

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ  
GEOTECHNISCHE SERIE

herausgegeben von der  
**Schweizerischen Geotechnischen Kommission**  
(Organ der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

MATERIAUX POUR LA GEOLOGIE DE LA SUISSE  
SERIE GEOTECHNIQUE

publiés par la  
**Commission Géotechnique Suisse**  
(Organe de l'Académie Suisse des Sciences Naturelles)

Lieferung 81

---

# **Les fahlbandes et les veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtmagne (Zone pennique, Valais)**

**G. Della Valle**

---

Jahr 1992

In Kommission bei Kümmerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

Les falibandes et les veines polymétalliques  
du Val d'Aar et du Val de Joux  
(Zone pennine, Valais)

G. Della Valle

Thèse de doctorat  
présentée à la Faculté des Sciences de  
l'Université de Lausanne  
par Guy Della Valle, Lausanne 1988

Satz und Druck: Spefa Druck AG, Zürich

ISBN 3-907997 14 X

# PREFACE DE LA COMMISSION GEOTECHNIQUE SUISSE

Une des tâches de la Commission Géotechnique Suisse est de collecter, évaluer et publier des données concernant les matières premières minérales de la Suisse. D'une part une série des cartes à l'échelles 1:200'000 est en travail, dont la feuille «Ticino - Uri» a déjà été publiée. D'autre part, des recherches scientifiques, donnant de nouvelles informations sur les matières primaires, apparaissent sous forme de publications dans la série «Matériaux pour la Géologie de la Suisse, série géotechnique». La thèse de doctorat de monsieur G. Della Valle, réalisée dans le cadre du «projet Uromine» du fond national Suisse, apporte des données très informatives sur différents gisements du Valais.

L'auteur décrit les fahlbandes et les veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourmagne. Le travail donne une vue d'ensemble sur les indices minéralisés et leurs contexte avec la géologie. A l'aide d'études métallographiques et géochimiques très étendues, il arrive à distinguer et caractériser différents types de minéralisations. Une hypothèse génétique est proposée. Elle se base sur l'application de nouveaux modèles des anomalies géochimiques dans les séries océaniques et sur des comparaisons avec la littérature internationale.

La Commission Géotechnique Suisse se réjouit donc d'intégrer cette publication dans sa série «Matériaux pour la géologie de la Suisse, série géotechnique» et remercie l'auteur pour sa contribution importante. Une part de cette étude a déjà été incorporée dans le rapport final du projet Uromine, publié dans la même série «Matériaux pour la géologie de la Suisse, série géotechnique» (Prospection minières en Valais - Le projet Uromine, numéro 72, 1987).

De même nous aimerions remercier la Fondation Dr. Joachim de Giacomi de l'Académie Suisse des sciences naturelles ainsi que la Société Vaudoise des sciences naturelles de leur aide financière sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu être imprimé. Le fond du texte et des figures est laissé à la seule responsabilité de l'auteur.

Le Président  
de la Commission  
Géotechnique Suisse

Zürich, septembre 1991

C. Schindler

# TABLE DES MATIERES

<b>PREFACE DE LA COMMISSION GEOTECHNIQUE SUISSE</b>	<b>III</b>		<b>5 GEOCHIMIE DES ROCHES</b>	16
			5.1 Données analytiques	16
			5.2 Interprétation de l'hérédité anté-métamorphique des roches	16
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>IV</b>		5.3 Interprétation de l'origine géotectonique des roches	17
<b>LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX</b>	<b>V</b>		5.4 Discussion	19
Figures	V			
Tableaux	V			
<b>LISTE DES PLANCHES ET DES ANNEXES</b>	<b>VI</b>		<b>6 Géochimie des fahlbandes</b>	20
Planches	VI		6.1 Introduction	20
Annexes	VI		6.2 Données statistiques	20
			6.3 Comparaison des fahlbandes et des roches encaissantes	23
<b>RESUME</b>	<b>VII</b>		6.4 Eléments traces dans la pyrite et la pyrrhotine	23
			6.5 Interprétation des données analytiques	24
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>VIII</b>		6.6 Discussion	26
<b>SUMMARY</b>	<b>IX</b>		<b>7 HYPOTHESES GENETIQUES</b>	28
			7.1 Introduction	28
<b>AVANT PROPOS</b>	<b>X</b>		7.2 Les fahlbandes	28
Remerciements	X		7.3 Les veines polymétalliques	31
But de l'étude	X		7.4 Relations génétiques entre veines polymétalliques et fahlbandes.	31
			7.5 Les dépôts cuprifères de la nappe du Tsaté	33
<b>1 Cadre géologique</b>	<b>1</b>			
1.1 Introduction	1		<b>8 CONCLUSIONS</b>	34
1.2 Nappe de Siviez-Mischabel	2			
1.3 Nappe du Tsaté	4		<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	35
1.4 Evénements magmatico-métamorphiques	4			
1.5 Types de minéralisations	4		<b>PLANCHES</b>	38
<b>2 Les fahlbandes</b>	<b>6</b>		<b>ANNEXES</b>	52
2.1 Définition	6			
2.2 Distribution	6			
2.3 Structure	6			
2.4 Métallographie	8			
2.5 Les niveaux pyriteux cuprifères de la nappe du Tsaté	9			
<b>3 Les veines polymétalliques</b>	<b>10</b>			
3.1 Caractères généraux	10			
3.2 Minéralogie	10			
3.3 Position lithostratigraphique et contrôles structuraux	11			
3.4 Données analytiques	12			
<b>4 Relations structurales entre veines polymétalliques et fahlbandes</b>	<b>13</b>			
4.1 Introduction	13			
4.2 Exemples	13			
4.3 Discussion	14			

# LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

## Figures

Fig. 1: Carte structurale des nappes penniques occidentales	1
Fig. 2: Coupe géologique de la région du Val d'Anniviers	2
Fig. 3: Lithostratigraphie du socle anté-triasique de la nappe de Siviez-Mischabel (flanc normal) entre Val d'Anniviers et Val de Tourtemagne	3
Fig. 4: Coupe de la zone de fahlbandes du Meidbach et du Blüemattbach, socle pré-westphalien	7
Fig. 5: Coupe de la zone de fahlbandes du Torrent des Moulins, socle pré-westphalien	7
Fig. 6: Coupe schématique de la zone minéralisée de Baïcolliou	11
Fig. 7: Croquis de la zone minéralisée de Kaltenberg	14
Fig. 8: Croquis de la zone minéralisée de Pipji	15
Fig. 9: Schéma structural de la zone de fahlbandes de Wängertälli	15
Fig. 10: Diagramme c-mg	16
Fig. 11: Diagramme Zr/TiO <sub>2</sub> -Nb/Y	17
Fig. 12: Diagramme Zr/Y-Zr	17
Fig. 13: Diagramme de distribution des terres rares dans divers types d'amphibolites (Siviez-Mischabel) et dans une prasinite (Tsaté). Normalisation MORBI	18
Fig. 14: Histogrammes de fréquences des teneurs en Cu et Ba dans certaines fahlbandes (Siviez-Mischabel) et en Zn dans les prasinites à pyrite (Tsaté)	21
Fig. 15: Dendrogrammes de corrélation des teneurs dans les fahlbandes (Siviez-Mischabel) et dans les prasinites à pyrite (Tsaté)	22
Fig. 16a: Diagramme de corrélation des teneurs en Co et Ni dans la pyrite d'échantillons de fahlbandes	23
Fig. 16b: Diagramme de corrélation des teneurs en Co et Ni dans la pyrite et dans la pyrrhotine d'échantillons de fahlbandes	23
Fig. 17: Diagramme Fe-Mn-(Ni+Co+Cu) · 10	25
Fig. 18: Diagramme de fractionnement du fer et du manganèse	26
Fig. 19: Diagramme Si-Mn-Fe	26
Fig. 20: Diagramme Cu-Pb-Zn	27
Fig. 21: Distribution schématique des dépôts métallifères dans la lithosphère océanique	29
Fig. 22: Schéma illustrant les quatre types de sédiments métallifères	30
Fig. 23: Schéma illustrant la formation de dépôts sulfurés de bassins fermés du type de la Mer Rouge	30
Fig. 24: Modèle schématique de dépôts hydrothermaux dans des zones d'accrétion	32

## Tableaux

Tableau 1: Liste des échantillons de roches d'origine ignée utilisés dans les diagrammes géochimiques	16
Tableau 2: Interprétation des rapports en Co/Ni dans la pyrite de divers types de fahlbandes	23

# LISTE DES PLANCHES ET DES ANNEXES

## Planches

Planche 1: Carte géologique et métallogénique du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne	39
Planche 2: Carte géologique de la région de la Pte. de Tsirouc, Val d'Anniviers	41
Planche 3: Carte géologique de la région de Kaltenberg, Val de Tourtemagne	42
Planche 4: Carte géologique de la région de Brändjispitz, Val de Tourtemagne	43
Planche 5: Description de lames minces de divers types de fahlbandes	44
Planche 6: Description de sections polies de divers types de fahlbandes	46
Planche 7: Description de sections polies de veines polymétalliques	48
Planche 8: Carte d'échantillonnage des roches analysées pour les éléments majeurs et les éléments traces	50
Planche 9: Cartes des teneurs relativement élevées dans les échantillons de fahlbandes (Siviez Mischabel) et de prasinites à pyrite (Tsaté)	51

## Annexes

Annexe 1: Paramètres de terrain et résultats d'analyses des échantillons de fahlbandes (Siviez Mischabel) et des prasinites à pyrite (Tsaté).	52
Annexe 2: Données géochimiques statistiques des fahlbandes, des roches non minéralisées (Siviez Mischabel) et des prasinites à pyrite (Tsaté).	61

Cette étude porte principalement sur les niveaux ou lentilles de sulfures disséminés (fahlbandes) et les veines polymétalliques de la nappe de Siviez-Mischabel, dans le secteur du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne, Valais central. A titre de comparaison, les niveaux pyriteux dans les prasinites de la nappe du Tsaté sont également décrits.

Les fahlbandes sont des roches métamorphiques variées chargées de sulfures disséminés. Les différents types étudiés comprennent en particulier les fahlbandes dans des micaschistes, des schistes graphiteux, des chloritoschistes et des amphibolites.

La paragenèse sulfurée est relativement simple et consiste en pyrrhotine et pyrite, avec accessoirement chalcopyrite, blende, galène, arsénopyrite et psilomélane.

Les veines polymétalliques, à gangue quartzo-carbonatée, se subdivisent en paragenèses à cuivre-bismuth, cuivre-plomb-zinc et nickel-cobalt, répartis dans trois districts relativement distincts.

Le problème de l'origine des divers types de minéralisation et spécialement des relations des fahlbandes avec les veines polymétalliques est abordé par leur étude métallographique, géochimique et structurale.

De manière générale, ces données suggèrent une origine distincte des dépôts métalliques des veines minéralisées et des fahlbandes. En effet, les veines polymétalliques, essentiellement contrôlées par des structures alpines, sont supposées être remobilisées à partir de dépôts préexistants anté-alpins d'origine hydrothermale. Les fahlbandes, par contre, présentent des textures et contrôles lithostratigraphiques en grand suggérant une origine anté-métamorphique, sans remobilisation à grande distance.

Les teneurs en éléments traces dans la pyrite de divers type de fahlbandes, en particulier le rapport Co/Ni, sont utilisées pour distinguer l'origine sédimentaire ou hydrothermale des fahlbandes. L'étude d'un nombre restreint d'échantillons indique une origine sédimentaire pour des fahlbandes des micaschistes et hydrothermale (exhalative) pour des fahlbandes des amphibolites et des schistes noirs.

L'hypothèse génétique que nous proposons pour les fahlbandes consiste à les assimiler à des sédiments métallifères en nous basant en particulier sur des comparaisons avec des données géochimiques publiées dans la littérature. Ces dépôts métallifères peuvent avoir des origines variées, de type sédimentaire hydrogénétiq ue ou hydrothermal exhalatif, à proximité de centres volcaniques.

Die untersuchten Fahlbänder und polymetallischen Adern gehören zum paläozoischen Basement der Siviez-Mischabel-Decke im Gebiet des Val d'Anniviers und des Turtmanntales, im Zentralwallis. Als Vergleich werden die Pyritlagen in den Prasiniten der Tsaté-Decke hier ebenfalls beschrieben.

Als Fahlbänder bezeichnet man ein metamorphes Gestein, das disseminierte Sulfide in Lagen oder Linsen parallel zur Hauptschieferung enthält. Die untersuchten Vererzungen sind an Hellglimmer-, Graphit-, Chloritschiefer und an Amphibolite gebunden.

Die Sulfidparagenesen bestehen hauptsächlich aus Pyrrhotin und Pyrit mit akzessorisch Chalkopyrit, Bleiglanz, Zinkblende, Arsenopyrit und Psilomelan.

Die polymetallischen Adern aus Gangquarz und -karbonat treten in den drei unterschiedlichen Paragenesen Kupfer-Wismut, Kupfer-Blei-Zink und Nickel-Kobalt auf. Die drei Paragenesen überlagern sich teilweise.

Die metallographischen, geochemischen und strukturellen Untersuchungen lassen einen unterschiedlichen Ursprung von Fahlbändern und polymetallischen Adern vermuten. Letztere sind stark durch die alpinen Strukturen kontrolliert und sind vermutlich alpine Remobilisate voralpiner hydrothermalen Vererzungen. Die Fahlbänder dagegen zeigen eine lithostratigraphische Kontrolle, was auf einen prämetamorphen, sedimentären oder hydrothermalen Ursprung ohne markante alpine Remobilisation hinweist.

Spurenelement-Analysen in den Pyriten, speziell Kobalt/Nickel, wurden verwendet, um zwischen hydrothermale und rein sedimentärem Ursprung der Fahlbänder zu unterscheiden. Die Untersuchungen zeigen eine sedimentäre Entstehung für die Fahlbänder der Glimmerschiefer und eine hydrothermale für diejenigen Fahlbänder die an Amphibolite und Graphitschiefer gebunden sind.

Die hier vorgeschlagene genetische Interpretation der Fahlbänder beruht auf Vergleichen mit publizierter Literatur über geochemische Daten. Die Metallagerstätten können verschiedenen Ursprung haben, entweder sedimentär oder hydrothermal-exhalativ. Sie müssen jedoch in der Nähe von Zentren mit vulkanischer Aktivität entstanden sein.

The fahlbands and polymetallic veins studied belong to the Paleozoic basement of the Siviez-Mischabel nappe, in the area of Val d'Anniviers and Turtmantal, central Wallis. Disseminated sulphide horizons in the Tsaté nappe are also compared with the fahlbands.

The fahlbands consist of a variety of metamorphic rocks containing disseminated sulfides in beds or lenses conformable with the main foliation. The sulfide paragenesis consists of pyrite and pyrrhotite with minor chalcopyrite, galena, sphalerite, arsenopyrite and psilomelane.

The polymetallic veins, with quartz-carbonate gangue, are distributed in three parageneses: copper-bismuth, copper-lead-zinc and nickel-cobalt, in partly superposed districts.

The mineralogical, geochemical and structural studies suggest a different origin of the veins and the fahlbands. The polymetallic veins were formed through a fluid phase, or recrystallized in the foliation of alpin age. The fahlbands are interpreted on the base of geochemical data as metalliferous sediments of varied origin. The cobalt and nickel traces in pyrite are used to distinguish between fahlbands of sedimentary or hydrothermal (exhalative) origin.

*(Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page)*

*(Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page)*



**Remerciements**

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer ma reconnaissance à M. le Professeur R. Woodtli, de l'Université de Lausanne, qui m'a donné la possibilité d'effectuer ce travail à la suite du projet Uromine et m'a prodigué conseils et encouragements.

Que soient remerciées ici les nombreuses personnes qui, à titre divers, m'ont apporté leur soutien ou leur collaboration, en particulier:

- MM. les Professeurs A. Steck, Directeur de l'Institut de Minéralogie\*, A. Escher, Institut de Géologie\*, H.R. Pfeifer, responsable du Centre d'Analyse Minérale\* et J. Bouladon, Ecole des Mines de Paris, pour leurs utiles critiques.
- M. J.C. Lavanchy, au Centre d'Analyse Minérale\*.
- Mes collègues de l'Université de Lausanne: A. Colombi, P. Caloz, J.M. Conne, P. Gex, R. Haarpaintner, P. Jeanbourquin, M. Sartori et Ph. Viredaz.
- Le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, pour son soutien financier (projet no 2.368-0.84).
- MM. F. Bianconi, F. Jaffé, J.-D. Rouiller et T. Mumenthalter, membres de la Commission Géotechnique Suisse, pour leurs remarques critiques mais constructives.
- M. M. Liniger, du secrétariat de cette commission, pour son soutien rédactionnel et ainsi que pour sa contribution au graphisme du manuscrit.

\* Université de Lausanne

**But de l'étude**

La présente étude fait suite au projet «UROMINE», du programme national no 7, au cours duquel toutes les données de terrain ont été récoltées.

Le projet UROMINE, fruit de la collaboration des Universités de Fribourg, Genève et Lausanne, sous la direction du Professeur R. Woodtli, s'est déroulé de 1979 à 1985 et avait pour but d'évaluer, par des méthodes de prospection de surface, les ressources minières dans une partie du Valais, (WOODTLI et al., 1987). Le territoire étudié englobait la rive sud du Rhône entre le Saastal et le Val Ferret, les massifs du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges, ainsi que le Lötschental.

Ce travail de thèse de doctorat présenté à l'Université de Lausanne est basé sur l'exploitation des données géochimiques du projet UROMINE, complétées par des études pétrographiques et minéralogiques, appliquées à l'interprétation métallogéniques des fahlbandes et des veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne (DELLA VALLE, 1988). Les données sur les fahlbandes devaient permettre d'évaluer leur importance en tant que source possible des anomalies géochimiques alluvionnaires préalablement détectées et préciser leurs relations avec les veines minéralisées.

Les niveaux pyriteux des prasinites de la nappe du Tsaté ont également été inclus dans cette étude régionale. Leurs caractères de terrain, proches de ceux des fahlbandes, permet une étude comparative qui présente un intérêt pour l'interprétation génétique des différents types de minéralisations.

La possibilité de relier les divers types de minéralisations, caractérisées par leur association pétrogénétique, à un épisode magmatique, volcanique ou métamorphique, est considérée dans le but de proposer un modèle métallogénique.

## 1.1 Introduction

La région étudiée se situe en Valais central, au sud de Sierre. Elle englobe la plus grande partie du Val d'Anniviers, avec ses deux branches amonts, le Val de Moiry et le Val de Zinal, ainsi que le Val de Tourtemagne (fig. 1).

Les minéralisations rencontrées appartiennent au domaine des nappes penniques. Elles se distribuent dans la nappe de Siviez-Mischabel et dans la nappe du Tsaté (ophiolites et métasédiments océaniques).

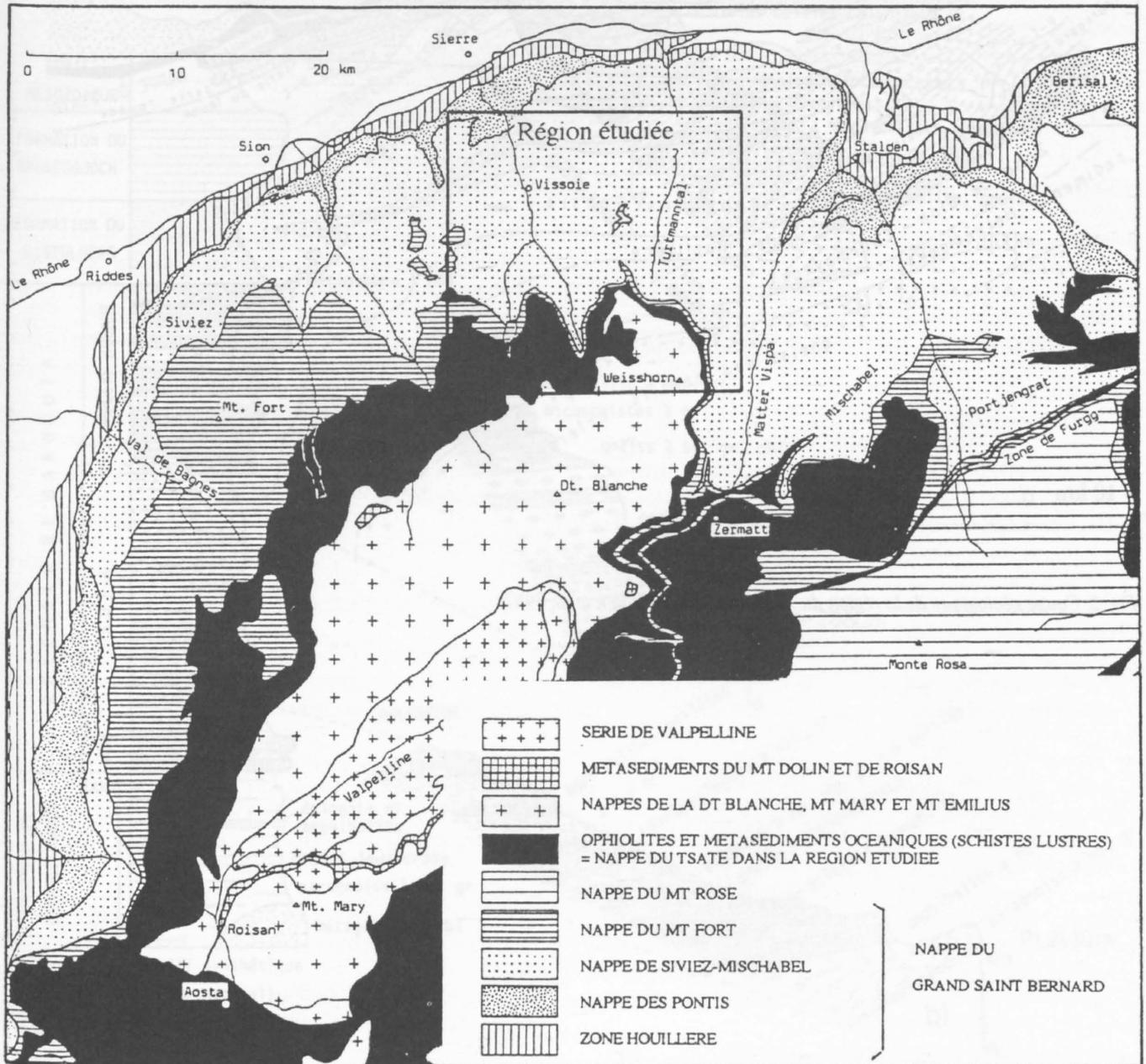


Fig. 1: Carte structurale des nappes penniques occidentales (ESCHER, 1988)

## 1.2 Nappe de Siviez-Mischabel

La nappe de Siviez-Mischabel, largement développée à l'est du Val d'Anniviers, fait partie de l'ensemble des nappes du Grand-St-Bernard (BEARTH, 1963; ESCHER, 1988). Cet ensemble comprend aussi la nappe du Mt-Fort (ancienne zone de Métailler), la nappe des Pontis et la Zone Houillère.

La nappe de Siviez-Mischabel forme un grand pli couché dont le flanc inverse affleure dans la zone de Niouc à Vissoie, dans le Val d'Anniviers (fig. 2).

Le coeur de la nappe de Siviez-Mischabel est formé de séries polymétamorphiques considérées comme pré-westphaliennes. Il est surmonté d'une série volcano-sédimentaire carbonifère et de quartzites permo-triasiques. Enfin l'unité du Barrhorn forme une couverture sédimentaire mésozoïque à tertiaire, sur la rive est du Val de Tourtemagne.

Le corps intrusif des gneiss de Randa est situé entre le socle et la couverture carbonifère. Au fond du Val de Tourtemagne, des intrusions de métagabbro forment des pointements d'extension limitée.

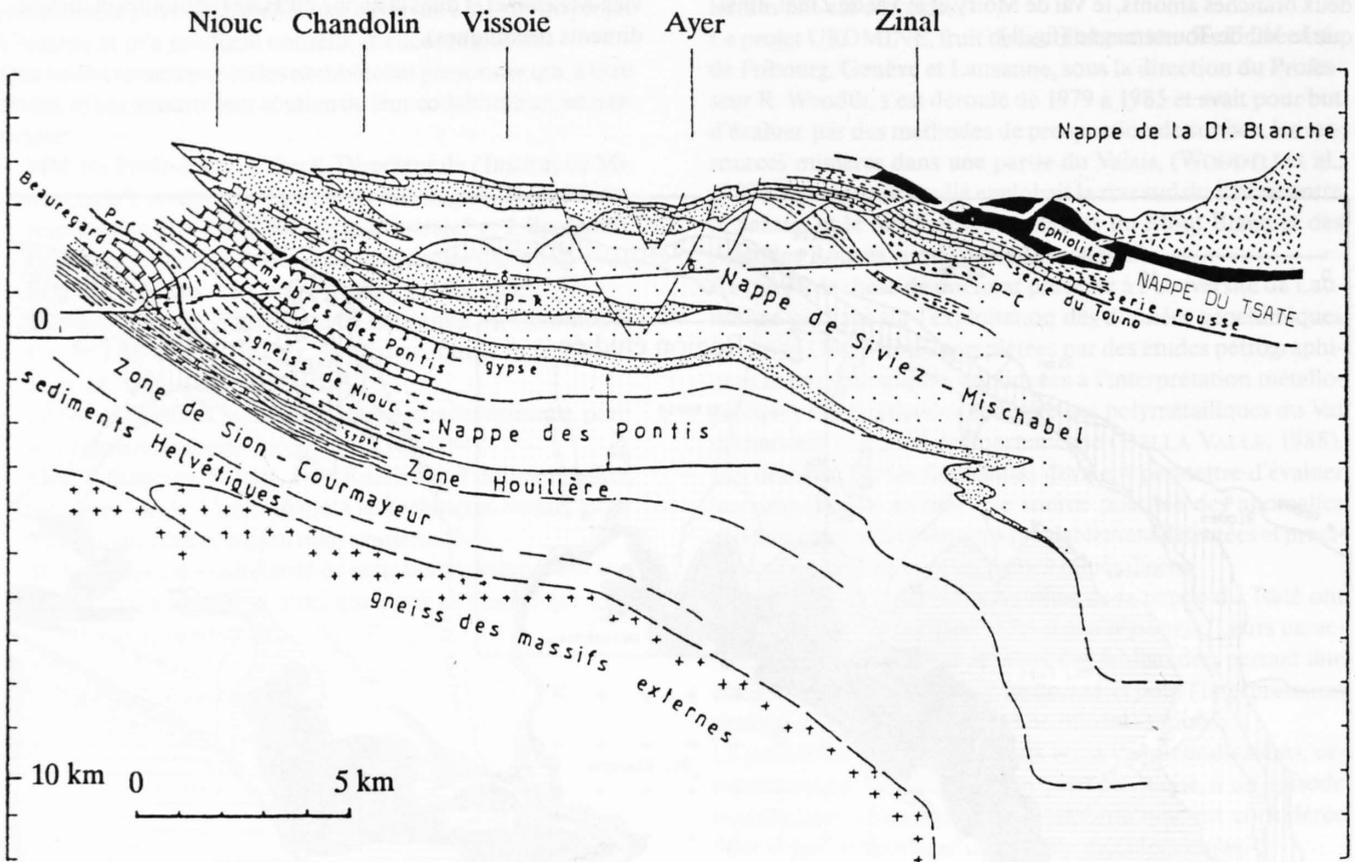
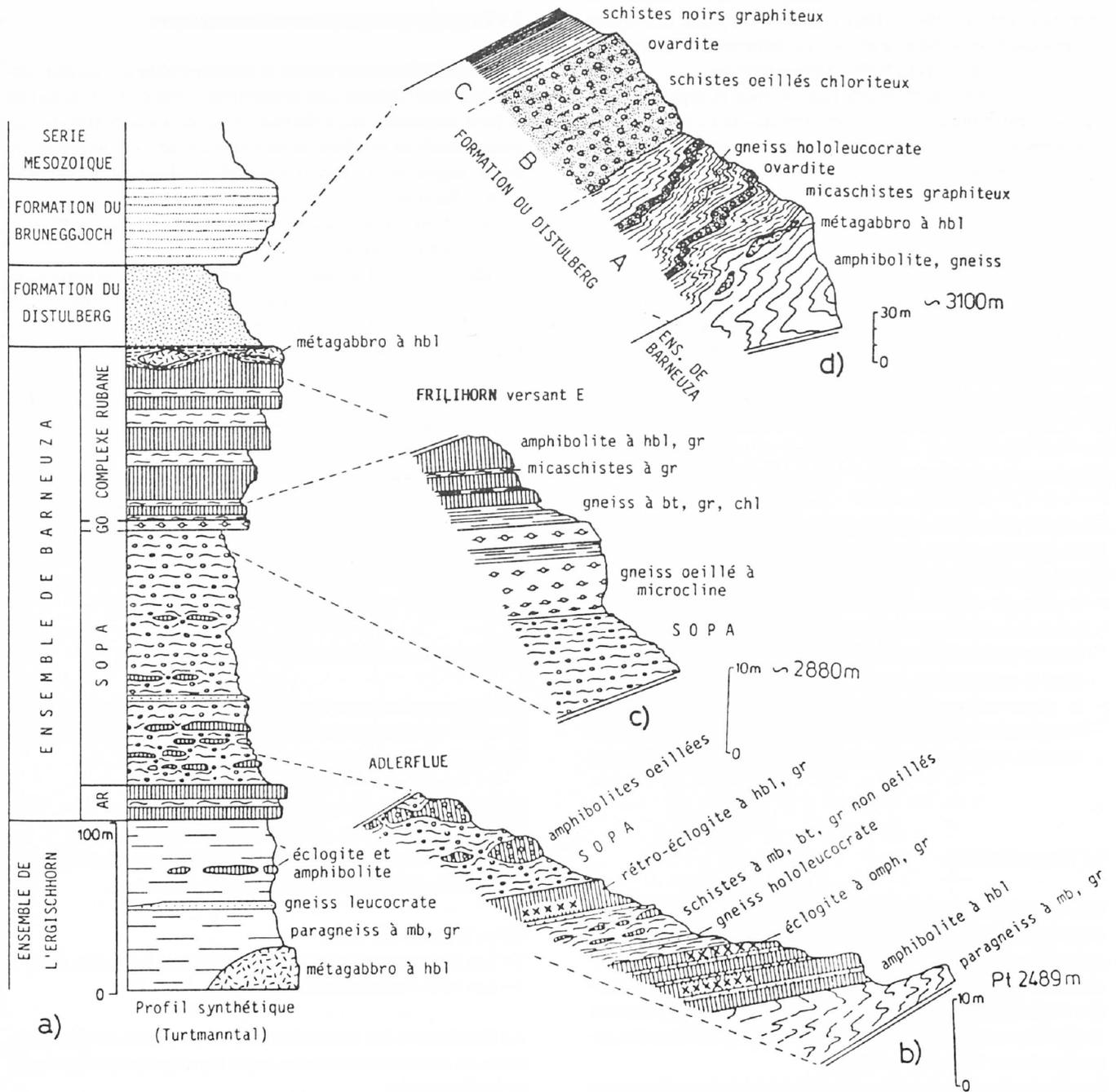


Fig. 2: Coupe géologique de la région du Val d'Anniviers (ESCHER et al, 1987)

Les roches métamorphiques du socle pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel, anciennement groupées sous le terme de schistes de Casanna, se subdivisent en un socle inférieur, l'ensemble de l'Ergischhorn (THELIN, 1982) et un socle supérieur, l'ensemble de Barneuza (fig. 3, SARTORI, 1990). Ces deux entités sont probablement en contact tectonique. L'ensemble de l'Ergischhorn couvre environ la moitié de la région étudiée (planche 1) et contient pratiquement toutes les fahlbandes. Cette partie du socle métamorphique de la nappe de Siviez-Mischabel est formée essentiellement de gneiss,

micaschistes et amphibolites pré-westphaliens (légende de la planche) avec accessoirement des aplites et des pegmatites. L'ensemble de Barneuza comprend de bas en haut des amphibolites rubanées, des schistes oeilés albitiques, des gneiss oeilés et enfin un complexe rubané formé essentiellement d'amphibolites rubanées et de chlorito-schistes (PILLOUD & SARTORI, 1981). Certaines amphibolites recèlent également des paragenèses éclogitiques (SARTORI & THELIN, 1987).



Des variations à l'échelle locale se remarquent dans la composition du socle de la nappe de Siviez-Mischabel. Ces différences qui portent essentiellement sur l'épaisseur des niveaux, ainsi que sur la répartition ou l'absence de certaines séquences peuvent être attribuées, en partie, à des complications structurales non encore entièrement élucidées.

Ainsi la série anté-triasique représentée dans le Val d'Anniviers apparaît tronquée sur le versant E du Val de Tourtemagne, où la couverture carbonifère fait défaut. Ce phénomène a été attribué à des paléofailles d'âge jurassique séparant des blocs basculés affectant la partie supérieure du socle anté-triasique et la couverture briançonnaise (SARTORI, 1987).

Dans la région étudiée de la nappe de Siviez-Mischabel, trois phases de déformation plicatives syn-schisteuses sont présentes (SARTORI, 1990). Ces déformations sont en relation avec le métamorphisme méso-alpin. Une dernière phase néo-alpine est marquée principalement par les déformations cassantes, connectées à la surrection des Alpes centrales.

La structure dominante dans le flanc normal et supérieur de la nappe correspond à une deuxième schistosité S2 avec une première linéation d'étirement SE à S, et localement une deuxième linéation d'étirement SW (STECK, 1984).

#### *Métamorphisme anté-alpin*

La nature polycyclique du socle de la nappe de Siviez-Mischabel a été définie sur la base des paragenèses métamorphiques relictuelles. Il s'agit des paragenèses éclogitiques et des paragenèses amphibolitiques attribuées à un métamorphisme éo-hercynien (SARTORI, 1990).

#### *Métamorphisme alpin*

Plusieurs phases de métamorphisme alpin affectant de manière différenciée la nappe du Tsaté et la nappe de Siviez-Mischabel ont été reconnues (FREY et al., 1974):

- la phase éo-alpine, de type de haute pression et basse température, résultant d'un épisode de subduction de la lithosphère, visible dans la nappe du Tsaté, n'est pas marquée dans le secteur de la nappe de Siviez-Mischabel considéré.
- la phase méso-alpine, correspondant au paroxysme de l'orogénèse alpine, est responsable des assemblages du faciès schistes verts et de la rétro-morphose de faciès préexistants.

### **1.3 Nappe du Tsaté**

La nappe du Tsaté, qui correspond à la partie supérieure de la zone du Combin, appartient à la zone des schistes lustrés et des ophiolites. Elle se compose principalement de méta-sédiments de type flysch incluant des lambeaux de croûte océanique et de sédiments associés (SARTORI, 1987; ZIMMERMANN, 1948). Elle est située au sud et la nappe de la Dent Blanche, auquel elle est liée structuralement.

Les minéralisations étudiées apparaissent dans des niveaux de prasinites, intercalés dans les calcschistes de la Série Grise (unité supérieure de la nappe du Tsaté) datée du Crétacé supérieure (MARTHALER, 1984). Dans la terminologie d'Escher

(1988, Fig. 1), la nappe du Tsaté, bien visible sur la plaque 1, représente dans la région étudiée l'ensemble des schistes lustrés et ophiolites.

#### *Structures*

Dans la région comprise entre le Val d'Hérens et le Val de Tourtemagne, les structures observées dans la nappe du Tsaté, de type polyphasé, sont de même nature que celles observées dans la nappe de Siviez-Mischabel. Elles diffèrent cependant de ces dernières par leur intensité et localement leur orientation résultant de phénomènes d'interférences (MARTHALER, 1984).

### **1.4 Événements magmatico-métamorphiques**

Les phénomènes structuraux et métamorphiques liés aux orogénèses anté-alpines sont relativement mal connus du fait de la forte empreinte des déformations et du métamorphisme alpins. L'étude de synthèse concernant les séries anté-triasiques de la nappe du Grand-St-Bernard de THELIN & AYRTON, (1983) fait ressortir des points de repères concernant les événements magmatico-métamorphiques qui ont pu influencer la métallogénie régionale.

Au Paléozoïque, des processus magmatiques ultrabasiques et calco-alcalins, à la limite du Cambro-Ordovicien (environ 500 Ma) s'inscrivent dans un contexte épirogénique calédonien, marqué par un thermo-métamorphisme dont le paroxysme est daté à 480 Ma (FRANK et al., 1976; HUNZIKER & ZINGG, 1980). Au Carbonifère inférieur, des intrusions de magma acide sont mises en relation avec des phénomènes éo-hercyniens, voire tardi-calédoniens.

Enfin, à une époque stéphanienne à éo-permienne, un magmatisme bimodal s'inscrit dans les phénomènes tardi-hercyniens précurseurs de l'ouverture de la Téthys, correspondant à la phase saalienne.

### **1.5 Types de minéralisations**

Cinq types principaux de minéralisation sont représentés sur le terrain étudié et se distribuent de manière différenciée dans les deux unités structurales considérées:

Dans la nappe de Siviez-Mischabel:

- 1- Les fahlbandes, ou niveaux de sulfures disséminés.
- 2- Les veines polymétalliques à Cu-Bi, Cu-Pb-Zn, Ni-Co.
- 3- Les minéralisations stratiformes de tungstène.

Dans la nappe du Tsaté:

- 4- Les niveaux pyriteux dans les prasinites à Cu (Zn, Au).
- 5- Les veines minéralisées en Cu.

La distribution des minéralisations sur le terrain montre l'existence de relations structurales entre les veines polymétalliques et les fahlbandes.

Les minéralisations de tungstène, qui se présentent sous forme de scheelite disséminée dans des amphibolites massives ou rubanées, ne semblent pas présenter de relation directe avec les

autres types de minéralisation et en particulier avec les fahlbandes (DELLA VALLE, 1988; WOODTLI et al., 1987). Ce sujet, qui n'est pas traité ici, reste intéressant dans l'optique d'une étude métallogénique régionale.

