche 11 – Galerie Emma supérieure, système de failles d'ordre 1 et 2 à jeu normal apparent.



Noter la schistosité (et la fracturation) rapportée au plissement qui affecte les sédiments du Trias et du Lias (Vialon, 1968 ; Barféty *et al.*, 1972). Ce débit de direction N10 à N20 correspond à la schistosité régionale S1 (Vialon, 1968), celle-ci est observée dans la mine et « au jour » dans les gneiss et le granite encaissants où elle est beaucoup moins pénétrative et se marque par une fracturation de répartition irrégulière.

Planche 12 - Falaise située à l'WNW de la mine du Pontet (vue depuis la galerie « dite de la cascade »).

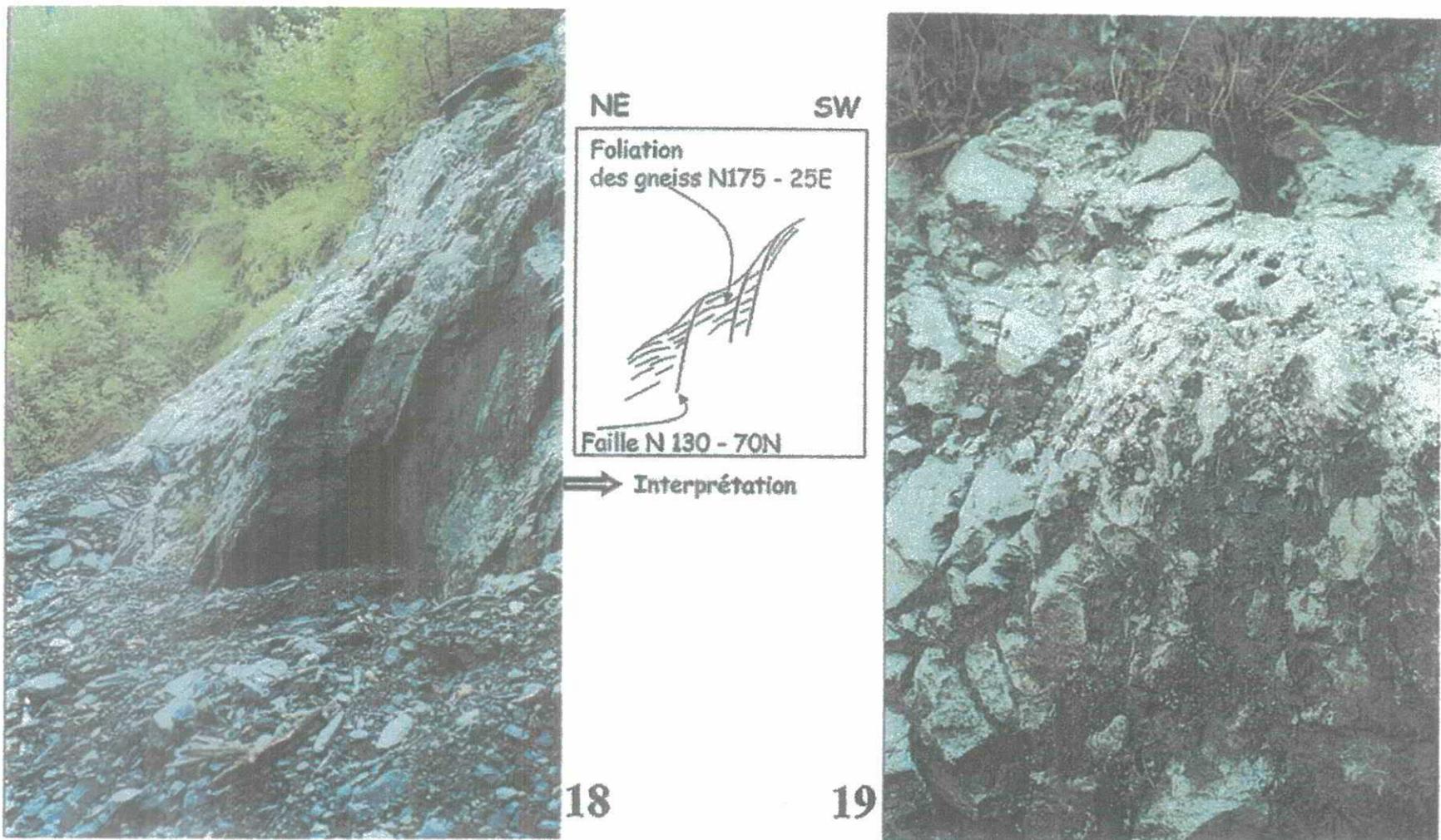


Planche 13 – « Au jour », le granite et les gneiss sont affectés par un faisceau de failles (18) subparallèle aux failles minéralisées N130 – 75N). Dans les plans des fractures de traction, la roche est « bréchifiée » (19). La photographie 19 montre une de ces brèches (la vue est parallèle au plan de fracture).

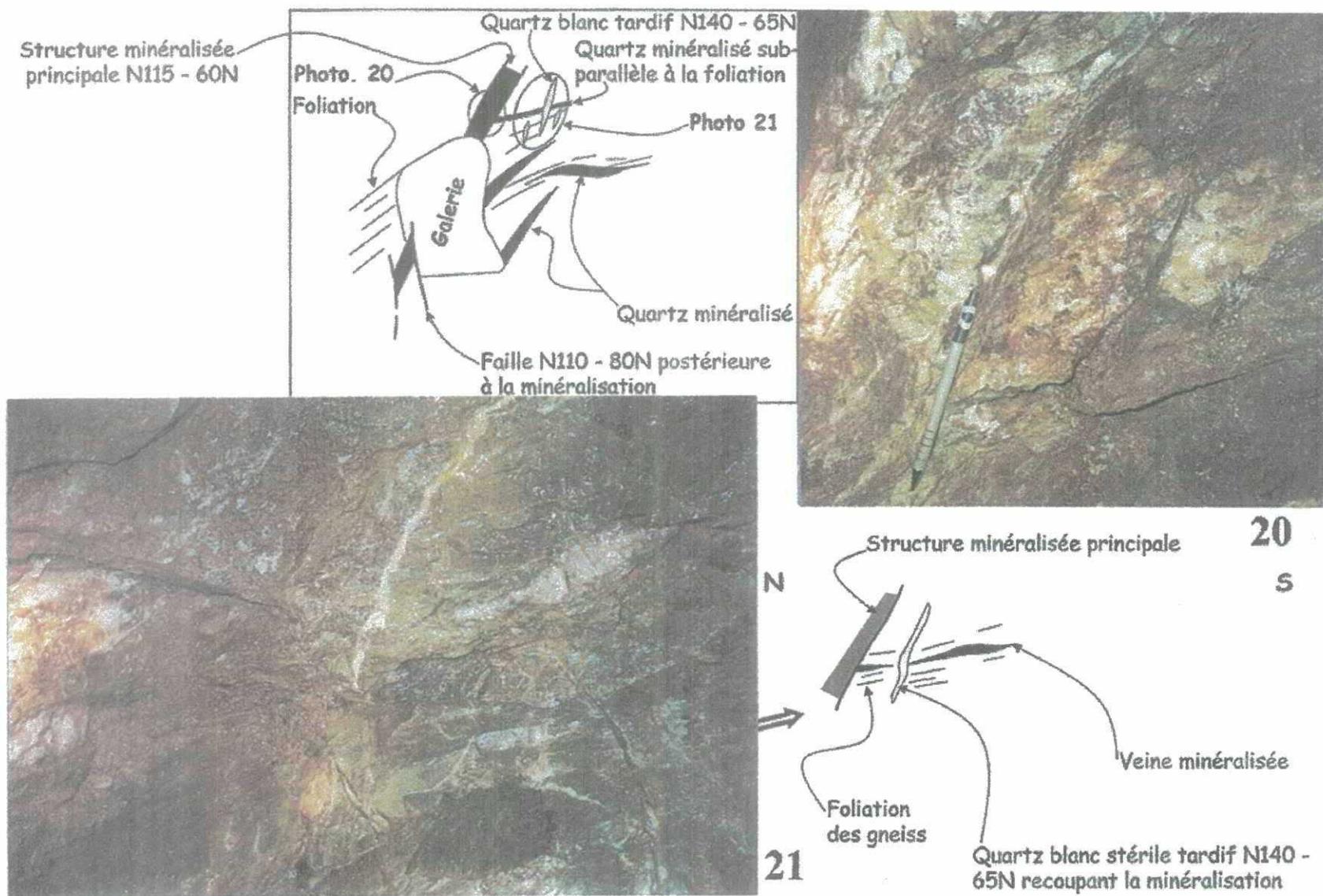


Planche 14 -Galerie Emma (59 m). Structures minéralisées (=zone cataclasée, minéralisée et silicifiée) recoupées et envahies par du quartz blanc postérieur à la minéralisation.



22

Faisceau de failles et microfailles situées dans le prolongement des structures minéralisées suivies par le défilage d'époque médiéval visible sur la photo 16. A noter : l'organisation en relais, les microfentes de traction et les crochons dessinés par la foliation des gneiss. Ces critères indiquent un jeu senestre normal des microfailles es postérieur au système de failles minéralisées.

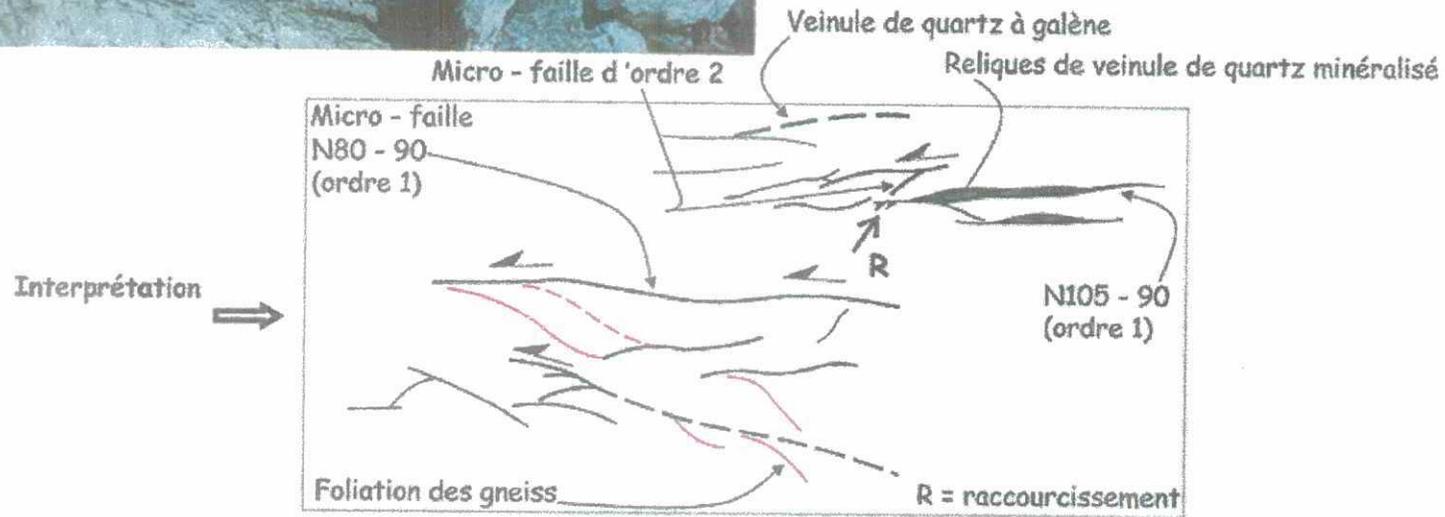


Planche 15 – Zone d'affleurements, « au jour », à proximité des galeries.

