

Le gisement cuprifère de Saint-Véran

Autor(en): **Bouvier, Jean-Denis / Dabrowski, Henri / Jaffe, Felice C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société**

Band (Jahr): **43 (1990)**

Heft 2: **Archives des Sciences**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-740129>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LE GISEMENT CUPRIFÈRE DE SAINT-VÉРАН

par

Jean-Denis BOUVIER¹, **Henri DABROWSKI**²,
Felice C. JAFFE³, **Marc VUAGNAT**³

RÉSUMÉ

Le gisement de cuivre de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France), est situé dans le domaine des Schistes lustrés piémontais à la latitude du Mont-Viso. La cartographie des environs de la mine a permis d'établir la présence d'une séquence ophiolitique démantelée mais complète, représentée par des roches ultrabasiques (serpentinites et ophicalcites), des roches basiques (gabbros, diabases fines et grossières), ainsi que des formations sédimentaires qui constituent leur couverture (quartzites, marbres, calcaires siliceux).

Les ophiolites de Saint-Véran ont été affectées par un métamorphisme de type océanique, au sein de la lithosphère océanique. Puis l'ensemble a subi les effets du métamorphisme alpin qui a déterminé une paragenèse dominante de faciès schiste bleu avec la formation abondante de glaucophane, riebeckite, lawsonite, pyroxène sodique, partiellement oblitérée par une phase de rétro-morphose dans le faciès schiste vert.

L'exploitation de la mine remonte au temps des Romains. De 1901 à 1956, on a extrait du gisement de Saint-Véran 1000 tonnes de cuivre métal. La couche minéralisée est un niveau stratiforme de sulfures massifs situé entre le sommet des roches basiques et ultrabasiques, transformées en talcschistes et la base d'un banc de quartzites à riebeckite. Le minerai est constitué principalement de bornite, un peu de digénite et de chalcocite; on trouve également différentes tellurures en inclusions dans les sulfures.

La formation du minerai de cuivre à sulfures massifs est attribuée à une activité hydrothermale intense localisée dans l'axe d'une dorsale de type médio-atlantique. L'association d'un gisement de cuivre avec une séquence ophiolitique affectée par un métamorphisme de faciès schiste bleu mérite d'être soulignée en raison de sa grande rareté.

ABSTRACT

The copper mine at Saint-Véran (Hautes-Alpes, France) lies within the domain of the Piemont Schistes lustrés, to the west of Mont-Viso. Mapping of the region in the vicinity of the mine indicates the presence of a dismantled but complete ophiolitic sequence composed of basic and ultrabasic rocks (diabases, fine and coarse grained, gabbros, ophicalcites and serpentinites) as well as the sedimentary cover of the ophiolites (quartzites, marbles and siliceous limestones).

¹ Presently Koninklijke/Shell Exploratie en Productie Laboratorium Volmerlaan 6, 2288 GD Rijswijk ZH, The Netherlands.

² Institut Dolomieu, rue Maurice-Gignoux, 38031 Grenoble Cedex, France.

³ Département de Minéralogie, Université de Genève, rue des Maraîchers 13, 1211 Genève 4, Suisse.

Subsequent to their formation within the ocean crust, the Saint-Véran ophiolites were subjected to an oceanic-type metamorphism. During the Alpine metamorphism these rocks developed a blue-schist facies paragenesis with abundant formation of glaucophane, riebeckite, Na-pyroxene and lawsonite. At a later stage this paragenesis was partially obliterated and replaced by a greenschist facies assemblage.

The earliest exploitation of the mine dates back to Roman times. Between 1901 and 1956, 1000 tonnes of metal copper were extracted. The mineralisation is stratabound and consists of massive sulphides. It is located between the top of the basic/ultrabasic rocks (the latter are now transformed into talcschists) and the base of a riebeckite — bearing quartzite. The ore is composed principally of bornite with minor digenite and chalcocite. Several tellurides are present as inclusions in the sulphides.

The formation of the massive sulphide ore within the mine is attributed to hydrothermal phenomena occurring in the axial zone of a sea ridge. The existence of such a copper mineralisation within an ophiolitic sequence having subsequently experienced a blue-schist facies metamorphism is, to our knowledge, rather exceptional.