Les minéralisations pyriteuses de la nappe du Tsaté apparaissent sans liaison avec celles de la nappe de Siviez-Mischabel. Les deux types de minéralisation de la nappe du Tsaté, soit les niveaux pyriteux et les veines cuprifères sont spatialement liés et semblent cogénétiques.



Fig. 1. Localisation des zones minéralisées de la nappe du Tsaté.

La zone minéralisée de la nappe du Tsaté est caractérisée par la présence de minéralisations pyriteuses et cuprifères. Ces minéralisations sont spatialement liées et semblent cogénétiques. Elles sont localisées dans la partie orientale de la nappe, au sud-est de la ville de Tsaté. La zone minéralisée de la nappe de Siviez-Mischabel, en revanche, est caractérisée par la présence de minéralisations pyriteuses et cuprifères localisées dans la partie occidentale de la nappe, au nord-ouest de la ville de Siviez-Mischabel. Ces minéralisations sont spatialement séparées de celles de la nappe du Tsaté.

The mineralization of the Tsaté nappe is characterized by the presence of pyritic and cupriferous mineralizations. These mineralizations are spatially linked and appear to be cogenetic. They are located in the eastern part of the nappe, south-east of the town of Tsaté. The mineralization of the Siviez-Mischabel nappe, on the other hand, is characterized by the presence of pyritic and cupriferous mineralizations located in the western part of the nappe, north-west of the town of Siviez-Mischabel. These mineralizations are spatially separated from those of the Tsaté nappe.

### 2.1 Définition

Le terme de fahlbande utilisé dans la description des minéralisations du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne (FEHLMANN, 1919 et 1947; SCHMIDT, 1920) est un ancien vocable minier défini comme suit (VISSER, 1980): «Faible dissémination de sulfures contrôlée par certains plans ou niveaux dans la direction principale des schistes ou autres roches métamorphiques».

Apparu au 17<sup>e</sup> siècle en Scandinavie, où il était utilisé par les mineurs, son sens premier reste incertain mais semble correspondre à des niveaux de patine rouille. L'origine germanique de «band» signifierait: niveau caractéristique d'une roche métamorphique et «fahl»: de teinte rouille, délavé (GAMMON, 1966). Dans les districts de Kongsberg et de Modum, au sud de la Norvège, ces dépôts marqués par l'altération des sulfures en surface s'étendent sur plusieurs km avec des épaisseurs atteignant une centaine de mètres.

Des veines carbonatées du socle cristallin sont minéralisées dans les zones où elles croisent les fahlbandes. Ces veines ont été exploitées pour l'Ag, le Ni et le Co dans le district de Kongsberg et le Cu - Bi dans celui de Modum.

Le minerai exploité dans les gisements de type fahlbande ne correspond pas aux sulfures disséminés des fahlbandes elles-mêmes, mais à des veines minéralisées qui y sont localement associées.

On retrouve ces mêmes caractéristiques dans le Val d'Anniviers et le Val de Tourtemagne.

Bien que le terme de fahlbandes soit sorti de l'usage courant, nous l'avons conservé pour son intérêt historique, attaché à d'anciens districts miniers.

Les fahlbandes caractérisent donc des niveaux de sulfures disséminés dans des socles polycycliques, auxquels sont associés des minéralisations filoniennes polymétalliques.

### 2.2 Distribution

Les fahlbandes du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne forment des lentilles d'extension décamétrique, ou des niveaux plus ou moins continus à l'échelle kilométrique, avec des épaisseurs variant de l'ordre du mètre à la dizaine de mètres.

La nature lenticulaire des fahlbandes est vérifiée dans les zones de crêtes, où les conditions d'affleurement sont meilleures.

La distribution des fahlbandes et des veines minéralisées dans le Val d'Anniviers et le Val de Tourtemagne est représentée sur la carte géologique, planche 1.

Dans cette région, les principales zones d'affleurement des fahlbandes ont été cartographiées à l'échelle du 1 : 10 000 (cf planches 2, 3, 4).

Les fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel appartiennent essentiellement à la partie inférieure de son socle cristallin pré-westphalien - l'ensemble de l'Ergischhorn - dans lequel elles sont associées à plusieurs types de roches.

De manière générale, les fahlbandes sont de composition pétrographique semblable à celle des roches encaissantes non minéralisées, abstraction faite des minéraux métalliques. Ceci signifie donc que les phénomènes d'altération hydrothermale sont limités.

Quelques fahlbandes présentent pourtant des enrichissements en quartz ou carbonates sous forme de lentilles ou de nodules. Ce cas se rencontre en particulier dans les micaschistes à carbonates de la couverture carbonifère.

Cinq types principaux de fahlbandes ont été distingués d'après leur composition pétrographique:

- les fahlbandes des micaschistes
- les fahlbandes des schistes graphiteux
- les fahlbandes des schistes chloriteux
- les fahlbandes des amphibolites
- les fahlbandes des schistes carbonifères

Elles apparaissent principalement dans la grande masse des gneiss et micaschistes, dans les amphibolites qui y sont intercalées, et, en moindre proportion, dans des schistes chloriteux et des schistes noirs graphiteux.

Dans l'Ensemble de Barneuza, de rares affleurements de fahlbandes ont été notés à la base des schistes oeilés et dans les schistes chloriteux du complexe rubané.

Dans la couverture carbonifère, des niveaux de fahlbandes apparaissent dans des schistes à carbonates et dans des schistes albitiques.

L'altération de surface se marque par l'oxydation et le lessivage des sulfures produisant la patine brune caractéristique des fahlbandes. Localement, ces processus d'altération, accompagnés d'une forte schistosité interne aboutit à une roche quartz-micacée de patine brun-clair ou blanche.

### 2.3 Structure

Les fahlbandes se présentent en niveaux concordants à l'intérieur de la séquence lithostratigraphique, généralement parallèles à la foliation principale de la roche. Dans les zones déformées, elles sont donc impliquées dans les plis affectant l'ensemble d'une section.

Plusieurs zones d'affleurements favorables montrent que les fahlbandes suivent une schistosité primaire S1, qui ne se distingue de la schistosité principale S2 que dans les zones de charnières des plis P2.

De rares cas montrent localement de faibles discordances: il peut s'agir de zones de cisaillement ou d'imprégnations sulfurées sur le pourtour de lentilles d'amphibolite.

Les coupes relevées dans des zones minéralisées montrent que plusieurs types de fahlbandes sont généralement associés dans une section.

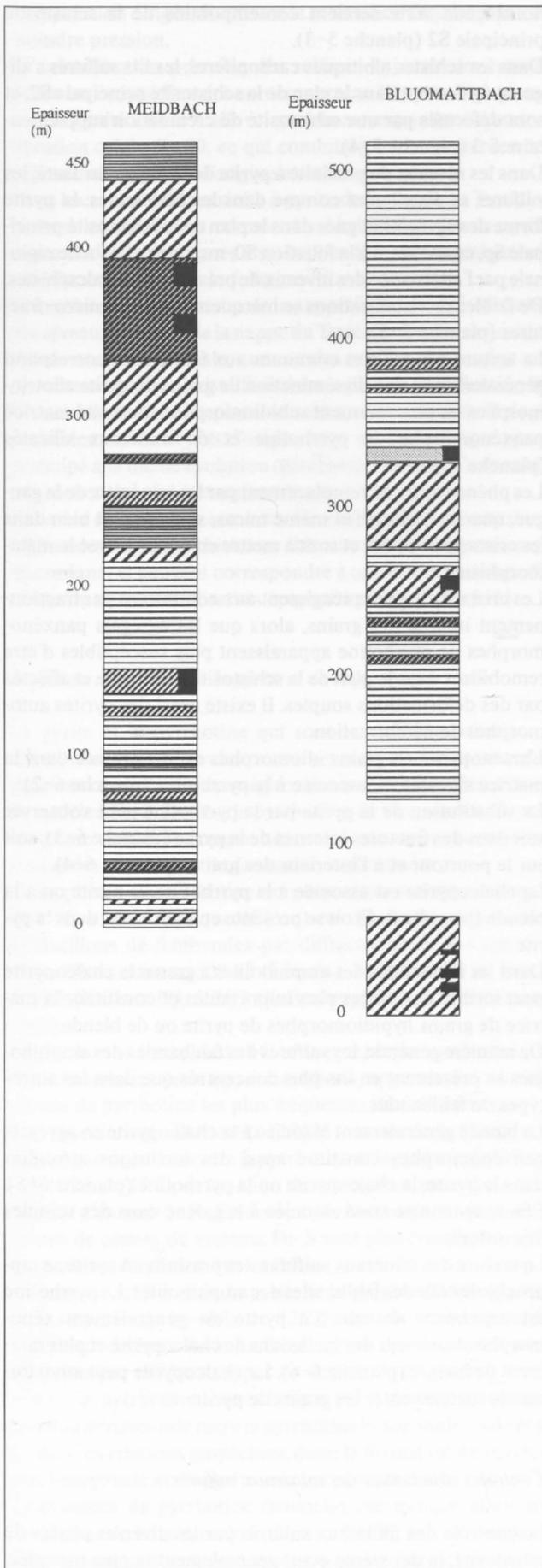


Fig.4: Coupe de la zone de fahlbandes du Meidbach et du Blüomattbach, socle pré-westphalien, (619.940/117.440 - 619.930/116.700). Légende, voire fig. 5

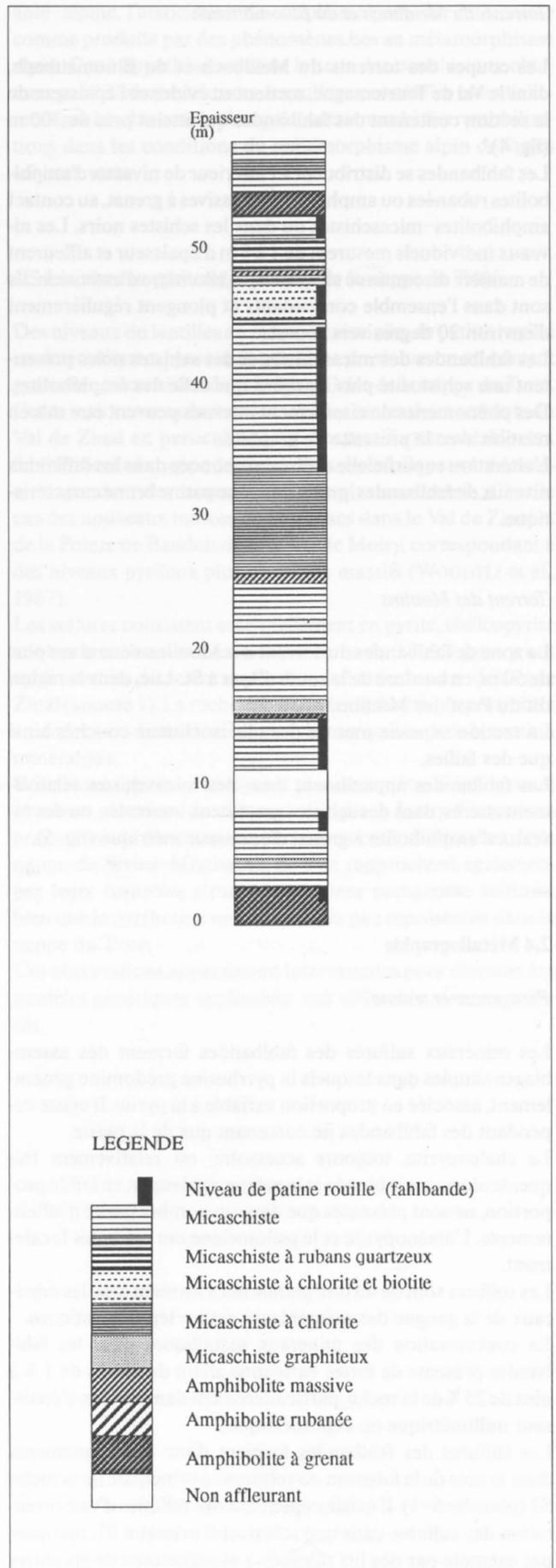


Fig. 5: Coupe de la zone de fahlbandes du Torrent des Moulins, socle pré-westphalien (612.570/118.120)

Les coupes des torrents du Meidbach et du Blüomattbach, dans le Val de Tourtemagne, mettent en évidence l'épaisseur de la section contenant des fahlbandes qui atteint près de 300 m (fig. 4).

Les fahlbandes se distribuent à l'intérieur de niveaux d'amphibolites rubanées ou amphibolites massives à grenat, au contact amphibolites-micaschistes ou dans les schistes noirs. Les niveaux individuels mesurent de 1 à 6 m d'épaisseur et affleurent de manière discontinue sur plus d'un kilomètre d'extension. Ils sont dans l'ensemble concordants et plongent régulièrement d'environ 20 degrés vers l'ouest.

Les fahlbandes des micaschistes et des schistes noirs présentent une schistosité plus marquée que celle des amphibolites. Des phénomènes de cisaillement internes peuvent être mis en relation avec la présence de graphite.

L'altération superficielle est très prononcée dans les différents niveaux de fahlbandes, produisant une patine brune caractéristique.

#### *Torrent des Moulins*

La zone de fahlbandes du Torrent des Moulins s'étend sur plus de 50 m, en bordure de la route d'Ayer à St.-Luc, dans la région dit du Pont des Moulins.

La section exposée montre des plis isoclinaux couchés ainsi que des failles.

Les fahlbandes apparaissent dans des micaschistes relativement altérés, dans des schistes graphiteux intercalés, ou des niveaux d'amphibolite à grenat d'épaisseur métrique (fig. 5).

## 2.4 Métallographie

### *Paragenèse et texture*

Les minéraux sulfurés des fahlbandes forment des assemblages simples dans lesquels la pyrrhotine prédomine généralement, associée en proportion variable à la pyrite. Il existe cependant des fahlbandes ne contenant que de la pyrite.

La chalcopyrite, toujours accessoire, est relativement fréquente alors que la blende et la galène, également en faible proportion, ne sont présentes que dans un nombre limité d'affleurements. L'arsénopyrite et le psilomélane ont été notés localement.

Les sulfures sont de texture grenue mais forment avec les minéraux de la gangue des assemblages grano-lépidoblastiques.

La concentration des minéraux métalliques dans les fahlbandes présente de fortes variations allant de moins de 1 % à plus de 25 % de la roche, particulièrement dans des lits d'épaisseur millimétrique ou centimétrique.

Les sulfures des fahlbandes forment donc des alignements dans le sens de la foliation ou schistosité principale de la roche S2 (planche 5-1). Il existe cependant des reliques d'une orientation des sulfures dans une schistosité primaire S1, marquée par exemple par des lits micacés à mouchetures de graphites (planche 5-2). Cette première schistosité pourrait correspondre à la foliation primaire S0.

Dans un échantillon d'amphibolite à grenat, les sulfures développés dans les ombres de pression d'un porphyroblaste de

hornblende verte seraient contemporains de la schistosité principale S2 (planche 5-3).

Dans les schistes albitiques carbonifères, les lits sulfurés s'alignent également dans le plan de la schistosité principale S2, et sont déformés par une schistosité de crénulation supplémentaire S3 (planche 5-4).

Dans les niveaux de prasinite à pyrite de la nappe du Tsaté, les sulfures se distribuent comme dans les fahlbandes: la pyrite forme des agrégats alignés dans le plan de la schistosité principale Sp, concordant à la foliation S0, marquée à l'échelle régionale par l'alternance des niveaux de prasinite et de calcschistes. De faibles recrystallisations se marquent dans des micro-fractures (planche 5-5).

La texture des sulfures communs aux fahlbandes correspond généralement à une dissémination de grains de pyrite allotriomorphes ou plus rarement subidiomorphes, dans une matrice panxénomorphe de pyrrhotine et de minéraux silicatés (planche 6-1).

Les phénomènes de remplacement par les minéraux de la gangue, quartz, feldspath et même micas, se marquent bien dans les cristaux de pyrite et sont à mettre en relation avec le métamorphisme.

Les cristaux de pyrite réagissent aux contraintes par fractionnement interne des grains, alors que les agrégats panxénomorphes de pyrrhotine apparaissent plus susceptibles d'être remobilisés dans le plan de la schistosité principale et affectés par des déformations souples. Il existe aussi des pyrites automorphes de néoformation.

L'arsénopyrite en grains idiomorphes est disséminée dans la matrice silicatée ou associée à la pyrrhotine (planche 6-2).

La substitution de la pyrite par la pyrrhotine peut s'observer soit dans des fractures internes de la pyrite (planche 6-3), soit sur le pourtour et à l'intérieur des grains (planche 6-4).

La chalcopyrite est associée à la pyrrhotine, la pyrite ou à la blende (planche 6-5) ou se présente en inclusions dans la pyrite.

Dans les fahlbandes des amphibolites à grenat la chalcopyrite peut former des plages plus importantes et constituer la matrice de grains hypidiomorphes de pyrite ou de blende.

De manière générale, les sulfures des fahlbandes des amphibolites se présentent en lits plus concentrés que dans les autres types de fahlbandes.

La blende généralement associée à la chalcopyrite en agrégats panxénomorphes constitue aussi des inclusions arrondies dans la pyrite, la chalcopyrite ou la pyrrhotine (planche 6-5). Elle se rencontre aussi associée à la galène dans des veinules discordantes.

La texture des minéraux sulfurés des prasinites à pyrite se rapproche de celle des fahlbandes des amphibolites. La pyrrhotine est cependant absente. La pyrite est généralement xénomorphe et contient des inclusions de chalcopyrite et plus rarement de blende (planche 6-6). La chalcopyrite peut aussi former la matrice entre les grains de pyrite.

### *Contrôles structuraux des minéraux sulfurés*

Le contrôle des minéraux sulfurés par les diverses phases de schistosité, la deuxième étant généralement la plus marquée, implique une remobilisation de ces minéraux dans les conditions du métamorphisme alpin de faciès schistes verts.

Les remobilisations des sulfures dues au métamorphisme pourraient donc correspondre à des recrystallisations in situ

sous pression dirigée, favorisant la croissance dans les plans de moindre pression.

La cristallisation primaire des sulfures apparaît donc antérieure ou éventuellement contemporaine à la première phase de schistosité visible. Celle-ci semble correspondre à une stratification originelle S0, ce qui conduirait à interpréter les dépôts sulfurés comme d'origine stratiforme.

Dans les niveaux de prasinite à pyrite de la nappe du Tsaté, les sulfures se distribuent comme dans les fahlbandes: la pyrite forme des agrégats alignés dans le plan de la schistosité principale Sp, concordant à la foliation S0.

Les sulfures des fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel et des niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté peuvent être considérés, de manière générale, comme des minéraux d'origine anté-métamorphique, cristallisés dans le plan de stratification S0 et remobilisés dans les plans de schistosité successifs. Il s'agit probablement de dépôts d'origine syn- ou diagénétique ayant participé à la même évolution métamorphique que l'ensemble des roches des séries encaissantes.

Seuls les sulfures liés aux veinules carbonatées de certaines fahlbandes des micaschistes ou chlorito-schistes apparaissent discordants et peuvent correspondre à une phase de minéralisation ou de recristallisation épigénétique (planche 5-6).

#### *Relations d'équilibre de la pyrite et de la pyrrhotine*

La pyrite et la pyrrhotine qui sont les sulfures principaux constituant les fahlbandes, montrent des relations texturales suggérant des interactions réglées par les équilibres des phases du système Fe-S. De plus la pyrrhotine, de formule  $Fe_{1-x}S$ , présente une variété de compositions et de structures correspondant à des conditions de formation déterminées.

Deux phases de pyrrhotine en proportion variable (hexagonale 1C et monoclinique 4C) ont été déterminées dans cinq échantillons de fahlbandes par diffractométrie. Il s'agit des échantillons suivants: 25.7.J (Litoula), 28.8.O (Pont de Bois), A.25.8 (Karlustafil), A.26.3 (Kaltenberg) et A.11.6 (Blüomattbach).

La pyrrhotine hexagonale 1C et la pyrrhotine monoclinique 4C, déterminées dans nos échantillons, apparaissent être les phases de pyrrhotine les plus fréquentes dans la nature.

Les expériences d'ARNOLD (1962) ont montré l'existence d'une ligne de solvus entre la pyrrhotine et la pyrite en équilibre entre 325 et 743°C, en fonction de la température et de la proportion d'atomes de Fe. En dessous de ces températures, les relations de phases du système Fe-S sont plus complexes, avec l'apparition de phases métastables.

La ligne de solvus entre la pyrite et la pyrrhotine hexagonale (1C) se prolonge au-delà de 325° jusqu'à la température de 308°C, en-dessous de laquelle plusieurs discontinuités sont produites par différents types de structures de pyrrhotine. A 254°C, la pyrrhotine monoclinique (4C) devient stable par réaction péritectoïde entre la pyrrhotine hexagonale (NA) et la pyrite. Ces relations empêchent donc la formation de pyrrhotine hexagonale et de pyrite comme produit final.

La présence de pyrrhotine monoclinique indique alors des conditions de formation inférieures à 254°C, soit par rééquilibrage à température décroissante, soit par formation directe dans son champ de stabilité. L'assemblage de pyrite, pyrrhotine hexagonale et pyrrhotine monoclinique, rencontré dans nos échantillons, indiquerait donc des températures de rééquilibrage entre 80 et 250°C. Bien que n'excluant pas une origine

anté-alpine, l'association de ces phases peut être interprétée comme produite par des phénomènes liés au métamorphisme alpin. Cette hypothèse va dans le sens des conclusions obtenues par l'étude des textures; les sulfures, contrôlés essentiellement par la schistosité principale, auraient subi des remobilisations dans les conditions du métamorphisme alpin de faciès schistes verts.

#### **2.5 Les niveaux pyriteux cuprifères de la nappe du Tsaté**

Des niveaux ou lentilles de pyrite disséminée, de patine rouille caractéristique, apparaissent dans les prasinites ou au contact prasinite-calcschistes dans la Série Grise de la nappe du Tsaté. Ces niveaux concordants, bien visibles sur les deux versants du Val de Zinal en particulier, sont d'aspect fort semblable aux fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel. Ils peuvent contenir cependant des zones de sulfures plus concentrés. C'est le cas des nouveaux indices de Laulosses dans le Val de Zinal et de la Pointe de Bandon dans le Val de Moiry, correspondant à des niveaux pyriteux plus ou moins massifs (WOODTLI et al., 1987).

Les sulfures consistent essentiellement en pyrite, chalcopyrite et blende accessoire. Des teneurs en or de 0.7 et 1 ppm y ont également été détectées sur l'indice de Laulosses, au-dessus de Zinal (annexe 1). La roche encaissante est formée de prasinite à épidoite et est distinctement enrichie en quartz dans la section minéralisée.

Ces niveaux pyriteux atteignent plus d'un mètre d'épaisseur et plusieurs centaines de mètres de longueur. Leurs dimensions permettent de les comparer aux niveaux de fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel. Ils s'en rapprochent également par leurs contrôles structuraux et leur paragenèse sulfurée, bien que la pyrrhotine ne soit que très peu représentée dans la nappe du Tsaté.

Ces observations apparaissent intéressantes pour discuter des modèles génétiques applicables aux différents niveaux sulfurés.

#### 3.1 Caractères généraux

Les veines minéralisées du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne sont situées principalement dans le socle pré-westphalien et la couverture carbonifère de la nappe de Siviez-Mischabel. Leur distribution apparaît spatialement liée à la présence de fahlbandes. Des veines minéralisées apparaissent également dans la nappe du Tsaté (planche 1). Ces veines ont donné lieu à de petites exploitations minières, développées épisodiquement, surtout au cours du siècle passé et durant les périodes de crise jusqu'en 1945. Vingt-huit occurrences de minéralisations, anciennement exploitées, ont été répertoriées sur le terrain étudié (FEHLMANN, 1919 et 1947; GILLIERON, 1946; HALM, 1945; SCHMIDT, 1920; SIGG, 1944; WOODTLI et al., 1987).

Les veines de la nappe de Siviez-Mischabel sont de caractère polymétallique avec de nombreux métaux représentés (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Fe, As, Sb, Bi, Ag, Au). Ceux-ci apparaissent sélectivement dans trois paragenèses principales qui se distribuent dans des districts partiellement recouvrants.

- Paragenèse à Cu-Bi, type Baicolliou.
- Paragenèse à Pb-Zn-Cu, type les Moulins de St.-Luc.
- Paragenèse à Ni-Co, type Kaltenberg.

Une quatrième paragenèse à Fe-Cu-Au n'est représentée qu'en une seule localité, à Brändjispitz.

Bien que réparties en trois paragenèses minérales relativement distinctes, ces occurrences présentent de nombreux caractères communs qui sont la nature de la gangue, les contrôles structuraux et les relations avec les fahlbandes.

Les veines de la nappe du Tsaté contiennent du cuivre et du fer, avec zinc et or accessoires.

Les veines minéralisées sont de dimensions variables: l'épaisseur moyenne, d'une dizaine de centimètres, peut atteindre exceptionnellement 1 m et la longueur fluctue entre moins d'un mètre à plus de 300 m.

Les tonnages exploités étaient de l'ordre de quelques centaines voire quelques milliers de tonnes de minerai, représentant de petits gisements de teneurs variant entre 2 et 15 % de Cu, Pb, Zn, Ni, Co et avec des teneurs plus faibles en Bi et Ag.

#### 3.2 Minéralogie

##### *Paragenèses*

- La paragenèse à cuivre et bismuth est formée principalement de chalcopryrite, cuivre gris (ou fahlerz), bornite, covelline, digénite, pyrite, emplectite, vittichénite, cuprobismuthite, cobaltine, alloclasite, arsénopyrite et cassitérite (planches 7-1 et 7-2). Elle se rencontre essentiellement dans la région de la pointe de Tsirouc, entre le Val de Moiry et le Val de Zinal et sur le versant E du Val de Zinal, mais aussi dans le Val de Tourtemagne, au Wangertälli et Hungerlittälli avec de petites veines non exploitées.

- La paragenèse à plomb, zinc et cuivre est formée principalement de galène, blende, cuivre gris, chalcopryrite, bornite, covelline, digénite, cuprite et pyrite (planche 7-3). Elle apparaît dans la région de St.-Luc à Chandolin dans le Val d'Anniviers, mais semble appartenir à une aire d'extension bien plus importante, s'étendant vers l'ouest dans la nappe de Siviez-Mischabel avec de nombreux indices de Pb-Zn ou Pb-Zn-Cu tels que les anciennes mines de Praz-Jean dans le Val d'Hérens et de Siviez dans le Val de Nendaz.

- La paragenèse à nickel et cobalt est formée principalement de skuttérodite, rammelsbergite, pararammelsbergite, nickéline, violarite, mauchérite, gersdorffite, cobaltine, safflorite, löllingite, arsénopyrite, hématite, magnétite, pyrite, cuivre gris, chalcopryrite, bornite, cubanite et bismuth natif (planches 7-4 et 7-5). Elle s'étend de la moitié S du Val de Tourtemagne à l'extrémité N du Val de Zinal, en englobant des minéralisations dispersées dans la partie N du Val d'Anniviers.

Une veine isolée contenant hématite, magnétite, pyrite et goethite, dans la région de Brändjispitz sur le versant E du Val de Tourtemagne, constitue une paragenèse distincte (planche 7-6). De l'or détecté par analyse (4 g/t Au) n'a pas été observé sous le microscope. On note également la présence d'érythrine. Dans la nappe du Tsaté, les veines quartzo-carbonatées à pyrite et chalcopryrite sont présentes dans les zones contenant les niveaux pyriteux des prasinites, en particulier dans le Val de Moiry, sous la Pte. de Bandon et dans le Val de Zinal à la mine de la Lé.

##### *Nature de la gangue*

Les minéraux de la gangue sont formés essentiellement de carbonates (calcite, dolomite, ankérite), avec accessoirement barytine, quartz et autres minéraux silicatés des roches encaissantes (surtout mica et chlorite).

Ces minéraux de gangue, relativement uniformes dans les différentes paragenèses sont en proportion variable selon les indices et présentent localement des phénomènes de zonalité. La gangue contient aussi fréquemment des éléments anguleux de roches encaissantes, suggérant une bréchification.

##### *Etude du cuivre gris*

Le nom de cuivre gris a été employé dans ce travail pour décrire tous les minéraux du groupe de la tétraédrite (sans ou avec argent) avec des teneurs variables en arsenic et en antimoine, et occasionnellement, des fortes teneurs en bismuth. En général, le cuivre gris (ou fahlerz) du Val d'Anniviers est une variété à bismuth, aussi dénommée annivite, associée à d'autres miné-

raux bismuthifères. Le cuivre gris, qui est un des minéraux principaux de la paragenèse à cuivre et bismuth, est également représenté dans la paragenèse à plomb, zinc et cuivre et accessoirement dans celle à nickel et cobalt.

Cinq échantillons de cuivre gris provenant de veines minéralisées réparties dans le Val d'Anniviers et le Val de Tourtemagne ont été analysés par microsonde électronique SEMQ-ARL de l'Université de Lausanne pour les éléments suivants : Cu, Fe, Co, Ni, Ag, As, Sb, Bi, S.

Ces données obtenues par une analyse ponctuelle sur chacun des échantillons ne permettent pas d'évaluer les variations de composition à l'intérieur d'un gîte minéralisé, mais semblent cependant dessiner des tendances régionales. Ainsi, les plus fortes teneurs en bismuth dans le cuivre gris correspondant à l'annivite (cf. échantillons Baïcolliou, Lapine Rousse, Bourimont), se rencontrent dans le district contenant la paragenèse à cuivre-bismuth. Les autres localités ne contiennent que de très faibles teneurs en bismuth.

Aux Moulins de St-Luc et à Wängertälli, le cuivre gris, relativement enrichi en antimoine et en argent, correspond à la freiberгите alors qu'à Hungerlitälli, il s'agit de tennantite, contenant une plus forte proportion d'arsenic.

#### Remarque

La présence de minéraux communs aux différentes paragenèses tels que le cuivre gris dans les paragenèses à Cu-Bi, Pb-Zn-Cu et Ni-Co ou la cobaltine dans les paragenèses à Cu-Bi et Ni-Co, suggère une certaine parenté des diverses paragenèses. Ces relations, ainsi que la superposition partielle des districts minéralisés, peuvent indiquer des remobilisations dues au métamorphisme alpin à partir de sources distinctes ou des phénomènes de zonation et télescopage dans un système hydrothermal à grande échelle, définissant une province minéralisée.

### 3.3 Position lithostratigraphique et contrôles structuraux

#### a) Nappe de Siviez-Mischabel

Les roches encaissantes de la plupart des veines des paragenèses à cuivre-bismuth, plomb-zinc-cuivre ou nickel-cobalt sont des micaschistes et des gneiss du socle pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel. Des minéralisations de nickel et cobalt se rencontrent également dans les schistes carbonatés de la couverture carbonifère. On trouve localement des séries de roches encaissantes plus différenciées comprenant des intercalations de schistes chloriteux, de schistes graphiteux ou d'amphibolites dans les micaschistes.

Des niveaux de fahlbandes sont présents de manière systématique à proximité des veines minéralisées.

Les relations des diverses paragenèses des veines avec les différents types pétrographiques de fahlbandes, bien que n'étant pas déterminées systématiquement, montrent certaines affinités:

- les veines de la paragenèse à cuivre-bismuth avec les fahlbandes des micaschistes (type Baïcolliou).
- les veines de la paragenèse à plomb-zinc-cuivre avec les fahlbandes des micaschistes et des schistes noirs (type Moulins de St-Luc).

- les veines de la paragenèse à nickel et cobalt avec les fahlbandes des amphibolites et des chloritoschistes (type Kaltenberg).

Les contrôles structuraux des veines minéralisées correspondent généralement à un réseau de plans parallèles. Il s'agit de structures alpines tels que plans de schistosité axiale (clivage de crénulation) ou de cisaillement, dans des zones tectonisées. Cependant les relations structurales ne permettent pas toujours de déterminer la chronologie de la mise en place, par exemple dans les zones non plissées, où les veines sont concordantes avec la seule schistosité visible. Ce cas se rencontre à Baïcolliou ou à Grand-Praz, où une veine de dimension importante est limitée à un plan sensiblement concordant à la série encaissante, d'où la dénomination de filon-couche (SIGG, 1944).

Dans le cas de Baïcolliou cependant, un examen détaillé a permis de constater que le plan de la veine minéralisée correspond dans une de ses extrémités à un plan de schistosité axiale de phase trois (fig. 6). Il s'agirait donc bien d'une mise en place contrôlée par une structure alpine (BRUNNER & LAVANCHY, 1981).

Les veines minéralisées en Ni-Co de Plantorin semblent représenter un cas particulier puisqu'elles apparaissent concordantes à la série carbonifère et replissées par les structures alpines.

#### b) Nappe du Tsaté

Les veines cuprifères de la nappe du Tsaté, de dimension centimétrique à décimétrique, sont généralement discordantes sur la stratification, mais peuvent aussi être parallèles à celle-ci. Leur paragenèse sulfurée, semblable à celle des niveaux pyriteux, suggère une origine commune: il peut s'agir soit de filons nourriciers pour les niveaux stratiformes, soit de remobilisations liées au métamorphisme alpin.

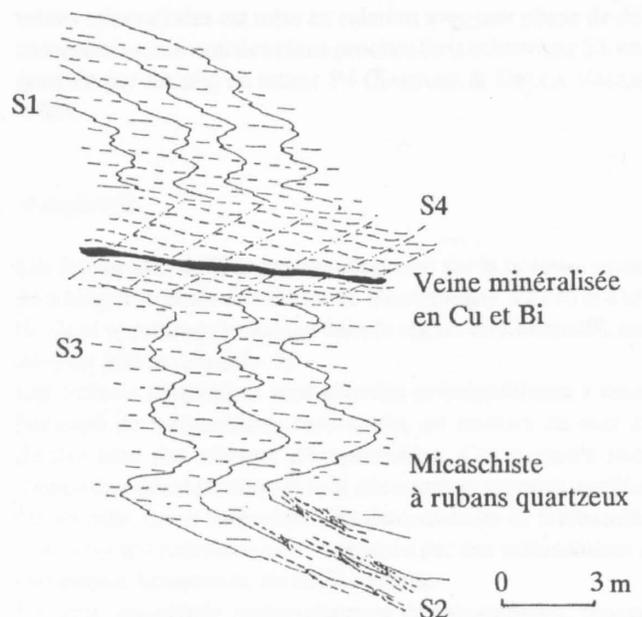


Fig. 6: Coupe schématique de la zone minéralisée de Baïcolliou, d'après ESCHER (non publié), (610.500/112.570)

### 3.4 Données analytiques

Les échantillons de veines minéralisées de différentes paragenèses ont été prélevés systématiquement par saignées sur l'épaisseur totale des veines. Ils proviennent des sites des anciennes mines ou de localités nouvelles.

#### *Minéralisation de Baïcolliou* (Paragenèse à Cu-Bi)

Les teneurs moyennes obtenues sur la base de onze échantillons prélevés à l'intérieur des galeries de la mine de Baïcolliou sont de : 5.3% Cu, 0.7% Bi, 37 ppm Ag, sur une épaisseur moyenne de 8 cm.

Le Pb, Zn, Ni et Co ne forment que de faibles enrichissements par rapport aux roches encaissantes.

#### *Minéralisation de Pipjitälli* (Paragenèse à Co-Ni)

Les teneurs moyennes pondérées de onze échantillons prélevés dans les veines de Pipji, sont de: 7.7% Ni, 3.9% Co, 0.3% Bi, 151 ppm Ag, 637 ppm Sb, sur une épaisseur moyenne de 21 cm. On peut noter les faibles teneurs en U (< 6 ppm) bien que cet élément soit parfois associé à la paragenèse à Ni, Co, Ag et Bi. Le Pb et le Zn ne sont que faiblement enrichis par rapport aux roches encaissantes.

Le S est en faible concentration dans la minéralisation de Ni et Co et augmente aux extrémités de la veine principale avec la présence de pyrite.

### *Comparaison entre veines polymétalliques et fahlbandes*

Les différences minéralogiques entre les minéraux sulfurés des veines et des fahlbandes s'expriment par l'absence de pyrrotine dans les veines minéralisées et par l'apparition de paragenèses spécifiques des veines, avec des minéraux de nickel et cobalt, bismuth et cuivre, qui ne se retrouvent pas dans les fahlbandes. Par contre, la pyrite, la chalcopirite, la blende et l'arsénopyrite, de caractère ubiquiste, ne sont pas caractéristiques. La comparaison des teneurs moyennes des métaux dans les veines minéralisées et les fahlbandes peut également nous renseigner sur des relations géochimiques possibles.

Les éléments principaux de chaque paragenèse de veines minéralisées sont naturellement de teneurs significativement plus élevées dans les veines que dans les fahlbandes. D'autres éléments métalliques accessoires dans les veines sont par contre de teneurs voisines à celles obtenues dans les fahlbandes. Il s'agit en particulier du Mo, Ni, U des minéralisations de Cu et Bi de Baïcolliou, et du Pb, Zn, U, Sn, Mo des minéralisations de Ni et Co de Pipji.

## 4.1 Introduction

De manière générale, les relations des veines avec les fahlbandes s'expriment par leur association spatiale, dans un secteur de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Leurs relations structurales ont pu être étudiées sur plusieurs indices présentant des conditions d'affleurement favorables: Baïcolliou, Pipji, Kaltenberg, Wängertälli.

Deux cas se présentent:

- Les veines résultant clairement du remplissage de fissures d'âge alpin, sont localement séquentes sur les niveaux de fahlbandes, ces derniers étant concordants à la foliation ou schistosité primaire S1. Exemples: Pipji, Wängertälli.
- Les veines situées dans le plan de la schistosité principale, dénommées filon-couches, apparaissent ainsi parallèles aux niveaux de fahlbandes. Exemple: Baïcolliou.

Or l'étude détaillée de ces indices a montré qu'il n'existe qu'un seul groupe de veines -ou filons- d'âge alpin, qui ne se différencient que par les conditions d'affleurement.