Photo 22 : Plan d'une faille normale senestre (galerie Jeanne supérieure).  
 Photo 23 : Plan d'un décrochement senestre (« au jour »).

23



24



*Planche 16 – Exemples de stries de glissement.*

**ANNEXE 1**

**Analyse de cristaux de galènes contenus  
dans les échantillons de minerai prélevés à  
différents niveaux de l'ancienne mine du Pontet**

Analyse de galènes argentifères

Moyennes pondérées de Ag sur 50 points (incertitude calculée pour 1 analyse  $\pm$  200 ppm)

N° sp	Echantillon	Ag (% en poids)
SP07	Galène la cascade	0.0283 $\pm$ 0.0067
SP08	Jeanne inf. n° 3 pilier	0.0098 $\pm$ 0.0037
SP09	Emma sup n° 2	0.0272 $\pm$ 0.0043
SP10	Emma n° 8 (gros grain)	0.0177 $\pm$ 0.0054
SP11	Emma n° 7 (3) (grain fin)	0.0221 $\pm$ 0.0069
SP12	Emma n° 2	0.0342 $\pm$ 0.0040
SP13	Emma-Edmund (pilier)	0.0267 $\pm$ 0.0071
SP14	Edmund base vieux travaux	0.0121 $\pm$ 0.0032
SP15	PM1 galerie+59	0.0214 $\pm$ 0.0044
SP16	PM2 défilage cascade	0.3024 $\pm$ 0.0049

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

Point	Sample	Pb	S	Ag	As	Sb	TOTAL
1	sp813	87,63	13,62	0,013	0,00	0,00	101,27
2	sp813	86,60	13,51	0,000	0,00	0,00	100,11
3	sp813	87,71	13,53	0,000	0,00	0,02	101,26
4	sp813	87,03	13,61	0,037	0,00	0,00	100,68
5	sp813	85,92	13,49	0,032	0,00	0,03	99,47
6	sp813	86,65	13,51	0,088	0,00	0,00	100,24
7	sp813	87,10	13,41	0,056	0,00	0,02	100,58
8	sp813	86,86	13,46	0,059	0,00	0,00	100,38
9	sp813	86,79	13,65	0,000	0,01	0,00	100,45
10	sp813	87,01	13,61	0,000	0,00	0,05	100,67
11	sp813	86,61	13,50	0,044	0,00	0,00	100,15
12	sp813	85,81	13,36	0,027	0,01	0,00	99,21
13	sp813	85,82	13,42	0,000	0,00	0,00	99,24
14	sp813	86,23	13,45	0,013	0,00	0,02	99,71
15	sp813	86,59	13,55	0,047	0,01	0,01	100,20
16	sp813	86,26	13,40	0,000	0,00	0,01	99,67
17	sp813	87,29	13,42	0,071	0,00	0,00	100,78
18	sp813	86,82	13,43	0,001	0,00	0,00	100,25
19	sp813	84,69	13,16	0,000	0,01	0,00	97,86
20	sp813	86,15	13,45	0,033	0,00	0,01	99,64
21	sp813	86,43	13,41	0,014	0,00	0,00	99,86
22	sp813	85,80	13,32	0,043	0,00	0,02	99,18
23	sp813	87,02	13,38	0,022	0,00	0,00	100,42
24	sp813	86,54	13,46	0,000	0,00	0,00	100,01
25	sp813	85,62	13,31	0,015	0,02	0,00	98,97
26	sp813	85,62	13,27	0,034	0,00	0,00	98,92
27	sp813	86,78	13,36	0,000	0,02	0,01	100,17
28	sp813	87,43	13,44	0,052	0,00	0,00	100,92
29	sp813	85,33	13,21	0,014	0,01	0,00	98,57
30	sp813	85,44	13,27	0,002	0,00	0,02	98,73
31	sp813	86,45	13,30	0,057	0,00	0,02	99,82
32	sp813	86,08	13,45	0,052	0,00	0,00	99,59
33	sp813	86,66	13,50	0,020	0,00	0,00	100,18
34	sp813	84,81	13,28	0,085	0,00	0,00	98,18
35	sp813	86,36	13,47	0,022	0,00	0,00	99,85
36	sp813	86,36	13,54	0,005	0,00	0,00	99,91
37	sp813	86,42	13,41	0,032	0,00	0,00	99,86
38	sp813	86,44	13,43	0,029	0,00	0,01	99,91
39	sp813	85,12	13,14	0,002	0,00	0,00	98,26
40	sp813	86,66	13,48	0,049	0,00	0,00	100,20
41	sp813	86,79	13,53	0,040	0,00	0,00	100,36
42	sp813	85,71	13,34	0,000	0,00	0,00	99,04
43	sp813	86,16	13,34	0,073	0,00	0,02	99,59
44	sp813	86,10	13,36	0,000	0,00	0,00	99,45
45	sp813	86,54	13,51	0,038	0,00	0,00	100,09
46	sp813	84,30	13,16	0,042	0,00	0,06	97,56
47	sp813	84,85	13,31	0,045	0,01	0,00	98,20
48	sp813	85,07	13,27	0,004	0,00	0,00	98,34
49	sp813	86,05	13,39	0,000	0,00	0,04	99,49
50	sp813	86,23	13,35	0,022	0,00	0,00	99,60
51	sp810	86,93	13,24	0,031	0,00	0,02	100,23

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

52	sp810	87,73	13,44	0,024	0,00	0,00	101,20
53	sp810	88,46	13,38	0,021	0,00	0,00	101,86
54	sp810	87,96	13,38	0,000	0,00	0,05	101,39
55	sp810	87,66	13,44	0,000	0,01	0,04	101,15
56	sp810	87,45	13,44	0,011	0,00	0,00	100,90
57	sp810	87,50	13,30	0,000	0,00	0,00	100,80
58	sp810	87,74	13,31	0,004	0,00	0,00	101,05
59	sp810	88,26	13,53	0,000	0,00	0,00	101,79
60	sp810	88,41	13,51	0,066	0,00	0,04	102,02
61	sp810	88,70	13,39	0,027	0,01	0,00	102,12
62	sp810	87,78	13,54	0,000	0,00	0,00	101,32
63	sp810	87,98	13,52	0,012	0,00	0,02	101,53
64	sp810	88,16	13,60	0,009	0,00	0,00	101,77
65	sp810	87,95	13,54	0,042	0,00	0,00	101,54
66	sp810	87,97	13,48	0,049	0,00	0,03	101,53
67	sp810	88,30	13,58	0,000	0,00	0,05	101,92
68	sp810	87,98	13,40	0,038	0,00	0,00	101,42
69	sp810	88,03	13,62	0,000	0,00	0,00	101,65
70	sp810	88,03	13,50	0,002	0,03	0,00	101,57
71	sp810	87,69	13,51	0,010	0,01	0,00	101,23
72	sp810	87,87	13,41	0,040	0,01	0,06	101,39
73	sp810	88,40	13,56	0,018	0,00	0,04	102,02
74	sp810	87,71	13,58	0,000	0,00	0,02	101,31
75	sp810	87,55	13,46	0,006	0,02	0,00	101,03
76	sp810	87,89	13,50	0,007	0,00	0,00	101,40
77	sp810	87,68	13,44	0,009	0,00	0,00	101,13
78	sp810	88,01	13,44	0,000	0,00	0,00	101,45
79	sp810	87,45	13,63	0,000	0,00	0,05	101,13
80	sp810	87,64	13,55	0,027	0,00	0,00	101,22
81	sp810	87,85	13,48	0,000	0,01	0,00	101,34
82	sp810	87,54	13,55	0,039	0,03	0,00	101,16
83	sp810	87,88	13,50	0,029	0,00	0,03	101,45
84	sp810	87,79	13,42	0,042	0,00	0,00	101,26
85	sp810	87,47	13,41	0,074	0,00	0,06	101,01
86	sp810	88,09	13,44	0,000	0,02	0,00	101,55
87	sp810	87,90	13,59	0,000	0,00	0,00	101,49
88	sp810	87,64	13,52	0,014	0,00	0,00	101,17
89	sp810	87,26	13,50	0,000	0,00	0,00	100,76
90	sp810	87,74	13,49	0,022	0,00	0,00	101,25
91	sp810	87,36	13,48	0,034	0,00	0,00	100,88
92	sp810	87,62	13,53	0,008	0,00	0,00	101,15
93	sp810	87,87	13,57	0,000	0,00	0,00	101,43
94	sp810	87,72	13,54	0,000	0,00	0,00	101,26
95	sp810	87,45	13,36	0,029	0,00	0,06	100,90
96	sp810	87,76	13,53	0,029	0,00	0,00	101,31
97	sp810	88,31	13,39	0,040	0,00	0,00	101,75
98	sp810	86,76	13,30	0,009	0,01	0,00	100,08
99	sp810	87,34	13,24	0,020	0,00	0,00	100,59
100	sp810	87,32	13,40	0,044	0,00	0,00	100,77
101	sp807	86,99	13,36	0,021	0,00	0,00	100,37
102	sp807	86,30	13,21	0,000	0,00	0,00	99,51
103	sp807	86,41	13,14	0,065	0,00	0,00	99,61