1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La région étudiée est située dans le Haut Queyras (Alpes Cottiennes), à une vingtaine de kilomètres à l'ouest du Mont-Viso. Depuis le village de Saint-Véran, une route carrossable longeant la rive droite de l'Aigue-Blanche en direction de la chapelle de Clausis passe devant les vestiges de la laverie et des bâtiments de la mine de cuivre, point de départ de la zone cartographiée.

2. SITUATION GÉOLOGIQUE (Figure 1)

Le gisement est associé à un corps ophiolitique dépendant de la zone piémontaise. A la suite des travaux de divers géologues (Lemoine *et al.* 1970; Steen, 1975; Vuagnat, 1963, 1975; Gass, 1977) et surtout de la thèse de doctorat de Lagabrielle (1987), on peut distinguer, dans les Alpes Cottiennes et pour la région qui nous intéresse, les unités suivantes: l'unité ophiolitique basale du Mont-Viso caractérisée par son métamorphisme éclogitique, les unités océaniques médiane et supérieure montrant le faciès schiste bleu. Notons en outre que l'on trouve des masses ophiolitiques de dimensions variables (détritiques, olistolites, etc.) au sein de la couverture sédimentaire des unités ophiolitiques.

Les petits massifs ophiolitiques situés sur la rive droite de l'Aigue-Blanche à l'est de Saint-Véran font plus particulièrement l'objet de cette étude; ils appartiennent, probablement, à l'unité supérieure de Lagabrielle (1987) encore que certains pourraient être des olistolites. De dimensions très variables (épaisseur 1-200 mètres, longueur 5-500 mètres, largeur 1-200 mètres), ces ophiolites donnent au paysage un aspect typique: pentes structurales de Schistes lustrés desquelles surgissent des rognons de roches vertes. Ces affleurements dont la séquence ophiolitique est parfois