## 4.2 Exemples

### Baïcolliou

Dans le cas de Baïcolliou, la veine minéralisée en Cu et Bi apparaît sur le même horizon et en prolongement du niveau de fahlbande qui affleure sur environ 1 km en direction sud, jusque vers le lit de la Gougra (planche 2).

Le niveau de fahlbande n'affleure de manière continue que jusqu'au couloir limitant au sud la veine de Baïcolliou. Au nord du couloir, il n'existe plus que des lentilles de pyrite disséminée dans les micaschistes, de part et d'autre de la veine minéralisée. Celle-ci est incluse dans une section de schistes séricitiques fortement laminés dans le plan de la schistosité S3 et affectés par une schistosité de crénulation supplémentaire S4.

Dans cette zone, des déformations polyphasées sont visibles: une cascade de plis, affectant la schistosité primaire S1, montre que la veine minéralisée est contrôlée en fait par la schistosité axiale S3, (BRUNNER & LAVANCHY, 1981; ESCHER, fig. 6).

Dans les zones non plissées, pouvant correspondre aussi aux flancs de grands plis isoclinaux, les fahlbandes ainsi que les veines minéralisées apparaissent concordantes et parallèles à la schistosité principale S1 confondue avec S3.

### Kaltenberg

Les veines minéralisées de Kaltenberg affleurent dans une section fortement tectonisée, comprenant des micaschistes et un niveau de fahlbande contenu dans des amphibolites (fig. 7). Les fahlbandes apparaissent concordantes à une schistosité

primaire S1, marquée par des rubans quartzeux à l'intérieur des micaschistes. L'ensemble est replissé à l'échelle décamétrique selon une phase de déformation P2.

Les veines minéralisées sont situées dans des plans parallèles à la schistosité principale S3, de type de crénulation, à faible pendage vers le sud-est. Localement, une phase supplémentaire de déformation correspondant à une schistosité de crénulation S4, à plus fort pendage vers le sud-est, est visible dans des couloirs de déformation. Elle affecte également les veines minéralisées qui sont alors microplissées. A l'intérieur des galeries, des veines minéralisées sont aussi contrôlées par un plan de faille subvertical, d'orientation nord-sud.

### Pipji

Une zone de fahlbande est développée dans des chloritoschistes inclus dans une série fortement tectonisée de micaschistes à grenat contenant des niveaux lenticulaires d'amphibolites. Les fahlbandes apparaissent dans le plan de foliation correspondant à la schistosité principale S1. Cette schistosité est déformée par des plis P2 d'axe nord-sud, auxquels se trouve associée une schistosité S2. Celle-ci n'est distincte de S1 que dans les charnières P2. Une phase supplémentaire de plis et microplis de crénulation P4, d'axe nord-est / sud-ouest, de vergence sud-est, représente des plis dits en retour.

Des veines carbonatées minéralisées en nickel et cobalt occupent des plans de fractures discordantes sur la schistosité principale, mais très voisins de la schistosité de crénulation S3 des plis P3, ainsi que des flancs cisailés de ces plis (fig. 8).

Sur la base de ces observations structurales, la formation des veines minéralisées est mise en relation avec une phase de décompression, suivant des plans proches de la schistosité S3, engendrée par les plis en retour P4 (SARTORI & DELLA VALLE, 1986).

### Wängertälli

Les fahlbandes de Wängertälli affleurent sur la bordure ouest de la langue frontale du Glacier de Tourtemagne, à 2290 m d'altitude et se prolongent jusque dans la région de Karlustafil, sur environ 500 m (planche 3).

Les sulfures disséminés sont associés principalement à deux horizons de micaschistes carbonatés, en contact de part et d'autre avec des niveaux d'amphibolites. Ces derniers sont d'épaisseur décamétrique et sont découpés en grandes lentilles ou boudins. Entre les lentilles, les deux niveaux de fahlbandes sont toujours individualisés et séparés par des micaschistes à carbonates limonitisés, de patine rouille.

La série, constituée essentiellement de micaschistes, plonge faiblement vers sud-ouest et est concordante à la schistosité principale S1. Celle-ci est affectée de microplis d'axe sud-ouest / nord-est et de vergence sud, attribués à la phase 3.

Le schéma structural met en évidence une accentuation des plis de phase 3, en direction nord, dans les affleurements de roches moutonnées (fig. 9). Des veines carbonatées, à ankérite et pyrite, y sont clairement liées à la schistosité axiale S3. Dans la zone recoupant les fahlbandes, ces veines contiennent en outre de la chalcopryrite.

### 4.3 Discussion

Ces observations suggèrent que les contrôles structuraux des veines des paragenèses à Cu-Bi et à Ni-Co sont de même type. Les solutions minéralisées auraient cristallisé en relation avec une phase de schistosité de crénelation S3. Cette phase de déformation, d'âge présumé Oligocène supérieur, est associée à un métamorphisme méso-alpin lié au paroxysme de l'orogénèse alpine (SARTORI & DELLA VALLE, 1986).

Dans les zones plissées, ces veines minéralisées apparaissent séquentes sur le plan des fahlbandes. Ces dernières s'alignent dans le plan de la schistosité primaire S1, pouvant correspondre à un plan de stratification.

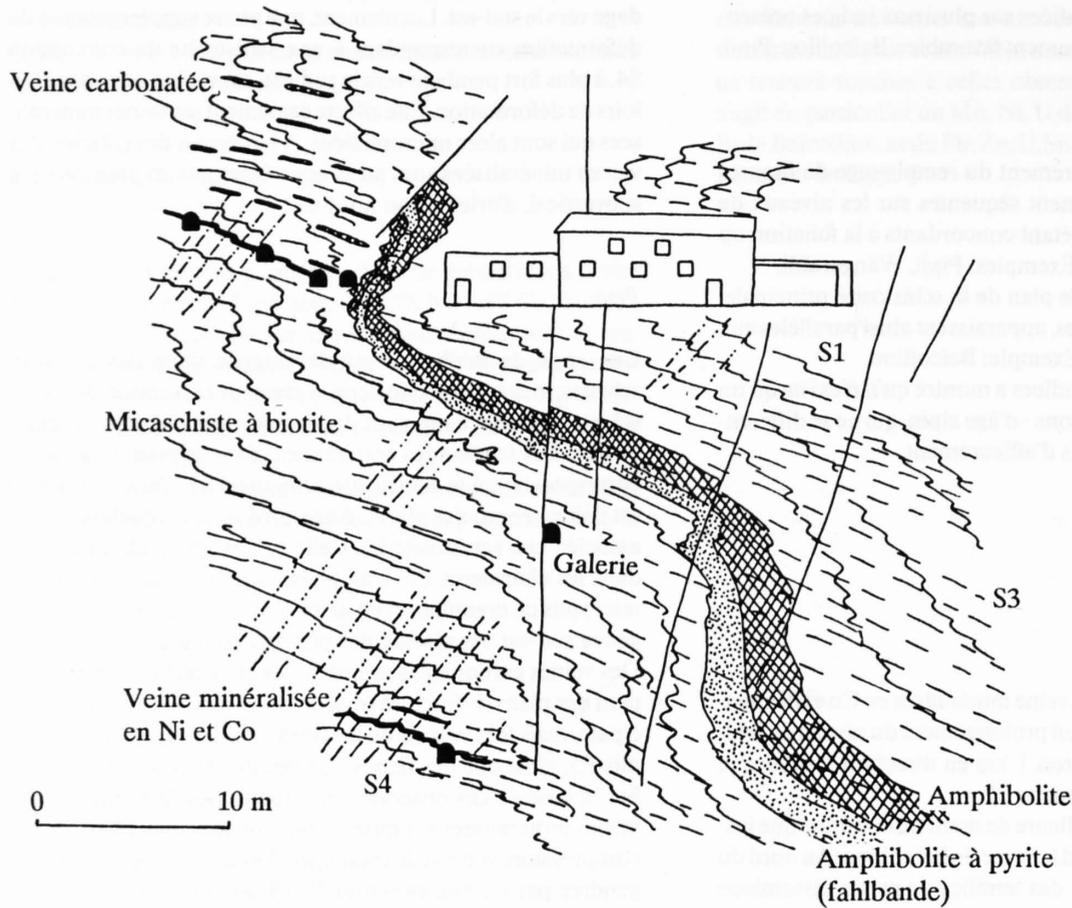


Fig. 7: Croquis de la zone minéralisée de Kaltenberg (618.860/114.650)

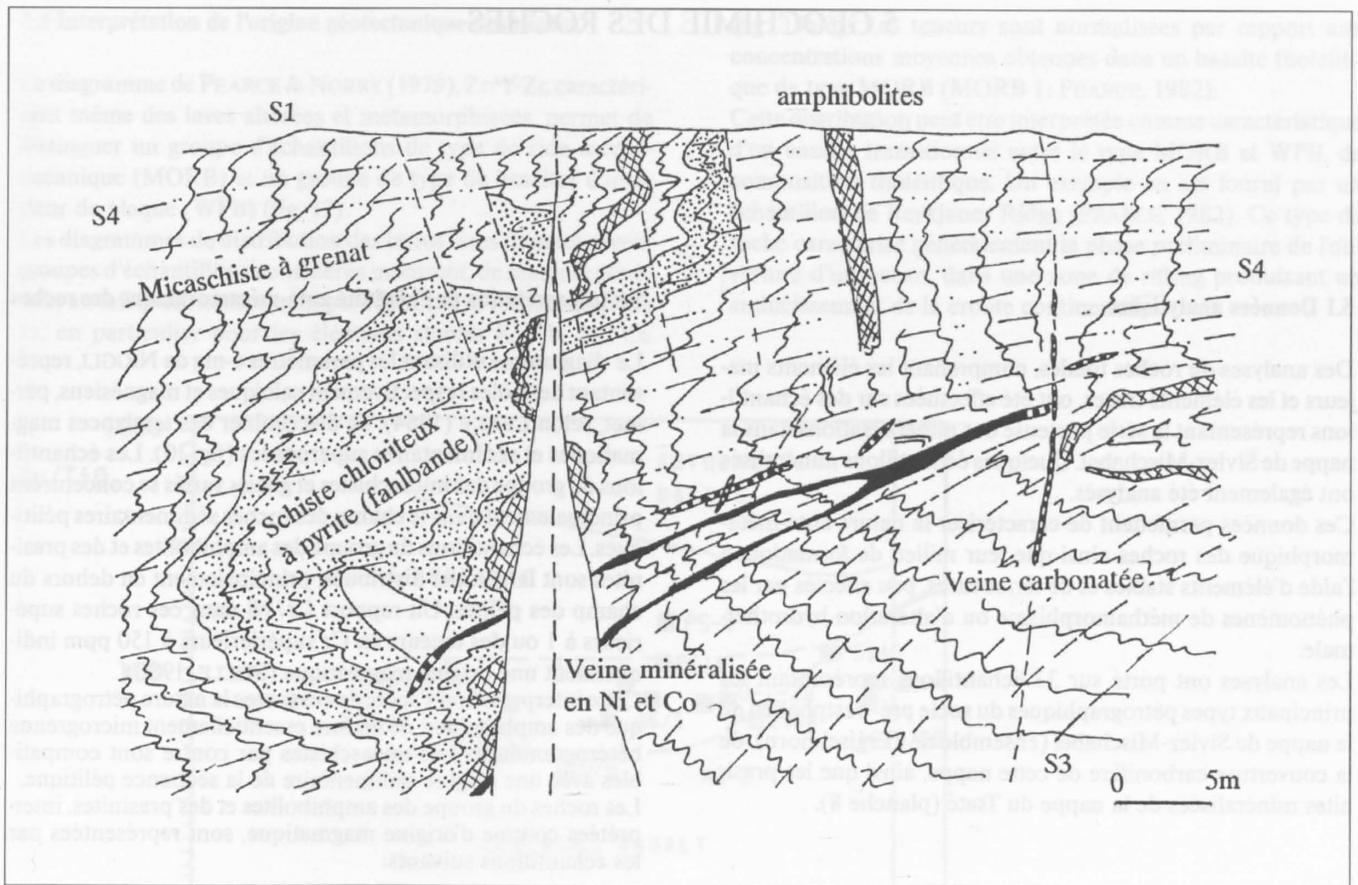


Fig. 8: Croquis de la zone minéralisée de Pipji, (620.610/112.260)

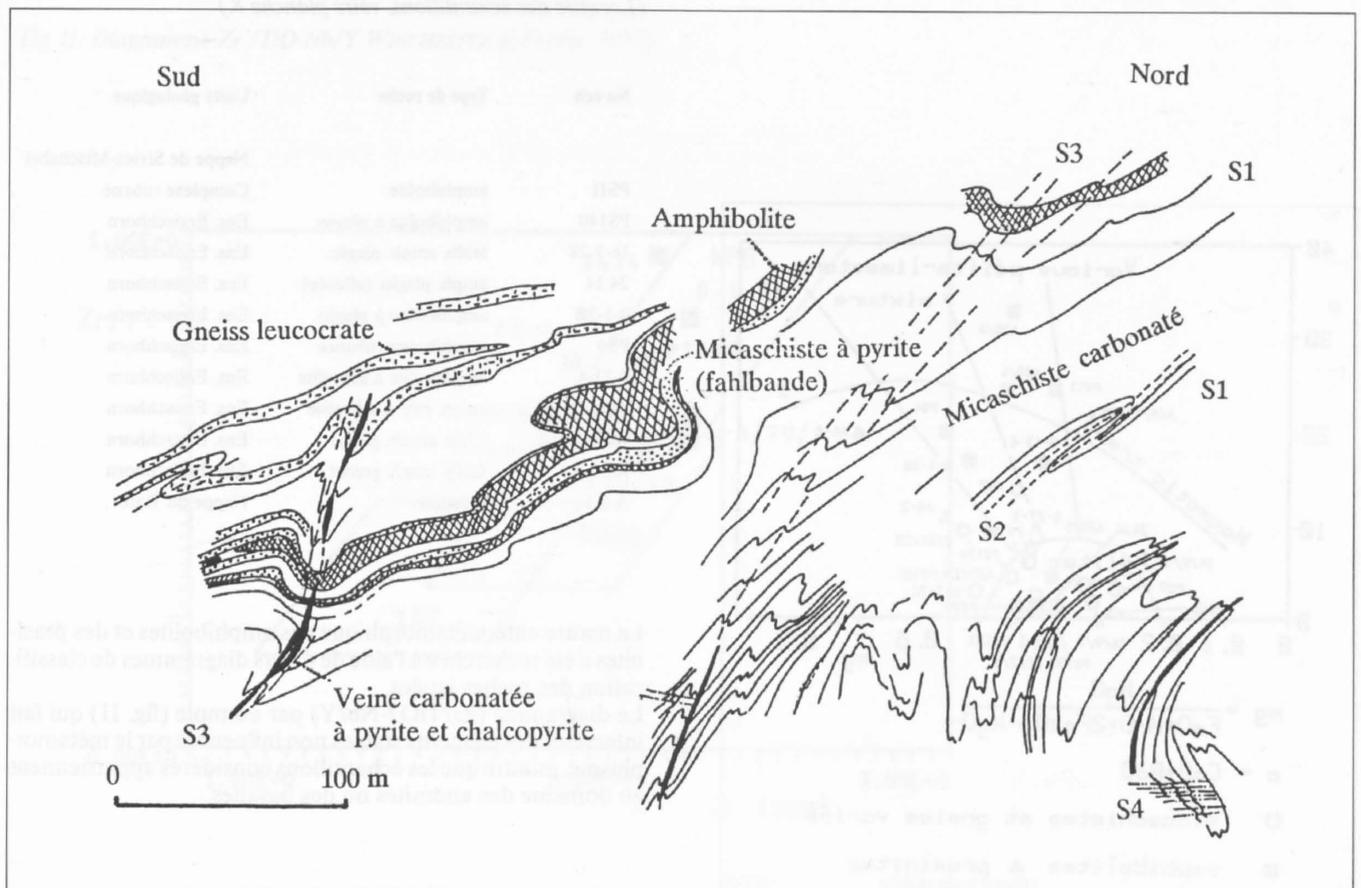


Fig. 9: Schéma structural de la zone de fahlbandes de Wängertälli, d'après ESCHER (non publié), (619.36/112.160)

5.1 Données analytiques

Des analyses de roches totales, comprenant les éléments majeurs et les éléments traces, ont été effectuées sur des échantillons représentant la série porteuse des minéralisations dans la nappe de Siviez-Mischabel. Quelques échantillons minéralisés ont également été analysés.

Ces données permettent de caractériser la nature anté-métamorphique des roches ainsi que leur milieu de formation, à l'aide d'éléments stables et de terres rares, peu affectés par les phénomènes de métamorphisme ou d'altération hydrothermale.

Les analyses ont porté sur 33 échantillons représentant les principaux types pétrographiques du socle pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel (ensemble de l'Ergischhorn), de la couverture carbonifère de cette nappe, ainsi que les prasinites minéralisées de la nappe du Tsaté (planche 8).

5.2 Interprétation de l'hérédité anté-métamorphique des roches

Le diagramme utilisant les paramètres c-mg de NIGGLI, représentant des pôles respectivement calciques et magnésiens, permet, selon LEAKE (1964), de discriminer des tendances magmatiques et sédimentaires superposées (fig. 10). Les échantillons du groupe des micaschistes et gneiss variés se concentrent principalement dans le champ des roches sédimentaires pélitiques. Les échantillons du groupe des amphibolites et des prasinites sont largement distribués, principalement en dehors du champ des pélites. Un rapport Cr/Ni dans ces roches supérieurs à 1 ou des teneurs en Cr supérieures à 150 ppm indiqueraient une origine magmatique (STILLE, 1980).

Cette interprétation s'accorde aussi avec la nature pétrographique des amphibolites, de texture essentiellement microgrenue hétérogranulaire. Les micaschistes par contre sont compatibles avec une origine sédimentaire de la séquence pélitique. Les roches du groupe des amphibolites et des prasinites, interprétées comme d'origine magmatique, sont représentées par les échantillons suivants:

Tableau 1:

Liste des échantillons de roches interprétés comme d'origine ignée (Localité des échantillons, voir planche 8.)

No éch	Type de roche	Unité géologique
		Nappe de Siviez-Mischabel
PS11	amphibolite	Complexe rubané
PS140	amphibolite à plagio.	Ens. Ergischhorn
16-9-28	fahlb. amph. plagio.	Ens. Ergischhorn
24 J4	amph. plagio. (altérée)	Ens. Ergischhorn
0-1-2B	amphibolite à plagio.	Ens. Ergischhorn
PS4	amphibolite rubanée	Ens. Ergischhorn
0-13-4	amphibolite à scheelite	Ens. Ergischhorn
A-26-13	amph. rub. à scheelite	Ens. Ergischhorn
A-20-4	fahlb. amph. grenat	Ens. Ergischhorn
A-20-6	fahlb. amph. grenat	Ens. Ergischhorn
A-6-1	prasinite	Nappe du Tsaté

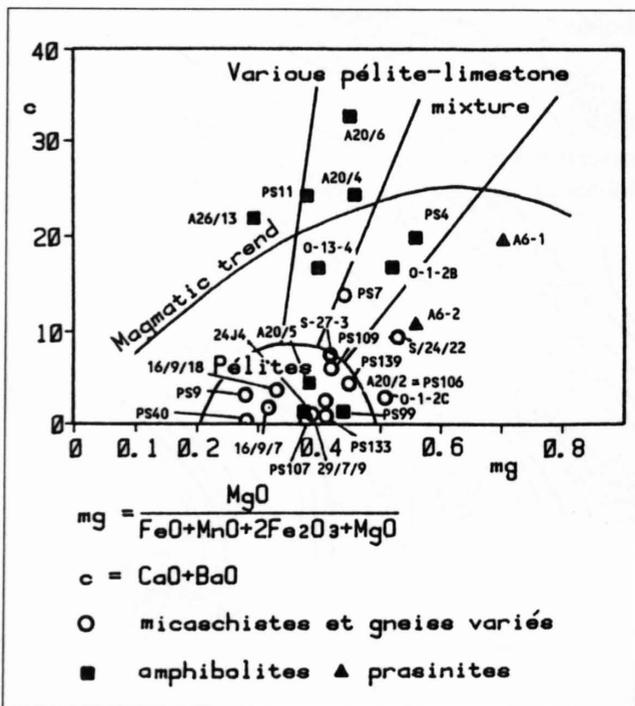


Fig. 10: Diagramme c-mg de NIGGLI

La nature anté-métamorphique des amphibolites et des prasinites a été recherchée à l'aide de divers diagrammes de classification des roches ignées.

Le diagramme (Zr/TiO2-Nb/Y) par exemple (fig. 11) qui fait intervenir des éléments stables non influencés par le métamorphisme, montre que les échantillons considérés appartiennent au domaine des andésites ou des basaltes.

### 5.3 Interprétation de l'origine géotectonique des roches

Le diagramme de PEARCE & NORRY (1979), Zr/Y-Zr, caractérisant même des laves altérées et métamorphosées, permet de distinguer un groupe d'échantillons de type de ride médio-océanique (MORB) et un groupe de type de basaltes d'intérieur de plaque (WPB) (fig. 12).

Les diagrammes de distribution des terres rares dans les divers groupes d'échantillons considérés montrent, de manière générale, un faible enrichissement par rapport à la norme «MORB 1», en particulier pour les éléments stables K, Rb, Ba, Ce

(fig. 13a-d). Les teneurs sont normalisées par rapport aux concentrations moyennes obtenues dans un basalte tholéiitique de type MORB (MORB 1: PEARCE, 1982).

Cette distribution peut être interprétée comme caractéristique d'un basalte transitionnel entre le type MORB et WPB, de composition tholéiitique. Un exemple en est fourni par un échantillon de Reykjanes Ridge (PEARCE, 1982). Ce type de roche caractérise généralement la phase préliminaire de l'ouverture d'un océan, dans une zone de rifting produisant un amincissement de la croûte continentale.

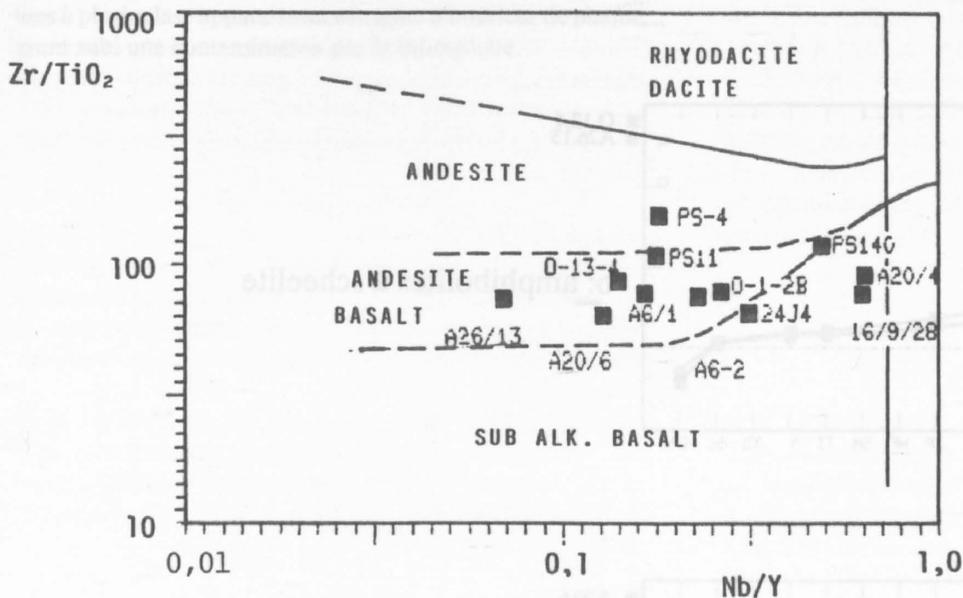
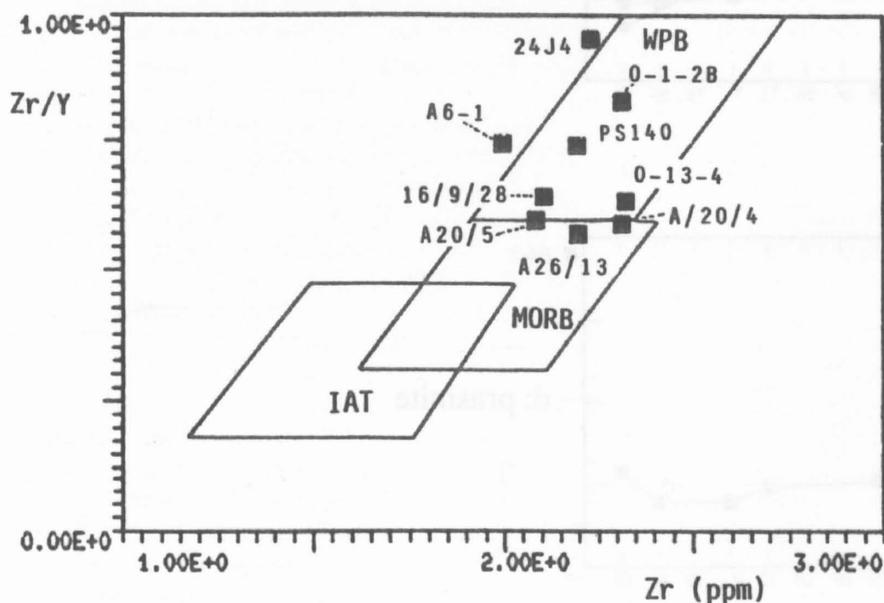


Fig 11: Diagramme Zr /TiO-Nb/Y WINCHESTER & FLOYD, 1977)



WPB            within plate basalts  
MORB        mid ocean ridge basalts  
LAT            island arc tholeiites

Fig. 12: Diagramme Zr/Y-Zr (PEARCE & NORRY, 1979)

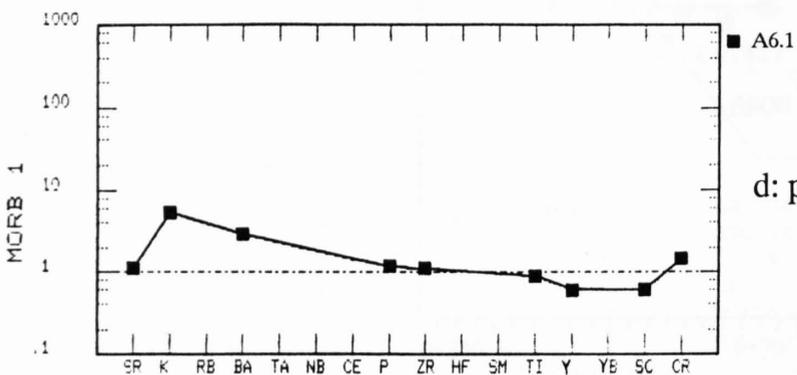
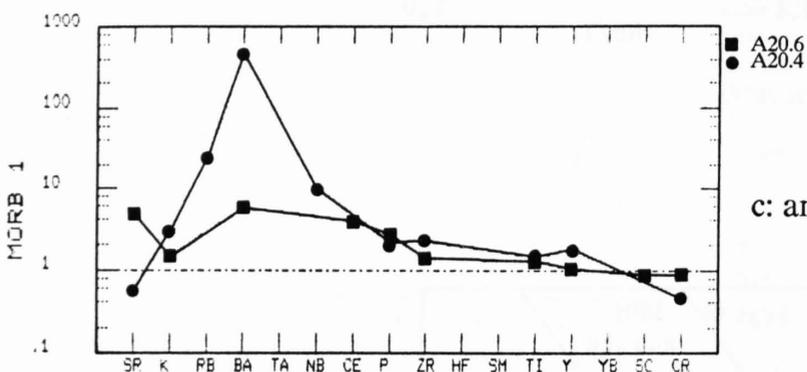
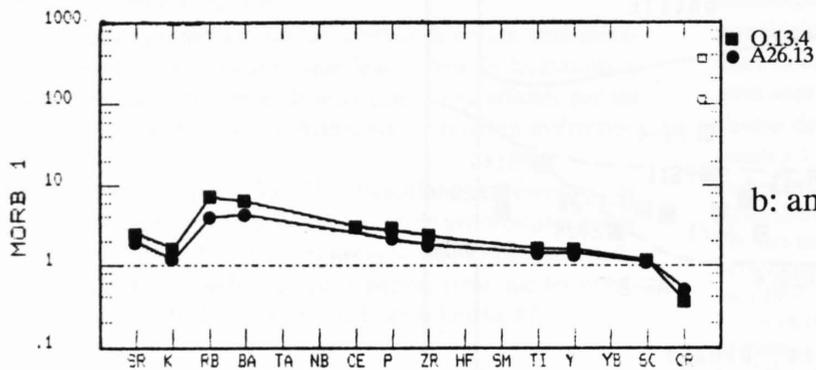
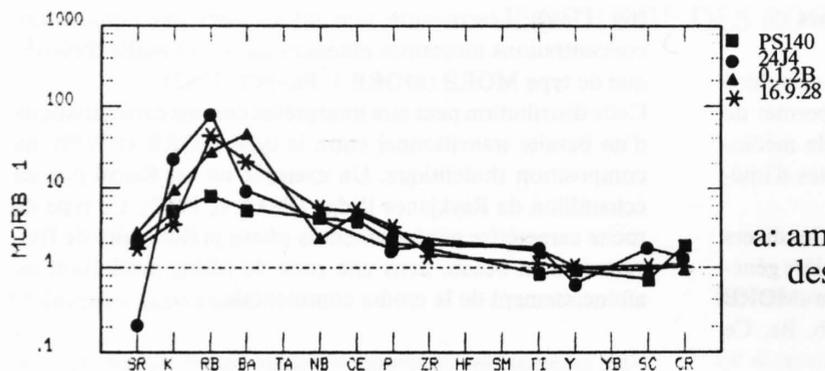


Fig. 13: Diagramme de distribution des terres rares dans divers types d'amphibolites (Siviez-Mischabel) et dans une prasinite (Tsaté). Normalisation MORB1

## 5.4 Discussion

Bien que le nombre réduit d'échantillons analysés ne permette pas de généralisation, il est intéressant de noter que les amphibolites et prasinites interprétées comme d'origine basaltique possèdent de manière générale les caractères de basaltes transitionnels. Ceci peut expliquer des interprétations contradictoires selon les éléments considérés dans les divers diagrammes géochimiques. Cependant, selon notre interprétation, un groupe de roches minéralisées, comprenant les fahlbandes des amphibolites à grenat et une amphibolite rubanée à scheelite, montre de manière consistante une affinité océanique (OFB) de caractère tholéiitique. Par contre, les amphibolites à plagioclase apparaissent d'origine d'intérieur de plaque, ayant subi une contamination par la lithosphère.

Les amphibolites à grenat et amphibolites à scheelite de la zone étudiée étant localisées dans la partie inférieure de l'ensemble de l'Ergischhorn, il peut s'agir d'une unité paléogéographique distincte. Celle-ci pourrait correspondre à une relique de fond océanique ou à une cicatrice ophiolitique.

Les amphibolites à plagioclase situées plus haut dans la série seraient interprétables comme produit par des épisodes volcaniques dans une série sédimentaire détritique d'influence continentale.

## 6.1 Introduction

Les analyses chimiques de 156 échantillons des divers types de fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel et 16 échantillons des prasinites à pyrite de la nappe du Tsaté ont porté sur 20 éléments : Mo, Pb, Zn, W, Cu, Ni, Cr, Co, Ag, Th, Bi, U, As, Sb, Ba, Sn, Mn, Fe, Si. Les analyses ont été obtenues par la méthode de fluorescence X, au Centre d'Analyse Minérale de l'Université de Lausanne. Un certain nombre de ces échantillons ont aussi été analysés pour le carbone organique et pour l'or (annexe 1). Les données analytiques ont été utilisées pour rechercher les caractères géochimiques fournissant des informations sur l'origine des dépôts.

## 6.2 Données statistiques

Les données statistiques univariées concernant les cinq groupes de fahlbandes de caractères pétrographiques différents sont fournies en annexe 2. A titre de comparaison, les mêmes données statistiques sont indiquées pour les deux principaux groupes de roches contenant les fahlbandes, soit les micaschistes et les amphibolites, en dehors des zones minéralisées, dans la nappe de Siviez-Mischabel, ainsi que pour les prasinites à pyrite de la nappe du Tsaté.

La variation des teneurs moyennes dans les différents types de fahlbandes se répartit dans des gammes de teneurs de la manière suivante:

- teneurs moyennes entre 0 - 25 ppm : Mo, W, Ag, Bi, Th, U, Sb, Sn
- teneurs moyennes entre 35 - 304 ppm : Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As
- teneurs moyennes entre 0,1 - 15 % : Fe, Mn, Ba.
- teneurs moyennes entre 39.4 - 67.8 % : SiO<sub>2</sub>

### Teneurs maximales:

Fahlbandes des schistes chloriteux: 576 ppm Cu  
 Fahlbandes des schistes carbonifères: 8 % Pb, 2.7 % Zn  
 Fahlbandes des micaschistes: 531 ppm Ni  
 Fahlbandes des amphibolites: 1 % As, 2.2 % Ba, 1200 ppm Co, 413 ppm W, 0.7 ppm Au

De manière générale, l'ordre de grandeur des concentrations des éléments analysés montre que les divers types de fahlbandes possèdent de fortes affinités géochimiques.

En effet, les teneurs moyennes varient relativement peu dans les divers groupes de fahlbandes. Les teneurs moyennes de certains éléments sont particulièrement uniformes tel que le Ni (63 - 76 ppm), le Cu (110 - 156 ppm) ou les éléments à basses teneurs comme Mo, Ag, Bi, Sn, Sb, Pb, U.

Dans les niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté les teneurs sont voisines de celles des fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel, à l'exception du Cu, de concentration nettement plus élevée dans les prasinites de la nappe du Tsaté (0.5 % Cu).

La distribution des teneurs dans les divers groupes de fahlbandes est caractérisée de manière générale par une large gamme de valeurs élevées. Celles-ci peuvent correspondre à une population dite d'anomalies recouvrant partiellement une population de teneurs de fond. Ce type de distribution, reconnaissable sur les histogrammes de fréquences des teneurs, se rencontre en particulier pour le Cu dans les fahlbandes des amphibolites, pour le Cu et le Ba dans les fahlbandes des micaschistes et le Zn dans les niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté (fig. 14).

### Teneurs relativement élevées:

Les teneurs relativement élevées en éléments métalliques dans les fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel et les niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté peuvent correspondre, selon les éléments, à des minéralisations exprimées ou à des concentrations anormales.

Ces teneurs remarquables, généralement supérieures à la valeur moyenne plus trois écarts types, se répartissent sur l'ensemble du terrain échantillonné et sont associées à divers types de fahlbandes pour la plupart des éléments (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, et As, planche 9).

Les fahlbandes, constituées de sulfures disséminés, n'ont jamais représenté d'intérêt économique en elles-mêmes, mais plutôt par leur association avec des veines polymétalliques. La présence de faibles teneurs en or atteignant 1 ppm dans les fahlbandes des amphibolites et 0.4 ppm dans les fahlbandes des schistes graphiteux de la région de Gruben, Val de Tourtemagne, constituent des indices qui ne se sont pas confirmés lors d'un complément d'étude. Celle-ci a cependant révélé une anomalie en or dans les alluvions du Meidbach, près de Gruben (DELLA VALLE, 1991).

Les niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté, qui passent latéralement à des sulfures massifs sur l'indice de Laulosses, Val de Zinal et de la Pointe de Bandon, Val de Moiry, représentent par leur dimension et leur teneur en cuivre, avec zinc et or accessoires, un faible intérêt économique potentiel (WOODTLI et al., 1987). En effet, ils s'apparentent aux dépôts de cuivre ophiolitique qui ont été exploités en de nombreux gisements de dimensions modestes dans les pays alpins.

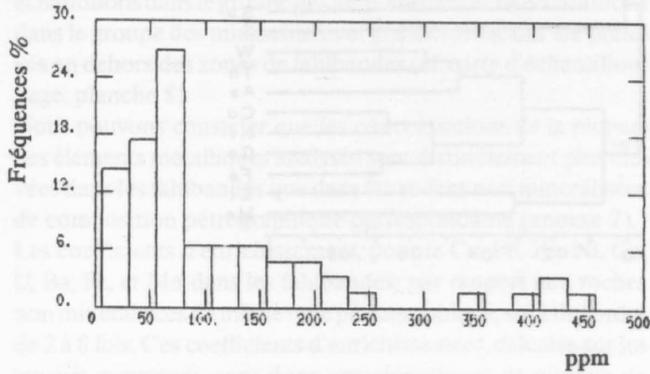
### Corrélations entre éléments:

Les coefficients de corrélation entre éléments font ressortir des associations permettant de caractériser les divers types de fahlbandes. Une analyse de grappe utilisant les coefficients de corrélation comme mesure de similitude montre que (fig. 15):

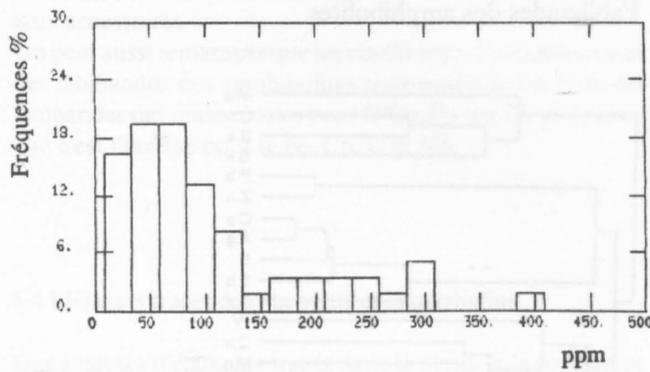
- le Ni et le Co sont fortement corrélés dans les fahlbandes des micaschistes, des schistes graphiteux et des schistes chloriteux
- le Cu n'est généralement pas fortement corrélé aux autres métaux si ce n'est dans les fahlbandes des schistes chloriteux où il est lié au groupe du Mn, Ni, Co, Fe, Ag

- le Pb et le Zn sont très fortement corrélés dans les quatre groupes de fahlbandes, y compris les fahlbandes des amphibolites

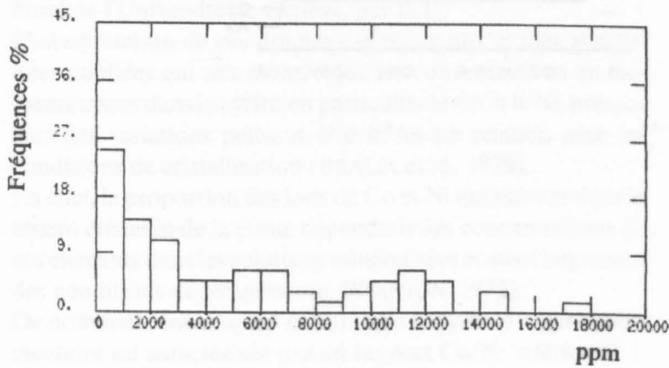
- les prasinites de la nappe du Tsaté se différencient des fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel par la forte corrélation Pb-Cu et l'absence de corrélation significative Pb-Zn. Ces données restent cependant délicates à interpréter au niveau de la source et de la distribution des métaux dans les fahlbandes.