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

104	sp807	86,89	13,27	0,011	0,00	0,00	100,17
105	sp807	87,36	13,24	0,022	0,02	0,00	100,64
106	sp807	86,35	13,34	0,000	0,01	0,00	99,70
107	sp807	86,88	13,20	0,048	0,00	0,00	100,13
108	sp807	86,13	13,35	0,004	0,00	0,00	99,48
109	sp807	86,95	13,36	0,049	0,00	0,00	100,37
110	sp807	86,92	13,34	0,022	0,00	0,00	100,29
111	sp807	86,80	13,08	0,041	0,00	0,00	99,92
112	sp807	86,23	13,37	0,000	0,00	0,00	99,60
113	sp807	85,90	13,34	0,037	0,00	0,00	99,27
114	sp807	86,08	13,24	0,000	0,00	0,00	99,32
115	sp807	86,60	13,22	0,057	0,00	0,00	99,88
116	sp807	85,98	13,32	0,001	0,00	0,00	99,31
117	sp807	85,92	13,13	0,035	0,00	0,00	99,08
118	sp807	85,58	13,42	0,053	0,01	0,00	99,06
119	sp807	84,98	12,84	0,025	0,00	0,00	97,85
120	sp807	85,39	13,10	0,054	0,00	0,00	98,55
121	sp807	86,25	13,18	0,000	0,00	0,00	99,43
122	sp807	86,04	13,25	0,019	0,00	0,00	99,31
123	sp807	85,66	13,21	0,052	0,00	0,00	98,91
124	sp807	86,41	13,29	0,000	0,00	0,00	99,70
125	sp807	86,65	13,11	0,000	0,01	0,00	99,78
126	sp807	86,02	13,20	0,024	0,00	0,00	99,25
127	sp807	86,35	13,34	0,032	0,00	0,00	99,72
128	sp807	85,91	13,17	0,040	0,00	0,00	99,13
129	sp807	85,99	13,13	0,003	0,00	0,00	99,12
130	sp807	86,13	13,26	0,022	0,01	0,00	99,42
131	sp807	86,64	13,38	0,002	0,00	0,00	100,02
132	sp807	85,48	13,12	0,015	0,00	0,00	98,62
133	sp807	86,07	13,16	0,062	0,00	0,00	99,29
134	sp807	86,76	13,28	0,005	0,00	0,00	100,05
135	sp807	86,25	13,29	0,029	0,00	0,00	99,56
136	sp807	86,51	13,36	0,066	0,00	0,00	99,94
137	sp807	87,02	13,32	0,000	0,00	0,00	100,34
138	sp807	86,30	13,24	0,039	0,00	0,00	99,58
139	sp807	86,64	13,32	0,069	0,00	0,00	100,03
140	sp807	86,62	13,22	0,026	0,00	0,00	99,87
141	sp807	86,67	13,34	0,051	0,00	0,00	100,07
142	sp807	86,06	13,22	0,010	0,00	0,00	99,28
143	sp807	85,00	13,03	0,070	0,01	0,00	98,10
144	sp807	86,31	13,27	0,050	0,01	0,00	99,64
145	sp807	85,11	13,11	0,066	0,00	0,01	98,30
146	sp807	86,06	13,14	0,056	0,00	0,00	99,26
147	sp807	85,49	13,23	0,007	0,00	0,03	98,76
148	sp807	85,88	13,30	0,000	0,00	0,00	99,18
149	sp807	85,70	13,13	0,014	0,00	0,00	98,84
150	sp807	85,80	13,15	0,042	0,00	0,00	98,99
151	sp811	87,99	13,67	0,042	0,00	0,00	101,70
152	sp811	88,29	13,54	0,000	0,00	0,00	101,83
153	sp811	87,71	13,48	0,059	0,00	0,00	101,25
154	sp811	87,98	13,51	0,000	0,00	0,00	101,49
155	sp811	87,88	13,47	0,118	0,00	0,00	101,48

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

156	sp811	86,89	13,47	0,026	0,01	0,02	100,41
157	sp811	86,83	13,45	0,000	0,00	0,01	100,29
158	sp811	85,85	13,22	0,032	0,00	0,00	99,11
159	sp811	87,66	13,38	0,038	0,01	0,01	101,10
160	sp811	87,54	13,45	0,003	0,01	0,00	101,00
161	sp811	87,31	13,51	0,015	0,00	0,00	100,84
162	sp811	87,02	13,43	0,000	0,00	0,00	100,45
163	sp811	87,33	13,38	0,016	0,00	0,01	100,73
164	sp811	87,83	13,40	0,000	0,00	0,00	101,23
165	sp811	86,87	13,38	0,000	0,03	0,00	100,28
166	sp811	87,25	13,44	0,026	0,00	0,00	100,71
167	sp811	86,84	13,41	0,015	0,00	0,04	100,31
168	sp811	86,91	13,29	0,055	0,01	0,00	100,27
169	sp811	86,62	13,35	0,063	0,00	0,03	100,06
170	sp811	86,62	13,34	0,039	0,01	0,00	100,01
171	sp811	87,57	13,40	0,010	0,00	0,00	100,98
172	sp811	87,80	13,45	0,059	0,00	0,00	101,31
173	sp811	87,58	13,50	0,008	0,00	0,00	101,08
174	sp811	87,53	13,38	0,026	0,00	0,05	100,98
175	sp811	87,55	13,51	0,019	0,00	0,00	101,08
176	sp811	87,32	13,54	0,035	0,00	0,00	100,89
177	sp811	87,49	13,36	0,000	0,00	0,00	100,84
178	sp811	87,41	13,40	0,040	0,00	0,02	100,87
179	sp811	87,39	13,30	0,062	0,02	0,03	100,80
180	sp811	87,41	13,34	0,031	0,00	0,00	100,78
182	sp811	86,73	13,51	0,036	0,00	0,00	100,28
183	sp811	86,91	13,37	0,000	0,00	0,00	100,28
184	sp811	87,41	13,54	0,018	0,00	0,00	100,97
185	sp811	87,25	13,50	0,000	0,00	0,00	100,74
186	sp811	87,20	13,49	0,005	0,00	0,00	100,70
187	sp811	87,81	13,53	0,023	0,01	0,02	101,39
188	sp811	86,81	13,49	0,013	0,00	0,00	100,31
189	sp811	87,24	13,41	0,000	0,03	0,00	100,68
190	sp811	87,14	13,56	0,000	0,00	0,04	100,74
191	sp811	87,86	13,51	0,001	0,00	0,00	101,37
192	sp811	87,52	13,44	0,027	0,00	0,01	101,00
193	sp811	87,48	13,47	0,031	0,00	0,01	100,99
194	sp811	87,72	13,50	0,000	0,00	0,00	101,22
195	sp811	87,35	13,39	0,020	0,00	0,00	100,76
196	sp811	87,82	13,38	0,000	0,02	0,00	101,21
197	sp811	88,06	13,56	0,000	0,01	0,00	101,63
198	sp811	87,34	13,50	0,010	0,00	0,00	100,85
199	sp811	87,01	13,44	0,012	0,00	0,00	100,47
200	sp811	86,89	13,33	0,051	0,00	0,02	100,29
201	sp808	88,16	13,54	0,000	0,00	0,00	101,70
202	sp808	87,35	13,55	0,035	0,00	0,00	100,93
203	sp808	86,87	13,47	0,021	0,00	0,00	100,36
204	sp808	87,39	13,50	0,008	0,01	0,00	100,92
205	sp808	86,98	13,49	0,000	0,00	0,00	100,47
206	sp808	86,93	13,57	0,000	0,00	0,00	100,51
207	sp808	86,81	13,60	0,002	0,00	0,00	100,41
208	sp808	86,92	13,44	0,000	0,01	0,00	100,37
209	sp808	87,69	13,44	0,000	0,00	0,00	101,13
210	sp808	86,13	13,32	0,000	0,00	0,00	99,44
211	sp808	87,70	13,53	0,023	0,00	0,00	101,25

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

212	sp808	84,59	13,00	0,018	0,00	0,00	97,61
213	sp808	87,10	13,50	0,000	0,00	0,00	100,60
214	sp808	86,88	13,53	0,024	0,00	0,00	100,43
215	sp808	86,40	13,59	0,012	0,00	0,00	100,00
216	sp808	87,51	13,55	0,000	0,00	0,00	101,06
217	sp808	87,12	13,51	0,000	0,01	0,03	100,68
218	sp808	86,82	13,46	0,019	0,00	0,00	100,30
219	sp808	87,32	13,56	0,040	0,00	0,01	100,93
220	sp808	86,82	13,44	0,001	0,00	0,00	100,26
221	sp808	86,73	13,59	0,046	0,00	0,00	100,36
222	sp808	87,05	13,51	0,000	0,00	0,00	100,56
223	sp808	86,62	13,41	0,024	0,00	0,00	100,05
224	sp808	87,42	13,63	0,000	0,00	0,00	101,05
225	sp808	87,10	13,58	0,016	0,00	0,01	100,71
226	sp808	88,04	13,34	0,000	0,00	0,00	101,38
227	sp808	87,84	13,50	0,004	0,00	0,00	101,34
228	sp808	85,19	13,06	0,002	0,00	0,00	98,25
229	sp808	87,68	13,42	0,012	0,02	0,00	101,14
230	sp808	87,10	13,42	0,000	0,00	0,00	100,52
231	sp808	87,98	13,28	0,020	0,03	0,00	101,31
232	sp808	86,33	13,27	0,022	0,00	0,00	99,62
234	sp808	85,85	13,35	0,010	0,00	0,00	99,21
236	sp808	87,14	13,51	0,000	0,00	0,00	100,65
237	sp808	87,75	13,51	0,000	0,00	0,00	101,26
238	sp808	85,92	13,39	0,000	0,00	0,00	99,30
239	sp808	86,90	13,45	0,026	0,00	0,00	100,37
240	sp808	87,67	13,54	0,003	0,00	0,01	101,22
241	sp808	87,21	13,25	0,009	0,00	0,00	100,46
242	sp808	87,01	13,37	0,021	0,00	0,02	100,42
243	sp808	87,41	13,50	0,000	0,00	0,00	100,91
244	sp808	86,98	13,41	0,000	0,00	0,00	100,39
245	sp808	87,11	13,18	0,023	0,00	0,00	100,31
246	sp808	86,18	13,52	0,000	0,00	0,00	99,71
250	sp808	85,98	13,26	0,000	0,00	0,00	99,24
251	sp816	86,13	13,61	0,285	0,00	0,00	100,03
252	sp816	86,29	13,46	0,284	0,00	0,00	100,03
253	sp816	86,26	13,49	0,310	0,00	0,00	100,06
254	sp816	86,19	13,53	0,317	0,00	0,00	100,04
255	sp816	85,57	13,46	0,315	0,00	0,00	99,35
256	sp816	85,78	13,40	0,303	0,00	0,00	99,48
257	sp816	86,57	13,52	0,317	0,00	0,00	100,41
258	sp816	86,10	13,46	0,304	0,00	0,00	99,86
259	sp816	84,44	13,20	0,299	0,00	0,00	97,93
260	sp816	86,27	13,41	0,330	0,00	0,00	100,01
261	sp816	86,50	13,46	0,304	0,00	0,00	100,26
262	sp816	86,08	13,44	0,301	0,00	0,00	99,83
263	sp816	86,27	13,49	0,301	0,00	0,00	100,06
264	sp816	85,83	13,28	0,315	0,02	0,00	99,45
265	sp816	85,94	13,30	0,300	0,00	0,00	99,54
266	sp816	86,60	13,45	0,295	0,00	0,00	100,34
267	sp816	86,53	13,45	0,271	0,00	0,00	100,25
268	sp816	85,86	13,43	0,304	0,00	0,00	99,59
269	sp816	85,54	13,41	0,324	0,00	0,00	99,27
270	sp816	86,49	13,39	0,314	0,00	0,00	100,19
271	sp816	87,17	13,40	0,327	0,00	0,00	100,89
272	sp816	86,77	13,48	0,312	0,02	0,00	100,57
273	sp816	86,91	13,47	0,341	0,00	0,00	100,72