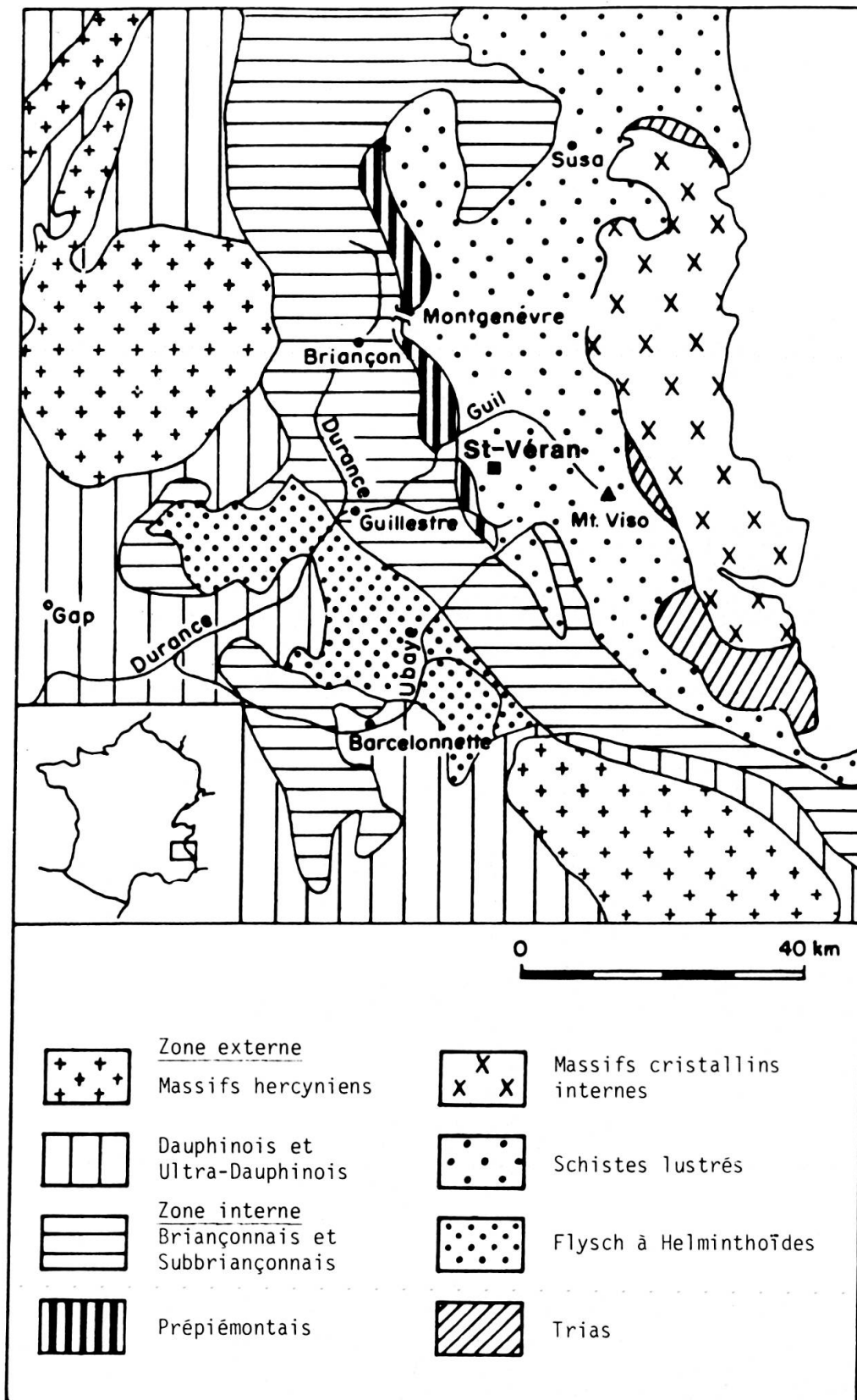


FIG. 1.

Carte géologique simplifiée des Alpes Cottiennes.

complète (figure 2) et souvent accompagnée par une couverture sédimentaire typique constituée de quartzites, marbres et calcaire siliceux (Haccard et Lemoine, 1970; Saby, 1983) sont affectés par une phase de métamorphisme de type schiste bleu partiellement ou totalement oblitérée par une phase de rétomorphose de type schiste vert.

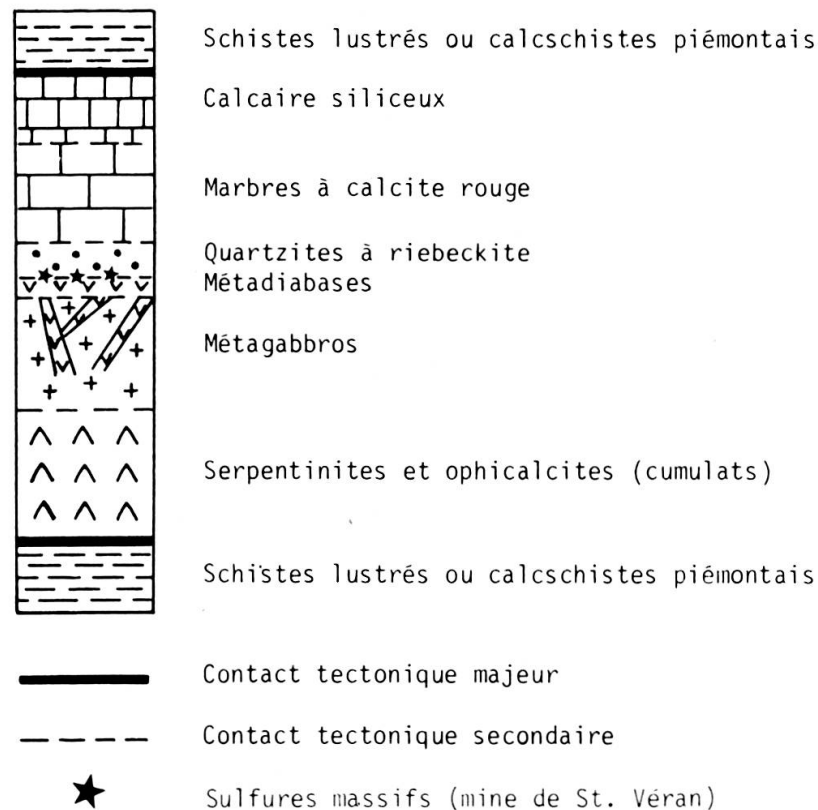


FIG. 2.