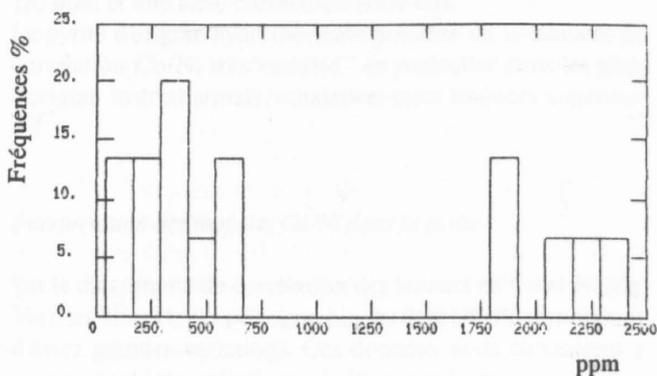
Fahlbandes des amphibolites  
Elément: Cu



Fahlbandes des micaschistes  
Elément: Cu



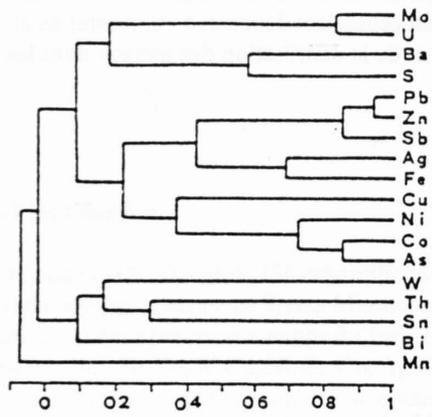
Fahlbandes des micaschistes  
Elément: Ba



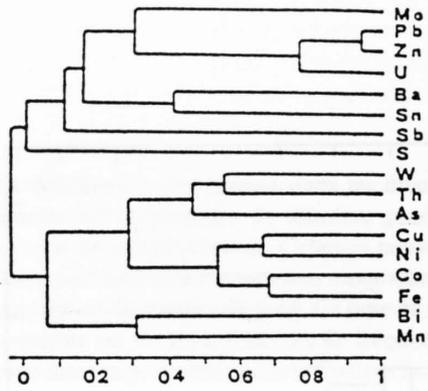
Prasinites à pyrite  
Elément: Zn

Fig. 14: Histogrammes de fréquences des teneurs en Cu et Ba dans certaines fahlbandes (Siviez-Mischabel) et en Zn dans les prasinites à pyrite (Tsaté)

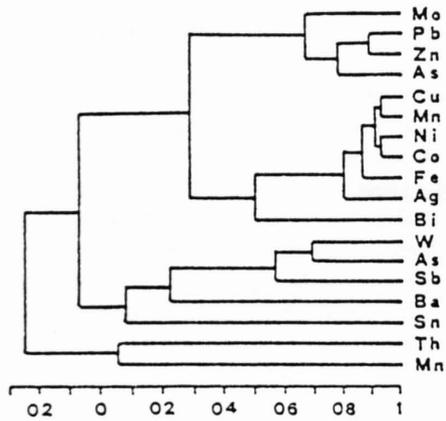
Fahlbandes des micaschistes



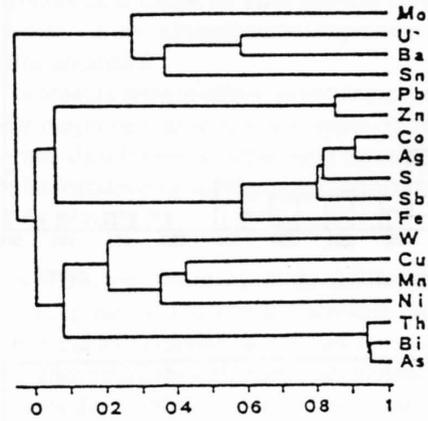
Fahlbandes des schistes graphiteux



Fahlbandes des schistes chloriteux



Fahlbandes des amphibolites



Prasinites à pyrite

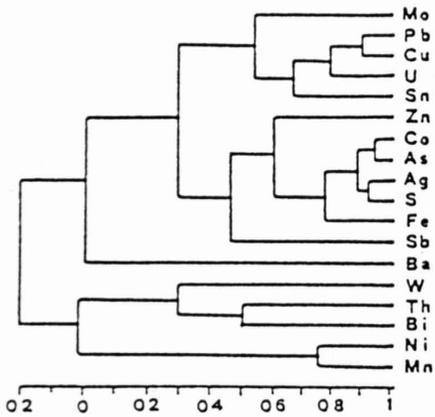


Fig. 15: Dendrogrammes de corrélation des teneurs dans les fahlbandes (Siviez-Mischabel) et dans les prasinites à pyrite (Tsaté)

### 6.3 Comparaison des fahlbandes et des roches encaissantes

Les teneurs en éléments métalliques des fahlbandes ont été comparées à celles des roches non minéralisées, afin de mettre en évidence des processus d'enrichissement différenciés selon le type de fahlbandes.

Les échantillons de roches non minéralisées, comprenant 6 échantillons dans le groupe des amphibolites et 14 échantillons dans le groupe des micaschistes et gneiss variés, ont été prélevés en dehors des zones de fahlbandes (cf. carte d'échantillonnage, planche 8).

Nous pouvons constater que les concentrations de la plupart des éléments métalliques analysés sont distinctement plus élevées dans les fahlbandes que dans les roches non minéralisées de composition pétrographique correspondante (annexe 2). Les coefficients d'enrichissement, pour le Cu, Pb, Zn, Ni, Co, U, Ba, Fe, et Mn dans les fahlbandes, par rapport aux roches non minéralisées de même type pétrographique, sont de l'ordre de 2 à 8 fois. Ces coefficients d'enrichissement, calculés sur les teneurs moyennes, sont donc caractéristiques de niveaux de sulfures de fer disséminés contenant de nombreux autres métaux accessoires.

On peut aussi remarquer que les coefficients d'enrichissement des fahlbandes des amphibolites sont supérieurs à ceux des fahlbandes des micaschistes pour le Cu, Pb, Zn, Ba et Fe alors que c'est l'inverse pour le Ni, Co, U et Mn.

### 6.4 Éléments traces dans la pyrite et la pyrrotine

Des analyses d'éléments traces dans la pyrite et la pyrrotine de différents types de fahlbandes ont été obtenues à l'Institut Forel de l'Université de Genève, par ICP.

L'interprétation de ces données se réfère aux études statistiques publiées qui ont montré que les concentrations en éléments traces dans la pyrite, en particulier le Co et le Ni, présentent des variations pouvant être mises en relation avec les conditions de cristallisation (BRALIA et al., 1979).

En effet, la proportion des ions de Co et Ni qui entrent dans le réseau cristallin de la pyrite dépendrait des concentrations de ces éléments dans les solutions minéralisées et aussi largement des conditions de température, (STANTON, 1972).

De nombreux travaux ont montré que la pyrite d'origine sédimentaire est caractérisée par un rapport Co/Ni inférieur à 1, avec des teneurs de ces éléments généralement inférieures à 110 ppm et une forte corrélation entre eux.

La pyrite d'origine hydrothermale présente un coefficient de corrélation Co/Ni très variable, en particulier dans les gîtes d'origine hydrothermale exhalative, mais toujours supérieur à 1.

#### Interprétation des rapports Co/Ni dans la pyrite

Sur le diagramme de corrélation des teneurs en Co et Ni (fig. 16a), les divers types pétrographiques de fahlbandes montrent d'assez grandes variations. Ces données nous conduisent à proposer les interprétations génétiques suivantes:

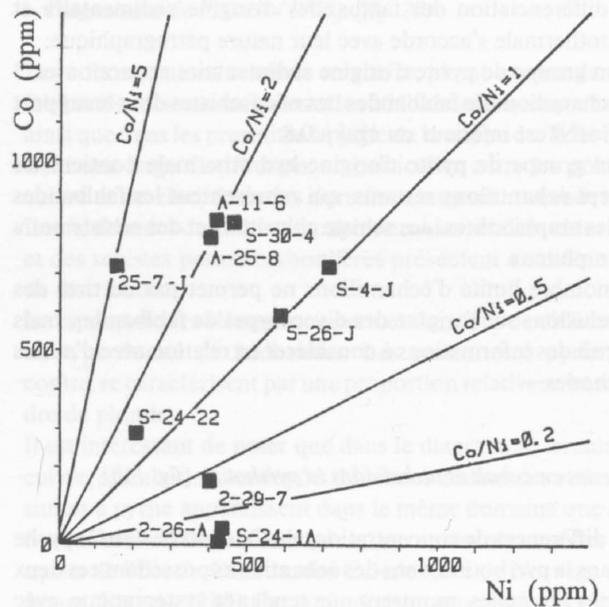


Fig. 16a: Diagramme de corrélation des teneurs en Co et Ni dans la pyrite d'échantillons de fahlbandes (BRALIA et al., 1979)

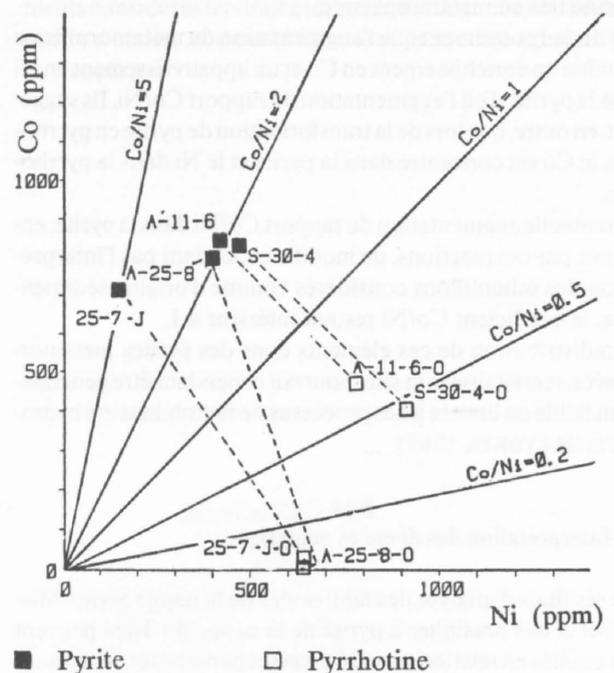


Fig. 16b: Diagramme de corrélation des teneurs en Co et Ni dans la pyrite et dans la pyrrotine d'échantillons de fahlbandes

Tableau 2: Interprétation des rapports en Co/Ni dans la pyrite de divers types de fahlbandes

No éch.	Type roche	Localité	Rapport Co/Ni	Origine interprétative
S-24-1A	micasch.à gr.	Kaltenberg	0.00	sédimentaire
2-26-A	micaschiste	Adlerflue	0.08	sédimentaire
2-29-7	micaschiste	Crête Barneu.	0.38	sédimentaire
5-26-J	amphibolite	Ombritse	1.09	hydrothermale
A-25-8	amphibolite	Karlustafel	2.05	hydrothermale
S-24-22	sch.chlor.	Pipji	1.38	hydrothermale
S-4-J	sch.noirs	Chieso Blanc	1.01	hydrothermale
S-30-4	sch.noirs	Torr. Moulins	1.92	hydrothermale
A-11-6	sch.noirs	Blüemattbach	1.98	hydrothermale
25-7-J	sch.noirs	Litoula	4.87	hydrothermale

La différenciation des fahlbandes d'origine sédimentaire et hydrothermale s'accorde avec leur nature pétrographique:

- un groupe de pyrite d'origine sédimentaire apparaît avec 3 échantillons de fahlbandes des micaschistes dont le rapport Co/Ni est inférieur ou égal à 0,8.
- un groupe de pyrite d'origine hydrothermale contient les sept échantillons restants, qui représentent les fahlbandes des amphibolites, des schistes chloriteux et des schistes noirs graphiteux.

Le nombre limité d'échantillons ne permet pas de tirer des conclusions sur l'origine des divers types de fahlbandes, mais fournit des informations à considérer en relation avec d'autres méthodes.

#### *Teneurs en cobalt et nickel dans la pyrrhotine (fig. 16b)*

Les différences de concentrations du Co et du Ni dans la pyrite et dans la pyrrhotine, dans des échantillons possédant ces deux phases minérales, montrent une tendance systématique, avec des concentrations relativement plus élevées en Co dans la pyrite et en Ni dans la pyrrhotine. Cette tendance s'accorde avec les observations de CAMEL & JARKOVSKY (1968 et 1969) concernant les variations de concentrations d'éléments traces lors des phénomènes de rééquilibrage de la pyrite et de la pyrrhotine liés au métamorphisme.

Ces auteurs observent que l'augmentation du métamorphisme entraîne un enrichissement en Co et un appauvrissement en Ni dans la pyrite, d'où l'augmentation du rapport Co/Ni. Ils suggèrent, en outre, que lors de la transformation de pyrite en pyrrhotine, le Co est concentré dans la pyrite et le Ni dans la pyrrhotine.

L'éventuelle augmentation du rapport Co/Ni dans la pyrite, entraînée par ces réactions, ne modifie cependant pas l'interprétation des échantillons considérés comme d'origine sédimentaire, le coefficient Co/Ni restant inférieur à 1.

La redistribution de ces éléments dans des pyrites métamorphisées, recristallisées in situ, pourrait cependant être généralement faible ou limitée à des processus de remobilisation hydrothermale (VOKES, 1969).

### **6.5 Interprétation des données analytiques**

Les résultats d'analyse des fahlbandes de la nappe Siviez-Mischabel et des prasinites à pyrite de la nappe du Tsaté peuvent être étudiés en relation avec les diverses hypothèses génétiques envisagées pour ces niveaux, à savoir des dépôts hydrothermaux ou sédimentaires de type stratiforme.

Les diagrammes de discrimination géochimique binaires ou ternaires offrent la possibilité de comparer nos échantillons avec les données de la littérature concernant en particulier des sédiments métallifères dans diverses conditions géotectoniques, soit en voie de formation dans des fonds marins, soit incorporés à des séries ophiolitiques.

#### *Diagrammes géochimiques*

##### *- Diagramme de BONATTI, 1975 (fig. 17)*

Ce diagramme permet de distinguer entre des sédiments métallifères d'origine hydrothermale, dans lesquels les métaux

proviennent de solutions à haute température, et hydrogénéti-ques, dans lesquels les métaux proviennent de l'eau de mer. Selon cet auteur, les métaux accessoires - Ni, Co, Cu, Zn, Cr - sont généralement plus abondants dans les dépôts hydrothermaux que dans les dépôts hydrogénéti-ques, cependant leur rapport avec le Fe et le Mn est nettement plus élevé dans ce dernier groupe.

Ceci peut s'expliquer, en partie, par la vitesse d'accumulation plus élevée des dépôts hydrothermaux limitant la possibilité d'incorporation de métaux accessoires de l'eau de mer par les minéraux de Fe et Mn. Dans certains cas, tels que les dépôts de la Mer Rouge, des solutions hydrothermales s'accumulent dans des dépressions empêchant ainsi un mélange avec les eaux de mer oxygénées. Les conditions réductrices qui se créent dans ces bassins fermés sont favorables au dépôt de métaux accessoires sidérophiles tels que le Cu et le Zn.

Les échantillons des fahlbandes des micaschistes et des fahlbandes des amphibolites se distribuent clairement dans le domaine hydrothermal, près du pôle riche en Fe, et dans le domaine caractéristique des dépôts de la Mer Rouge. Les échantillons des autres groupes de fahlbandes, non représentés sur la figure 17, soit les fahlbandes des schistes graphiteux, des schistes chloriteux et des schistes permo-carbonifères se distribuent de manière semblable.

Les prasinites de la nappe du Tsaté qui se distribuent principalement dans la même zone du domaine hydrothermal, possèdent des échantillons enrichis en Cu apparaissant en dehors des champs définis.

##### *- Diagramme de KRAUSKOPF (fig. 18)*

La grande variation du coefficient Fe/Mn reflète l'aisance avec laquelle s'effectue la séparation de ces éléments par des processus sédimentaires ou hydrothermaux (BONATTI, 1975; FERGUSON & LAMBERT, 1972; WHITEHEAD, 1973).

Le fractionnement entre le fer et le manganèse intervient aussi bien en milieu oxygéné qu'en milieu sulfuré: en milieu oxygéné, le fer s'oxyde et précipite plus rapidement que le manganèse, alors qu'en milieu sulfuré, le manganèse est maintenu en solution durant la précipitation du fer.

Ainsi, dans les systèmes hydrothermaux où les sulfures se sont abondamment déposés dans les conduits d'accès aux fonds marins, les solutions en contact avec l'eau de mer ont un rapport Fe/Mn relativement bas, inférieur à celui des basaltes qui auraient fourni ces deux éléments par lessivage. Les amas sulfurés par contre sont fortement enrichis en fer.

La fig. 18 montre que les concentrations relatives du fer et du manganèse dans les fahlbandes des micaschistes et les fahlbandes des amphibolites fluctuent largement, ce qui est le cas pour les autres types de fahlbandes également. Cette distribution englobe le domaine caractéristique des basaltes (Fe/Mn = 40 à 80) et s'étend de part et d'autre.

Ceci suggère donc une large gamme de conditions physico-chimiques de formation à l'intérieur de chaque type de fahlbande. Seules les prasinites de la nappe du Tsaté se différencient des fahlbandes en se distribuant essentiellement dans le domaine des basaltes et celui relativement enrichi en fer.

- Diagramme de ROBERTSON & BOYLE (1983) et DYMOND (1981), (fig. 19)

Ce diagramme, utilisé pour les sédiments métallifères de nombreuses localités du domaine de la Téthys, permet de constater que :

- les divers groupes de fahlbandes ainsi que les prasinites de la nappe du Tsaté, se distribuent tous dans le champ des sédiments métallifères globalement définis, ce qui suggère des origines comparables. La figure 19 montre en particulier les fahlbandes des micaschistes et les fahlbandes des amphibolites. Un relatif enrichissement en silicium se marque dans les fahlbandes associées aux schistes graphiteux.
- dans le champ des dépôts hydrothermaux défini par DYMOND (1981) ne sont inclus qu'une fraction des échantillons des fahlbandes des amphibolites, des schistes chloriteux et des schistes graphiteux.

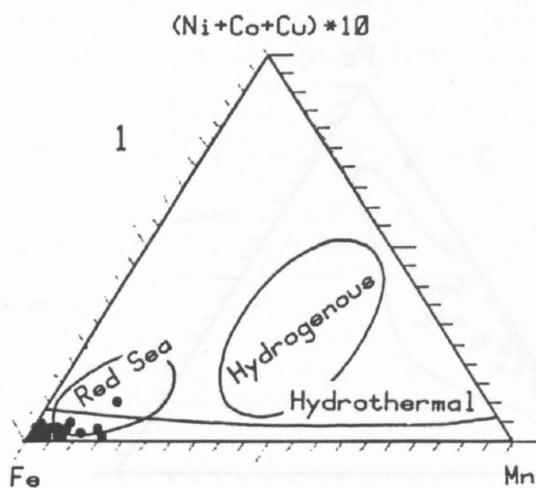
L'essentiel des fahlbandes se différencie donc des sédiments métallifères d'origine hydrothermale par une plus faible proportion de manganèse et un enrichissement relatif en silicium. Ces caractéristiques sont attribuées à la nature des dépôts d'origine ainsi qu'aux effets du métamorphisme.

- Diagramme de PLIMER (1978), (fig. 20)

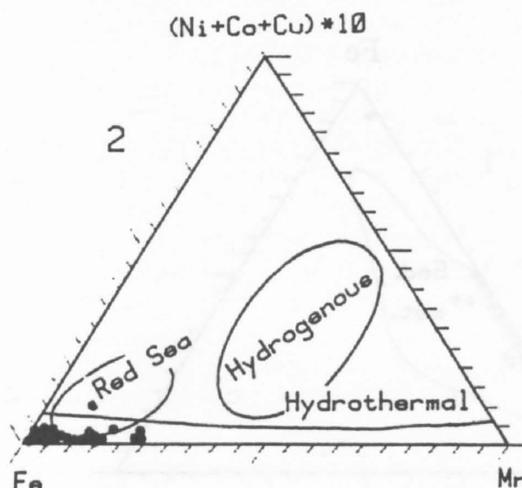
Les concentrations relatives en cuivre, plomb et zinc dans les fahlbandes des micaschistes et les fahlbandes des amphibolites ainsi que dans les prasinites à pyrite de la nappe du Tsaté montrent une large distribution, en particulier entre les pôles du cuivre et du zinc, dans des domaines largement recouvrants. Les fahlbandes des schistes graphiteux, des schistes chloriteux et des schistes permo-carbonifères présentent un même type de distribution.

Le rapport de ces éléments ne permet donc pas de différencier un type donné de fahlbandes. Les prasinites à pyrite, par contre, se caractérisent par une proportion relativement moindre de plomb.

Il est intéressant de noter que dans le diagramme ternaire du cuivre, plomb, zinc, les dépôts dilués des fahlbandes et des prasinites à pyrite apparaissent dans le même domaine que celui des sulfures massifs volcanogéniques représentés par des gisements de l'Est du Canada, des Calédonides de Norvège et du Japon (LYDON, 1988). Par comparaison avec les amas sulfurés d'origine exhalative, la zonalité de ces éléments a été mise en relation avec des conditions de formation proximales (riches en cuivre) ou distales (riches en plomb et en zinc) (PLIMER, 1978; BOULADON, 1977). Dans le cas des fahlbandes, représentant des dépôts dilués, la grande variabilité des rapports des éléments considérés tendrait à indiquer des distances variables du centre d'émission, dans la mesure où le modèle exhalatif peut être appliqué.

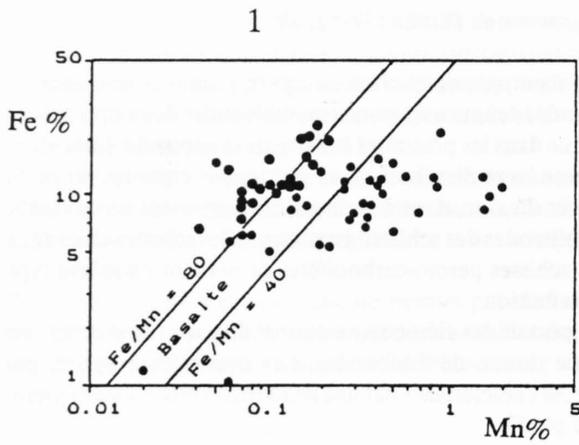


1: Fahlbandes des micaschistes

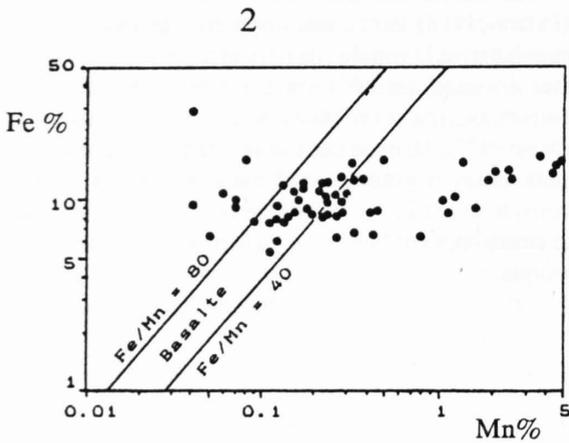


2: Fahlbandes des amphibolites

Fig. 17: Diagramme Fe-Mn-(Ni + Co + Cu). 10 (BONATTI, 1975)

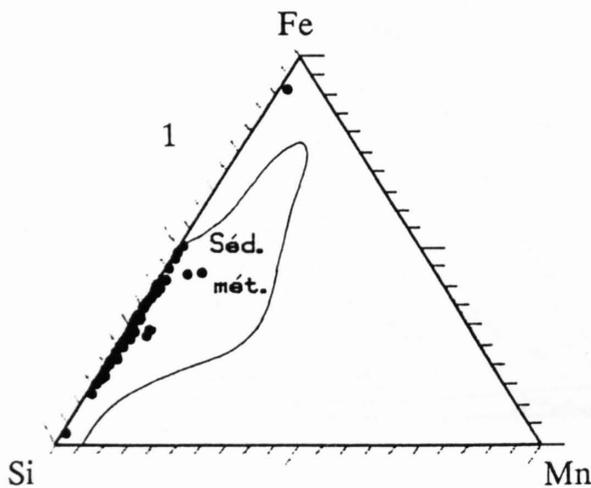


1: Fahlbands des micaschistes



2: Fahlbands des amphibolites

Fig. 18: Diagramme de fractionnement du fer et du manganèse



1: Fahlbands des micaschistes

## 6.6 Discussion

Les modèles d'interprétation génétique proposés sur la base des données géochimiques restent hypothétiques, compte tenu de l'influence du métamorphisme, difficile à évaluer. Une origine du type des sédiments métallifères de fonds marins concorde cependant avec certains caractères géochimiques observés dans les fahlbands, aussi bien que dans les niveaux pyriteux des prasinites de la nappe du Tsaté. Des modes de formation soit sédimentaire (hydrogénique ou diagénétique), soit volcanogénique (hydrothermal exhalatif) sont suggérés par l'interprétation des analyses de traces dans la pyrite.

La nature sédimentaire de la pyrite des fahlbands des mica-schistes s'accorde avec le mode de formation des roches encaissantes, interprétées comme paragénetiques.

La nature hydrothermale de la pyrite des fahlbands des amphibolites et des schistes chloriteux doit être mise en relation avec des circulations de fluides accompagnant la mise en place de ces roches, interprétées pour la majorité des amphibolites comme d'origine volcanique.

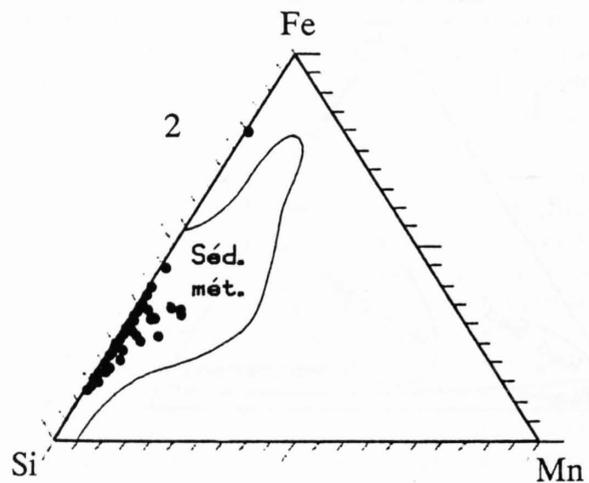
L'appartenance des échantillons de fahlbands des schistes noirs graphiteux au groupe interprété comme d'origine hydrothermale suggère un apport exhalatif dans un bassin sédimentaire en milieu confiné, du type des sédiments métallifères de la Mer Rouge.

Les niveaux pyriteux de la nappe du Tsaté s'apparentent aux fahlbands d'origine hydrothermale.

Ce type de formation correspond géochimiquement aux sédiments métallifères de fonds marins actuels ainsi qu'à ceux des séries ophiolitiques de la Téthys.

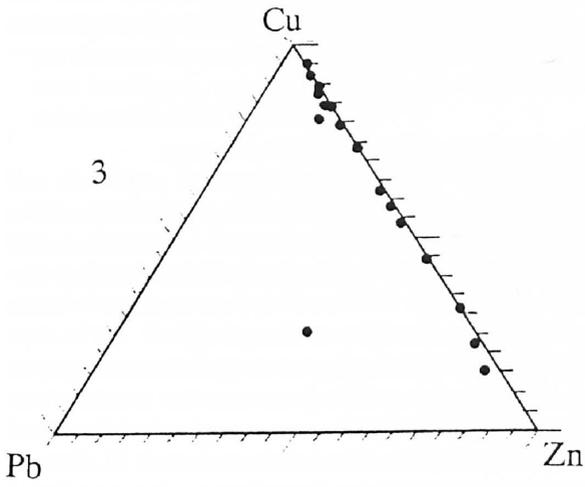
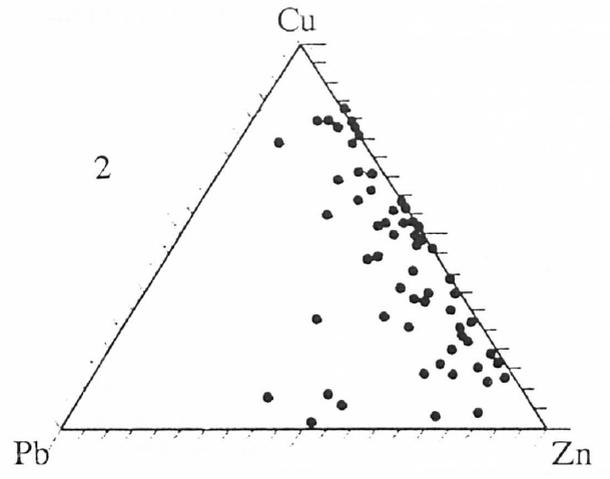
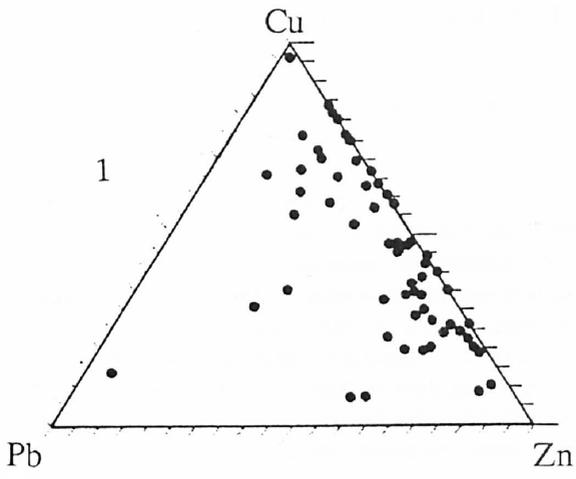
Les dépôts hydrothermaux exhalatifs se seraient formés en milieu sulfuré, à des distances variables du point de décharge, allant des conditions proximales aux conditions distales.

Un rapport Fe/Mn extrêmement variable suggère également des conditions de formation non uniformes à l'intérieur de chaque type de fahlbande. Le relatif enrichissement en fer des prasinites à pyrite de la nappe du Tsaté peut indiquer un apport hydrothermal, sans précipitation importante des sulfures à un stade pré-décharge.



2: Fahlbands des amphibolites

Fig. 19: Diagramme Si-Mn-Fe (ROBERTSON & BOYLE, 1983)



- 1: Fahlbandedes micaschistes
- 2: Fahlbandedes amphibolites
- 3: Prasinites à pyrite

Fig. 20: Diagramme Cu-Pb-Zn (PLIMER, 1987)

### 7.1 Introduction

La présence dans la nappe de Siviez-Mischabel de minéralisations de types variés, incluant les fahlbandes, des niveaux minéralisés en tungstène et des veines polymétalliques de paragenèses diverses, constitue un caractère distinctif de cette unité structurale dans l'ensemble des nappes du Grand-St-Bernard et même des nappes penniques. Ceci suggère un contrôle lithostratigraphique en grand, déterminant une ceinture minéralisée liée à des conditions paléogéographiques et géotectoniques particulières qui se sont développées dans ce domaine à une époque anté-triasique.

### 7.2 Les fahlbandes

*Rappel des hypothèses classiques*

#### - Origine sédimentaire

L'interprétation couramment acceptée de l'origine des fahlbandes selon les publications récentes, consiste à voir dans ces niveaux l'équivalent des schistes noirs pyriteux métamorphisés ou métasapropélites (GAMMON, 1966; BOYLE, 1968; MOORKHERJEE, 1976).

Les imprégnations de sulfures de fer dans les schistes et les gneiss pyriteux, rencontrés fréquemment dans des séries métamorphiques et plus systématiquement dans les provinces minéralisées, seraient d'origine syngénétique, formées par précipitation des métaux et des métalloïdes dans des conditions réductrices, dans un milieu riche en soufre. Ces dépôts se rencontrent dans des bassins sédimentaires comportant généralement des influences volcaniques. Ils sont formés de tufs, grauwacke, quartzite, argillite, et contiennent parfois des sédiments siliceux et des formations ferrifères. Le graphite, très répandu dans les roches schisteuses, tend à diminuer avec l'augmentation du métamorphisme.

#### - Origine hydrothermale liée à des circulations dans des plans structuraux

Une origine hydrothermale post-déformation a été envisagée pour expliquer la coïncidence des fahlbandes avec des niveaux de cisaillement dans des séries schisteuses (DE LAUNAY, 1913). Selon cette hypothèse, les niveaux sulfurés se seraient formés par circulations hydrothermales dans des zones de plus forte perméabilité qui correspondent au plan de la schistosité principale. Dans ce cas, la phase de minéralisation devrait être postérieure à cette schistosité, c'est à dire post-métamorphique. Ce mode de formation implique le remplacement des minéraux des roches encaissantes par les sulfures, or c'est essentiellement l'inverse que nous observons.

De plus, la formation de niveaux sulfurés par des processus hydrothermaux tardifs devrait s'accompagner d'enrichissements en minéraux de gangue tels que quartz ou carbonates, ce qui n'est pas le cas dans les fahlbandes du socle pré-westphalien (seul les fahlbandes des schistes carbonifères contiennent des lentilles quartzo-carbonatées qui se rencontrent également dans la série porteuse).

Une origine hydrothermale tardive ne peut donc pas être retenue pour expliquer la formation de la majorité des fahlbandes, d'extension importante dans les plans de stratification, mais sans enrichissement notable en minéraux de la gangue.

Les imprégnations sulfurées, visibles localement dans des plans de faille, ne sont pas considérées comme des fahlbandes proprement dit.

#### - Origine liée à des injections de dykes basiques

La présence de sulfures, principalement pyrite et chalcopryrite, en imprégnation dans des dykes basiques est un phénomène connu dans des terrains non métamorphisés. Cette interprétation a été proposée par BUGGE (1918) pour expliquer certains niveaux pyriteux de la région de Kongsberg.

Dans la région du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne, les fahlbandes enrichies en chalcopryrite dans des niveaux d'amphibolites et qui forment des contacts tranchés avec les roches encaissantes, pourraient effectivement provenir d'injections de dykes ou de sills basiques, accompagnés d'imprégnations sulfurées, dans des plans de stratifications.

Dans la zone étudiée ce mode de formation ne peut cependant être retenu que pour un nombre relativement réduit de fahlbandes associées à des amphibolites.

#### *Hypothèse génétique proposée*

#### - Modèle des sédiments métallifères océaniques

La nature concordante des niveaux de fahlbandes et les relations texturales des sulfures avec les minéraux silicatés corroborent l'hypothèse d'une origine anté-métamorphique de ces dépôts, interprétés comme syngénétiques ou diagénétiques.

La découverte et l'étude, au cours des deux dernières décennies, de sédiments enrichis en métaux dans certaines zones des fonds océaniques nous paraît fournir un modèle génétique applicable aux fahlbandes (fig. 21).

Les fahlbandes pourraient correspondre en grande partie aux sédiments métallifères apparaissant à la base de la série sédimentaire.

Les sédiments métallifères, contenant essentiellement des minéraux de Fe et de Mn ainsi que de nombreux autres métaux accessoires, apparaissent effectivement fournir des niveaux concordants d'extension kilométrique, formés de minéraux métalliques disséminés dans la roche encaissante, sans enri-

chissement des minéraux de la gangue. Ces caractéristiques se retrouvent dans les fahlbandes, qui seraient alors interprétables comme des sédiments métallifères métamorphisés.

L'origine des sédiments océaniques enrichis en métaux peut se subdiviser en quatre groupes:

- les dépôts hydrogénétiques, par précipitation des métaux dissous dans l'eau de mer normale et provenant principalement de l'altération continentale,
- les dépôts hydrothermaux, dans des zones tectoniquement actives, à partir de solutions exhalatives en relation avec des phénomènes magmatiques ou des cellules convectives de circulation d'eau de mer dans le soubassement rocheux,
- les dépôts diagénétiques, par remobilisations des métaux dans des sédiments marins en liaison avec des phénomènes de compaction,
- les dépôts halmyrolitiques, par réaction des roches avec l'eau de mer (dépôts pyroclastiques basaltiques, par exemple) dans des zones proches de reliefs volcaniques sous-marins.

Une abondante littérature apparue dès la fin des années 50 montre l'importance des dépôts hydrothermaux exhalatifs que l'on peut étudier en cours de formation dans les fonds marins actuels (LYDON, 1988; GUNDLACH & MARCHIG, 1982; ROBERTSON & BOYLE, 1983; BONATTI, 1975; GUILLEMOT & NESTEROFF, 1979). Ces dépôts se forment dans les zones de rides médio-océaniques mais également dans les bassins marginaux, les arcs insulaires ou les zones de rift intra-plaque.

Les dépôts hydrothermaux actuels de la Mer Rouge en sont un exemple. Ils sont interprétés comme produits par des venues de solutions riches en métaux ayant circulé dans la lithosphère et se déchargeant sur le fond marin, dans des conditions topographiques empêchant un mélange avec l'eau de mer. Le milieu déficient en oxygène des saumures va favoriser la combinaison du soufre avec le Fe, Cu, Pb, Zn et autres métaux accessoires, en sulfures insolubles (BONATTI, 1975; KRIBEK, 1991).