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

274	sp816	86,59	13,49	0,317	0,00	0,00	100,39
275	sp816	86,64	13,45	0,304	0,00	0,00	100,39
276	sp816	86,60	13,39	0,305	0,00	0,00	100,29
277	sp816	87,27	13,45	0,307	0,00	0,00	101,03
278	sp816	86,91	13,60	0,324	0,00	0,00	100,84
279	sp816	86,66	13,48	0,282	0,00	0,00	100,43
280	sp816	87,01	13,44	0,285	0,01	0,00	100,75
281	sp816	86,41	13,54	0,300	0,00	0,00	100,24
282	sp816	86,62	13,45	0,270	0,00	0,00	100,34
283	sp816	86,50	13,50	0,298	0,00	0,00	100,30
284	sp816	86,40	13,48	0,272	0,00	0,00	100,15
285	sp816	86,68	13,44	0,316	0,00	0,00	100,44
286	sp816	86,32	13,48	0,307	0,00	0,00	100,11
287	sp816	86,48	13,49	0,324	0,00	0,00	100,29
288	sp816	86,32	13,45	0,316	0,00	0,00	100,09
289	sp816	86,54	13,45	0,285	0,00	0,00	100,27
290	sp816	86,94	13,43	0,279	0,00	0,00	100,64
291	sp816	86,01	13,41	0,293	0,00	0,00	99,71
292	sp816	86,31	13,45	0,309	0,00	0,00	100,07
294	sp816	86,00	13,33	0,298	0,00	0,00	99,63
295	sp816	85,73	13,36	0,253	0,00	0,01	99,35
296	sp816	86,30	13,35	0,298	0,00	0,00	99,94
297	sp816	86,09	13,39	0,299	0,00	0,00	99,79
298	sp816	84,74	13,14	0,300	0,00	0,00	98,18
299	sp816	86,15	13,39	0,313	0,00	0,00	99,85
300	sp816	85,65	13,35	0,291	0,00	0,00	99,29
301	sp814	86,89	13,61	0,005	0,00	0,00	100,51
302	sp814	86,92	13,57	0,000	0,00	0,00	100,49
303	sp814	86,60	13,44	0,000	0,00	0,00	100,04
304	sp814	85,99	13,58	0,018	0,00	0,00	99,58
305	sp814	86,79	13,56	0,000	0,00	0,00	100,35
306	sp814	86,82	13,46	0,013	0,00	0,00	100,30
307	sp814	86,60	13,57	0,021	0,00	0,00	100,19
308	sp814	86,98	13,47	0,008	0,00	0,00	100,45
309	sp814	87,08	13,43	0,018	0,04	0,00	100,57
310	sp814	87,02	13,51	0,008	0,01	0,00	100,55
311	sp814	86,99	13,55	0,010	0,00	0,03	100,58
312	sp814	86,67	13,36	0,018	0,00	0,01	100,06
313	sp814	86,77	13,51	0,027	0,00	0,00	100,31
314	sp814	86,68	13,50	0,028	0,00	0,06	100,27
315	sp814	86,95	13,47	0,010	0,00	0,00	100,43
316	sp814	86,95	13,59	0,013	0,01	0,00	100,56
317	sp814	87,27	13,47	0,016	0,00	0,00	100,76
318	sp814	87,40	13,53	0,034	0,00	0,00	100,96
319	sp814	87,47	13,36	0,000	0,00	0,00	100,83
320	sp814	85,95	13,27	0,029	0,00	0,00	99,25
321	sp814	87,52	13,50	0,005	0,00	0,00	101,02
322	sp814	87,35	13,37	0,006	0,01	0,00	100,74
323	sp814	87,55	13,53	0,005	0,02	0,00	101,10
324	sp814	86,51	13,42	0,003	0,00	0,00	99,93
325	sp814	87,05	13,35	0,013	0,00	0,04	100,44
326	sp814	85,13	13,59	0,035	0,00	0,00	98,75
327	sp814	86,26	13,43	0,000	0,00	0,00	99,68
328	sp814	86,91	13,56	0,011	0,00	0,00	100,48
329	sp814	86,99	13,55	0,011	0,00	0,00	100,54
330	sp814	87,14	13,47	0,004	0,00	0,00	100,62
331	sp814	87,29	13,51	0,000	0,03	0,00	100,83

*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

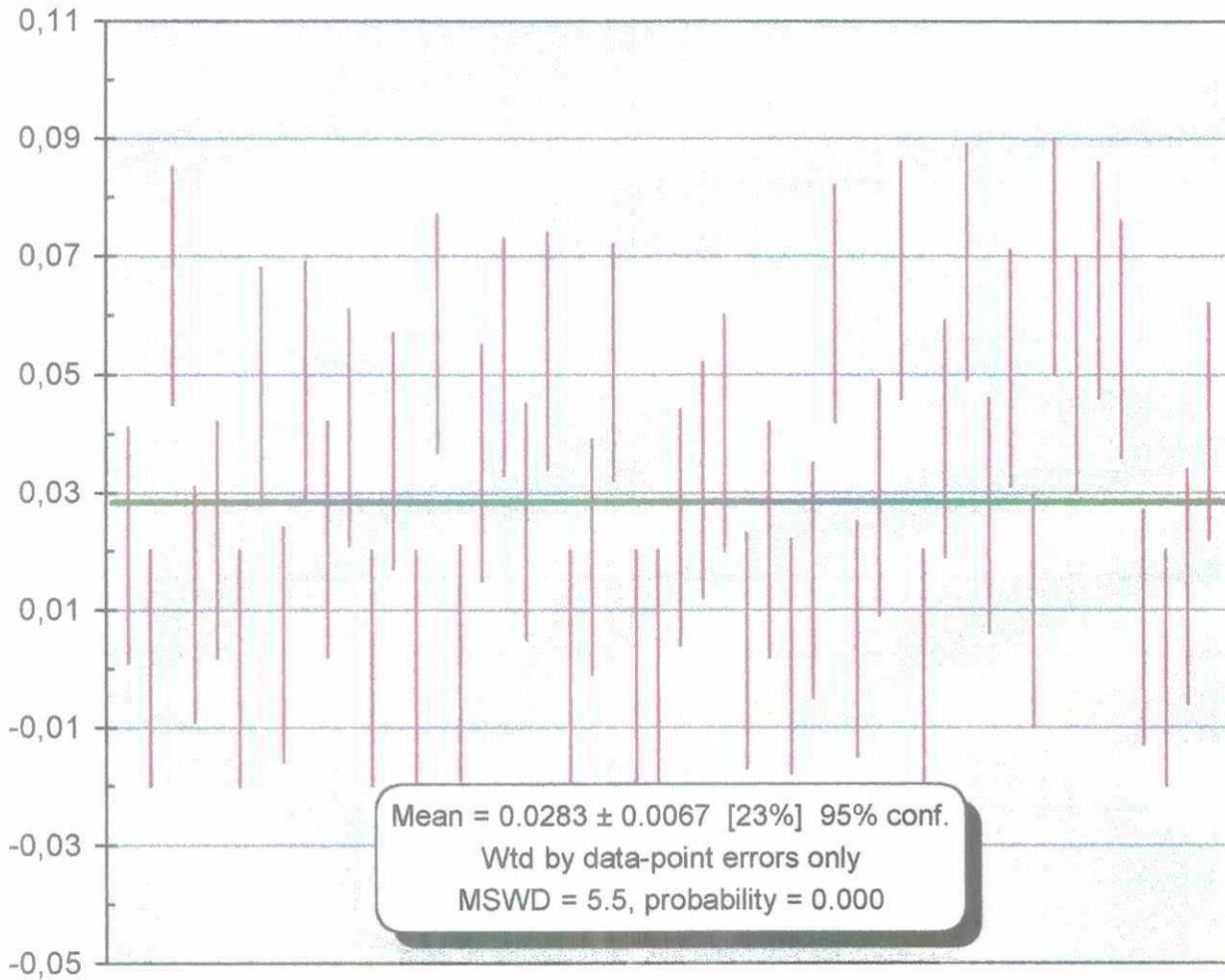
332	sp814	87,32	13,47	0,047	0,00	0,00	100,84
333	sp814	86,95	13,65	0,000	0,00	0,05	100,65
334	sp814	86,87	13,45	0,000	0,00	0,00	100,32
335	sp814	87,00	13,54	0,000	0,00	0,00	100,54
336	sp814	87,43	13,56	0,027	0,00	0,00	101,02
337	sp814	87,19	13,45	0,010	0,00	0,00	100,66
338	sp814	86,81	13,42	0,016	0,00	0,00	100,25
339	sp814	86,92	13,59	0,010	0,01	0,05	100,58
340	sp814	86,90	13,61	0,000	0,00	0,00	100,51
341	sp814	87,49	13,43	0,009	0,00	0,00	100,93
342	sp814	86,69	13,38	0,000	0,00	0,00	100,07
343	sp814	86,84	13,46	0,021	0,00	0,00	100,32
344	sp814	86,84	13,36	0,012	0,00	0,00	100,22
345	sp814	86,54	13,44	0,022	0,04	0,01	100,05
346	sp814	86,78	13,34	0,000	0,00	0,00	100,13
347	sp814	87,09	13,33	0,001	0,00	0,04	100,46
348	sp814	87,16	13,51	0,009	0,00	0,00	100,68
349	sp814	86,66	13,26	0,029	0,00	0,01	99,96
350	sp814	87,22	13,40	0,023	0,00	0,04	100,68
351	sp809	86,84	13,57	0,035	0,00	0,03	100,48
352	sp809	87,28	13,54	0,026	0,00	0,00	100,85
353	sp809	86,59	13,59	0,044	0,00	0,05	100,28
354	sp809	86,77	13,58	0,012	0,00	0,00	100,37
355	sp809	86,43	13,56	0,031	0,00	0,04	100,06
356	sp809	86,91	13,50	0,040	0,00	0,00	100,46
357	sp809	86,07	13,27	0,025	0,00	0,00	99,36
358	sp809	87,31	13,43	0,008	0,00	0,00	100,74
359	sp809	86,47	13,26	0,042	0,02	0,00	99,80
360	sp809	86,08	13,52	0,031	0,01	0,01	99,66
361	sp809	85,81	13,53	0,016	0,00	0,00	99,35
362	sp809	85,22	13,23	0,021	0,00	0,06	98,52
363	sp809	86,42	13,46	0,030	0,00	0,00	99,91
364	sp809	86,20	13,34	0,019	0,00	0,00	99,56
365	sp809	86,41	13,43	0,033	0,02	0,01	99,90
366	sp809	86,56	13,30	0,003	0,00	0,07	99,94
367	sp809	86,54	13,36	0,027	0,01	0,02	99,95
368	sp809	86,34	13,34	0,020	0,00	0,00	99,70
369	sp809	86,93	13,38	0,045	0,00	0,00	100,36
370	sp809	86,53	13,33	0,015	0,00	0,00	99,88
371	sp809	84,90	13,26	0,000	0,00	0,06	98,22
372	sp809	85,92	13,27	0,016	0,04	0,06	99,30
373	sp809	85,92	13,25	0,020	0,00	0,02	99,22
374	sp809	86,85	13,27	0,000	0,00	0,00	100,11
375	sp809	86,40	13,30	0,000	0,00	0,06	99,77
376	sp809	86,72	13,65	0,032	0,00	0,00	100,41
377	sp809	86,83	13,73	0,031	0,00	0,00	100,59
378	sp809	87,29	13,49	0,058	0,00	0,00	100,83
379	sp809	87,09	13,48	0,037	0,00	0,00	100,61
380	sp809	87,80	13,51	0,058	0,00	0,05	101,42
381	sp809	86,25	13,35	0,010	0,00	0,00	99,61
383	sp809	86,29	13,65	0,034	0,00	0,00	99,97
384	sp809	86,98	13,45	0,031	0,02	0,03	100,51
385	sp809	86,49	13,58	0,037	0,00	0,02	100,12
386	sp809	86,64	13,35	0,054	0,02	0,02	100,08
388	sp809	86,85	13,40	0,035	0,00	0,00	100,28
389	sp809	86,12	13,43	0,035	0,00	0,00	99,59
390	sp809	86,12	13,39	0,045	0,00	0,00	99,55