Séquence ophiolitique de Saint-Véran.

Si le complexe ophiolitique du Mont-Viso semble se distinguer des autres massifs de roches vertes dans ce secteur des Alpes, il ne faut cependant pas écarter l'hypothèse d'une nappe ophiolitique unique. Le Mont-Viso en serait le corps principal, les affleurements du type Montgenèvre ou Pelvas affleueraient en klippe alors que les lentilles ophiolitiques intercalées dans les Schistes lustrés seraient des diverticulations de la nappe (figure 3).

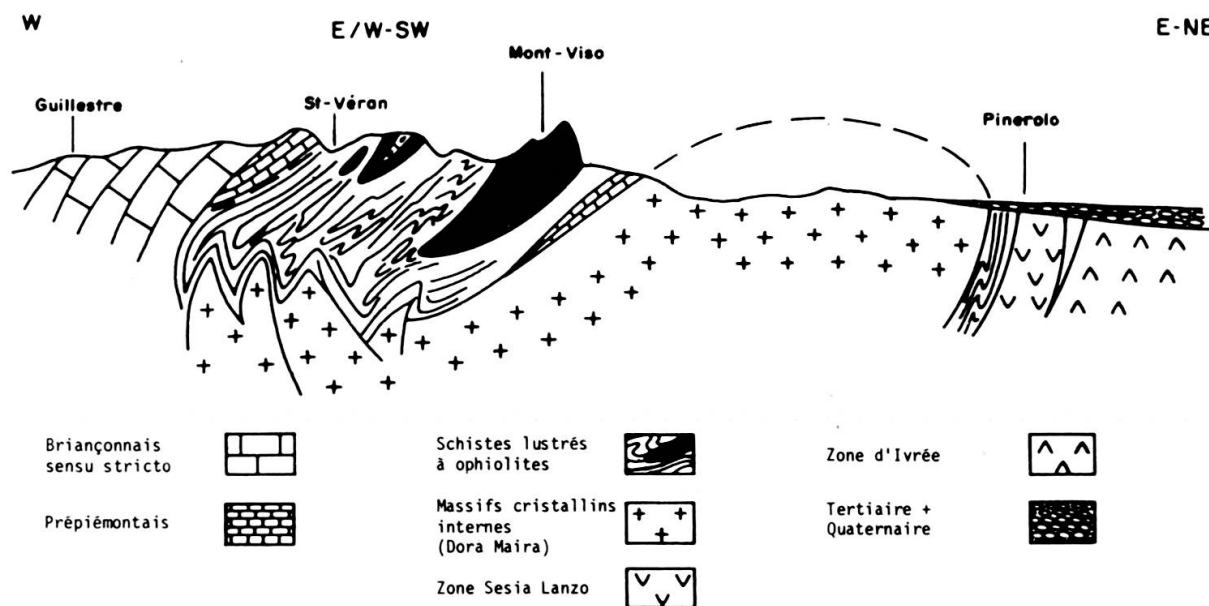


FIG. 3.

Coupe simplifiée au travers des Alpes Cottianes à la latitude du Mont-Viso.

3. DESCRIPTIONS PÉTROGRAPHIQUES DES DIFFÉRENTS TYPES DE ROCHES CARTOGRAPHIÉES À SAINT-VÉРАН

3.1. ROCHES ULTRABASIQUES

Les serpentinites à grands cristaux de bastite

Cette variété, la plus commune dans la région que nous avons étudiée, est constituée par des plages à structure maillée dont le réseau est constitué par du chrysotile et les interstices sont occupés par des cristaux de bastite résultant de la pseudomorphose des pyroxènes originels par de la lizardite. Nous avons constaté des reliques d'olivine et de clinopyroxènes indiquant que cette serpentinite est probablement le résultat de la transformation d'une lherzolite. Nous avons également noté la présence de veinules de chrysotile et d'antigorite, ainsi que de la chlorite, de l'actinote et du talc. Ces minéraux forment une paragenèse de type schiste vert (Pl. 1, a).

Minéraux principaux: chrysotile, lizardite, chlorite, antigorite.

Minéraux accessoires: actinote, magnétite, picotite, pyrite, hématite.