Ces données fournissent des modèles applicables à une variété de gîtes métallifères tels que les sulfures massifs de type Kuroko ou Besshi, les sédiments manganésifères de complexes ophiolitiques ou les schistes noirs enrichis en métaux (EVANS, 1976; LOUKOLA-RUSKEENIEMI, 1991).

Les dépôts métallifères caractérisés par des enrichissements en Fe, Mn, accessoirement Cu, Pb, Zn et autres métaux en traces, représentent des dépôts hydrothermaux sous-marins post décharge qui se subdivisent en deux catégories (BONATTI, 1983):

- les dépôts concentrés, qui se forment à proximité de la source exhalative et contiennent les métaux sous forme d'oxydes, hydroxydes, silicates ou sulfures (dépôt du type de la Mer Rouge);
- les dépôts dilués, qui se forment à plus grande distance de la source, en mer profonde et contiennent les métaux sous forme d'oxydes, hydroxydes et silicates. Ils sont caractérisés par de plus fortes concentrations en manganèse. Ces formations se

rencontrent à proximité ou à quelque distance de structures actives mais l'existence de solutions chaudes associées n'a pas été démontrée. Elles peuvent former des champs extrêmement étendus, d'épaisseur importante.

#### Données géochimiques

Les analyses d'éléments traces dans un nombre réduit d'échantillons de pyrite de divers types de fahlbandes suggèrent deux modes de formation différents :

- une origine sédimentaire dans les fahlbandes des micaschistes;
- une origine hydrothermale applicables aux fahlbandes des amphibolites, des schistes chloriteux et des schistes noirs.

Les rapports Fe, Mn, Si dans les divers groupes de fahlbandes du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne présentent une bonne correspondance avec ceux des échantillons de sédiments métallifères du domaine de la Téthys. De même, les rapports (Cu+Ni+Co)-Fe-Mn des fahlbandes sont comparables à ceux des sédiments métallifères d'origine hydrothermale, ainsi que des dépôts du type de la Mer Rouge.

Une incertitude existe cependant concernant l'influence du métamorphisme sur les concentrations de ces éléments.

#### Discussion

De manière générale, l'origine des niveaux de fahlbandes du socle pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel, attribuée à des phénomènes soit sédimentaires, soit hydrothermaux exhalatifs, correspondrait à des dépôts syngénétiques dans les séries volcano-sédimentaires encaissantes.

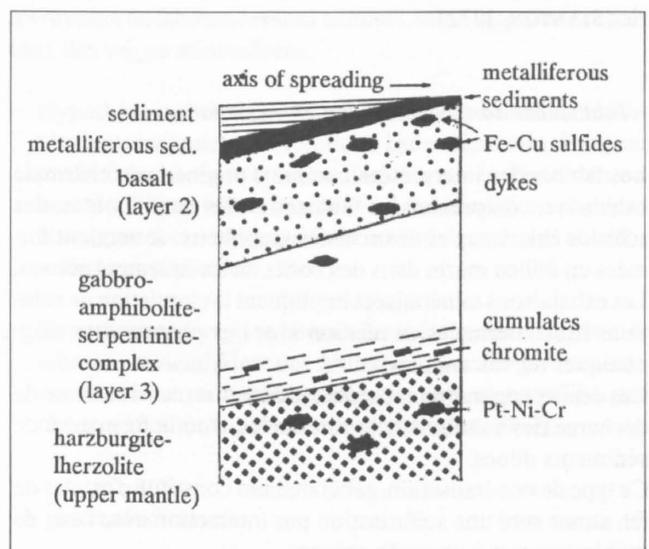


Fig. 21: Distribution schématique des dépôts métallifères dans la lithosphère océanique (BONATTI, 1975)

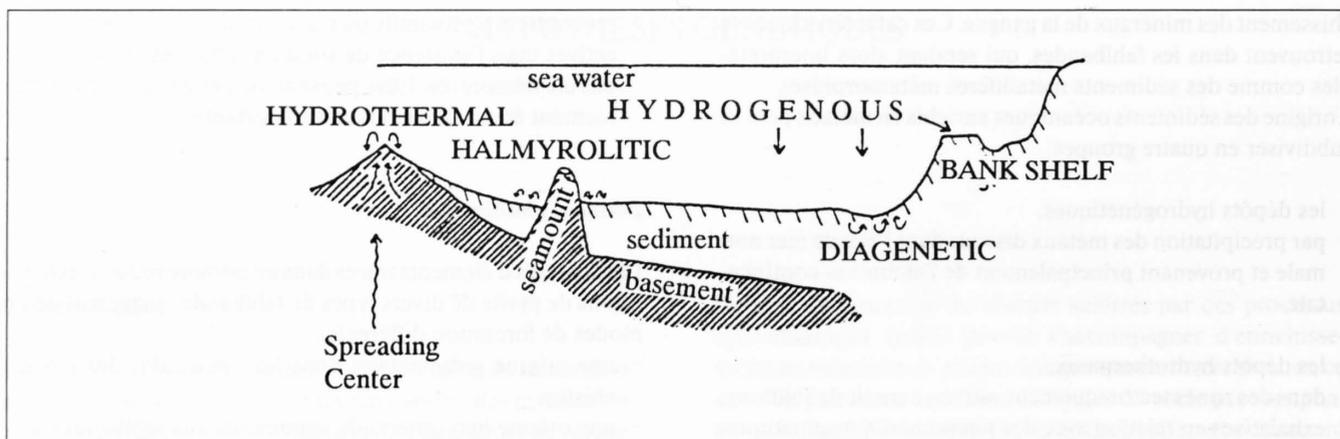


Fig. 22: Schéma illustrant les quatre types de sédiments métallifères (BONATTI, 1975)

- Fahlbands d'origine sédimentaire

Le mode de formation des fahlbandes des micaschistes, interprétées comme d'origine sédimentaire, correspond effectivement aux dépôts métallifères les plus répandus sur les fonds océaniques. Les métaux, dissous dans l'eau de mer et provenant essentiellement du lessivage continental, sont incorporés aux sédiments pélagiques. Ceux-ci s'accumulent lentement sur les fonds marins ou sur des reliefs à faible sédimentation.

Certains éléments métalliques, nettement enrichis dans ce type de fahlbandes relativement aux roches encaissantes, tels que Ni, Co, As, Th, peuvent provenir soit des dépôts primaires hydrogénétiques, soit de processus d'enrichissement diagénetiques.

En effet, lors de la compaction diagénetique ou du métamorphisme d'enfouissement, les éléments métalliques contenus dans des roches volcaniques poreuses, telles que des tufs, sont aisément piégés dans des niveaux pyriteux présents dans la série (STANTON, 1972).

- Fahlbands d'origine hydrothermale exhalative

Les fahlbandes interprétées comme d'origine hydrothermale exhalative, comprenant les fahlbandes des amphibolites, des schistes chloriteux et des schistes graphiteux, se seraient formées en milieu marin dans des zones tectoniquement actives. Les exhalaisons minéralisées impliquent la circulation de solutions hydrothermales en relation avec des phénomènes magmatiques ou volcaniques.

Ces dépôts apparaîtraient à une certaine distance de la zone de décharge des solutions hydrothermales, d'où la formation de sédiments dilués.

Ce type de minéralisation, généralement constitué d'oxydes de fer, aurait subi une sulfuration par interaction avec l'eau de mer intervenue à un stade précoce.

Il peut aussi s'agir de décharges en bassins fermés entraînant la précipitation des sulfures en milieu réducteur, type correspondant aux dépôts hydrothermaux de la Mer Rouge.

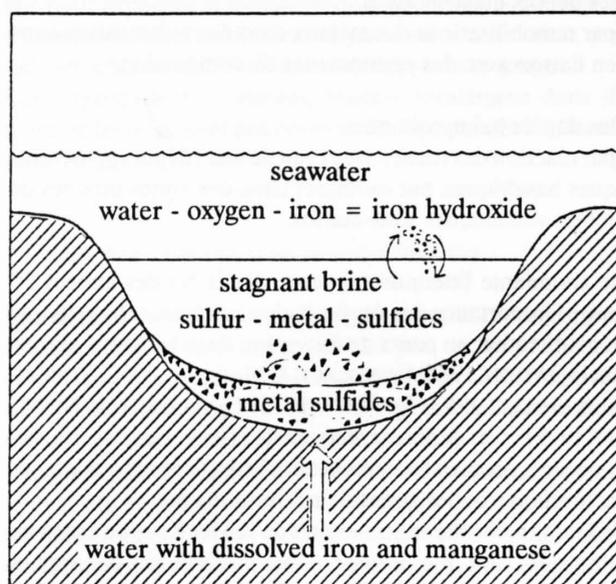


Fig. 23: Schéma illustrant la formation de dépôts sulfurés de bassins fermés du type de la Mer Rouge (BONATTI, 1975)

- Modèle géotectonique

L'âge de ces séries pré-westphaliennes n'est pas connu avec exactitude, cependant les données relatives à la géochimie des roches ont montré que certaines amphibolites intercalées dans la partie inférieure du socle pré-westphalien sont interprétables comme des basaltes ou basaltes transitionnels. Ceux-ci peuvent représenter un lambeau de fond océanique largement disparu lors de l'orogénèse alpine, correspondant à une cicatrice ophiolitique pré-westphalienne, ou caractériser un domaine de rift pré-océanique. Il peut donc s'agir de formations appartenant au domaine géosynclinal calédonien, comportant un épisode magmatique basique à la limite Cambrien-Ordovicien (THELIN & AYRTON, 1983). Ces roches sont surmontées par des amphibolites à plagioclases, intercalées dans des paragneiss, montrant des caractères de formation d'intérieur de plaque. Elles pourraient appartenir éventuellement au domaine hercynien.

Les fahlbandes associées aux schistes carbonifères sont également interprétées comme des dépôts du type des sédiments métallifères, formés dans des bassins continentaux ou zones de rifting, et qui font partie d'une série volcano-sédimentaire.

### 7.3 Les veines polymétalliques

L'interprétation métallogénique des veines minéralisées de la nappe de Siviez-Mischabel représente un problème complexe compte tenu de la variété des minéralisations et surtout des connaissances limitées concernant l'évolution géologique des terrains anté-triasiques de la nappe de Siviez-Mischabel encaissant les minéralisations.

L'origine des solutions hydrothermales reste hypothétique. Le modèle des isotopes de Pb des minéralisations et des roches encaissantes indique non seulement l'influence du métamorphisme alpin, mais aussi de la phase hercynienne (ZINGG, 1989).

Les solutions hydrothermales, classiquement attribuées à des phénomènes magmatiques, peuvent aussi être d'origine variée:

- métamorphique (par déshydratation),
- diagénétique (par circulation d'eau de formation),
- superficielle (par circulation d'eau de surface dans des systèmes hydrothermaux, BARNES, 1979).

Les métaux peuvent être soit d'origine primaire de type magmatique, soit secondaire par lessivage des roches altérées par les fluides hydrothermaux.

#### *Origine des solutions hydrothermales polymétalliques*

Les contrôles structuraux de nombreuses veines polymétalliques de la nappe de Siviez-Mischabel, dans des fissures ou des plans de schistosité alpins, permettent de leur attribuer un âge cénozoïque inférieur, en relation avec les déformations et le métamorphisme alpin (HUTTENLOCHER, 1925; NIGGLI, 1974). Cependant l'origine même des métaux ne paraît pas être liée à des phénomènes magmatiques alpins profonds, auquel cas des minéralisations polymétalliques devraient être réparties dans diverses unités structurales. Ces veines minéralisées alpines sont donc interprétées comme des remobilisations de dépôts préexistants, spécifiques à la nappe de Siviez-Mischabel.

L'origine des solutions hydrothermales, attribuée à des phénomènes magmatiques, pourrait être associée à divers épisodes possibles, d'affinité granitique pour la paragenèse à cuivre-bismuth et basique pour celle à nickel-cobalt.

#### *- Paragenèse à cuivre et bismuth*

Les épisodes magmatiques acides reconnus dans le socle de la nappe du Grand-St-Bernard (THELIN & AYRTON, 1983) sont :

- des intrusions granitiques d'âge Ordovicien supérieur à Carbonifère inférieur, d'affinité calco-alcaline, appartenant au cycle calédonien ou éo-hercynien. Ces roches de la zone de Bérisal et de Stalden supérieur, transformées en gneiss oeilés durant le métamorphisme hercynien, sont associées à des complexes rubanés qui suggèrent d'avantage une origine volcanique ou intrusive que magmatique;
- des granites alcalins porphyriques, appartenant à un magmatisme bi-modal d'âge stéphano-éopermien, formant des intrusions parfois hypovolcaniques, d'âge tardif à postcinématique hercynien;
- les gneiss oeilés de Randa dont les apophyses se développent à la limite entre le socle pré-westphalien et la couverture permo-carbonifère dans la partie N du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne, constituent les corps intrusifs acides les plus proches du secteur minéralisé et sont attribués au Permien.

#### *- Paragenèse à nickel-cobalt*

Les minéralisations primaires de la paragenèse à Ni-Co pourraient dériver des phénomènes magmatiques de caractère basique ou ultrabasique suivants:

- à la limite Cambrien-Ordovicien, environ 500 Ma, des intrusions de diapirs d'origine mantellique auraient produit des séries calco-alcalines différenciées comprenant des pyroxénites, tholéites, andésites et rhyodacites dans un contexte épiorogénique calédonien;
- au Carbonifère inférieur, environ 335 Ma et au Namurien, 325-315 Ma, ce qui correspond aux deux culminations du métamorphisme hercynien, des amphibolites peuvent s'être formées à partir du matériel basique provenant des cycles antérieurs;
- à l'Eopermien, (260 Ma), un magmatisme bimodal dans un contexte continental se traduit par la mise en place simultanée de roches plutoniques - gabbro, diorite, granite - et de roches volcaniques - basalte et rhyolite - dans la phase saalienne de la fin du cycle hercynien.

Un épisode de minéralisation hydrothermale permo-carbonifère semble indiqué par exemple dans les veines minéralisées en Ni et Co de la mine de Plantorin (Val de Tourtemagne), interprétées comme syngénétiques d'âge permo-carbonifère (SCHMUTZ, 1984).

La période allant du Westphalien supérieur au Permien inférieur a été reconnue comme une importante phase métallogénique dans les Alpes (HADITSCH & MOSTLER, 1982; FERAUD, 1983; SCHMUTZ, 1985).

L'épisode de magmatisme bi-modal lié au volcanisme permien de la fin du cycle varisque, correspondant à la phase saalienne, pourrait expliquer l'origine de minéralisations d'affinité basique à Ni-Co et acide à Cu-Bi, sans exclure cependant des remobilisations de minéralisations encore plus anciennes du cycle hercynien, voire même calédonien.

### 7.4 Relation génétiques entre veines polymétalliques et fahlbandes

Deux hypothèses sur les relations des veines minéralisées avec les niveaux de fahlbandes sont admises, selon la source des métaux des veines minéralisées.

- Hypothèse hydrothermale: les métaux des veines minéralisées proviendraient de solutions hydrothermales d'origine profonde et seraient «piégés» dans les zones d'intersection avec les fahlbandes qui déterminent des conditions physico-chimiques favorables pour la formation des sulfures et sulfarséniures (GAMMON, 1966).
- Hypothèse de sécrétion latérale: les métaux des veines minéralisées proviendraient des fahlbandes, par des processus de «sécrétion» et de remobilisation liés essentiellement à des phénomènes métamorphiques (ROUTHIER, 1963).

#### *Origine hydrothermale*

Cette première hypothèse peut s'appuyer principalement sur les paragenèses en présence. On y reconnaît d'une part des minéralisations de type «départ acide» comme à Baicoillou, où, à

côté des fortes teneurs en Cu et Bi, on trouve des enrichissements en Sn, Mo, W, Au, et, d'autre part, des minéralisations classiquement associées aux massifs intrusifs basiques et ultrabasiques, pouvant fournir des minéralisations de Ni et Co.

La localisation des veines minéralisées dans les zones comprenant les fahlbandes peut être vue comme résultant des conditions physico-chimiques du milieu. Les métaux, transportés dans des solutions aqueuses sous forme de complexes sulfurés ou chlorurés, pourront précipiter en présence d'un excès de soufre réduit. Cet élément peut être soit transporté dans des solutions sous forme d' $H_2S$ , soit fourni sur le site de dépôt, ce qui serait le cas dans les zones de fahlbandes.

Les veines carbonatées non minéralisées relativement fréquentes, en dehors des zones de fahlbandes, dans l'ensemble du socle pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel suggèrent des conditions de cristallisation de dépôts hydrothermaux non compatibles avec la formation des minéraux métalliques, en dehors des zones de fahlbandes.

#### Origine par sécrétion latérale

La deuxième hypothèse est fondée sur la présence, en terrain métamorphique, de veines et lentilles de quartz ou de carbonates résultant du remplissage des chenaux dans des zones de distension ou de fracturation. La silice, les carbonates et d'autres constituants incluant les éléments métalliques et le soufre proviendraient, selon cette interprétation, des roches encaissantes.

Selon Fyfe & Henley (1973), des conditions de métamorphisme du faciès amphibolitique à almandin sont suffisantes pour entraîner une déshydratation et un lessivage avec des concentrations de solutions dans des ouvertures disponibles. Des dépôts minéralisés peuvent se produire à partir de telles solutions par diminution de la température et de la pression dans des conditions correspondant au faciès schistes verts.

Comme exemple de ce type de dépôt, Boyle (1968) cite au Canada les veines aurifères du district de Yellowknife dans les territoires du Nord-Ouest, les veines de plomb-zinc-argent de Kenno Hill au Yukon ou les veines de nickel-cobalt du district de Cobalt en Ontario. Il mentionne également les veines argentifères du district de Kongsberg en Norvège, ce qui est en contradiction avec les conclusions de Gammon (1966).

Les analyses d'isotopes de Pb, qui présentent la même signature dans les veines minéralisées et les roches encaissantes, y compris les fahlbandes, indiqueraient une certaine remobilisation des métaux de l'encaissant dans les veines (Zingg, 1989).

#### Discussion

Malgré l'indication d'un transfert des métaux de l'encaissant vers les veines minéralisées, la présence de certains éléments s'explique mieux par des processus hydrothermaux de moyenne à haute température. Ceci s'applique en particulier pour le Bi, Th, Sb, Sn, Ag, Au, relativement enrichis dans les veines, mais qui ne présentent pas de concentration remarquable dans les fahlbandes, ni dans les roches encaissantes.

Ainsi les veines minéralisées de la région du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne pourraient provenir de dépôts hydrothermaux associés à des phénomènes magmatiques des cycles calédoniens ou hercyniens, dans lesquels l'importance de la phase saalienne a été reconnue.

Des remobilisations liées au métamorphisme alpin sont indiquées par les contrôles des minéralisations dans les structures alpines.

La localisation des veines minéralisées dans les zones contenant les niveaux stratiformes de fahlbandes est attribuée aux conditions physico-chimiques favorables dans ces milieux sulfurés (diminution du pH et augmentation de l'activité du soufre). Ainsi l'interaction des fahlbandes sur les solutions en circulation entraînerait la précipitation des composés polymétalliques, sans apport essentiel de métaux des fahlbandes.

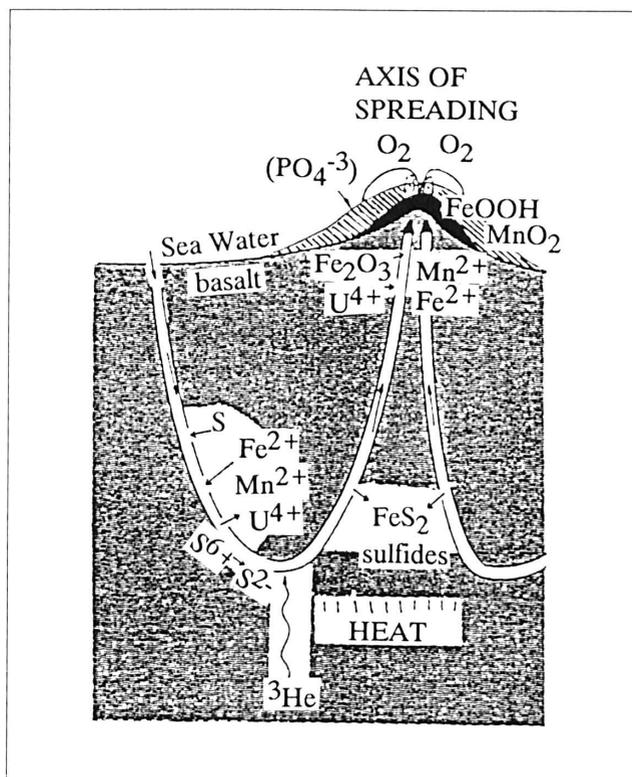


Fig. 24: Modèle schématique de dépôts hydrothermaux dans des zones d'accrétion (BONATTI, 1975)

## 7.5 Les dépôts cuprifères de la nappe du Tsaté

Le modèle couramment admis pour expliquer l'origine des dépôts stratiformes de sulfures massifs dans les séries ophiolitiques alpines fait appel à des processus hydrothermaux en milieu océanique dans des zones de distension associées à des dorsales ou à des failles transformantes (BECCALUVA et al., 1984). La série des calcschistes à intercalations de prasinites contenant les niveaux sulfurés dans la nappe du Tsaté est considérée comme formée dans des conditions d'expansion du fond océanique dans le bassin piémontais, au Jurassique supérieur et Crétacé inférieur (DAL PIAZ et al., 1981).

Le mécanisme de minéralisation invoqué implique des cellules convectives de circulation d'eau de mer dans des zones perméables entourant des secteurs faillés profonds qui constituent les conduits des solutions ascendantes à haute température (fig. 24). La source des métaux a été diversement attribuée à des processus de lessivage par l'eau de mer des séries volcaniques traversées, à des processus métamorphiques de spilitisation ou à des apports profonds, en liaison avec des phénomènes de différenciation magmatique (BONATTI, 1975; STANTON, 1972).

Les études d'isotopes stables montrent que l'eau de mer constitue la source dominante des fluides hydrothermaux (SPONER, 1977), bien qu'un apport d'éléments d'origine mantellique (par exemple He) indique aussi une influence magmatique ou une circulation des eaux à des profondeurs atteignant plusieurs km.

Dans les ophiolites alpines, ce mode de formation s'applique à des dépôts de sulfures massifs à Cu, Fe (Zn, Au) qui apparaissent aussi bien au sommet de sections de laves en coussins spilitisées, en contact avec des sédiments, que dans des séries de calcschistes à intercalations de prasinites, ces dernières étant interprétées comme des métavolcanites et métatuffites. Les divers types de minéralisation observés peuvent correspondre à différents stades de formation :

- les niveaux et lentilles de pyrite relativement massive à Cu, Zn et Au accessoires dans des prasinites enrichies en quartz, s'apparentent à des dépôts syn-décharge à proximité de la source exhalative;
- les niveaux de pyrite disséminés dans les prasinites, apparaissant le long des mêmes horizons que les niveaux plus massifs, représenteraient des dépôts post-décharge de type concentrés ou dilués, mais formés à plus grande distance de la source que les précédents. Ces niveaux représenteraient l'équivalent de certaines fahlbandes de la nappe de Siviez-Mischabel, liés aux amphibolites en particulier;
- enfin les veines minéralisées du type de la mine de La Lé correspondraient à des remobilisations liées au métamorphisme alpin ou à des dépôts hydrothermaux de la phase océanique pré-décharge.

## 8 CONCLUSIONS

Cette étude des fahlbandes et des minéralisations filoniennes polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne nous a conduit à proposer des hypothèses génétiques fondées essentiellement sur des observations minéralogiques et structurales ainsi que sur des données géochimiques.

Il apparaît qu'il existe divers types de fahlbandes associées à des roches métasédimentaires et métavolcaniques représentées essentiellement par des micaschistes, schistes graphiteux, schistes chloriteux et amphibolites, dans le socle cristallin de la nappe de Siviez-Mischabel.

La mise en évidence de caractères texturaux anté-métamorphiques des sulfures des fahlbandes et leur structure en grand concordance à un plan de stratification  $S_0$  suggèrent une origine précoce de ces niveaux sulfurés, compatible avec des dépôts syngénétiques.

Les caractères géochimiques des fahlbandes du socle polycyclique de la nappe de Siviez-Mischabel ont été comparés à ceux des sédiments métallifères de fonds marins actuels ainsi que des séries ophiolitiques de la Téthys. Leurs similitudes nous permettent ainsi de proposer une origine du type des sédiments métallifères pour les fahlbandes.

Ces dépôts, enrichis en fer et manganèse, peuvent se former dans un milieu sulfuré par des phénomènes sédimentaires variés tels que hydrogénétiques, hydrothermaux exhalatifs, diagénétiques ou halmyrolitiques. Une source des métaux importante qui pourrait être intervenue est représentée par des solutions minéralisées exhalatives dans des zones tectoniquement actives. La proximité de la zone de décharge et le relief sous-marin semblent jouer un rôle dans la concentration des sulfures. Une dépression dans la zone proximale des sources hydrothermales va favoriser l'accumulation de sulfures massifs, alors qu'un milieu distale plus ouvert va entraîner la dilution des solutions minéralisées, et l'extension des dépôts métalliques sur une plus grande surface, ce qui correspondrait aux fahlbandes.

Les contrôles structuraux des minéralisations filoniennes suggèrent une cristallisation liée à une phase de déformation méso-alpine. Il est possible qu'il s'agisse de remise en circulation entraînée par le métamorphisme alpin de dépôts préexistants, liés à un magmatisme hercynien, voire plus ancien. Les données géochimiques semblent indiquer que la source des métaux des veines minéralisées ne peuvent pas provenir uniquement des fahlbandes, contrairement à ce qui était admis dans l'hypothèse de sécrétion latérale.

Les relations spatiales de ces minéralisations filoniennes polymétalliques et des fahlbandes sont attribuées aux réactions des solutions minéralisées d'origine profonde circulant dans des plans structuraux alpins, avec les roches encaissantes des parois, dans le milieu sulfuré des fahlbandes.

Les résultats obtenus dans cette étude sont une contribution au domaine fort peu connu de la métallogénie des nappes penniques. Ils devraient susciter la poursuite des recherches afin de confronter les modèles proposés aux nouvelles données géologiques dans ce secteur des Alpes, concernant en particulier l'origine et l'évolution des socles cristallins.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARNOLD, R.G. (1962): Equilibrium relations between pyrrhotite and pyrite from 325°C to 743°C. *Econ. Geol.*, 57, 72-90.
- BARNES, H.L. (1979): *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd edition. John Wiley & Sons. New York, Chichester.
- BEARTH, P. (1963): Contribution à la subdivision tectonique et stratigraphique du cristallin de la nappe du Grand Saint-Bernard dans le Valais. - Livre à la mémoire du Prof. P. Fallot, 2, 407-418.
- BECCALUVA, L., DAL PIAZ, G.V. & MACCIOTTA, G. (1984): Transitional to normal MORB affinities in ophiolitic metabasites from the Zermatt-Saas, Combin and Antrona units, Western Alps : implications for the paleogeographic evolution of the Western Tethyan Basin. *Geologie en Mijnbouw* 0016-7746/84/, 165-177.
- BERNASCONI, R., & GILLY, M. (1979): Etude géologique et pétrographique du flanc oriental du moyen Val d'Anniviers. *Dipl. Géol.*, inéd., Univ. Lausanne.
- BONATTI, E. (1975): Metallogenesis at oceanic spreading centers. *Annual Rev. Earth Planet Scien.*, 3, 404-431.
- BONATTI, E. (1983): Hydrothermal metal deposits from the oceanic rifts : a classification. in: *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers*. RONA, P. A., BAUSTRÖM, K., LAUBIER, L., SMITH, K. L. (eds.), 491-502.
- BOULADON, J. (1977): Répartition des gîtes métallifères dans les contextes géologiques sédimentaires et volcano-sédimentaires. *Chronique de la Recherche minière*, 439, 21-28.
- BOYLE, R.W. (1968): Fahllands, sulfide schists and ore deposition. *Econ. Geol.* 63, 835-838.
- BRALIA, A., SABATINI, G. & TROJA, F. (1979): A revaluation of the Co/Ni ratio in pyrite as geochemical tool in ore genesis problems. *Mineral. Deposita*, 14, 353-374.
- BRUNNER, CH. & LAVANCHY, J.M. (1981): Etude géologique - minéralogique-pétrographique de la région de la Corne de Sorebois (Val de Moiry, Val de Zinal, Vs). *Dipl. Géol.*, inéd., Univ. Lausanne.
- BUGGE, C. (1918): Kongsbergfeltets geologi. *Norges geol. undersøkelse*, 82.
- CAMBEL, B. & JARKOVSKY, J. (1968): Geochemistry of nickel and cobalt in pyrrhotines of different genetic types. *Int. Geol. Congr. 23rd Sess.*, Prague, sect. 6, Geochemistry, 169-183.
- CAMBEL, B. & JARKOVSKY, J. (1969): Rare elements in pyrite deposits of the Western Carpathians in connection with genetic problems of mineralization. In: *Problems of Geochemistry*. KHITAROV, H. I. (ed.), 1, 266-282.
- DAL PIAZ, G.V., VENTURELLI, G.S., SPADEA, P. & DI BATTISTINI, G. (1981): Geochemical features of metabasalts and metagabbros from the Piemonte ophiolite nappe, Italian Western Alps. *Neues Jahrb. Mineral.*, 142/3, 248-269.
- DE LAUNAY, L. (1913): *Traité de métallogénie. Gîtes minéraux et métallifères*. Tome I. Ch. Beranger, Paris.
- DELLA VALLE, G. (1988): Contribution à l'interprétation métallogénique des fahlbandes et des veines polymétalliques du val d'Anniviers et du val de Tourtagnne (Valais). Thèse inédit. Univ. Lausanne.
- DELLA VALLE, G. (1991): *Métallogénie de l'or en Suisse*. Rapport final: Valais. Inéd., Univ. Genève.
- DYMOND, D. (1981): Geochemistry of Nazca plate surface sediments: an evaluation of hydrothermal biogenic, detrital and hydrogenous sources. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 154, 133-173.
- ESCHER, A. (1988): Structure de la nappe du Grand St-Bernard entre le Val de Bagnes et les Mischabel. *Rapp. géol. Serv. hydrol. et géol. natl.* 7.
- ESCHER, A., MASSON, H., & STECK, A. (1987): Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses. *Rapp. géol. Serv. hydrol. et géol. natl.* 2.
- EVANS, A.M. (1976): Mineralization in geosynclines. In: *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*, 4, WOLF, K.H. (ed.).
- FEHLMANN, H. (1919): *Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges*. Kümmerly & Frey, Bern.
- FEHLMANN, H. (1947): *Der schweizerische Bergbau während des zweiten Weltkrieges*. Herausgegeben vom Büro für Bergbau des Eidgenössischen Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamtes.
- FERAUD, J. (1983): Ore veins linked to old emersion surfaces in the crystalline basement of Provence and the external belt of the French-Italian Alps. In: *Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe*. *Proceedings of the W. ISMIDA 1981*. SCHNEIDER, H. J. (ed.).
- FERGUSON, J. & LAMBERT, I.B. (1972): Volcanic exhalations and metal enrichments at Matupi Harbour, New Britain. *Econ. Geol.*, 67, 25-37.
- FRANK, W., KLEIN, P., NOWY, W. & SCHARBERTS, S. (1976): Die Datierung geologischer Ereignisse im Altkristallin des Gleinalpe (Steiermark) mit der Rb/Sr-Methode. *Tsch. Min. Petr. Mitt.*, 23, 191-203.
- FREY, M., HUNZIKER, J.C., FRANCK, W., BOCQUET, J., DAL PIAZ, G., JAEGER, E. & NIGGLI, E. (1974): Alpine Metamorphism of the Alps. A review. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 54, 247-290.
- FYFE, W.S. & HENLEY, R.W. (1973): Some thoughts on chemical transport processes, with particular reference to gold. *Miner. Sci. Engng*, 5, 195-303.
- GAMMON, J.B. (1966): Fahlland in the Precambrian of Southern Norway. *Econ. Geol.*, 61, 174-188.
- GILLIERON, F. (1946): *Geologisch-petrographische Untersuchungen an der Ni-Co-Lagerstätte Kaltenberg*. *Breitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser.* 25.

- GUILLEMOT, D. & NESTEROFF, W.D. (1979): Les dépôts métallifères crétacés de Chypre: Comparaison avec leurs homologues actuels du Pacifique. In: *Ophiolites Proceed. Internat. Ophiol. Symp. Cyprus*, PANAYIOTOU, A. (ed.).
- GUNDLACH, H. & MARCHIG, V. (1982): Ocean Floor «Metalliferous Sediments» – Two possibilities for genesis. In: *Ore genesis, The State of the Art. Spec. publ. No 2 of the Soc. for Geol. Appl. to Min. Depos.*, AMSTUTZ, G. C., GORESY, A. EL., FRENZEL, G., KLUTH, C., MOH, G., WAUSCHKUH, A., ZIMMERMANN, R. A. (eds.), 200-210.
- HADITSCH, J.G. & MOSTLER, H. (1982): Late Variscan and Early Alpine Mineralization in the Eastern Alps. In: *Ore Genesis. The State of the Art. Spec. publ. No 2 of the Soc. for Geol. Appl. to Min. Depos.*, AMSTUTZ, G. C., GORESY, A. EL., FRENZEL, G., KLUTH, C., MOH, G., WAUSCHKUH, A., ZIMMERMANN, R. A. (eds.), 582-589.
- HALM, E. (1945): Die Kupfer-Wismut-Lägerstätten im obern Val d'Anniviers (Wallis). *Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 22*.
- HUNZIKER, J.C. & ZINGG, A. (1980): Lower Palaeozoic amphibolite to granulite facies metamorphism in the Ivrea Zone (Southern Alps, Northern Italy). *Bull. suisse Minéral. Pédrogr.* 60/2-3, 181-213.
- HUTTENLOCHER, H.F. (1925): Zur Kenntnis verschiedener Erzgänge aus dem Penninikum und ihrer Metamorphose. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 5, 181-229.
- KRAUSKOPF, K.B. (1957): Separation of manganese from iron in sedimentary processes. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 12, 64-84.
- KRIBEK, B. (1991): Metallogeny, structural, lithological and time controls of ore deposition in anoxic environments. *Mineral Deposita* 26, 122-131.
- LEAKE, B.E. (1964): The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. *Journal of Petrology*, 5/2, 238-254.
- LOUKOLA-RUSKEENIEMI, K. (1991): Geochemical evidence for the hydrothermal origin of sulphur, base metals and gold in Proterozoic metamorphosed black shales, Kainuu and Oulokumpu areas, Finland. *Mineral Deposita* 26, 152-164.
- LYDON, J.W. (1988): Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 1: a descriptive model. Part 2: genetic models. In *ore deposit models*. ROBERTS, R.G. & SHEAHAN, P.A. (eds.), *Geoscience Canada. Reprint series 3*, 145-162.
- MARTHALER, M. (1984): Géologie des unités penniques entre le Val d'Anniviers et le Val de Tourtemagne (Valais, Suisse). *Eclogae geol. Helv.*, 77/2, 395-446.
- MOORKHERJEE, A. (1976): Ores and Metamorphism: temporal and genetic relationships. In: *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*, 4, WOLF, K.H. (ed.), Elsevier, Amsterdam.
- NIGGLI, E. (1974): Alpine Metamorphose von Erzvorkommen der Schweizer Alpen. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 54/2-3, 595-608.
- PEARCE, J.A. (1982): A «user guide» to basalt discrimination diagrams. Dept. of Earth Sciences, the Open University, Milton Keynes, England.
- PEARCE, J.A. & NORRIS, M.G. (1979): Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 33-47.
- PILLOUD, C. & SARTORI, M. (1981): Etude géologique et pétrographique de la région des Diablons (Val de Zinal, Vs). Dipl. inédit Univ. Lausanne.
- PLIMER, I.R. (1978): Proximal and distal stratabound ore deposits. *Mineral. Deposita*, 13, 345-353.
- ROBERTSON, A.H.F. & BOYLE, J.F. (1983): Tectonic setting and origin of metalliferous sediments in the mesozoic Tethys Ocean. In: *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers*. RONA, P. A., BAUSTRÖM, K., LAUBIER, L., SMITH, K. L. (eds), 595-663.
- ROUTHIER, P. (1963): Les Gisements métallifères, Géologie et Principes de Recherches. MASSON & Cie (ed.).
- SARTORI, M. (1987): Structure de la zone du Combin entre les Diablons et Zermatt (Valais). *Eclogae geol. Helv.*, 80/3, 789-814.
- SARTORI, M. (1987): Blocs basculés briançonnais en relation avec leur socle originel dans la nappe de Siviez-Mischabel (Valais, Suisse). *C. R. Acad. Sci. Paris, t. 305, Série II*, 999-1005.
- SARTORI, M. (1990): L'unité du Barrhorn (Zone pennique, Valais, Suisse). *Mém. de Géol. (Lausanne)* 6.
- SARTORI, M. & THELIN, PH. (1987): Les schistes ocellés albitiques de Barneuz (Nappe de Siviez-Mischabel, Valais). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 67, 229-256.
- SARTORI, M. & DELLA VALLE, G. (1986): La minéralisation en nickel et cobalt du Pipjittälli (Turtmanntal, Valais). *Eclogae geol. Helv.*, 79/3, 685-703.
- SCHMIDT, C. (1920): Texte explicatif de la carte des gisements des matières premières minérales de la Suisse 1:500'000. *Matér. Géol. Suisse*, Ser. géotech.
- SCHMUTZ, L. (1984): Mineralbildende Prozesse an einer Erzlagerstätte im Val d'Anniviers (Wallis, Schweiz). *Diss. Univ. Basel*.
- SCHMUTZ, L. (1985): Genesis of hydrothermal ore deposits in pennic nappes of Valais Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 65, 126.
- SIGG, J. (1944): Contribution à l'étude pétrographique et minière de la partie inférieure du Val d'Anniviers et plus particulièrement de la région St.-Luc-Bella Tola. *Matér. Géol. Suisse, Ser. géotech.* 21.
- SPOONER, E.T.C (1977): Cu-Pyrite mineralisation and sea-water convection in oceanic crust – the ophiolitic ore deposits of Cyprus. In: *The Continental Crust and its Mineral Deposits*, Stragway, D.W. (ed.). *Geol. Ass. of Canada Pap.*, 20, 685-704.
- STANTON, R.L. (1972): *Ore Petrology*. McGraw-Hill, Book Company. New York.
- STECK, A. (1984): Structures de déformation tertiaires dans les Alpes centrales. *Eclogae geol. Helv.*, 77/1, 55-100.
- STILLE, P. (1980): On the genesis of the amphibolites and hornblendefels in the Berisal Complex (Simplon; Italy-Switzerland). *Mem. Ist. geol. Univ. Padova*, XXXIV, 205-246.