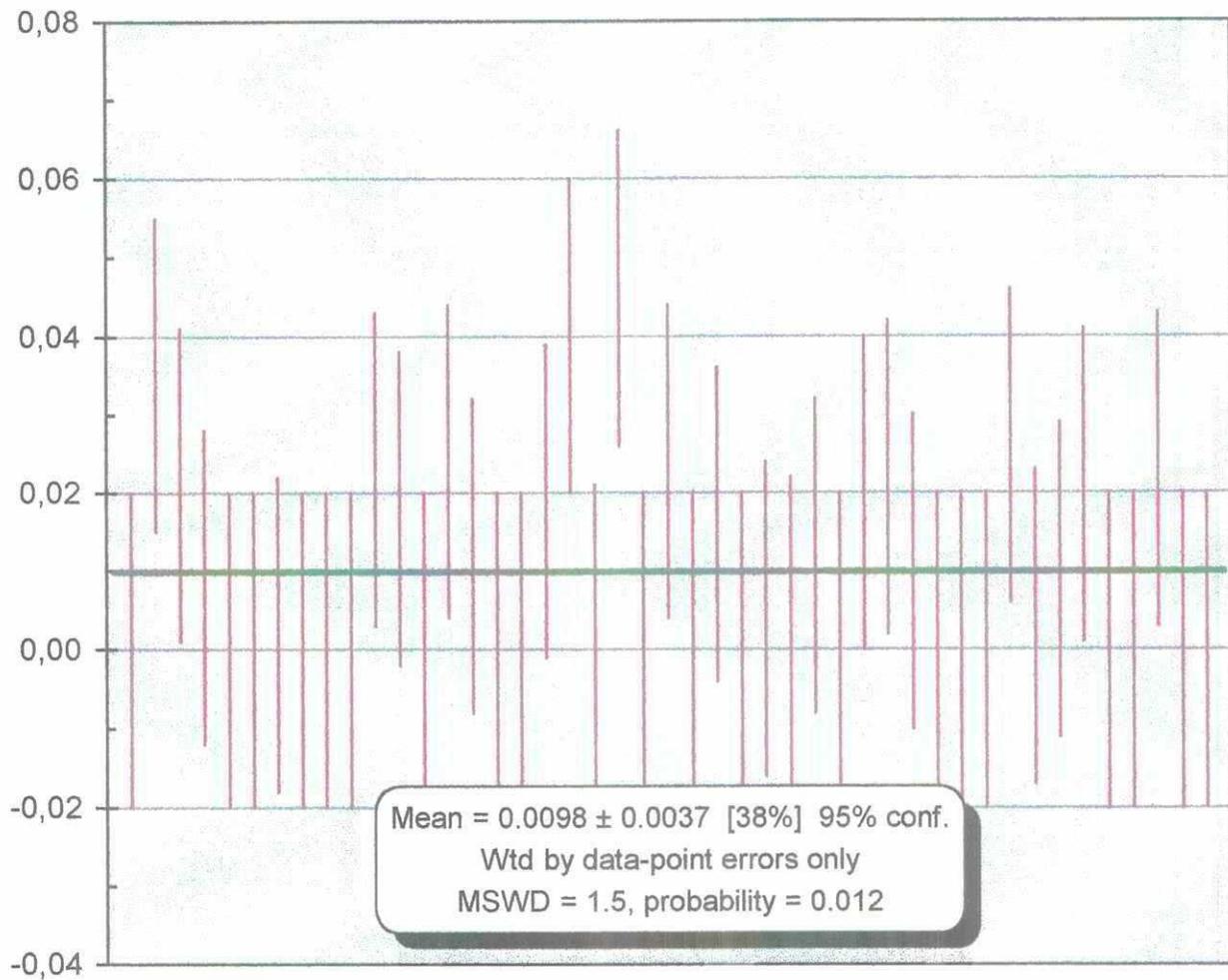
*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

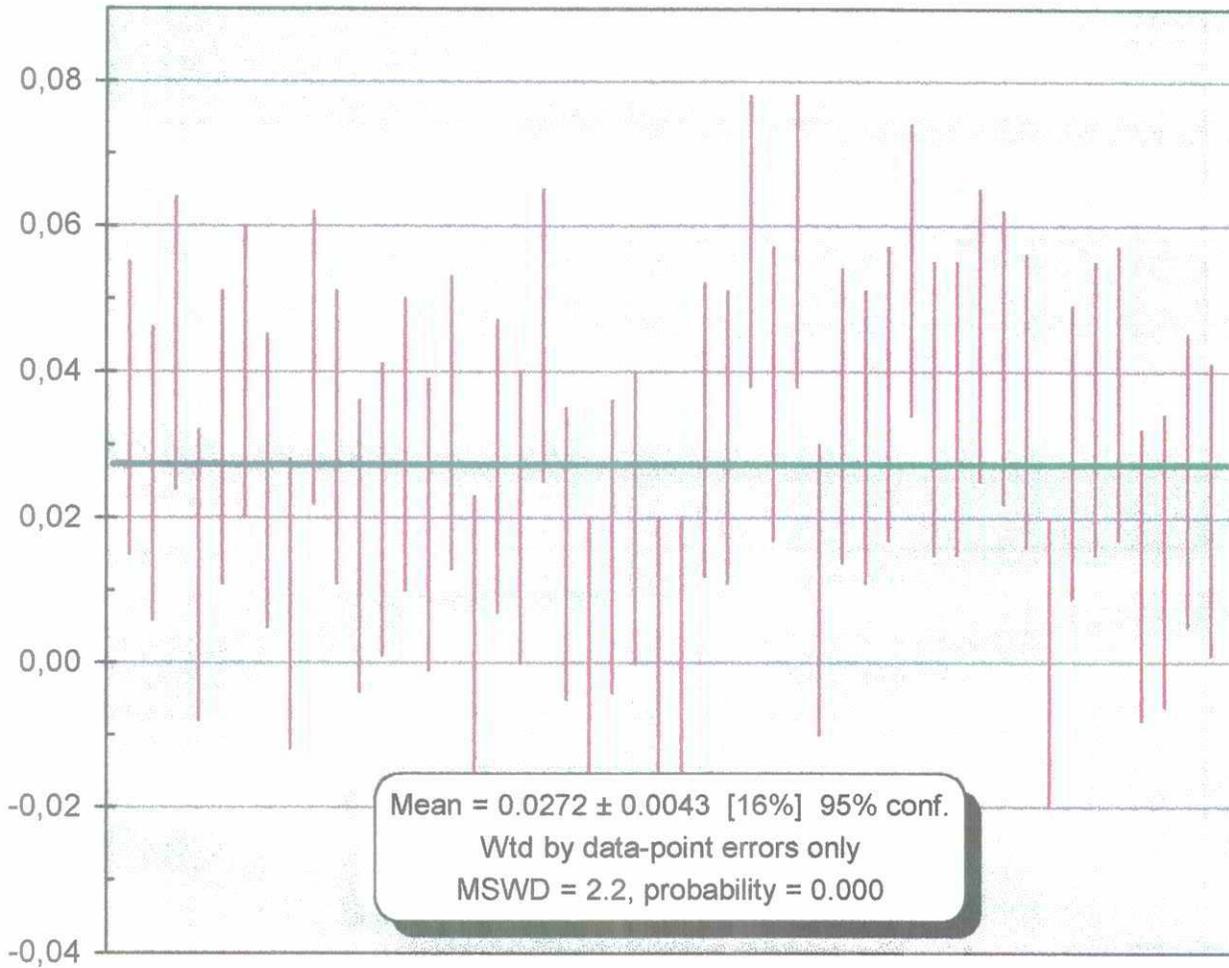
391	sp809	86,83	13,40	0,042	0,00	0,03	100,30
392	sp809	85,98	13,39	0,036	0,00	0,00	99,40
393	sp809	86,93	13,37	0,000	0,00	0,08	100,38
394	sp809	86,84	13,45	0,029	0,00	0,00	100,32
395	sp809	86,83	13,37	0,035	0,00	0,00	100,23
396	sp809	86,61	13,51	0,037	0,00	0,02	100,18
397	sp809	86,55	13,28	0,012	0,00	0,00	99,84
398	sp809	86,62	13,18	0,014	0,00	0,00	99,81
399	sp809	86,11	13,24	0,025	0,00	0,00	99,37
400	sp809	86,77	13,38	0,021	0,00	0,01	100,18
401	sp812	87,07	13,30	0,018	0,00	0,00	100,38
402	sp812	86,88	13,30	0,034	0,00	0,00	100,22
403	sp812	87,22	13,32	0,032	0,00	0,00	100,57
404	sp812	87,47	13,27	0,027	0,00	0,00	100,77
405	sp812	86,94	13,43	0,044	0,00	0,00	100,41
406	sp812	87,50	13,25	0,020	0,00	0,04	100,81
407	sp812	86,76	13,37	0,022	0,02	0,00	100,17
408	sp812	87,34	13,46	0,039	0,00	0,00	100,84
409	sp812	87,23	13,43	0,028	0,00	0,03	100,72
410	sp812	87,45	13,37	0,042	0,00	0,05	100,92
411	sp812	86,56	13,47	0,035	0,00	0,00	100,07
412	sp812	87,47	13,32	0,047	0,00	0,03	100,87
413	sp812	87,73	13,29	0,031	0,00	0,00	101,06
415	sp812	86,94	13,37	0,047	0,00	0,00	100,35
416	sp812	87,48	13,35	0,015	0,00	0,04	100,88
417	sp812	87,26	13,48	0,053	0,00	0,04	100,84
418	sp812	87,18	13,43	0,034	0,00	0,09	100,73
419	sp812	86,81	13,63	0,009	0,00	0,00	100,45
420	sp812	87,04	13,45	0,032	0,00	0,00	100,51
421	sp812	87,23	13,54	0,035	0,02	0,00	100,82
422	sp812	86,99	13,53	0,008	0,00	0,00	100,53
423	sp812	85,92	13,14	0,059	0,00	0,03	99,15
424	sp812	87,56	13,61	0,039	0,00	0,01	101,22
425	sp812	86,95	13,59	0,009	0,00	0,00	100,54
426	sp812	87,34	13,40	0,052	0,00	0,09	100,89
427	sp812	87,70	13,35	0,017	0,01	0,07	101,14
428	sp812	87,23	13,36	0,027	0,00	0,00	100,62
429	sp812	86,95	13,38	0,044	0,00	0,00	100,38
430	sp812	87,45	13,45	0,025	0,02	0,00	100,94
431	sp812	87,14	13,46	0,038	0,00	0,00	100,64
432	sp812	86,86	13,36	0,034	0,00	0,01	100,26
433	sp812	87,09	13,54	0,040	0,00	0,00	100,67
434	sp812	87,17	13,38	0,041	0,00	0,01	100,60
435	sp812	86,99	13,41	0,029	0,00	0,00	100,43
436	sp812	86,99	13,55	0,025	0,00	0,00	100,56
437	sp812	87,57	13,47	0,050	0,00	0,00	101,09
438	sp812	87,62	13,44	0,056	0,00	0,02	101,14
439	sp812	86,80	13,34	0,049	0,00	0,04	100,23
440	sp812	87,10	13,55	0,026	0,00	0,01	100,69
441	sp812	87,34	13,47	0,025	0,00	0,00	100,84
442	sp812	87,55	13,34	0,037	0,00	0,06	100,99
443	sp812	86,97	13,40	0,030	0,01	0,00	100,41
444	sp812	86,99	13,44	0,068	0,00	0,03	100,52
445	sp812	86,89	13,26	0,038	0,00	0,02	100,21
446	sp812	87,29	13,34	0,055	0,02	0,03	100,73
447	sp812	86,32	13,25	0,032	0,00	0,00	99,59
448	sp812	86,78	13,40	0,007	0,00	0,00	100,19