Les ophicalcites

Longtemps considérées comme des brèches tectoniques cimentées par des solutions carbonatées, ces roches ont probablement une origine sédimentaire (Tricart *et al.*, 1982), qu'il n'est pas possible de confirmer dans le cas présent. Les

éléments serpentinisés présentent une structure de cumulats. Les minéraux qui constituent cette roche sont semblables à ceux des serpentinites (Pl. 1, b), auxquels s'associent des carbonates.

3.2. ROCHES BASIQUES

Les métagabbros

Les métagabbros présentent généralement une structure hypidiomorphe grenue avec quelques passées de flaser gabbro. Néanmoins, les effets de la tectonique alpine ont parfois graduellement transformé l'arrangement initial en une structure lépidoblastique ou prasinitique, à yeux d'albite, dans une matrice composée essentiellement de chlorite et d'épidote. Les effets du métamorphisme alpin ont dans ce cas, détruit la plupart des minéraux originels, à l'exception de rares cristaux de pyroxènes et d'amphiboles, pour les remplacer par une paragenèse de type schiste bleu ou schiste vert (Pl. 1c).

Paragenèse I (schiste bleu):

glaucophane, albite, lawsonite, sphène, leucoxène
pyroxène sodique, séricite, stilpnomélane.

Paragenèse II (schiste vert):

diallage, albite, épidote, chlorite, pyroxène sodique, séricite.

Les métadiabases

Nous avons observé dans les métadiabases cartographiées à Saint-Véran de rares reliques de structures ophitiques, mais le plus souvent la roche a acquis une structure lépidoblastique imposée par la formation des minéraux de métamorphisme (principalement lawsonite, albite, chlorite, riebeckite, quartz, pyroxène sodique).

La plupart des métadiabases constituent des bancs allongés de faible épaisseur (0,10-1 m), situés au sommet d'un gabbro ou à la base d'un niveau de quartzites. Les minéraux caractéristiques du faciès schiste vert prédominent largement sur ceux du faciès schiste bleu.

Minéraux principaux: albite, chlorite, épidote, lawsonite, pyroxène sodique.

Minéraux accessoires: augite, quartz, séricite, sphène, riebeckite, hématite, zoïsite.

Il est à noter que, contrairement à ce qui est le cas dans d'autres régions du Queyras, nous n'avons pas observé de structures typiques des laves en coussins. Cette absence a été également constatée dans la séquence ophiolitique à laquelle est liée la minéralisation cuprifère de Viaforcia (Dal Piaz *et al.*, 1979, Ayoub, 1984).

3.3. ROCHES SÉDIMENTAIRES ET MÉTASOMATITES

Les quartzites à riebeckites

Ces roches, facilement reconnaissables à l'affleurement, sont généralement rubanées. Les niveaux bleu foncé sont formés par un alignement de fines aiguilles de riebeckite: leur épaisseur peut varier de quelques millimètres à 3 centimètres et ils se répètent au sein de la matrice quartzreuse à un intervalle allant du millimètre à 10 centimètres. Au microscope, le quartz apparaît sous la forme de grains isométriques aux contours non engrenés; cette structure est similaire à celle des quartzites sédimentaires (Termier, 1904; Routhier, 1945, 1946). Les niveaux sombres sont formés par l'alignement parallèle d'aiguilles de riebeckite; des plissements dysharmoniques d'une passée à l'autre sont fréquents, les amphiboles sont alors tordues ou brisées. Nous avons également observé certains quartzites dont les aiguilles de riebeckite sont disposées sans orientation privilégiée. Cette différence de structure témoigne de variations locales des contraintes au cours de la recristallisation, plutôt que de l'existence de plusieurs générations de riebeckite (Pl. 1, d).

Minéraux principaux: quartz, riebeckite.

Minéraux accessoires: pyroxène aegyrinique, épidote, chlorite, albite non maclée, séricite, stilpnomélane, hématite.

Les marbres

Les marbres, très caractéristiques, qui affleurent dans le vallon du Rif des Lacs jusqu'au col du Longet et au-dessus de la carrière de marbre, sont connus depuis longtemps sous le nom de cipolins fruités (Termier, 1904). Ils sont constitués par des roches à mouchetures millimétriques rouges, couleur due à une fine poussière hématitique, qui parsème une matrice calcitique à patine jaune pâle gris (Pl. 1, e).