- THELIN, PH. & AYRTON, S. (1983): Cadre évolutif des événements magmatico-métamorphiques du socle anté-triasique dans le domaine pennique (Valais). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 63, 393-420.
- TRUMPY, R. (1973): L'évolution de l'orogénèse dans les Alpes centrales: interprétation des données stratigraphiques et tectoniques. *Eclogae geol. Helv.*, 66/1, 1-10.
- VISSER, J. (1980): *International Dictionary of Geological Terms*. Royal Geological and Mining Society of the Netherlands. Martinus Nijhoff, The Hague, Boston.
- VOKES, F.M. (1969): A review of the metamorphism of sulphide deposits. *Earth Sci. Rev.*, 5, 99-143.
- WHITEHEAD, R.E. (1973): Environment of sulphide deposition; variation in Mn:Fe ratio in host rocks at Heath Steele Mine, New Brunswick, *Canad. Mineral. Deposita*, 8, 148-160.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- WOODTLI, R., JAFFE, F., VON RAUMER, J. & DELLA VALLE, G. (1987): Prospection minière en Valais: le projet Uromine. *Matér. Géol. Suisse, Ser. Géotech.*, 72.
- ZIMMERMANN, E. (1948): *Geologische Untersuchungen der Zone du Combin im Val de Zinal und val de Moiry (Les Diablons - Garde de Bourdon)*. *Eclogae geol. Helv.*, 48/1, 149-243.
- ZINGG, M.A. (1989): *Die Siviez-Mischabel Decke: Entstehung und Entwicklung eines Altkristallins und seiner Vererzungen (Wallis, Schweiz)*, Diss ETH Nr. 8997.

## PLANCHES

CARTE GEOLOGIQUE ET METALLOGENIQUE  
DU VAL D'ANNIVIERS ET DU VAL DE TOURTEMAGNE

Adapté de ESCHER, (1988)

LEGENDE:

Nappe de Siviez-Mischabel

- |   |                                 |                       |
|---|---------------------------------|-----------------------|
|  | Couverture sédimentaire.        | Mésozoïque et Permien |
|  | Schistes graphiteux, arkose     | Carbonifère           |
|  | Gneiss chloriteux, amphibolite  | pré-Westphalien       |
|  | Schiste oillé albitique         | pré-Westphalien       |
|  | Gneiss et micaschiste, amphibo. | pré-Westphalien       |
|  | Fahlbandes                      |                       |

Nappe du Tsaté

- |   |                                |                    |
|---|--------------------------------|--------------------|
|  | Calcschiste, schiste pélitique | Crétacé sup.       |
|  | Prasinities                    | Jurassique-Crétacé |
|  | Serpentinities, métagabbro     | Jurassique         |

Nappe de la Dent Blanche

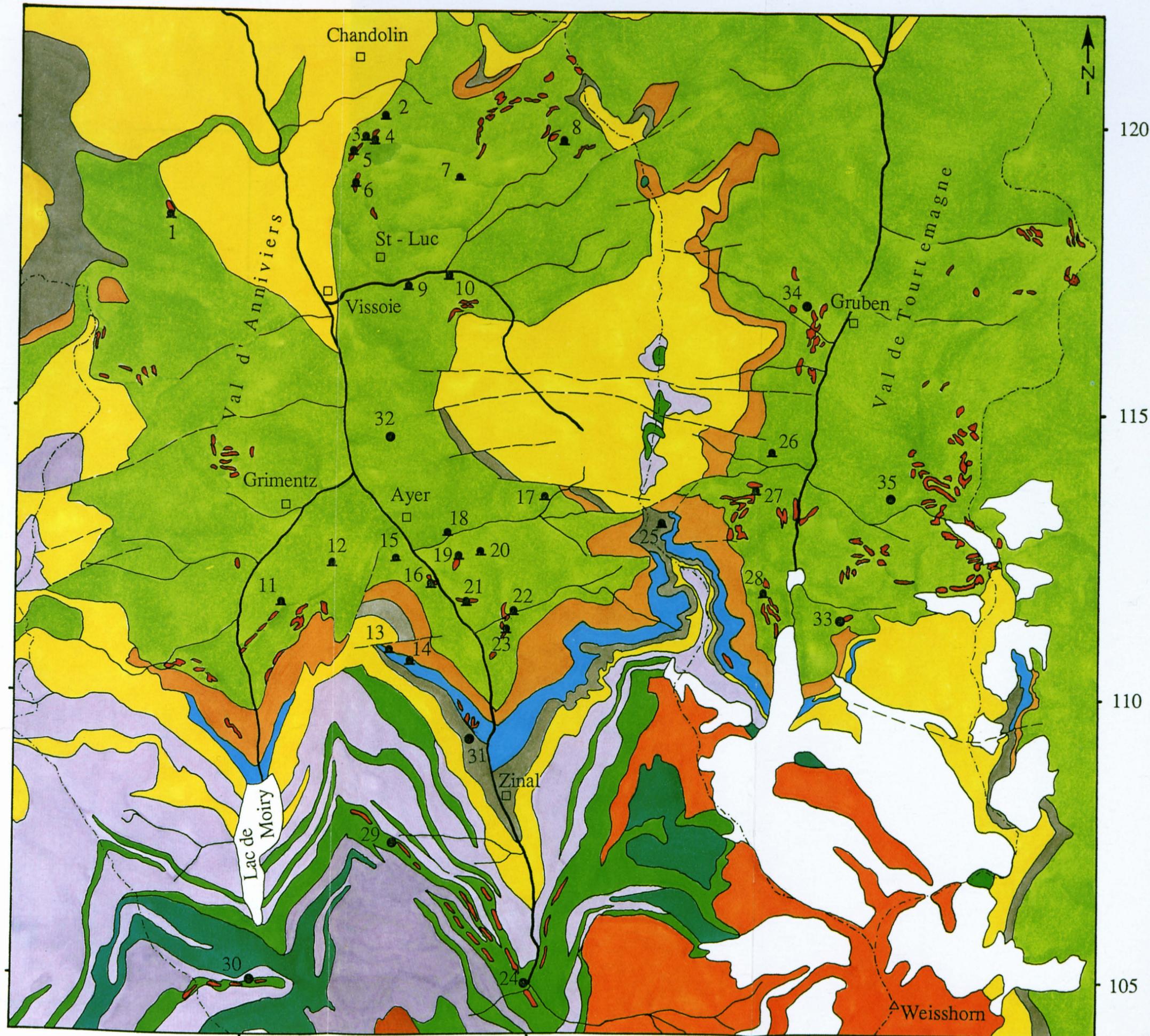
- |   |                                |                |
|---|--------------------------------|----------------|
|  | Socle cristallin indifférencié | Anté-triasique |
|---|--------------------------------|----------------|

▲ Anciennes mines (WOODTLI et al., 1987)

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1 Pinsec (Ni Co)                 | 15 Rousson (Ni Co)      |
| 2 Gosan (Cu Pb)                  | 16 Pont de Bois (Pb Cu) |
| 3 Termino (Pb Cu)                | 17 Les Virois (Cu)      |
| 4 Fusette (Pb Zn Cu)             | 18 Gollyre (Ni Co)      |
| 5 Colliou (Pb Ag/Ni Co)          | 19 Grand Praz (Ni Co)   |
| 6 Barma (Cu)                     | 20 Bourimont (Cu Bi)    |
| 7 Tignousa (Fe Cu)               | 21 Lapine Rousse (Cu)   |
| 8 Garboula (Cu)                  | 22 Barneuza (Fe)        |
| 9 Torrent des Moulins (Pb Zn Cu) | 23 Gruitaz (Pb)         |
| 10 Pont des Moulins (Cu)         | 24 La Lé (Cu)           |
| 11 Baïcolliou (Cu Bi)            | 25 Plantorin (Ni Co)    |
| 12 Tsirouc (Cu Bi)               | 26 Bitzen (Ni Co)       |
| 13 Biolec (Cu Bi)                | 27 Kaltenberg (Ni Co)   |
| 14 Pétolliou (Cu Bi)             | 28 Turtmann (Ni Co)     |

● Indices nouveaux (WOODTLI et al., 1987)

- |                           |
|---------------------------|
| 29 Laulosses (Cu - Zn Au) |
| 30 Moiry (Cu - Zn Au)     |
| 31 Pralong (Pb Zn)        |
| 32 Mission (W)            |
| 33 Pipji (Ni Co)          |
| 34 Meidbach (Au)          |
| 35 Brändjispitz (Au)      |



610

615

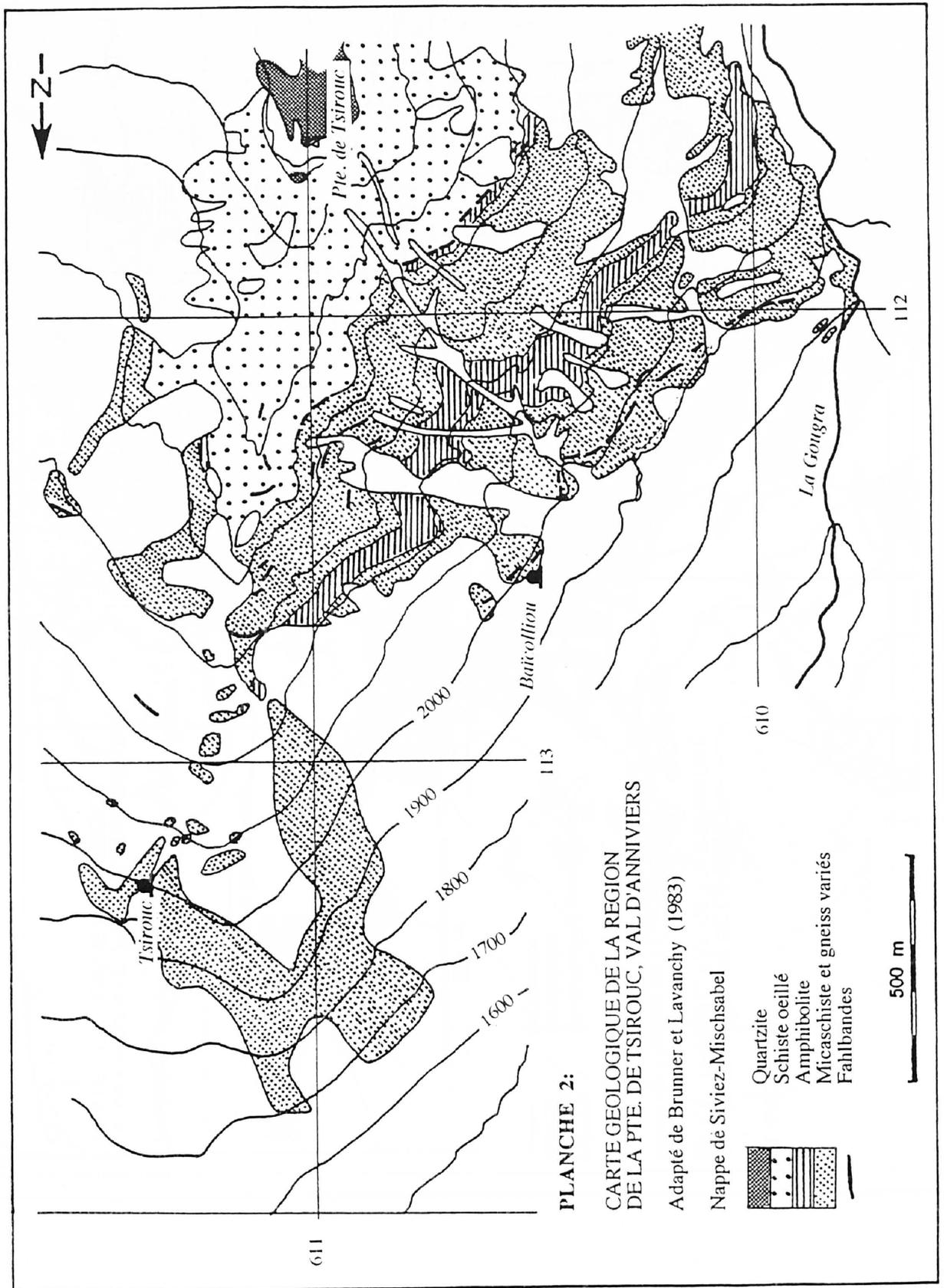
620

120

115

110

105

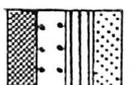
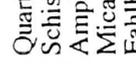
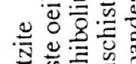
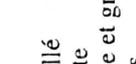


**PLANCHE 2:**

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE LA PTE. DE TSIROUC, VAL D'ANNIVIERS

Adapté de Brunner et Lavanchy (1983)

Nappe de Siviez-Mischsabel

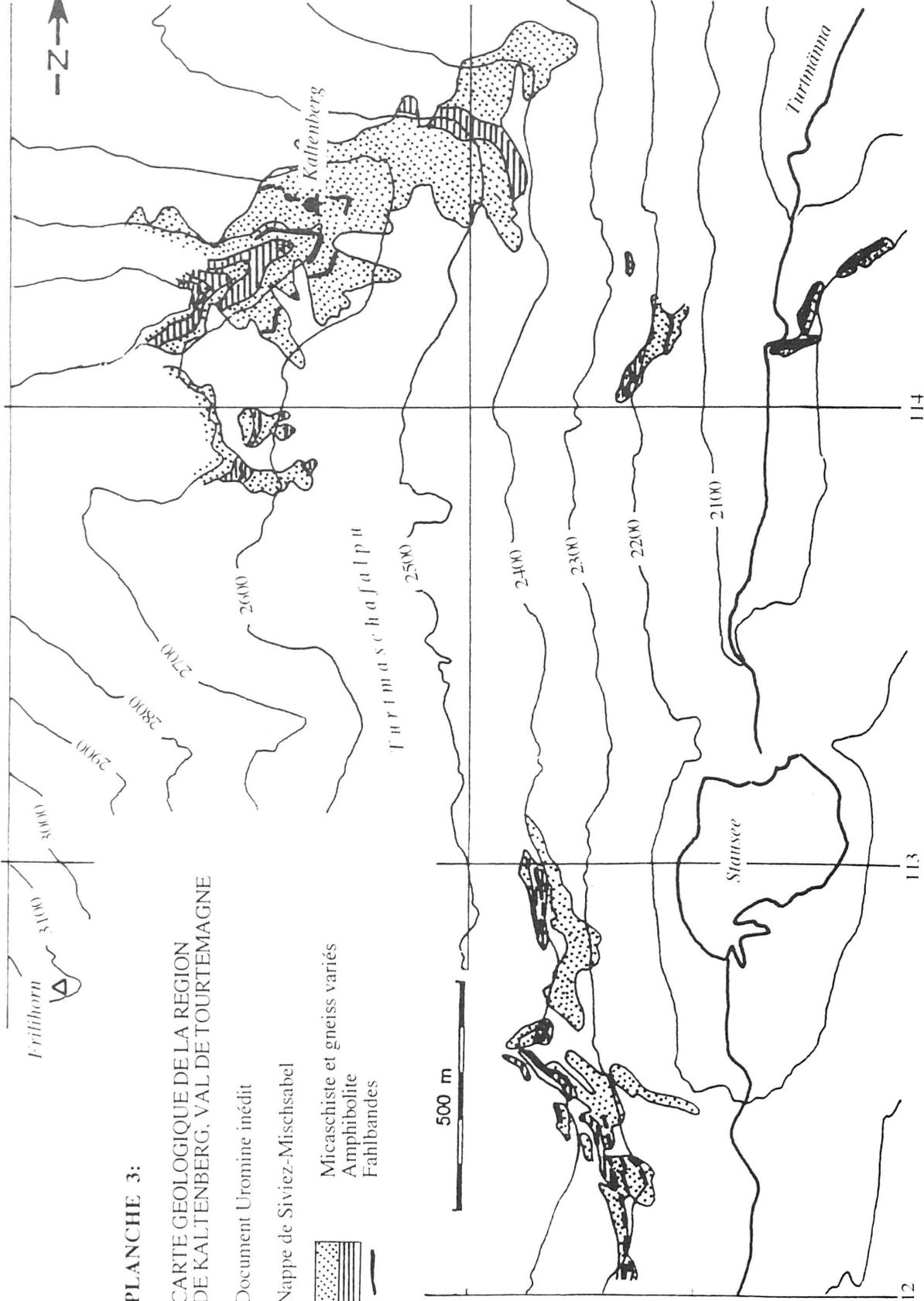
-  Quartzite
-  Schiste oeilé
-  Amphibolite
-  Micaschiste et gneiss variés
-  Fahlbandes



618



619



**PLANCHE 3:**

**CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE KALTENBERG, VAL DE TOURTEMAGNE**

Document Uromine inédit

Nappe de Siviez-Mischsabel



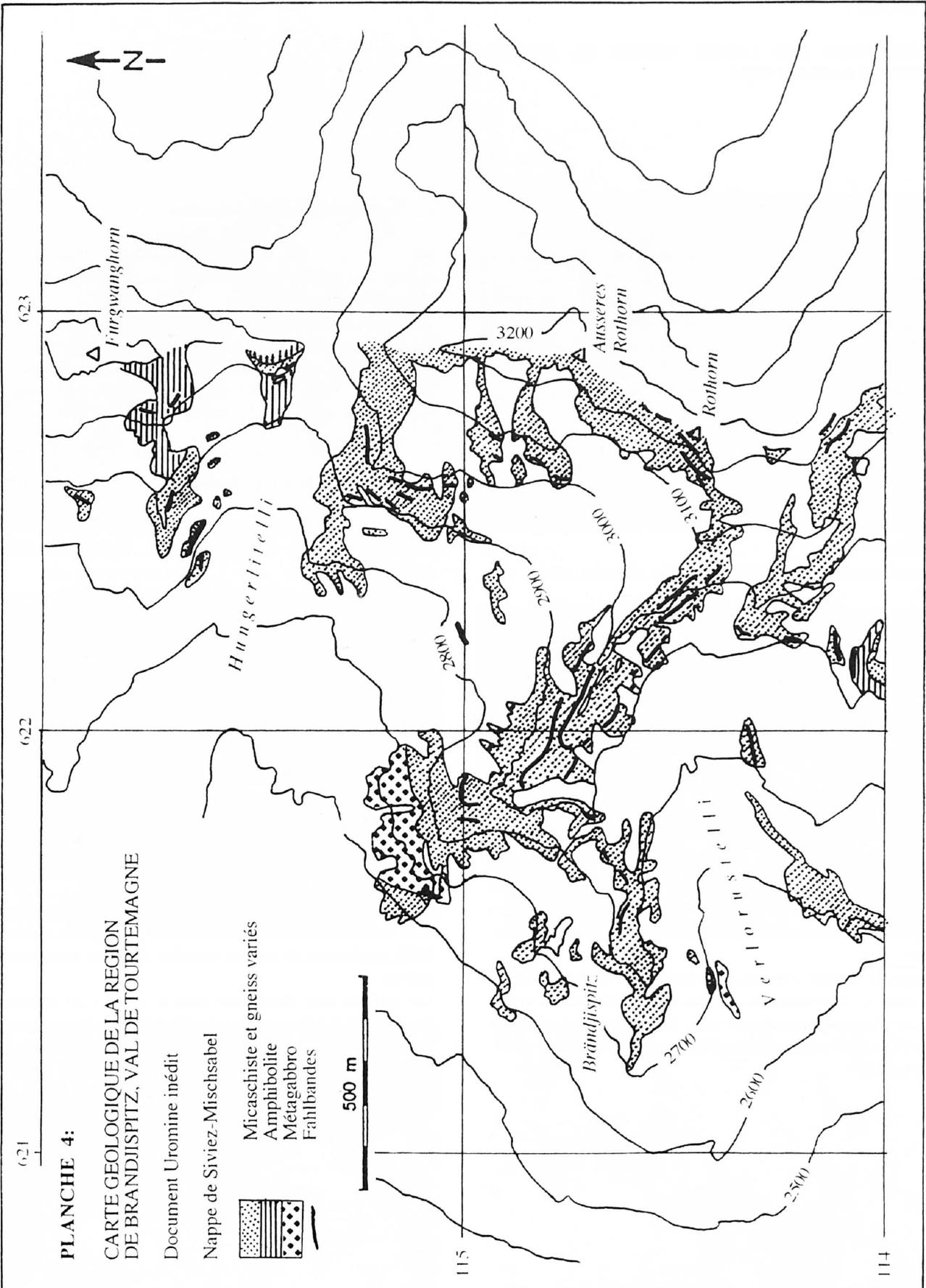
- Micaschiste et gneiss variés
- Amphibolite
- Fahlbandes



112

113

114



**PLANCHE 4:**

**CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE BRANDISJIPITZ, VAL DE TOURTEMAGNE**

Document Uromine inédit

Nappe de Siviez-Mischsabel



Micaschiste et gneiss variés  
 Amphibolite  
 Métagabbro  
 Fahlbandes

500 m

DESCRIPTION DES LAMES MINCES DE DIVERS  
TYPES DE FAHLBANDES

**Fahlbandes de micaschistes quartzeux**

Fig. 1: Lame A-26-3. Mine de Kaltenberg, Val de Tourtemagne (618.9/114.61).

Micaschiste à quartz, albite, muscovite, calcite, chlorite, pyrite et pyrrhotine de texture grano-lépidoblastique.

Alignement de minéraux opaques dans le plan de la schistosité principale S2. La schistosité primaire S1, microplissée à l'intérieur de microlithons, contient également quelques grains de sulfures pouvant correspondre à des reliques d'une première orientation.

Fig. 2: Lame S-23-4A. Karlustafil, Val de Tourtemagne (619.0/112.62).

Micaschiste à quartz, albite, muscovite, chlorite, grenat, sulfures.

Les minéraux opaques sont concentrés en lits orientés principalement dans le plan de la schistosité principale S2, mais par place aussi dans celui de la schistosité primaire S1, en formant des microplis typiques. Une réorientation des sulfures dans la direction de S2, à l'intérieur des lits contrôlés par S1, correspondrait à des remobilisations in situ.

**Fahlbandes des amphibolites à grenat et des amphibolites à épidote**

Fig. 3: Lame A-25-8. Karlustafil, Val de Tourtemagne (619.01/112.61).

Amphibolite à grenat, quartz, albite, muscovite, chlorite, sulfures.

Agrégat de sulfures orientés dans le plan de la schistosité principale S2, et concentrés dans les ombres de pression d'un porphyroblaste d'hornblende verte. Celle-ci est partiellement remplacée par du quartz, micas blancs, grenat, sphère et minéraux opaques.

**Fahlbandes des schistes carbonifères**

Fig. 4: Lame 4-30-S. Pralong, Val de Zinal (613.94/110.35).

Schiste à porphyroblastes d'albite, quartz, calcite, muscovite, chlorite, minéraux opaques

Texture grano-lépidoblastique hétérogranulaire .

Les minéraux opaques en agrégats orientés dans l'ensemble selon la schistosité principale S2 moulent les porphyroblastes d'albite et s'accumulent dans les ombres de pression entre microlithons, par remplissage d'interstices avec la calcite.

**Prasinites à pyrite (nappe du Tsaté)**

Fig. 5: Lame 1-27-S. Laulosses, Val de Zinal (612.66/112.41).

Schistes quartzeux à pyrite, chlorite, muscovite, albite et sphène.

Les sulfures, essentiellement la pyrite disséminée ou en lits sub-massifs, moulent les noyaux de quartz et les phénoclastes d'albite et sont localement alignés dans des plans de microfractures conjuguées. Ils semblent correspondre à des dépôts concordants à la stratification S0, correspondant au plan de la schistosité principale Sp.

**Fahlbande des micaschistes à carbonates**

Fig. 6: Lame 2-8-8. Pont de Bois, Val d'Anniviers (613.10/112.82).

La texture grano-lépidoblastique hétérogranulaire est caractérisée par des phénocristaux de calcite et de quartz qui constituent localement de petites veinules dans une pâte finement grenue.

Les sulfures sont disséminés dans la matrice en agrégats de formes irrégulières, ou sont associés aux veinules carbonatées. Celles-ci montrent de faibles discordances locales sur les deux schistosités visibles S1 et S2.

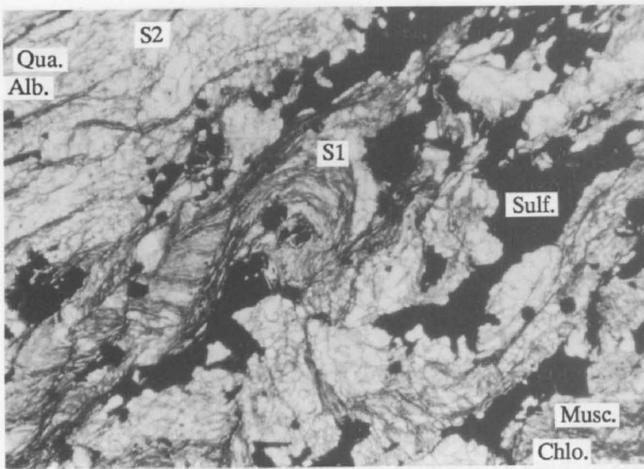


Fig. 1

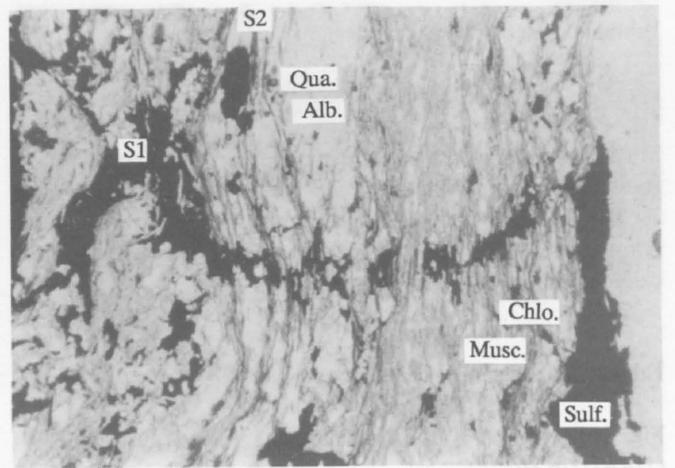


Fig. 2

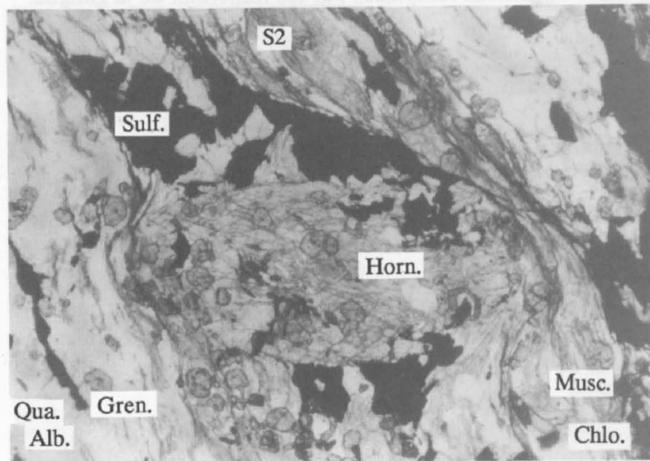


Fig. 3

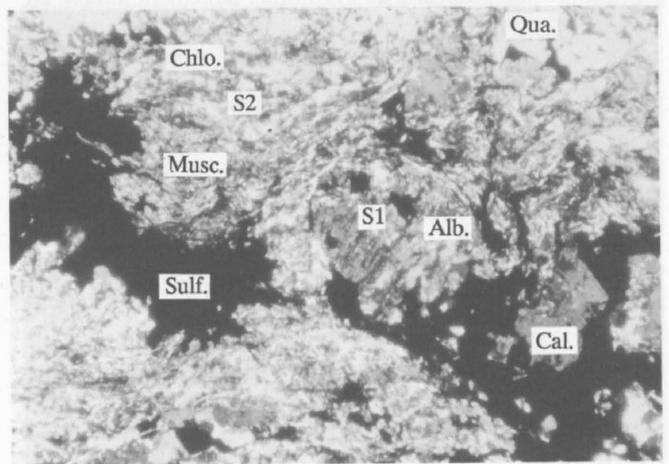


Fig. 4

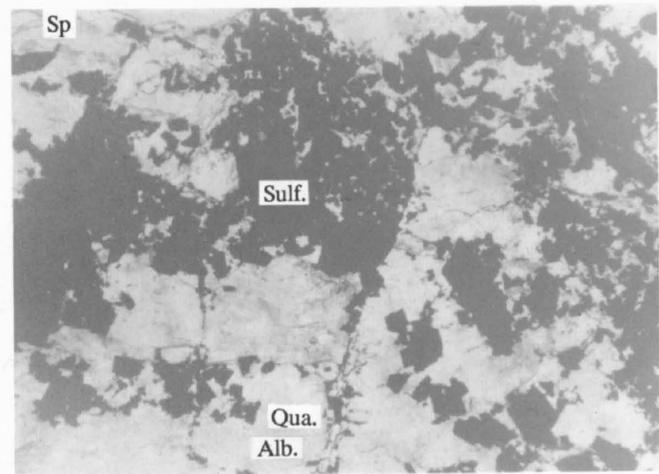


Fig. 5

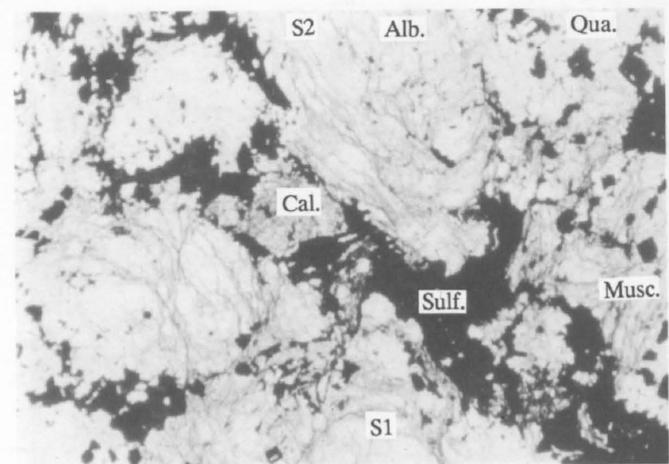


Fig. 6

DESCRIPTION DE SECTIONS POLIES DE DIVERS  
TYPES DE FAHLBANDES

**Fahlbandes des micaschistes**

Fig. 1: Section 2-26.A. Adlerflue, Val de Tourtemagne (620.06/111.46).

Micaschiste quartzeux à pyrite, pyrrhotine et chalcopyrite. Agrégat allotriomorphe de pyrite, pyrrhotine et chalcopyrite accessoire aligné dans le plan de schistosité et partiellement remplacé par les minéraux silicatés. La pyrite apparaît aussi localement remplacée par la pyrrhotine.

**Fahlbandes des schistes chloriteux**

Fig. 2: Section A-10-6. Blüomattbach, Val de Tourtemagne (119.67/116.80).

Micaschiste à grenat, pyrrhotine, pyrite, marcassite, chalcopyrite, arsénopyrite. Agrégat panxénomorphe de pyrrhotine largement altérée en marcassite, contenant des grains idiomorphes d'arsenopyrite. La pyrite allotriomorphe contient des inclusions de quartz.

**Fahlbandes des micaschistes graphiteux**

Fig. 3: Section A-11-6. Blüomattbach, Val de Tourtemagne (619.60/116.84).

Schiste noir graphiteux à pyrite, pyrrhotine et chalcopyrite accessoire. Cristal de pyrite cataclaté avec remplissage des fractures par la pyrrhotine, accompagné de minéraux de la gangue en proportion accessoire. La pyrrhotine renferme quelques fragments de pyrite et présente une altération en marcassite de structure en «œil d'oiseau».

**Fahlbandes des schistes chloriteux**

Fig. 4 Section 29-7-J. Cruitaz, Val de Zinal (112.10/614.48). Schiste chloriteux à pyrrhotine, pyrite et blende accessoire. Grain de pyrite xénomorphe fracturé et largement remplacé par la pyrrhotine et les minéraux de la gangue.

**Fahlbandes des micaschistes à carbonates**

Fig. 5: Section Pb-41. Pont de bois, Val de Zinal (613.10/112.82). Micaschiste à carbonate, pyrrhotine, pyrite, chalcopyrite, galène et blende.

Agrégat panxénomorphe de pyrrhotine, pyrite, chalcopyrite et blende largement remplacés par les minéraux de la gangue.

**Prasinite à pyrite de la nappe du Tsaté**

Fig. 6: Section J-28-11. Laulosses, Val de Zinal (612.63/108.35). Niveau quartzeux à pyrite, chalcopyrite, blende, et bornite accessoire.

Grains de pyrite xénomorphe dans une matrice de chalcopyrite. La pyrite contient des inclusions de blende, de chalcopyrite et de bornite.

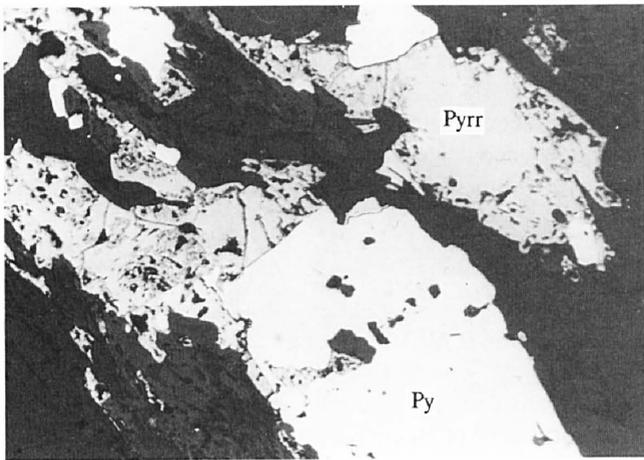


Fig. 1

0 0.4mm

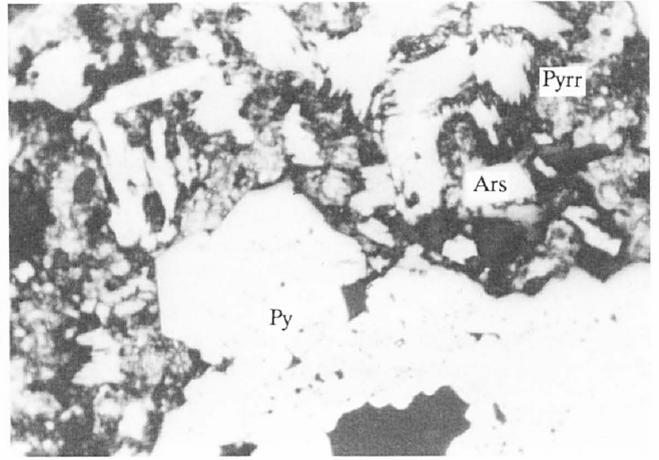


Fig. 2

0 0.4mm

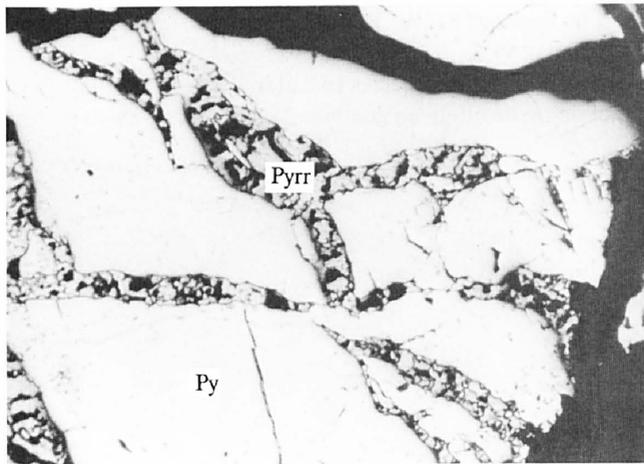


Fig. 3

0 0.4mm

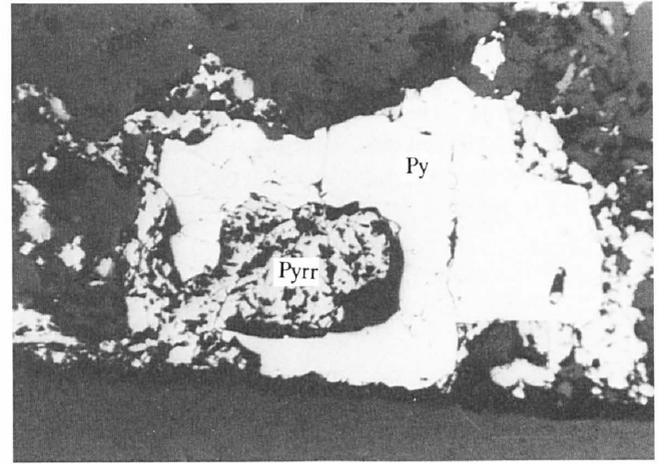


Fig. 4

0 0.4mm

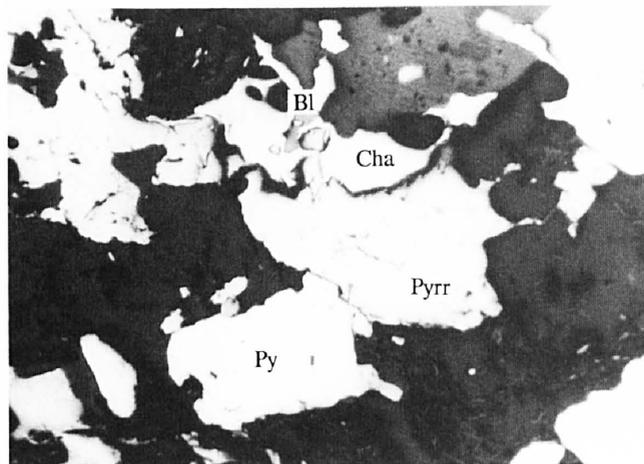


Fig. 5

0 0.4mm

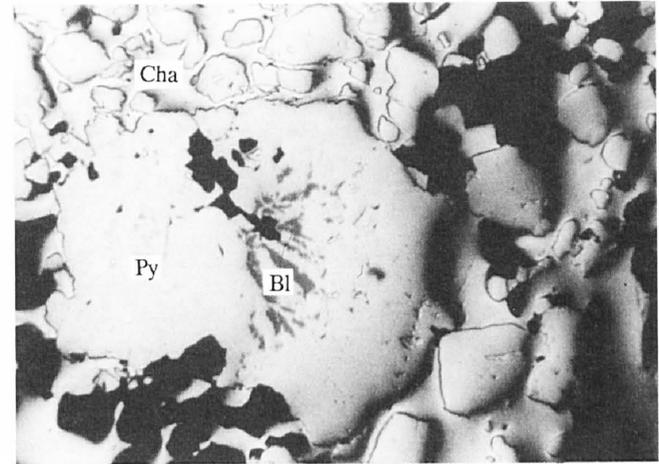


Fig. 6

0 0.4mm

DESCRIPTION DE SECTIONS POLIES DE VEINES  
POLYMETALLIQUES

**Paragenèse à cuivre et bismuth**

Fig. 1 et 2: Section B.403. Mine de Baicolliou, Val de Moiry (610.50/112.57).