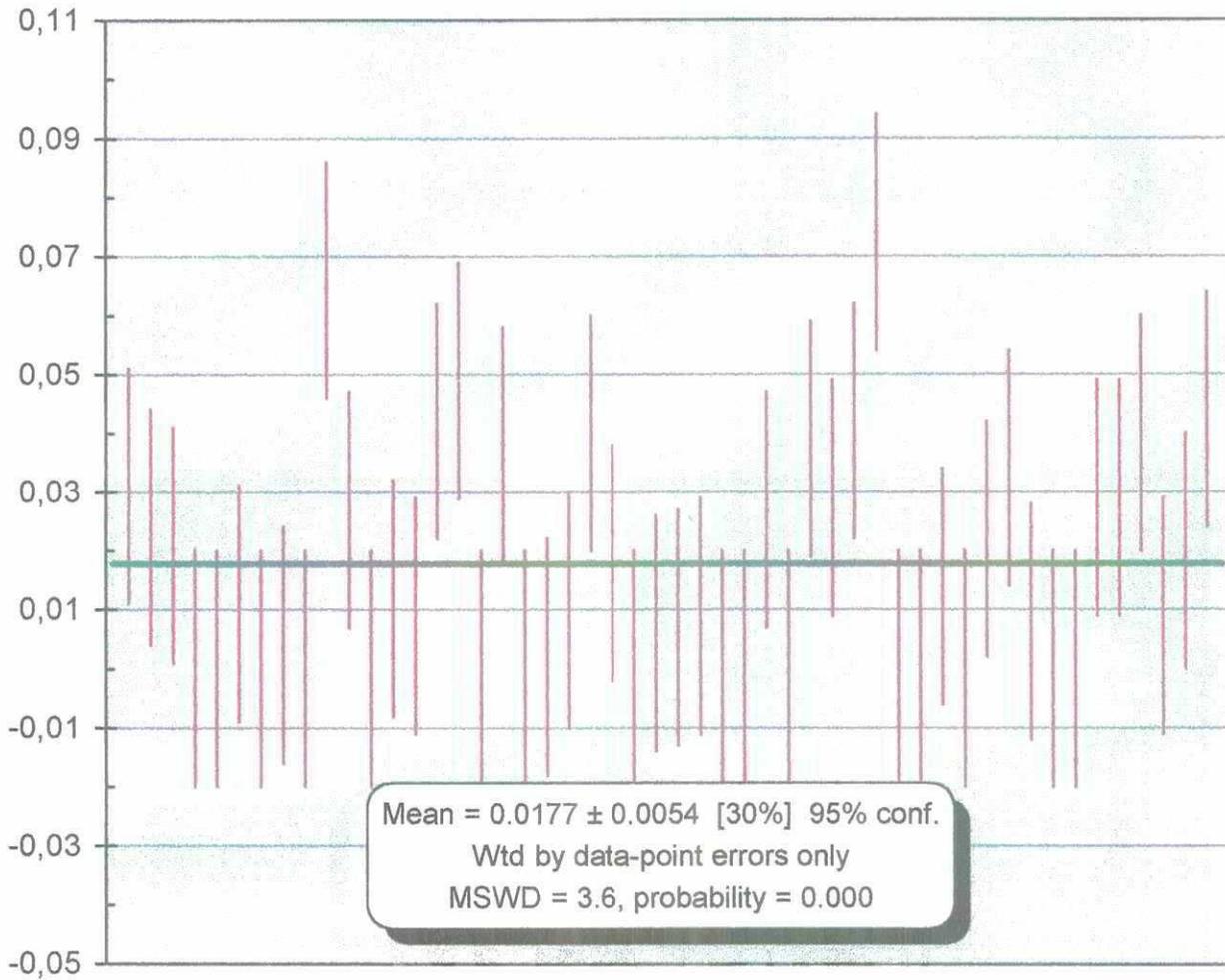
*Étude géologique et structurale de la mine de plomb du Pontet (Isère)*

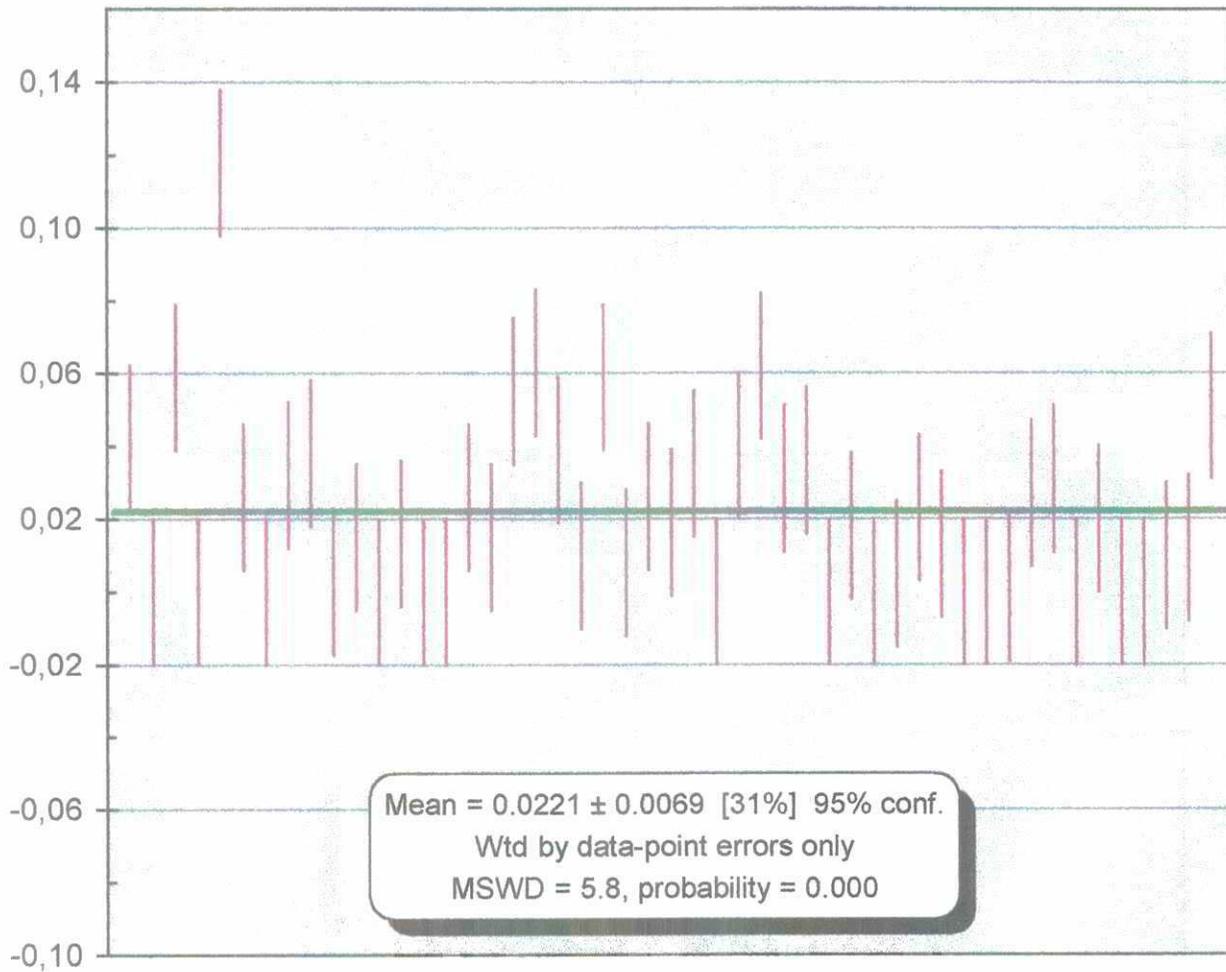
449	sp812	86,65	13,39	0,046	0,00	0,00	100,08
450	sp812	87,10	13,38	0,028	0,00	0,00	100,51
451	sp815	87,11	13,46	0,013	0,02	0,00	100,59
452	sp815	86,99	13,33	0,044	0,00	0,00	100,36
453	sp815	86,85	13,44	0,039	0,00	0,04	100,36
454	sp815	87,40	13,42	0,022	0,01	0,01	100,86
455	sp815	87,16	13,49	0,016	0,00	0,00	100,67
456	sp815	87,66	13,39	0,011	0,00	0,00	101,06
457	sp815	86,99	13,47	0,003	0,00	0,00	100,46
458	sp815	86,84	13,47	0,000	0,00	0,00	100,31
459	sp815	87,51	13,41	0,029	0,00	0,01	100,96
460	sp815	87,25	13,38	0,028	0,00	0,00	100,66
462	sp815	87,64	13,38	0,015	0,00	0,00	101,04
463	sp815	87,64	13,51	0,042	0,00	0,00	101,19
464	sp815	87,69	13,43	0,023	0,00	0,00	101,14
465	sp815	87,49	13,46	0,000	0,00	0,00	100,96
466	sp815	87,57	13,48	0,014	0,00	0,00	101,06
467	sp815	86,91	13,39	0,000	0,00	0,00	100,31
468	sp815	86,73	13,42	0,022	0,00	0,00	100,17
469	sp815	87,02	13,41	0,023	0,00	0,02	100,47
470	sp815	87,01	13,40	0,018	0,00	0,00	100,42
471	sp815	86,03	13,35	0,021	0,00	0,00	99,40
472	sp815	87,34	13,36	0,008	0,01	0,00	100,72
473	sp815	86,86	13,44	0,000	0,00	0,00	100,30
474	sp815	86,83	13,51	0,000	0,00	0,00	100,34
475	sp815	87,07	13,37	0,018	0,00	0,00	100,45
476	sp815	87,73	13,41	0,022	0,01	0,00	101,17
477	sp815	86,67	13,40	0,030	0,00	0,02	100,11
478	sp815	86,65	13,32	0,016	0,00	0,00	99,99
479	sp815	87,13	13,56	0,033	0,00	0,00	100,72
480	sp815	86,75	13,37	0,028	0,00	0,00	100,15
481	sp815	87,00	13,35	0,027	0,02	0,00	100,39
482	sp815	87,26	13,42	0,002	0,00	0,00	100,68
483	sp815	86,82	13,42	0,003	0,00	0,02	100,26
484	sp815	86,29	13,45	0,013	0,01	0,00	99,76
485	sp815	83,99	13,00	0,037	0,00	0,00	97,02
486	sp815	87,18	13,43	0,039	0,00	0,00	100,65
487	sp815	87,42	13,39	0,027	0,00	0,01	100,85
488	sp815	86,72	13,47	0,018	0,00	0,01	100,22
490	sp815	86,82	13,46	0,053	0,00	0,00	100,34
491	sp815	86,91	13,30	0,021	0,00	0,00	100,23
492	sp815	86,81	13,40	0,032	0,00	0,00	100,24
493	sp815	87,03	13,33	0,020	0,00	0,00	100,38
495	sp815	87,20	13,37	0,059	0,00	0,00	100,63
496	sp815	87,16	13,33	0,045	0,00	0,00	100,53
497	sp815	86,93	13,36	0,001	0,00	0,00	100,29
498	sp815	86,04	13,24	0,030	0,00	0,00	99,31
499	sp815	87,06	13,19	0,033	0,00	0,00	100,28
500	sp815	86,62	13,30	0,006	0,02	0,01	99,95