En dehors de la zone de la mine, ces marbres sont souvent parcourus de fines mouchetures gris-noir. De telles roches ont déjà été signalées ailleurs dans les Alpes cottiennes (Lemoine *et al.*, 1971). Enfin, de rares marbres à riebeckite ont été observés.

Minéraux principaux: calcite, quartz.

Minéraux accessoires: chlorite, albite non maclée, hématite, riebeckite, séricite.

Les calcaires siliceux

Cette formation est constituée par des schistes argilo-siliceux gris ou noirs au sein desquels s'interstratifient des bancs d'épaisseur (0.10-2 m) et d'espacement (0.05-5 m) variables de calcaires gris clair à noir. On observe en effet sur les tranches altérées de ces bancs une fine «trame rousse» maillée, c'est-à-dire un fin réseau millimétrique fait de matière siliceuse ou argilo-siliceuse à pigments hématitiques que la dissolution préférentielle du calcaire met en relief. Cette roche est affectée de nom-

breux plis ou replis souvent dysharmoniques, ce qui rend difficile l'évaluation de leur épaisseur (Lemoine *et al.*, 1971).

Minéraux principaux: calcite, quartz, chlorite.

Minéraux accessoires: stilpnomélane, épidote, pyrite, séricite.

Roches à forte proportion de lawsonite

Ces roches sont constituées parfois jusqu'à 70% de lawsonite souvent maclée et dont les prismes n'ont pas d'orientation privilégiée. Si les roches contenant un peu de ce minéral sont d'anciennes roches basiques (gabbros, diabases), ayant subi un métamorphisme isochimique, celles caractérisées par des teneurs remarquablement élevées sont de véritables métasomatites. On les trouve en contact direct avec des calcaires dont elles ont tiré le calcium indispensable à la formation de la lawsonite (Pl. 1, f).

Minéraux principaux: lawsonite, chlorite.

Minéraux accessoires: albite non maclée, sphène.

4. MÉTAMORPHISME

4.1. SUR LA PRÉSENCE DE GLAUCOPHANE ET DE RIEBECKITE

Nous avons constaté, dans les roches de Saint-Véran, la présence de deux amphiboles bleues sodiques: le glaucophane, associé aux roches basiques, et la riebeckite, que l'on trouve dans les quartzites et les marbres. L'étude au microscope de ces minéraux indique qu'ils se sont formés simultanément lors du métamorphisme alpin. En effet, comme le prouve une étude englobant toute la partie ouest des Alpes (Bocquet, 1974), les variations dans la composition chimique des amphiboles bleues ne résultent pas de changements dans le domaine pression/température, mais sont étroitement liées à la teneur en fer et à l'état d'oxydation de la roche encaissante. Les quartzites (radiolarites) sont caractérisées par des teneurs en fer élevées, ce qui explique leur richesse en riebeckite. Le niveau massif de riebeckite, au mur des quartzites, s'explique par l'abondance des oxydes de fer (hématite, magnétite) dans la couche minéralisée sous-jacente. Enfin, nous avons constaté que les marbres à riebeckite ne contiennent jamais de «taches» de calcite hématitique, tout le fer étant passé dans l'amphibole. La présence de glaucophane dans les autres roches, notamment dans les gabbros, s'explique par la plus faible teneur en fer de ces dernières (absence d'hématite ou de magnétite) et confirme la relation entre la teneur en fer de la roche encaissante et le type d'amphibole qu'elle contient.

4.2. MINÉRAUX ET PARAGENÈSES DE MÉTAMORPHISME

L'étude pétrographique nous a révélé que les roches de Saint-Véran ont été affectées par un métamorphisme polyphasé caractérisé par des paragenèses variées.