Agrégat de chalcoppyrite, cuivre gris, emplectite et pyrite.

Fig. 1: Les baguettes idiomorphes d'emplectite sont principalement associées à la chalcoppyrite. La pyrite subidiomorphe semble s'être développée par remplacement tardif des sulfures pré-existants.

Fig. 2: Baguettes d'emplectite remplacées par la cuprobismuthine, de forme aciculaire, associées à la chalcoppyrite et la pyrite.

**Paragenèse à plomb zinc et cuivre**

Fig. 3: Section 332. Mine de Collioux sup. Val d'Anniviers (611.71/120.46).

Matrice de galène contenant des grains xénomorphes de blende et de pyrite. La pyrite de forme arrondie contient des inclusions de chalcoppyrite, galène, blende et minéraux de gangue et présente des figures de remplacement par la galène et par la blende sur le pourtour des grains

**Paragenèse à nickel et cobalt**

Fig. 4: Section S.22.22. Pipji, Val de Tourtemagne (112.28/620.62).(Section métallisée).

Intercroissance de gersdorffite dans la skuttérudite déterminant une texture de type myrmékitique.

Fig. 5: Section 331. Mine de Plantorin, col de Forcletta (617.27/113.97).

Agrégat lamellaire de rammelsbergite contenant des cristaux automorphes de pararammelsbergite dans la skuttérudite.

**Paragenèse à cuivre et fer**

Fig. 6: Section 3.17.A. Brändjispitz, Val de Tourtemagne (621.70/114.65).

Agrégat d'hématite de faciès spécularite, à lamelles ployées et grain de pyrite altéré en goethite.

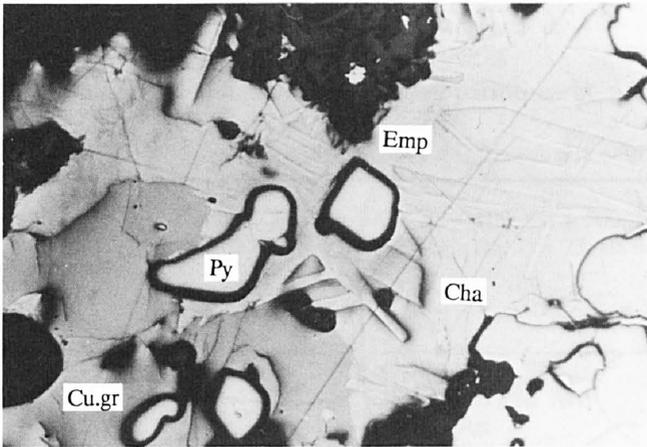


Fig. 1

0 0,4mm

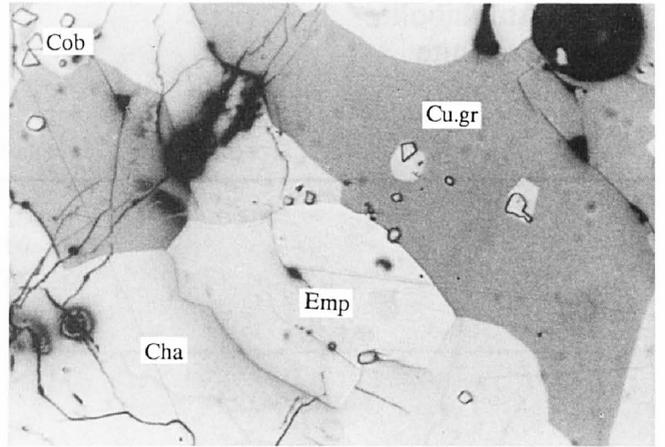


Fig. 2

0 0,4mm

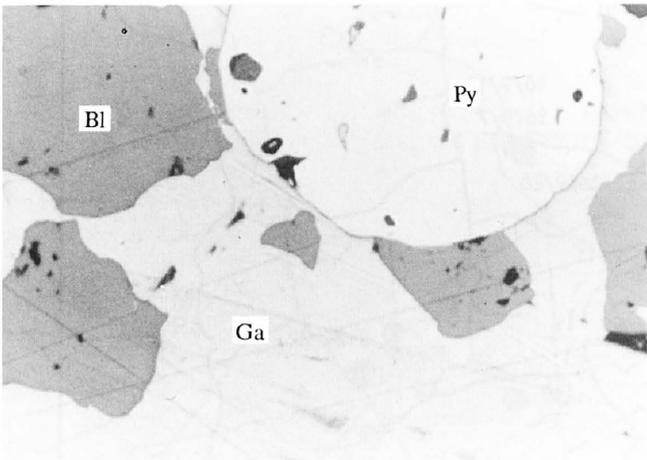


Fig. 3

0 0,4mm

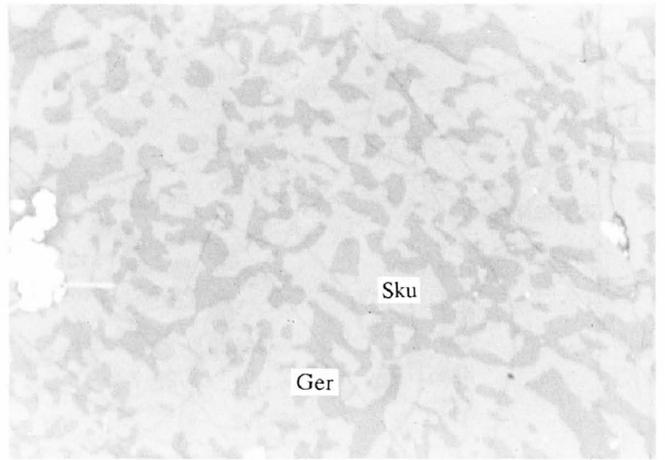


Fig. 4

0 0,4mm

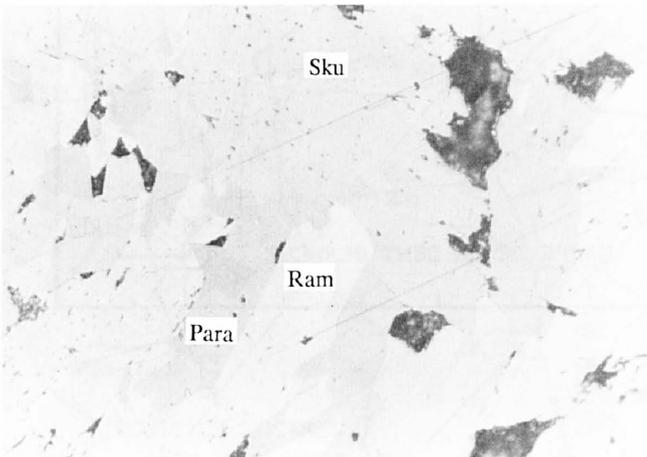


Fig. 5

0 0,4mm

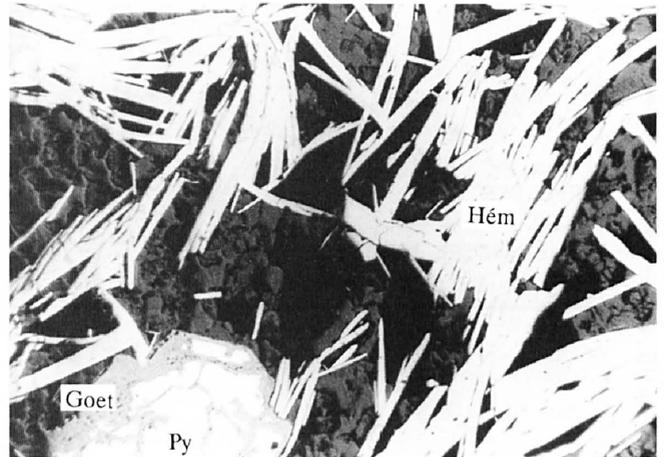
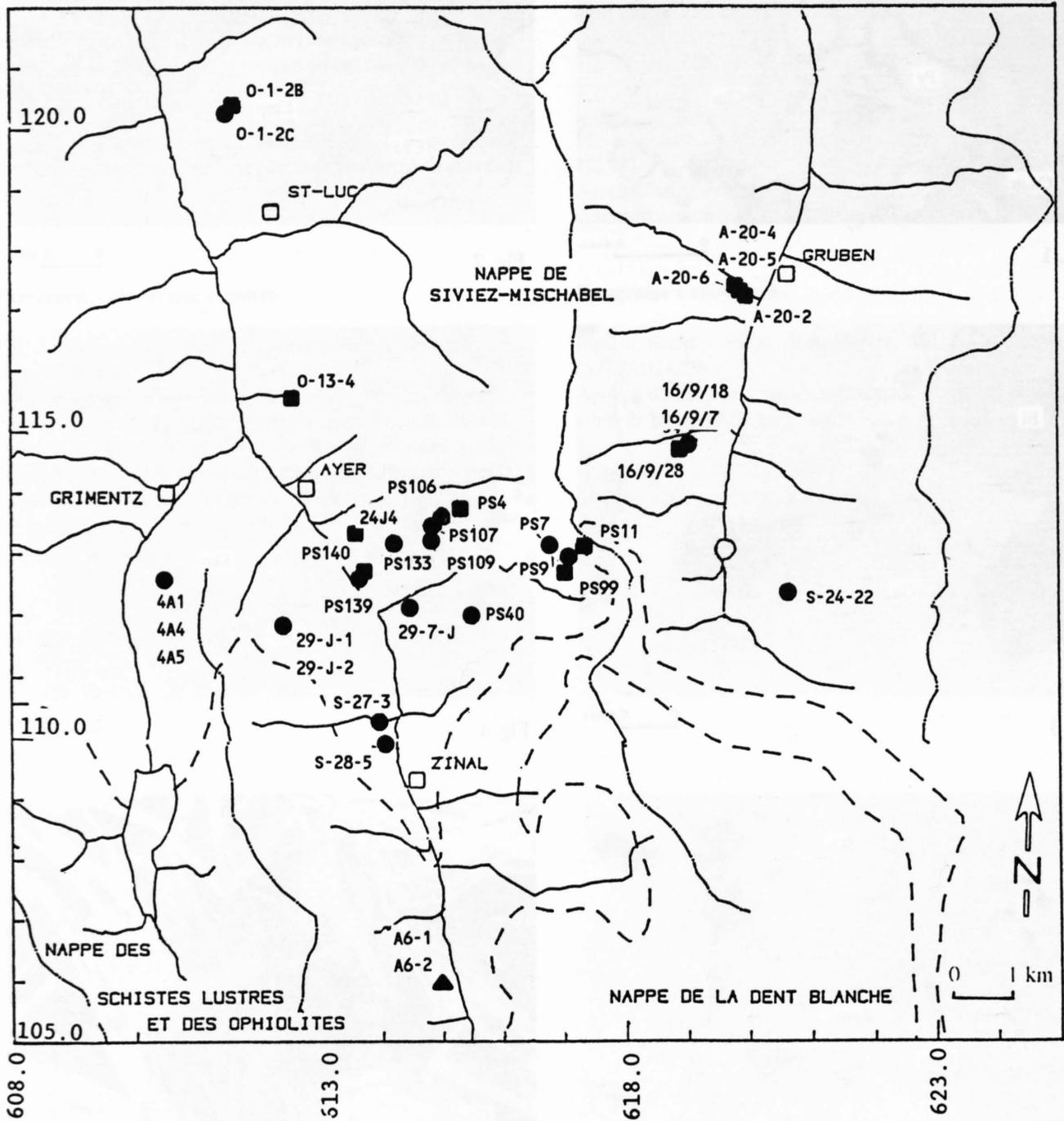


Fig. 6

0 0,4mm

CARTE D'ECHANTILLONNAGE DES ROCHES ANALYSEES POUR LES ELEMENTS MAJEURS ET LES ELEMENTS TRACES

- Gneiss et micaschistes variés
- Amphibolite
- ▲ Prasinite

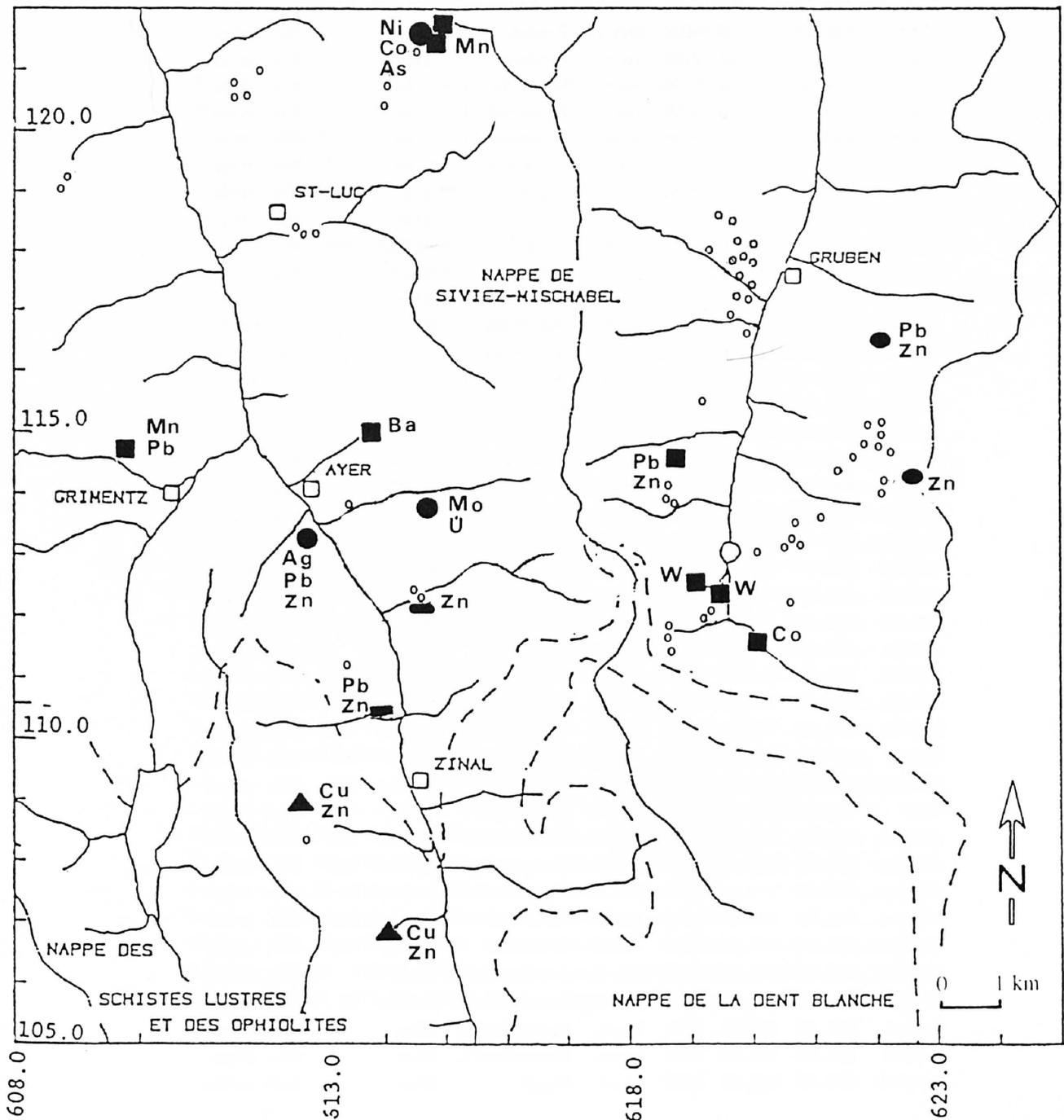


CARTES DES TENEURS RELATIVEMENT ELEVEES DANS LES ECHANTILLONS DE FAHLBANDES (SIV. MISCH.) ET DE PRASINITES A PYRITE (TSATE)

LEGENDE:

- Fahlbandes des micaschistes
- Fahlbandes des schistes graphiteux
- Fahlbandes des schistes chloriteux
- Fahlbandes des amphibolites
- Fahlbandes des schistes permo-carbonifères
- ▲ Prasinites à pyrite
- Echantillons de teneurs inférieures aux seuils et valeurs ci-après (ppm)

Cu > 1000; Pb > 1000; Zn > 100; Co > 500; Mo > 100; W > 100; Mn > 30 000;  
 Ni = 531; As = 29 892; Ag = 55; U = 75; Ba = 22 800



# ANNEXES

## ANNEXE 1 PARAMETRES DE TERRAIN DES ECHANTILLONS DE FAHLBANDES (SIV. MISCH.) ET DE PRASINITES A PYRITE (TSATE)

### FAHLBANDES DES MICASCHISTES

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
40-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Bloc		Niv. diss.
41-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Rainur	30	Niv. diss.
42-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Bloc		Toit veine
48-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Bloc		Niv. diss.
22-25-J	611.64	120.96	1630	Anniv.	Termino	Rainur	200	Niv. diss.
21-25-J	611.64	120.96	1630	Anniv.	Termino	Rainur	30	Niv. diss.
2-29-J	615.12	113.63	2430	Zinal	Cr.Barneuza	Rainur	25	Niv.s.mass.
4-29-J	615.12	113.63	2430	Zinal	Cr.Barneuza	Rainur	500	Niv. diss.
21-8-2	608.68	119.38	1810	Anniv.	Pinsec	Bloc		Mur fahl.
2-2-A	619.97	117.82	2260	Tourt.	Meidbach	Bloc		Niv. diss.
5-2-A	619.34	112.10	2290	Tourt.	Wangertälli	Bloc		Niv. diss.
7-2-A	619.34	112.10	2290	Tourt.	Wangertälli	Bloc		Niv. diss.
8-2-A	619.34	112.10	2290	Tourt.	Wangertälli	Bloc		Niv. diss.
21-24A	621.46	114.77	2720	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
46-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Bloc		Niv. diss.
40-30-A	621.86	116.58	2650	Tourt.	Gigigrat	Bloc		Niv. diss.
24-7-J	614.48	112.10	1910	Zinal	Litoula	Rainur	250	Niv. diss.
25-7-J	614.48	112.10	1910	Zinal	Litoula	Bloc		Niv.s.mass.
7-11-J	608.68	119.38	1810	Anniv.	Pinsec	Bloc		Niv. diss.
10-14-J	614.04	121.05	2620	Anniv.	Ombritses	Bloc		Mur fahl.
2-26-J	614.26	121.40	2540	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Lenti.diss.
5-4-A	609.68	114.92	2090	Tourt.	Brandjitälli	Bloc		Niv.diss.
7-4-A	621.11	113.61	2660	Tourt.	Brandjitälli	Rainur	20	Niv.diss.
2-18-A	622.60	114.13	3150	Tourt.	Verlorustäl.	Bloc		Niv.diss.
21-18-A	622.60	114.13	3150	Tourt.	Verlorustäl.	Rainur	100	Niv.diss.
23-18-A	622.19	114.22	2890	Tourt.	Verlorustäl.	Bloc		Niv.diss.
35-18-A	622.92	113.33	3170	Tourt.	Brändjispitz	Bloc		Niv.diss.
33-22-A	620.08	113.02	2360	Tourt.	Schafalpu	Bloc		Niv.diss.
S22-1A	618.67	114.36	2710	Tourt.	Minugrat	Rainur	50	Niv. diss.
S22-1B	618.67	114.36	2710	Tourt.	Minugrat	Rainur	150	Niv. diss.
S23-1B	619.36	112.35	2310	Tourt.	Karlustafil	Rainur	20	Niv. diss.
S24-1A	618.66	113.85	2560	Tourt.	Frilitalli	Bloc		Niv. diss.
S24-1B	618.66	113.85	2560	Tourt.	Frilitalli	Rainur	200	Niv. diss.
S24-2A	618.61	113.95	2580	Tourt.	Frilitalli	Bloc		Niv. diss.
S24-2B	618.61	113.95	2580	Tourt.	Frilitalli	Rainur	50	Niv. diss.
O27-5	611.70	120.06	1730	Anniv.	S.Luc-Chand	Rainur	50	Niv. diss.
S24-22	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Rainur	100	Niv. diss.
A3-1	619.32	112.00	2270	Tourt.	Wangertälli	Rainur	170	Niv. diss.
A3-6	619.34	112.09	2290	Tourt.	Wangertälli	Rainur	160	Niv. diss.
A3-9	619.36	112.16	2290	Tourt.	Wangertälli	Rainur	220	Niv. diss.
A4-6	618.69	111.43	2660	Tourt.	Wangertälli	Rainur	78	Niv. diss.
A4-9	618.60	111.60	2720	Tourt.	Wangertälli	Rainur	120	Niv. diss.
A9-15	619.94	117.44	1990	Tourt.	Meidbach	Rainur	100	Niv. diss.
21-29-A	624.55	119.36	2840	Tourt.	Dreizentenhö.	Bloc.		Niv. diss.
11-6-J	608.10	116.56	2560	Anniv.	Roc Orzival.	Rainur	30	Niv. diss.
6-25-A	621.90	114.98	2840	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
4-25-A	621.90	114.98	2840	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
53-24-A	620.62	112.28	2640	Tourt.	Pipji	Bloc		Toit veine

## FAHLBANDES DES MICASCHISTES

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
10-24-A	622.13	115.01	2820	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
9-24-A	622.13	115.01	2820	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
S30-5	612.71	118.11	1660	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
28-8	612.67	113.22	1600	Zinal	Pont Bois	Bloc		Niv.s.mass
A26-1	619.14	115.51	2380	Tourt.	Bitzen	Bloc		Niv. diss.
2-26-A	620.06	111.46	2430	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Niv. diss.
4-26-A	620.06	111.46	2430	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Niv. diss.
6-26-A	620.06	111.46	2430	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Niv. diss.
10-26-A	620.06	111.46	2430	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Niv. diss.
12-26-A	620.06	111.46	2430	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Niv. diss.

## FAHLBANDES DES SCHISTES GRAPHITEUX

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
30-11-J	612.57	118.12	1600	Anniv.	Moul.St-Luc	Rainur	15	Niv. diss.
38-11-J	612.57	118.12	1600	Anniv.	Moul.St-Luc	Bloc		Niv. diss.
11-4-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chiess.Blanc	Bloc		Niv. diss.
8-3-A	611.24	115.13	1430	Anniv.	St-Jean	Bloc		Niv. diss.
12-3-A	611.23	115.13	1420	Anniv.	St-Jean	Rainur.	60	Niv. diss.
19-3-A	611.23	115.13	1420	Anniv.	St-Jean	Bloc		Niv. diss.
44-25-A	622.05	114.74	2960	Tourt.	Hungerlitäl.	Bloc		Niv. diss.
46-25-A	622.27	114.67	2980	Tourt.	Hungerlitäl.	Rainur	50	Niv. diss.
37-30-A	621.86	116.58	2650	Tourt.	Gigigrat	Rainur	50	Niv. diss.
6-5-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chies.Blanc	Bloc		Niv. diss.
20-7-J	614.46	112.42	1960	Zinal	Litoula	Rainur	200	Niv. diss.
39-11-J	612.71	118.10	1680	Anniv.	Moul.St-Luc	Bloc		Niv. diss.
20-25-J	611.64	120.96	1630	Anniv.	Termino	Rainur	150	Niv. diss.
S30-3	612.60	118.18	1550	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
S30-4	612.71	118.11	1660	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
S30-2A	612.66	118.14	1590	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
O27-1	611.70	120.06	1770	Anniv.	S.Luc-Chand	Rainur	50	Niv. diss.
S27-7	613.99	110.23	1730	Zinal	Pralong	Rainur	200	Niv. diss.
A11-6	619.60	116.84	2070	Tourt.	Blüemattba.	Bloc		Niv. diss.
A11-5	619.60	116.84	2070	Tourt.	Blüemattba.	Rainur	45	Niv. diss.
11-3-A	611.23	115.13	1420	Anniv.	St-Jean	Rainur.	70	Niv. diss.

## FAHLBANDES DES AMPHIBOLITES

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
33-11-J	612.57	118.12	1600	Anniv.	Moul.St-Luc	Bloc		Niv. diss.
36-11-J	612.57	118.12	1600	Anniv.	Moul.St-Luc	Bloc		Niv. diss.
6-3-A	611.34	115.13	1430	Anniv.	St-Jean	Bloc		Niv. diss.
9-3-A	611.23	115.13	1420	Anniv.	St-Jean	Bloc		Niv. diss.
18-3-A	611.23	115.13	1420	Anniv.	St-Jean	Bloc		Dissémi.
2-5-A	620.51	113.21	2660	Tourt.	Langi Egge	Rainur	300	Niv. diss.
3-5-A	620.51	113.21	2660	Tourt.	Langi Egge	Rainur	50	Niv. diss.

## FAHLBANDES DES AMPHIBOLITES

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
6-5-A	620.63	113.28	2750	Tourt.	Langi Egge	Bloc		Niv. diss.
7-5-A	620.63	113.28	2750	Tourt.	Brandjispitz	Bloc		Niv. diss.
1-17-A	621.43	114.38	2680	Tourt.	Diablons	Bloc		Dissemin.
42-25-A	621.93	114.73	2940	Tourt.	Hungerlital	Bloc		Niv. diss.
14-5-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chies.Blanc	Bloc		Niv. diss.
1-7-J	610.04	115.25	1980	Anniv.	Chies.Blanc	Rainur	210	Niv. diss.
1-14-J	613.98	120.60	2500	Anniv.	Ombritses	Bloc		Niv. diss.
7-14-J	614.04	121.05	2620	Anniv.	Ombritses	Rainur	7	Niv. diss.
1-26-J	614.26	121.40	2510	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Lenti.diss.
20-26-J	614.29	121.38	2530	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Lenti.diss.
25-26-J	614.31	121.25	2630	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Niv.diss.
4-27-J	614.89	121.51	2660	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Niv.diss.
4-28-J	613.74	118.83	2120	Anniv.	St-Luc	Bloc		Niv.diss.
11-4-A	621.71	113.54	2780	Tourt.	Brandjitälli	Rainur	100	Niv.diss.
4-5-A	620.71	113.25	2920	Tourt.	Langi Egge	Bloc		Niv.diss.
26-18-A	622.13	114.05	2940	Tourt.	Verlorustäl.	Bloc		Niv.diss.
13-19-A	618.58	111.72	2730	Tourt.	In.Wangertäl.	Bloc		Dissémin..
S21-20	619.97	117.82	2260	Tourt.	Meidbach	Rainur	100	Niv. diss.
S21-22	619.92	117.82	2120	Tourt.	Meidbach	Rainur	50	Niv. diss.
S21-24	620.00	117.70	2050	Tourt.	Meidbach	Rainur	40	Niv. diss.
S21-1A	619.81	117.99	2250	Tourt.	Meiden	Bloc		Niv. diss.
S21-1B	619.81	117.99	2250	Tourt.	Meiden	Rainur	250	Niv. diss.
S21-2A	619.66	119.41	2370	Tourt.	Meiden	Bloc		Niv. diss.
S21-2B	619.66	118.41	2370	Tourt.	Meiden	Rainur	100	Niv. diss.
S21-3A	619.66	118.41	2370	Tourt.	Meiden	Rainur	20	Niv. diss.
S21-3B	619.66	118.41	2370	Tourt.	Meiden	Rainur	100	Niv. diss.
S23-2A	618.92	112.63	2520	Tourt.	Karlustafil	Rainur	50	Niv. diss.
S23-2B	618.92	112.63	2520	Tourt.	Karlustafil	Rainur	200	Niv. diss.
S23-3A	619.00	112.62	2500	Tourt.	Karlustafil	Bloc		Niv. diss.
S23-3B	619.00	112.62	2500	Tourt.	Karlustafil	Rainur	70	Niv. diss.
S23-4A	619.00	112.62	2500	Tourt.	Karlustafil	Bloc		Niv. diss.
S30-1A	612.71	118.18	1590	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
S30-2B	612.66	118.14	1590	Anniv.	Moul.St.Luc	Bloc		Niv. diss.
01-1	611.77	120.51	1810	Anniv.	S.Luc-Chand	Bloc		Niv. diss.
025-7	615.81	120.62	2620	Anniv.	Bella Tola	Rainur	30	Niv. diss.
A16-3	619.66	118.41	2370	Tourt.	Meiden	Rainur	40	Niv. diss.
A25-8	619.01	112.61	2480	Tourt.	Karlustafil	Rainur	20	Niv. diss.
2-18-3	608.68	119.38	1810	Anniv.	Pinsec	Bloc		Niv.s.mass
27J-3	613.38	113.73	1630	Zinal	Gollyre	Bloc		Niv. diss.
A13-9	619.56	117.78	2260	Tourt.	Mei.Mit.Sta	Rainur	20	Niv. diss.
A9-24	619.82	117.49	2070	Tourt.	Meidbach	Bloc		Niv. diss.
A10-1	619.93	116.70	1900	Tourt.	Blüomattba.	Rainur	20	Niv. diss.
A20-3	619.89	117.28	2000	Tourt.	Meidbach	Rainur	45	Niv. diss.
A20-7	619.75	117.35	2060	Tourt.	Meidbach	Rainur	20	Niv. diss.
13-26-A	620.09	111.34	2460	Tourt.	Adlerflue	Bloc		Nodu.mass.
1-27-J	614.57	121.58	2500	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Niv.diss.
16-5-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chies.Blanc	Rainur	500	Niv. diss.
014-4	612.87	115.64	1870	Anniv.	Mission	Bloc		Niv.s.mass
A26-3	618.90	114.61	2520	Tourt.	Kaltenberg	Bloc		Niv. diss.
4-26-J	614.38	121.31	2620	Anniv.	Ombritsés	Rainur.	20	Lenti.diss.
5-26-J	614.43	121.32	2620	Anniv.	Ombritsés	Bloc		Lenti.diss.

## FAHLBANDES DES SCHISTES CHLORITEUX

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
4-4-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chiess.Blanc	Rainur	150	Niv. diss.
10-4-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chiess.Blanc	Bloc		Niv. diss.
7-4-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chies.Blanc	Rainur	300	Niv. diss.
22-14-J	615.81	120.61	2620	Anniv.	Bella Tola	Bloc		Niv. diss.
33-14-J	613.32	111.12	2140	Zinal	Mottec	Bloc		Niv. diss.
5-28-J	613.80	117.97	2060	Anniv.	St-Luc	Rainur	50	Niv.diss.
6-28-J	613.80	117.97	2060	Anniv.	St-Luc	Rainur	60	Niv.diss.
S22-2A	618.60	114.18	2650	Tourt.	Minugrat	Bloc		Niv. diss.
S22-2B	618.60	114.18	2650	Tourt.	Minugrat	Rainur	200	Niv. diss.
2-4-J	609.68	114.92	2090	Anniv.	Chies.Blanc	Bloc		Niv. diss.
28-7-J	614.48	112.10	1910	Zinal	Litoula	Rainur	200	Niv. diss.

## FAHLBANDES DES SCHISTES PERMO-CARBONIFERES

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
4-30-S	613.94	110.35	1790	Zinal	Pralong	Rainur	60	Niv. diss.
7-30-S	613.94	110.35	1790	Zinal	Pralong	Bloc		Niv. diss.
3-30-A	613.94	110.35	1790	Zinal	Pralong	Rainur	25	Mur

## PRASINITES A PYRITE

No. éch.	Coord.x	Coord.y	Alti. (m)	Val	Localité	Type éch.	Long. rainu. (cm)	Type minérali.
11-23-A	617.62	111.42	3120	Tourt.	Diablons	Rainur	100	Niv. diss.
13-23-A	617.62	111.42	3120	Tourt.	Diablons	Rainur	400	Niv. diss.
14-23-A	616.62	111.42	3120	Tourt.	Diablons	Rainur	55	Niv.diss.
15-23-A	616.62	111.42	3120	Tourt.	Diablons	Rainur	150	Niv.diss.
16-23-A	616.62	111.42	3120	Tourt.	Diablons	Rainur	500	Niv.diss.
1-27-S	612.66	112.41	2690	Zinal	Laulosses	Bloc		Niv. diss.
7-27-S	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Carott.	10	Niv.s.mass.
8-27-S	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Bloc		Niv. diss.
11-27-S	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Bloc		Niv. diss.
14-27-S	613.99	106.80	2510	Zinal	La Lé	Rainur	100	Niv.s.mass.
6-21-S	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Rainur	40	Niv.s.mass.
FL2	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Carott.	75	Niv.s.mass
FL3-1	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Carott.	62	Niv.s.mass
FL3-2	613.99	106.80	2690	Zinal	Laulosses	Carott.	57	Niv.s.mass
FS1	612.54	108.91	2660	Zinal	Laulosses	Carott.	155	Niv.s.mass
FM2	610.2	110.2	2530	Zinal	La Bayenna	Carott.	40	Niv.s.mass

## Annexe 1

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES MICASCHISTES

No ech.	Fe %	SiO2 %	S %	MgO %	Mn %	C org. %	Au ppb	Au ppm
40-24-A	10.17	68.59	5.11	4.83	0.10	-	-	-
41-24-A	11.10	52.91	2.50	7.76	0.12	-	-	-
42-24-A	1.05	79.50	0.00	0.97	0.05	-	-	-
48-24-A	15.24	47.67	1.41	4.08	0.09	-	-	-
22-25-J	8.69	71.35	4.94	1.67	0.05	-	-	-
21-25-J	6.31	64.39	4.16	1.45	0.49	-	-	-
2-29-J	16.01	58.91	7.15	5.57	0.14	-	-	n.d.
4-29-J	6.10	71.03	0.76	2.11	0.06	-	-	-
21-8-2	10.24	60.90	3.51	4.42	0.06	-	-	-
2-2-A	7.40	73.50	0.18	2.58	0.26	-	-	-
5-2-A	10.27	61.00	6.00	3.13	0.40	-	-	-
7-2-A	12.41	31.48	5.75	6.25	1.52	-	-	n.d.
8-2-A	12.35	65.74	6.06	4.35	0.80	-	-	-
25-24-A	21.21	62.08	1.35	2.27	0.89	-	-	-
46-24-A	6.03	63.83	0.73	2.93	0.07	-	-	-
40-30-A	9.73	52.63	3.13	5.95	1.66	0.029	-	n.d.
24-7-J	19.64	40.46	15.44	3.02	0.14	<x	<5	-
25-7-J	19.19	45.21	12.47	3.51	0.20	-	-	n.d.
7-11-J	12.00	53.91	3.59	6.35	0.12	0.247	<5	n.d.
10-14-J	10.98	53.44	1.22	4.44	1.95	<x	-	n.d.
2-26-J	6.45	65.73	1.63	1.70	0.03	-	-	n.d.
22-25-J	9.02	67.76	3.49	1.89	0.06	<x	<5	n.d.
2-29-J	15.46	67.09	5.17	5.43	0.15	-	-	-
5-4-A	12.33	72.49	4.30	3.79	0.57	-	-	-
7-4-A	10.96	63.75	3.42	3.19	0.83	-	-	-
2-18-A	5.61	63.78	1.00	2.04	0.05	<x	-	n.d.
21-18-A	11.47	62.33	3.97	3.58	0.25	<x	-	n.d.
23-18-A	8.95	65.39	1.78	2.78	0.33	<x	-	n.d.
35-18-A	8.05	62.25	3.25	3.17	0.67	-	-	n.d.
33-22-A	14.33	54.05	1.88	3.74	0.16	<x	-	-
S22-1A	7.51	41.86	4.13	8.14	0.34	-	-	-
S22-1B	7.94	49.84	1.58	5.24	0.28	-	-	-
S23-1B	1.20	72.78	0.75	0.37	0.01	<x	35	n.d.
S24-1A	22.93	51.25	17.63	1.62	0.17	-	-	n.d.
S24-1B	11.00	67.33	3.20	1.74	0.11	-	-	-
S24-2A	15.35	49.18	3.45	4.05	0.39	-	-	-
S24-2B	14.63	48.64	2.05	4.19	0.47	-	-	-
O27-5	11.20	64.96	3.12	2.56	0.12	-	-	-
S24-22	13.20	50.34	1.08	9.37	0.18	0.869	-	n.d.
A3-1	8.84	57.12	4.04	4.46	0.35	-	-	-
A3-6	11.17	59.64	6.88	3.34	0.40	0.020	48	-
A3-9	12.15	63.43	5.79	3.39	0.81	<x	-	-
A4-6	11.65	59.11	0.97	0.68	0.35	-	10	n.d.
A4-9	10.73	41.84	0.81	4.05	0.25	-	-	-
A9-15	8.73	68.79	0.68	2.14	0.15	-	-	-
21-29-A	11.72	54.25	0.26	5.77	0.41	-	-	-
11-6-J	8.78	62.29	4.46	0.36	0.06	-	-	-
6-25-A	7.37	66.98	1.71	2.25	0.06	-	-	-
4-25-A	8.96	69.40	3.35	2.34	0.07	0.027	<6	-
53-24-A	11.29	59.62	4.66	2.87	0.07	<x	-	n.d.
10-24-A	9.51	48.68	0.61	2.57	0.13	-	-	n.d.
9-24-A	4.99	68.49	2.11	0.74	0.09	-	-	-
3-17-A	53.73	8.30	0.48	2.06	0.95	-	-	-
4-17-A	8.42	19.72	0.91	2.60	1.57	-	-	-
6-17-A	10.67	42.79	0.19	3.49	0.08	-	-	n.d.
S30-5	6.76	72.90	0.97	0.82	0.34	-	-	n.d.
28-8	19.93	51.66	13.64	1.56	0.15	0.711	-	n.d.
25-7-J	14.11	50.65	7.20	5.20	0.28	-	-	-
A26-1	5.43	61.06	3.65	3.18	0.18	-	-	-
2-26-A	14.51	58.71	11.79	2.68	0.04	<x	-	n.d.
4-26-A	13.11	56.73	8.49	2.97	0.05	<x	-	n.d.
6-26-A	11.05	60.74	6.45	4.50	0.09	-	-	n.d.
10-26-A	8.17	67.93	1.51	2.57	0.12	-	-	-
12-26-A	5.34	60.13	2.60	3.66	0.20	-	-	-

- : non analysé

Seuils de détection:

C org.: x=0.001%

Au en ppm (analyse par "fire assay") : n.d.(non détecté)=&lt;0.1 ppm

Au en ppb (analyse par ICP): 5 ppb

**G. Della Valle: Les fahlbandes et les veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtmagne  
(zone pennique, Valais).**

Die untenstehenden Daten vervollständigen die in der Tabelle "Analyse des fahlbandes" wiedergegebenen Analysendaten der Glimmerschiefer auf Seite 56. Bitte legen sie diese Seite der Publikation bei.