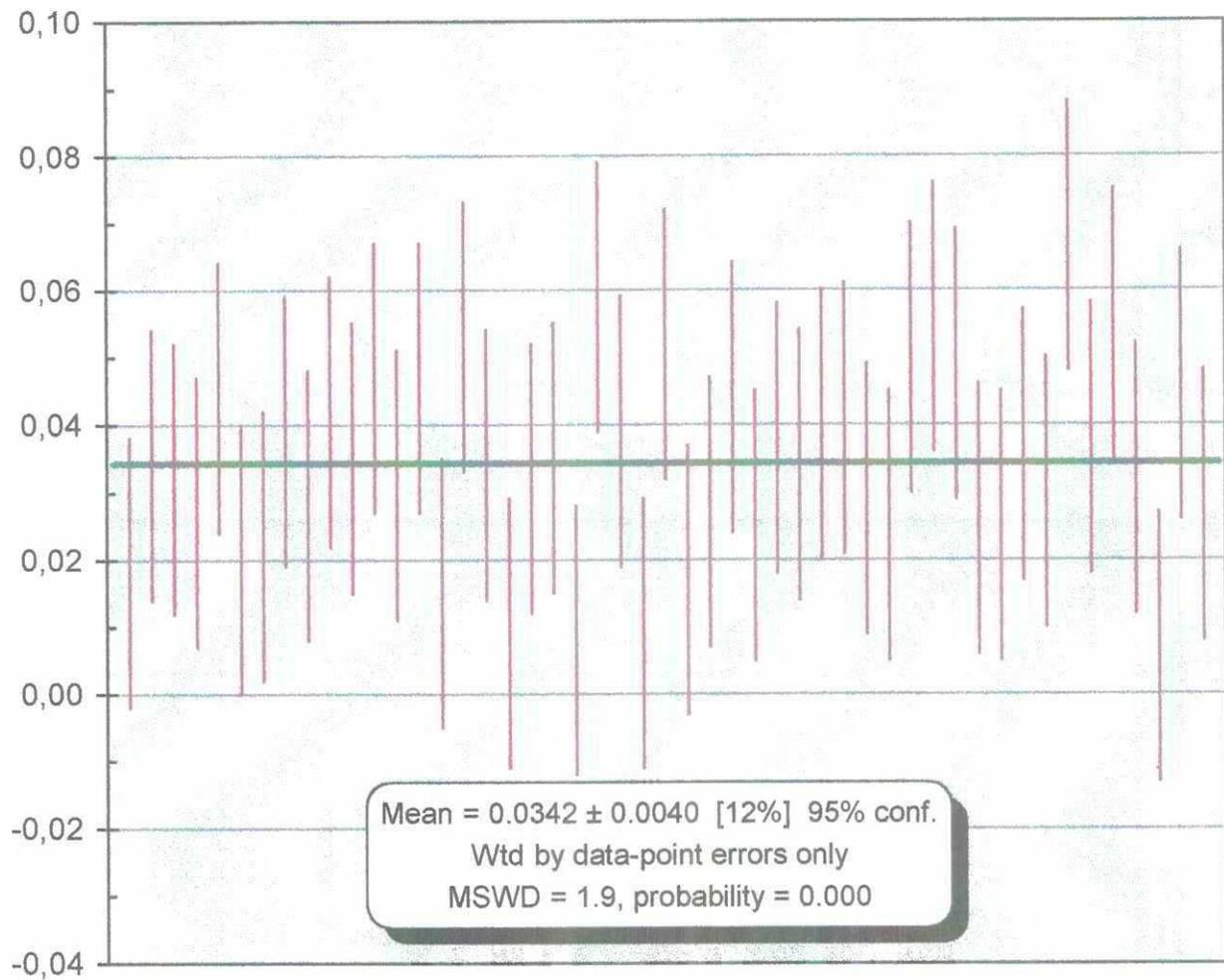


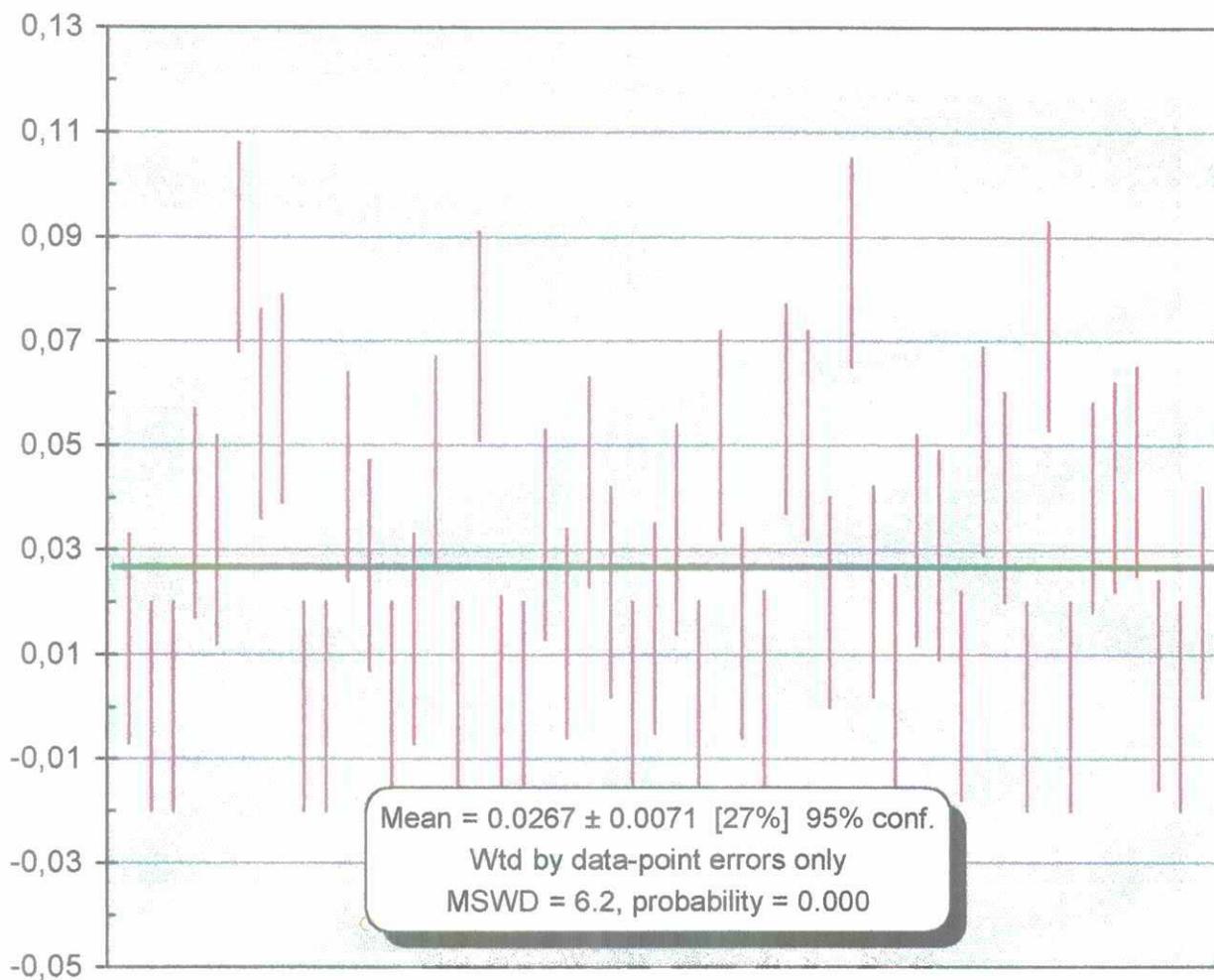


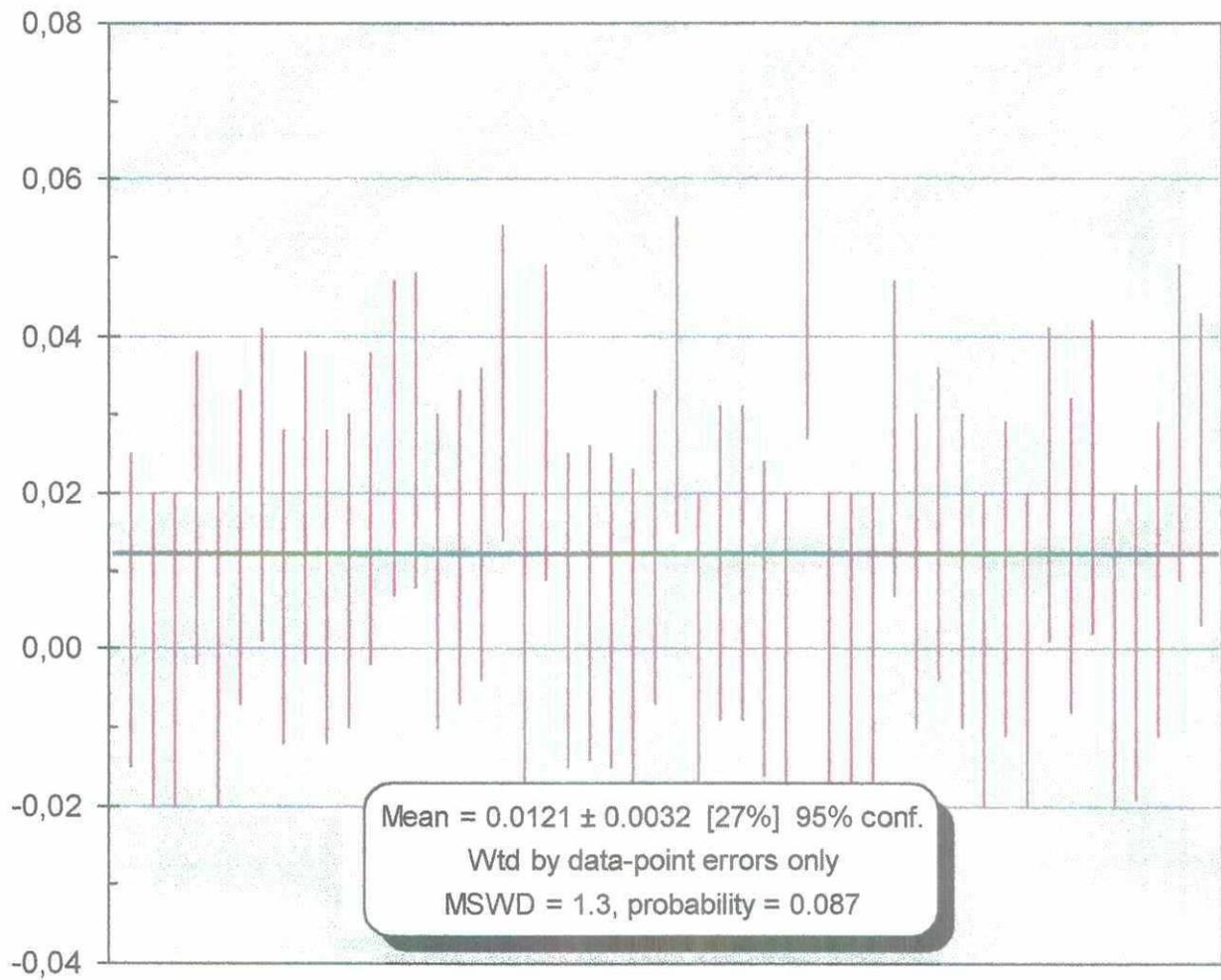


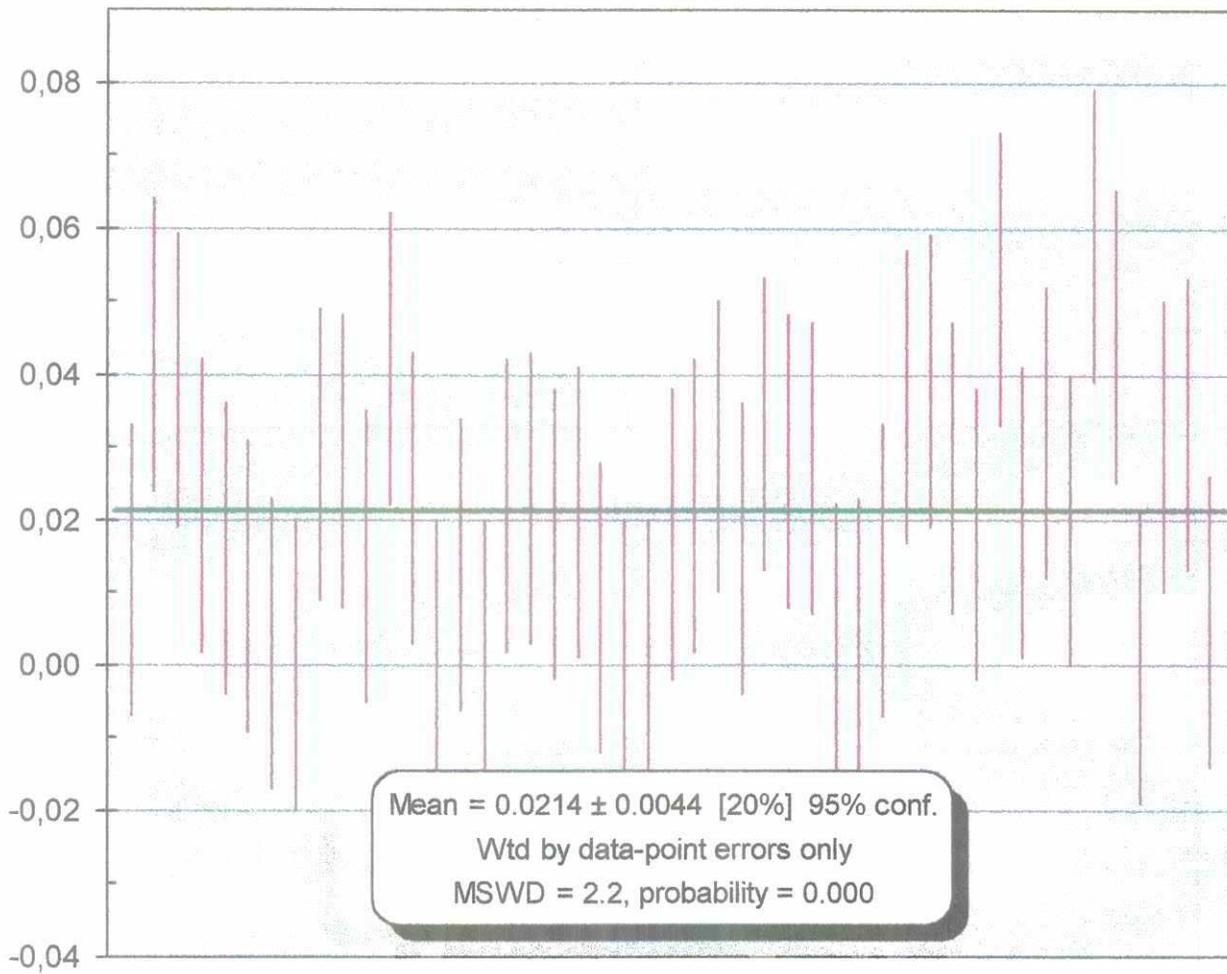


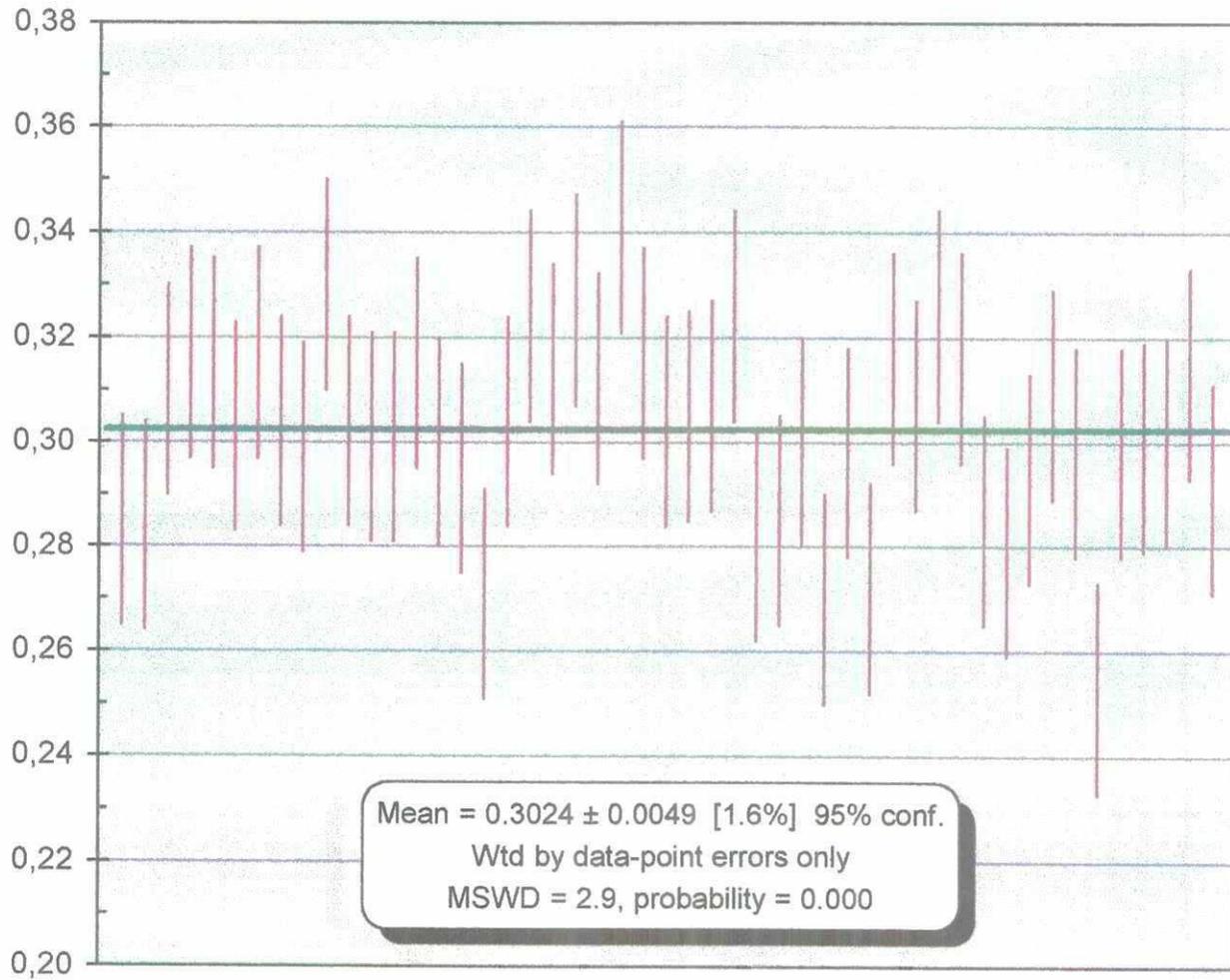












**BRGM**  
**SERVICE RESSOURCES MINÉRALES**  
**Unité Métallogénie et Synthèses**

BP 6009 – 45060 Orléans cedex 2 – France – Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34