Cette page devrait être intercalée entre les pages 56 et 57. Cette annexe contenant les résultats d'analyse des fahlbandes des micaschistes aurait normalement du précéder la page 56.

## Annexe 1

## ANALYSE DES FAHLBANDES

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES MICASCHISTES (ppm)

No éch.	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Ba	Sn
40-24-A	16.	56.	192.	6.	278.	157.	340.	3.	1.	6.	4.	17.	1.	396.	<x
41-24-A	2.	28.	173.	<x	105.	73.	302.	<x	<x	9.	<x	18.	2.	1407.	<x
42-24-A	<x	5.	41.	4.	27.	11.	77.	<x	<x	3.	1.	2.	1.	953.	<x
48-24-A	18.	7.	138.	3.	130.	80.	440.	<x	<x	2.	<x	45.	4.	2096.	1.
22-25-J	31.	<x	22.	12.	68.	67.	337.	<x	5.	25.	4.	121.	4.	5340.	7.
21-25-J	33.	427.	31.	17.	73.	82.	227.	<x	3.	12.	6.	57.	8.	379.	<x
2-29-J	206.	3.	147.	12.	37.	57.	698.	<x	8.	11.	75.	61.	3.	6136.	<x
4-29-J	<x	7.	57.	5.	58.	8.	217.	<x	11.	4.	2.	32.	2.	1031.	2.
21-8-2	16.	112.	137.	9.	395.	86.	276.	<x	1.	17.	8.	140.	3.	3260.	9.
2-2-A	3.	11.	89.	4.	43.	2.	148.	<x	<x	2.	2.	7.	3.	9788.	3.
7-2-A	2.	<x	15.	8.	158.	79.	114.	<x	<x	14.	5.	24.	<x	7291.	<x
8-2-A	8.	<x	66.	7.	114.	79.	245.	<x	<x	8.	2.	21.	3.	7797.	<x
25-24A	3.	12.	27.	11.	55.	13.	239.	4.	2.	<x	3.	27.	1.	93.	<x
46-24-A	14.	73.	143.	6.	18.	27.	216.	<x	5.	3.	2.	11.	1.	1185.	<x
40-30-A	1.	21.	310.	5.	208.	61.	217.	<x	<x	<x	<x	25.	1.	1633.	<x
24-7-J	15.	7.	115.	12.	283.	146.	444.	<x	<x	4.	9.	23.	2.	12461.	1.
25-7-J	10.	16.	155.	14.	229.	106.	545.	<x	<x	<x	9.	33.	2.	11347.	<x
7-11-J	10.	21.	206.	14.	204.	240.	339.	<x	<x	<x	3.	101.	3.	1965.	3.
10-14-J	21.	8.	88.	12.	162.	31.	346.	<x	3.	<x	2.	15.	<x	1681.	<x
2-26-J	28.	193.	104.	1.	576.	531.	195.	<x	11.	12.	16	2982.	13.	3181.	6.
22-25-J	37.	<x	23.	7.	119.	46.	275.	<x	1.	4.	5.	155.	6.	4218.	5.
2-29-J	8.	<x	82.	2.	100.	64.	410.	<x	<x	6.	3.	8.	2.	6719.	<x
5-4-A	<x	52.	162.	9.	64.	38.	252.	<x	<x	1.	3.	75.	2.	2247.	<x
7-4-A	3.	2.	84.	6.	79.	25.	178.	<x	1.	4.	1.	53.	3.	8337.	3.
2-18-A	<x	3.	68.	10.	8.	26.	164.	<x	14.	2.	1.	12.	2.	566.	5.
21-18-A	86.	11.	95.	11.	88.	171.	430.	<x	2.	1.	11.	20.	2.	2236.	4.
23-18-A	19.	2.	77.	10.	20.	40.	253.	<x	6.	9.	<x	14.	2.	2145.	1.
35-18-A	3.	27.	35.	3.	127.	75.	168.	1.	11.	22.	<x	320.	1.	483.	<x
33-22-A	20.	20.	161.	10.	95.	72.	312.	3.	8.	<x	6.	24.	2.	72.	<x
S22-1A	<x	10.	97.	12.	55.	154.	291.	<x	5.	2.	<x	5.	3.	2805.	<x
S22-1B	<x	3.	74.	13.	25.	30.	188.	<x	3.	2.	2.	6.	2.	4299.	<x
S23-1B	<x	15.	16.	126.	39.	<x	6.	<x	6.	22.	2.	5.	2.	189.	3.
S24-1A	62.	23.	82.	27.	201.	179.	362.	13.	3.	<x	9.	40.	8.	4409.	2.
S24-1B	17.	30.	110.	26.	68.	36.	122.	<x	6.	<x	4.	7.	5.	2539.	6.
S24-2A	3.	11.	117.	9.	41.	124.	607.	<x	<x	5.	5.	28.	4.	6160.	2.
S24-2B	<x	19.	114.	9.	34.	98.	383.	<x	<x	7.	6.	20.	4.	5487.	<x
O27-5	<x	<x	101.	26.	67.	32.	47.	<x	6.	5.	4.	21.	3.	561.	6.
S24-22	19.	36.	414.	18.	41.	66.	278.	<x	9.	38.	1.	9.	2.	822.	<x
A3-1	5.	1.	97.	3.	72.	40.	87.	<x	<x	2.	5.	6.	1.	11302.	<x
A3-6	11.	<x	46.	9.	95.	100.	97.	<x	<x	11.	15.	152.	4.	11633.	2.
A3-9	5.	<x	50.	3.	101.	39.	77.	<x	<x	1.	5.	18.	3.	11377.	1.
A4-6	2.	10.	38.	61.	12.	21.	37.	<x	8.	<x	<x	11.	1.	1066.	<x
A9-15	9.	<x	53.	9.	19.	26.	86.	<x	8.	1.	5.	19.	3.	2185.	5.
21-29-A	3.	22.	133.	6.	61.	42.	255.	1.	1.	<x	2.	14.	<x	544.	<x
11-6-J	<x	11.	17.	<x	91.	21.	154.	<x	10.	2.	13.	26.	2.	12081.	3.
4-25-A	38.	<x	42.	25.	129.	54.	382.	<x	<x	3.	16.	450.	2.	6067.	4.
53-24-A	26.	70.	66.	7.	74.	60.	400.	<x	<x	10.	1.	176.	2.	12504.	2.
10-24-A	9.	27.	65.	15.	239.	76.	220.	<x	12.	2.	7.	19.	2.	427.	<x
9-24-A	<x	5.	12.	11.	40.	12.	177.	<x	4.	<x	<x	24.	1.	383.	20.
3-17-A	<x	71.	45.	76.	52.	47.	316.	55.	9.	5.	6.	98.	7.	<x	<x
4-17-A	<x	23.	25.	17.	1098.	25.	123.	9.	<x	1.	1.	23.	<x	10.	<x
6-17-A	<x	7.	120.	20.	45.	44.	144.	<x	16.	<x	1.	14.	3.	1024.	12.
S30-5	4.	<x	14.	52.	11.	<x	77.	<x	1.	6.	2.	13.	2.	5582.	5.
28-8	3.	3400.	5773.	14.	686.	171.	176.	53.	<x	5.	<x	240.	35.	10064.	<x
25-7-J	39.	24.	217.	15.	90.	48.	421.	<x	<x	9.	4.	21.	3.	10249.	<x
A26-1	<x	<x	36.	29.	28.	36.	31.	<x	<x	<x	3.	3.	2.	17396.	<x
2-26-A	29.	<x	69.	7.	303.	138.	354.	<x	<x	9.	16.	24.	2.	14860.	<x
4-26-A	21.	<x	61.	7.	250.	91.	245.	<x	<x	7.	8.	20.	1.	14386.	<x
6-26-A	20.	<x	94.	6.	303.	84.	231.	<x	<x	2.	5.	14.	2.	10264.	<x
10-26-A	5.	8.	269.	6.	80.	44.	199.	<x	2.	<x	<x	10.	2.	3449.	2.
12-26-A	<x	<x	97.	4.	62.	37.	91.	<x	<x	4.	1.	22.	1.	9166.	3.

Seuils de détection "x" pour Mo, Pb, W, Ag, Th, Bi, U, Sb, Sn: 1 ppm

## Annexe 1

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES SCHISTES GRAPHITEUX (ppm)

No éch.	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Ba	Sn
30-11-J	9.	<x	20.	8.	81.	7.	194.	<x	<x	7.	<x	8.	2.	6380.	5.
38-11-J	10.	11.	52.	<x	98.	96.	354.	<x	1.	2.	4.	9.	2.	730.	<x
11-4-J	<x	1.	52.	<x	171.	51.	309.	<x	<x	12.	<x	21.	2.	6782.	<x
8-3-A	9.	<x	46.	6.	222.	70.	325.	<x	2.	2.	8.	37.	2.	5974.	5.
12-3-A	4.	<x	54.	2.	41.	8.	138.	<x	<x	5.	<x	9.	3.	4739.	2.
19-3-A	21.	<x	30.	6.	50.	5.	267.	<x	<x	<x	6.	7.	2.	5310.	6.
44-25-A	55.	106.	28.	7.	31.	11.	255.	<x	<x	7.	3.	30.	3.	13952.	5.
46-25-A	24.	120.	1150.	2.	454.	163.	232.	<x	<x	3.	11.	20.	2.	7314.	2.
37-30-A	32.	1809.	4114.	6.	173.	70.	323.	<x	<x	<x	25.	75.	7.	7713.	6.
5-4-J	12.	<x	16.	12.	20.	40.	226.	<x	<x	8.	5.	118.	2.	15835.	6.
6-5-J	<x	11.	120.	4.	182.	241.	1601.	<x	<x	4.	<x	21.	1.	1464.	<x
20-7-J	1.	48.	99.	6.	48.	53.	159.	<x	5.	<x	1.	10.	2.	4439.	5.
39-11-J	3.	<x	14.	<x	18.	11.	188.	<x	<x	4.	<x	39.	4.	5501.	3.
20-25-J	53.	<x	23.	5.	185.	48.	296.	<x	2.	6.	6.	82.	3.	2170.	1.
S30-3	6.	35.	88.	19.	35.	31.	141.	<x	3.	8.	3.	49.	3.	2971.	2.
S30-4	17.	19.	59.	79.	131.	81.	108.	<x	9.	7.	9.	1.	4.	1333.	3.
S30-2A	7.	<x	18.	14.	63.	7.	84.	<x	<x	<x	4.	<x	4.	7006.	6.
O27-1	13.	31.	37.	28.	25.	15.	141.	<x	2.	6.	1.	99.	23.	4258.	7.
S27-7	13.	14.	39.	22.	411.	129.	53.	<x	15.	19.	6.	246.	5.	767.	5.
A11-6	1.	3.	63.	69.	210.	95.	97.	<x	5.	<x	8.	513.	3.	4027.	3.
A11-5	10.	<x	52.	12.	185.	156.	66.	<x	4.	5.	12.	270.	3.	7070.	5.
11-3-A	7.	<x	11.	3.	58.	7.	5.	<x	<x	4.	2.	27.	2.	5121.	7.

Seuils de détection "x" pour Mo, Pb, W, Ag, Th, Bi, U, As, Sb, Sn: 1 ppm

No éch.	Fe %	SiO2 %	S %	MgO %	Mn %	C org. %	Au ppb	Au ppm
30-11-J	0.74	69.44	0.80	1.20	0.24	-	-	-
38-11-J	8.16	71.22	5.82	0.72	0.19	-	-	-
11-4-J	12.96	67.21	6.94	2.00	2.87	-	-	n.d.
8-3-A	8.97	68.02	4.34	1.94	0.07	0.026	<5	-
12-3-A	6.57	77.37	2.07	2.28	1.07	-	-	-
19-3-A	4.83	72.34	3.62	1.60	0.02	-	-	-
44-25-A	4.82	67.30	2.61	1.03	0.01	-	-	-
46-25-A	10.11	58.64	6.54	2.69	0.23	0.678	-	-
37-30-A	8.97	60.47	4.39	3.66	0.09	1.753	-	n.d.
5-4-J	5.57	68.39	5.93	1.19	0.03	1.251	9	-
6-5-J	11.83	47.17	1.70	4.73	0.18	-	-	-
20-7-J	6.27	61.20	2.33	2.12	0.07	-	-	-
39-11-J	4.61	72.61	2.76	0.83	0.36	-	-	-
20-25-J	7.90	65.89	4.18	1.69	0.15	-	-	-
S30-3	8.45	64.52	3.86	2.23	0.11	-	-	-
S30-4	7.58	74.73	7.52	1.12	0.33	0.069	-	n.d.
S30-2A	0.76	75.90	15.49	1.14	0.16	1.370	-	-
O27-1	6.69	71.45	3.57	1.52	0.05	-	-	-
S27-7	4.98	66.19	1.12	1.94	0.09	0.534	-	n.d.
A11-6	8.42	79.08	5.08	1.12	0.25	0.030	14	0.4
A11-5	12.53	64.05	9.49	1.31	0.33	0.169	-	n.d.
11-3-A	2.72	72.17	0.33	1.63	0.00	-	-	-

- : non analysé

Seuils de détection:

Au en ppm (analyse par "fire assay") : n.d.(non détecté)=<0.1 ppm

Au en ppb (analyse par ICP): 5 ppb

## Annexe 1

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES AMPHIBOLITES (ppm)

No éch.	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Ba	Sn
33-11-J	2.	12.	165.	7.	24.	41.	395.	<x	<x	5.	<x	6.	1.	212.	<x
36-11-J	6.	21.	111.	20.	65.	25.	209.	1.	<x	<x	<x	13.	5.	184.	<x
6-3-A	<x	8.	121.	6.	36.	27.	148.	1.	1.	2.	<x	12.	<x	318.	<x
9-3-A	<x	<x	50.	<x	67.	36.	157.	<x	1.	8.	<x	12.	1.	3710.	<x
18-3-A	<x	22.	168.	11.	47.	18.	195.	2.	1.	<x	<x	22.	<x	327.	<x
2-5-A	21.	27.	101.	6.	21.	188.	557.	<x	<x	8.	4.	10.	1.	1019.	<x
3-5-A	<x	12.	103.	6.	61.	48.	470.	<x	<x	<x	<x	12.	1.	2612.	<x
6-5-A	10.	25.	128.	5.	29.	83.	416.	<x	5.	5.	2.	14.	<x	743.	<x
7-5-A	2.	8.	108.	6.	38.	179.	529.	<x	<x	4.	<x	11.	<x	808.	<x
1-17-A	<x	1.	72.	6.	39.	30.	73.	<x	1.	7.	2.	9.	<x	213.	<x
42-25-A	14.	<x	173.	10.	109.	54.	192.	<x	<x	3.	6.	20.	2.	8120.	4.
2-4-J	6.	3.	74.	7.	74.	64.	364.	<x	<x	3.	<x	24.	2.	3482.	<x
14-5-J	18.	475.	674.	<x	69.	133.	369.	<x	<x	1.	<x	253.	9.	5374.	<x
1-7-J	4.	<x	60.	1.	60.	70.	517.	<x	<x	9.	1.	23.	4.	9535.	<x
1-14-J	<x	14.	109.	7.	84.	141.	403.	7.	4.	15.	<x	48.	1.	89.	<x
7-14-J	1.	12.	78.	9.	143.	34.	281.	<x	<x	4.	2.	12.	1.	1536.	<x
1-26-J	30.	3.	125.	18.	29.	115.	370.	<x	5.	<x	5.	12.	5.	1381.	4.
20-26-J	6.	537.	394.	2.	82.	76.	150.	<x	1.	2.	5.	31.	2.	2874.	3.
25-26-J	3.	11.	128.	3.	176.	35.	314.	<x	2.	<x	<x	21.	2.	905.	<x
4-27-J	7.	13.	106.	2.	333.	102.	304.	<x	1.	8.	2.	48.	3.	2517.	<x
4-28-J	2.	12.	154.	7.	51.	44.	295.	<x	1.	1.	<x	16.	<x	634.	<x
11-4-A	6.	3.	202.	4.	41.	178.	781.	2.	<x	<x	<x	11.	1.	232.	<x
4-5-A	1.	11.	138.	5.	27.	109.	491.	<x	<x	<x	1.	12.	1.	2256.	<x
1-17-A	1.	2.	71.	1.	67.	28.	92.	<x	1.	2.	<x	14.	1.	160.	<x
26-18-A	1.	<x	121.	10.	169.	16.	277.	<x	<x	3.	<x	14.	1.	4602.	<x
13-19-A	1.	20.	142.	9.	6.	13.	162.	<x	2.	<x	3.	13.	3.	280.	<x
S21-20	7.	21.	58.	24.	31.	25.	114.	<x	3.	<x	6.	491.	4.	4515.	1.
S21-22	1.	7.	100.	20.	46.	92.	187.	<x	6.	2.	6.	10.	3.	3059.	<x
S21-24	<x	<x	45.	30.	39.	20.	39.	<x	3.	10.	3.	8.	2.	5885.	2.
S21-1A	15.	<x	36.	30.	116.	70.	89.	<x	2.	8.	6.	<x	4.	5157.	4.
S21-1B	21.	<x	57.	28.	65.	26.	120.	<x	<x	5.	10.	12.	2.	5495.	4.
S21-2A	9.	10.	48.	31.	210.	28.	70.	<x	3.	<x	4.	5.	2.	3911.	1.
S21-2B	5.	3.	61.	67.	58.	26.	117.	<x	3.	4.	3.	11.	2.	2478.	<x
S21-3B	<x	10.	165.	16.	196.	52.	144.	<x	7.	<x	<x	17.	3.	1810.	<x
S23-2A	1.	25.	84.	22.	86.	74.	132.	<x	6.	<x	3.	4.	3.	766.	<x
S23-2B	<x	12.	72.	30.	13.	21.	60.	<x	6.	7.	4.	2.	2.	516.	5.
S23-3A	27.	22.	104.	131.	135.	137.	325.	<x	2.	1.	3.	11.	<x	1561.	<x
S23-3B	33.	21.	93.	39.	65.	146.	285.	<x	5.	17.	7.	12.	1.	851.	<x
S23-4A	8.	35.	236.	24.	130.	110.	89.	<x	<x	3.	9.	17.	3.	11514.	3.
S30-1A	<x	14.	533.	18.	79.	38.	39.	<x	<x	<x	5.	165.	5.	6184.	5.
S30-2B	4.	217.	274.	23.	46.	32.	118.	<x	4.	10.	<x	18.	4.	2277.	3.
O1-1	1.	7.	20.	24.	21.	31.	222.	<x	<x	<x	3.	14.	8.	345.	<x
O1-2A	3.	110.	52.	36.	452.	166.	89.	<x	144.	425.	7.	10155.	24.	884.	<x
O25-7	7.	<x	89.	21.	75.	40.	91.	<x	<x	8.	10.	49.	3.	8940.	5.
A16-3	7.	13.	31.	100.	79.	12.	46.	<x	3.	12.	<x	17.	2.	2341.	<x
A25-8	<x	<x	34.	26.	159.	67.	47.	<x	<x	12.	4.	22.	3.	6062.	<x
218-3	14.	31.	112.	14.	205.	101.	154.	<x	3.	9.	7.	163.	3.	3066.	9.
27J-3	2.	2.	77.	22.	29.	54.	27.	<x	6.	12.	2.	6.	3.	3555.	4.
A13-9	<x	7.	50.	34.	56.	18.	23.	<x	5.	<x	<x	6.	3.	1244.	<x
A9-24	<x	<x	59.	6.	64.	58.	34.	<x	5.	13.	<x	12.	3.	4109.	<x
A10-1	2.	<x	30.	4.	116.	218.	106.	<x	6.	<x	16.	6.	3.	5389.	5.
A20-3	8.	44.	636.	3.	203.	87.	109.	<x	1.	<x	4.	103.	5.	5393.	<x
A20-7	3.	40.	153.	3.	66.	69.	343.	<x	<x	5.	1.	22.	3.	762.	<x
13-26-A	<x	62.	73.	35.	52.	92.	635.	45.	8.	<x	<x	70.	50.	261.	<x
1-27-J	5.	8.	100.	7.	206.	120.	326.	7.	<x	<x	<x	29.	5.	<x	<x
2-27-J	4.	17.	107.	11.	139.	158.	383.	10.	4.	2.	<x	29.	3.	<x	<x
3-27-J	1.	32.	52.	2.	102.	43.	217.	<x	<x	1.	4.	45.	2.	3205.	<x
16-5-J	15.	1931.	2075.	3.	68.	60.	388.	<x	<x	9.	<x	114.	6.	15508.	1.
O14-4	24.	<x	39.	17.	138.	63.	288.	<x	<x	4.	28.	39.	4.	22861.	2.
A26-3	<x	2541.	9266.	14.	428.	91.	90.	<x	<x	<x	<x	231.	12.	8282.	1.
4-26-J	<x	23.	83.	6.	416.	219.	481.	8.	2.	3.	1.	31.	3.	158.	<x
5-26-J	1.	35.	66.	413.	393.	159.	438.	9.	<x	<x	1.	41.	2.	65.	<x

Seuils de détection "x" pour Mo, Pb, W, Ag, Th, Bi, U, As, Sb, Sn: 1 ppm  
Ba: 9 ppm

## Annexe 1

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES SCHISTES CHLORITEUX (ppm)

No éch	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Mn	Ba	Sn
4-4-J	4.	14.	45.	<x	152.	71.	336.	7.	6.	1.	5.	32.	3.44800.	554.		<x
10-4-J	3.	40.	69.	10.	502.	165.	387.	13.	<x	17.	<x	37.	4.30000.	4870.		<x
7-4-J	<x	69.	75.	7.	149.	74.	290.	<x	<x	12.	2.	35.	3.27100.	11749.		<x
22-14-J	<x	<x	86.	6.	37.	37.	207.	<x	<x	13.	5.	21.	2.	900.	6018.	3
33-14-J	3.	35.	141.	2.	4.	47.	168.	<x	7.	5.	3.	16.	<x	1500.	313.	<x
5-28-J	2.	9.	97.	5.	61.	25.	277.	3.	7.	9.	2.	13.	1.25100.	549.		<x
6-28-J	14.	5.	21.	8.	27.	17.	333.	<x	<x	3.	<x	47.	4.	600.	3305.	4
S22-2A	5.	18.	136.	19.	93.	54.	341.	<x	8.	9.	5.	18.	2.	1400.	659.	<x
S22-2B	5.	29.	90.	28.	38.	19.	147.	<x	1.	<x	1.	195.	5.	1100.	3987.	<x
2-4-J	6.	3.	74.	7.	74.	64.	364.	<x	<x	3.	<x	24.	2.25200.	3482.		<x
28-7-J	27.	171.	1667.	<x	576.	255.	883.	11.	<x	12.	13.	54.	3.	2700.	3451.	<x

Seuils de détection "x" pour Mo, Pb, W, Ag, Th, Bi, U, Sb, Sn: 1 ppm

No ech.	Fe %	SiO2 %	S %	MgO %	Mn %	C org. %	Au ppb
4-4-J	13.00	68.55	7.96	1.63	4.48	0.069	-
10-4-J	22.51	50.66	17.75	1.77	3.00	<x	<5
7-4-J	17.91	53.80	10.05	2.50	2.70	-	-
22-14-J	7.92	79.21	2.81	2.44	0.08	-	-
33-14-J	12.64	51.51	0.35	4.20	0.13	-	-
5-28-J	15.01	62.21	2.80	4.93	2.53	-	-
6-28-J	8.40	71.45	3.44	1.38	0.05	-	-
S22-2A	8.82	51.47	1.66	6.25	0.13	-	-
S22-2B	9.27	58.45	0.88	4.16	0.10	-	<5
2-4-J	12.89	73.74	4.31	3.28	2.50	-	-
28-7-J	24.18	32.59	19.87	2.81	0.32	-	200

- : non analysé

Seuils de détection:

C org.: x=0.001%

## ANALYSE DES FAHLBANDES DES SCHISTES PERMO-CARBONIFERES (ppm)

No éch.	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Mn	Ba	Sn
1-30-S	5.	8130.	27078.	<x	271.	172.	667.	18.	<x	7.	<x	27.	7.	4400.	1590	<x
4-30-S	9.	10.	181.	7.	195.	85.	461.	3.	<x	<x	<x	18.	<x	2500.	1787	<x
7-30-S	1.	9.	218.	4.	<x	<x	123.	1.	4.	1.	<x	17.	2.	2200.	84.	<x
3-30-A	4.	310.	2414.	<x	123.	41.	276.	<x	<x	4.	1.	20.	3.	4500.	1517.	<x

Seuils de détection "x" pour W, Ag, Th, Bi, U, Sb, Sn: 1 ppm  
Cu: 2 ppm, Ni: 4 ppm

No ech.	Fe %	SiO2 %	S %	MgO %	Mn %	C org. %	Au ppm
1-30-S	16.76	30.31	11.42	4.74	0.44	0.015	n.d.
4-30-S	13.31	38.53	9.85	5.54	0.24	-	-
7-30-S	15.17	42.84	0.00	6.92	0.21	-	-
3-30-A	14.24	46.28	0.65	5.47	0.45	-	-

- : non analysé

Au en ppm (analyse par "fire assay") : n.d.(non détecté)=<0.1 ppm

## Annexe 1

ANALYSE DES PRASINITES A PYRITE (ppm)  
(NAPPE DU TSATE)

No éch.	Mo	Pb	Zn	W	Cu	Ni	Co	Ag	Th	Bi	U	As	Sb	Mn	Ba	Sn
11-23-A	<x	2.	294.	4.	353.	79.	339.	<x	<x	2.	<x	6.	2.	200.	<x	<x
13-23-A	2.	1.	406.	9.	333.	84.	435.	<x	<x	5.	<x	14.	<x	2700.	<x	<x
14-23-A	1.	<x	626.	<x	286.	80.	386.	<x	3.	<x	<x	8.	2.	2700.	<x	<x
15-23-A	8.	12.	566.	2.	166.	84.	414.	3.	<x	3.	<x	11.	3.	2300.	<x	<x
16-23-A	5.	14.	342.	3.	65.	30.	415.	7.	4.	<x	<x	11.	3.	1000.	<x	<x
1-27-S	29.	97.	1902.	<x	15964.	11.	490.	25.	<x	<x	2.	34.	5.	300.	<x	<x
7-27-S	10.	43.	515.	26.	3902.	49.	511.	12.	6.	12.	3.	26.	3.	2000.	<x	<x
8-27-S	35.	18.	62.	<x	340.	<x	218.	<x	<x	7.	<x	9.	3.	100.	7.	<x
11-27-S	48.	37.	42.	3.	27.	1.	192.	<x	<x	8.	<x	2.	3.	1000.	37.	<x
14-27-S	3.	2.	283.	<x	1531.	49.	577.	4.	<x	<x	<x	20.	2.	1300.	175.	3
6-21-S	34.	42.	2260.	7.	3831.	<x	646.	24.	5.	16.	<x	45.	5.	300.	<x	<x
FL2	26.	73.	6172.	<x	8903.	17.	526.	24.	<x	5.	1.	39.	4.	200.	<x	<x
FL3-1	26.	19.	188.	7.	1087.	11.	391.	6.	<x	8.	2.	10.	3.	200.	1.	<x
FL3-2	24.	54.	2113.	<x	8476.	7.	483.	22.	4.	16.	2.	36.	3.	200.	<x	<x
FS1	23.	30.	1866.	15.	5271.	19.	387.	12.	<x	<x	<x	17.	4.	500.	<x	<x
FM2	64.	120.	2376.	2.29687.	3.	553.	34.	<x	7.	6.	39.	3.	400.	71.	10	

Seuils de détection "x" pour Mo, Pb, W, Ag, Th, Bi, U, Sb, Sn: 1 ppm  
Ni: 4 ppm, Co: 2 ppm, Ba: 9 ppm

No éch.	Fe %	SiO2 %	S %	MgO %	Mn %	C org. %	Au ppb	Au ppm
11-23-A	8.72	54.19	1.09	9.52	0.17	-	-	n.d.
13-23-A	10.41	47.41	2.00	10.18	0.20	-	-	n.d.
14-23-A	9.15	50.87	1.97	9.47	0.26	-	-	-
15-23-A	10.95	51.38	4.79	8.96	0.22	-	-	-
16-23-A	13.35	63.27	11.59	6.11	0.09	-	-	-
1-27-S	16.53	72.80	19.17	1.21	0.02	0.656	1010	-
7-27-S	21.95	48.45	6.99	3.96	0.19	-	-	0.7
8-27-S	7.52	79.86	0.34	0.02	0.00	-	-	1.0
11-27-S	0.43	84.92	0.25	0.06	0.00	-	-	-
14-27-S	19.83	39.85	2.86	6.16	0.12	-	-	n.d.
6-21-S	25.33	44.76	16.45	2.13	0.02	-	280	-
FL2	19.28	63.09	24.41	2.15	0.01	-	390	-
FL3-1	10.48	72.03	4.50	1.12	0.01	-	593	-
FL3-2	16.51	66.98	21.08	1.22	0.00	-	592	-
FS1	14.15	68.21	11.96	3.40	0.04	-	645	n.d.
FM2	19.65	34.01	22.51	3.08	0.03	-	927	-

- : non analysé

Au en ppm (analyse par "fire assay") : n.d.(non détecté)=<0.1 ppm

Au en ppb (analyse par ICP)

## DONNEES GEOCHIMIQUES STATISTIQUES DES FAHLBANDES, DES ROCHES NON MINERALISEES (SIV. MISCH) ET DES PRASINITES A PYRITE (TSATE.)

Elément		FAHLBANDES					ROCHES NON MINERALISEES		ROCHES MINER.
		Nappe de Siviez-Mischabel					Nappe de Siviez-Mischabel		Nappe Tsaté
		Fahlbande micaschistes	Fahlbandes schistes graphiteux	Fahlbande schistes chloriteux	Fahlbande amphibolite	Fahlbande schistes permo-carb	Micaschistes	Amphibolites	Prasinite à pyrite
	Nb. ech.	61	22	11	62	4	14	6	16
Cu ppm	Min.	8	18	4	6	<x	<x	11	27
	Max.	686	454	576	428	271	302	64	29687
	Moy. M	121	131	155	105	147	54	35	5013
	Ec. ty. s	128	119	195	95	115	89	19	7944
Pb ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	9	10	10	<x
	Max.	3400	1809	171	2541	8130	307	19	120
	Moy. M	77	100	35	104	2114	38	19	35
	Ec. ty. s	426	383	49	403	4012	80	3.8	35
Zn ppm	Min.	12	11	21	20	181	3.5	50	42
	Max.	5773	4114	1667	9266	27078	255	119	6172
	Moy. M	185	281	227	304	7472	68	84	1250
	Ec. ty. s	713	888	478	1180	13111	65	27	1567
Ni ppm	Min.	<x	5	17	12	<x	0.5	25	<x
	Max.	531	241	255	219	172	60	148	84
	Moy. M	71	63	75	75	74	24	69	32
	Ec. ty. s	76	62	72	54	73	17	47	32
Co ppm	Min.	1	3	19	20	53	6	15	<x
	Max.	993	97	210	1207	137	41	44	193
	Moy. M	66	38	70	67	75	17	44	92
	Ec. ty. s	133	24	57	148	40	9	10	66
As ppm	Min.	2	<x	13	<x	17	<x	5	2
	Max.	29892	513	195	10155	27	33	43	45
	Moy. M	94	76	44	201	20	13	17	20
	Ec. ty. s	374	121	51	1276	4.5	9	13	13
Ba ppm	Min.	<x	730	313	<x	84	129	104	<x
	Max.	17396	15835	1174	22861	1787	5708	938	175
	Moy. M	4802	5493	3539	3236	1244	1110	382	18
	Ec. ty. s	4604	3752	3348	4015	782	1530	350	46
Mo ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	1	<x	<x	<x
	Max.	206	55	27	33	9	28	2	64
	Moy. M	15	14	6	6	5	3	<2	21
	Ec. ty. s	29	15	8	8	3	7	0.6	18
W ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	-	-	<x
	Max.	126	79	28	413	7	-	-	26
	Moy. M	14	14	8	24	3	-	-	5
	Ec. ty. s	19	21	8	54	3	-	-	7
Ag ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x
	Max.	55	<x	13	45	18	5	4	34
	Moy. M	<3.5		<3.5	<3.5	5.5	<3.5	<3.5	11
	Ec. ty. s	9		5	6	8	1.3	1.7	11

Seuils de détection "x": voire annexe 1

- : non analysé

Elément		FAHLBANDES					ROCHES NON MINERALISEES		ROCHES MINER.
		Nappe de Siviez-Mischabel					Nappe de Siviez-Mischabel		Nappe Tsaté
		Fahlbande micaschistes	Fahlbandes schistes graphiteux	Fahlbande schistes chloriteux	Fahlbande amphibolite	Fahlbande schistes permo-carb	Micaschistes	Amphibolites	Prasinite à pyrite
	Nb. ech.	61	22	11	62	4	14	6	16
Bi ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x
	Max.	38	19	17	425	7	13	12	16
	Moy. M	5	5	7	11	3	6	5	5
	Ec. ty. s	7	4	5	53	3	4	4	5
Sn ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x
	Max.	20	7	4	9	<x	10	12	10
	Moy. M	2	4	<2	<2		5	2	<2
	Ec. ty. s	3	2	1.4	2		3	5	0.8
Sb ppm	Min.	<x	1	<x	<x	<x	1	<x	<x
	Max.	35	23	5	50	7	6	5	5
	Moy. M	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
	Ec. ty. s	4	4	1.4	7	3	1.4	2	1.2
Th ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x
	Max.	16	15	8	144	4	8	5	6
	Moy. M	<4.5	<4.5	<4.5	<4.5	<4.5	<4.5	5	<4.5
	Ec. ty. s	4	2	2	4	2	3	1.8	2
U ppm	Min.	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x	<x
	Max.	75	25	13	28	1	1.5	<x	6
	Moy. M	5	5	3	3	<2	<2		<2
	Ec. ty. s	10	6	4	4	0.5	0.4		1.6
Fe %	Min.	1	0.7	7.9	5.3	13.3	0.02	2.6	0.4
	Max.	53.7	12.9	24.1	28.5	16.7	3.8	6.3	25.3
	Moy. M	11.4	7	13.8	10.7	14.8	1.7	4.9	14
	Ec. ty. s	6.8	3.3	5.6	3.6	1.4	0.8	1.1	6.3
Mn %	Min.	0.02	0.02	0.06	0.04	0.2	0.05	0.1	0.01
	Max.	1.9	2.9	4.4	4.8	0.4	0.4	0.3	0.3
	Moy. M	0.3	0.3	1.4	0.7	0.3	0.2	0.2	0.1
	Ec. ty.	0.4	0.6	1.6	1.1	0.1	0.08	0.05	0.09
S %	Min.	<x	0.3	0.3	<x	<x	<x	<x	0.2
	Max.	17.6	15.4	19.8	40.7	11.4	0.9	0.1	24
	Moy. M	3.8	4.5	6.5	2.9	5.4	0.1	0.04	9.4
	Ec. ty. s	3.7	3.3	6.7	5.4	5.9	0.2	0.05	8.6
SiO2 %	Min.	8.1	47.1	32.5	15.2	30.2	42.7	44.4	34
	Max.	79.4	78.9	79.1	85.8	46.2	72.4	69.4	84.9
	Moy. M	57.8	67.8	59.3	59.7	39.4	62.7	52.1	58.8
	Ec. ty. s	12.4	7.1	13.3	12.0	6.8	7.7	7.2	14.6
MgO %	Min.	0.4	0.7	1.4	0.9	4.7	0.5	2.1	0.02
	Max.	9.4	4.7	6.3	8.6	6.9	7.9	10.6	10.2
	Moy. M	3.4	1.8	3.2	3.8	5.7	2.8	5.4	4.3
	Ec. ty. s	1.8	0.9	1.5	1.8	0.9	2.0	2.1	3.6

Seuils de détection "x": voir annexe 1

- : non analysé