En ce qui concerne les ophiolites, elles ont subi dès leur formation les effets du métamorphisme océanique, caractérisé d'une part par les faciès à zéolites, schiste vert ou même amphibolite, et d'autre part, par des phénomènes d'échanges chimiques aboutissant à la spilitisation plus ou moins complète des laves sous-marines (pillow-lavas, diabases). C'est sans doute de cette phase précoce que date la transformation des péridotites en serpentinites et ophicalcites (formation de chrysotile, de lizardite), ainsi que la transformation des augites des gabbros en hornblende (ouralitisation). Les effets de ces processus ont été reconnus à Saint-Véran, notamment les conséquences de la spilitisation qui déterminent l'abondance de minéraux sodiques: pyroxènes et amphiboles sodiques.

Les effets du métamorphisme alpin étant complexes, nous avons déterminé, dans les roches basiques de Saint-Véran, les deux paragenèses des minéraux de métamorphisme suivantes:

1. Glaucophane, lawsonite, pyroxène sodique, sphène.

Cette paragenèse définit le faciès schiste à glaucophane typique, la présence de pyroxène sodique à la place du glaucophane ne correspond pas forcément à un champ de stabilité distinct mais peut être déterminée par la composition de la phase fluide.

2. Albite, chlorite, épidote, sphène, zoïsite.

Cette paragenèse définit le faciès schiste vert caractéristique de la phase de rétro-morphose du métamorphisme alpin.

Sans pouvoir les attribuer à l'un ou à l'autre des groupes de faciès métamorphiques, nous avons également reconnu dans les différentes formations cartographiées à Saint-Véran les assemblages minéralogiques suivants:

Serpentinites et ophicalcites: actinote-trémolite, talc, chlorite, antigorite, chrysotile.

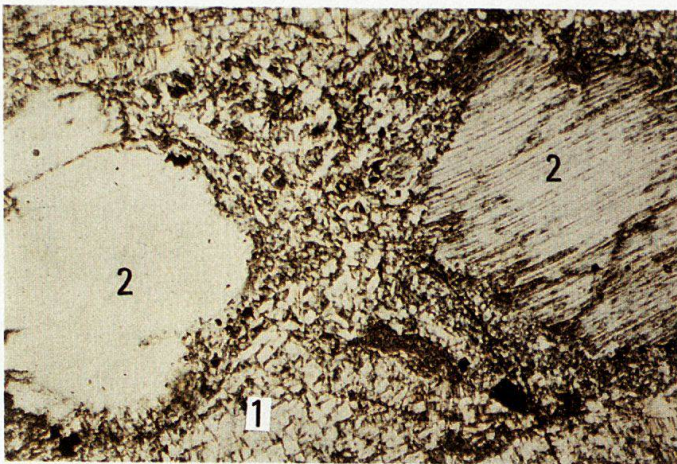
Quartzites: pyroxène aegyrinique, riebeckite, albite, chlorite, épidote, séricite, stilpnomélane.

Marbres: riebeckite, séricite, chlorite.

Calcaires siliceux: chlorite, stilpnomélane, séricite.

4.3. LE MÉTAMORPHISME DE SAINT-VÉРАН DANS LE CADRE DE LA TECTONIQUE ALPINE

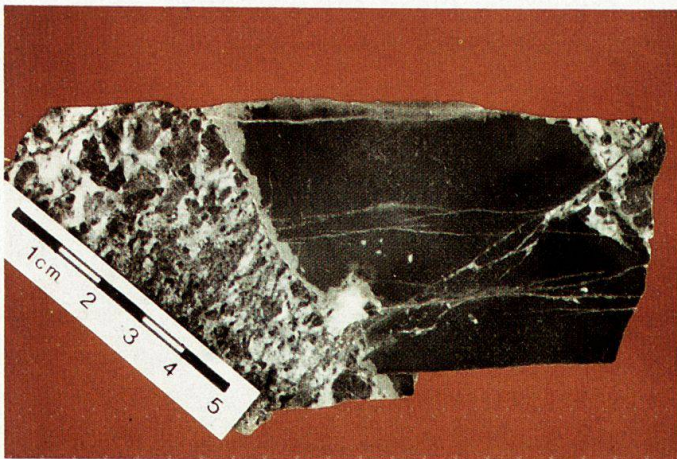
Nous avons tenté d'insérer les paragenèses métamorphiques définies à Saint-Véran dans un modèle dynamique de la formation des Alpes, tenant compte de la



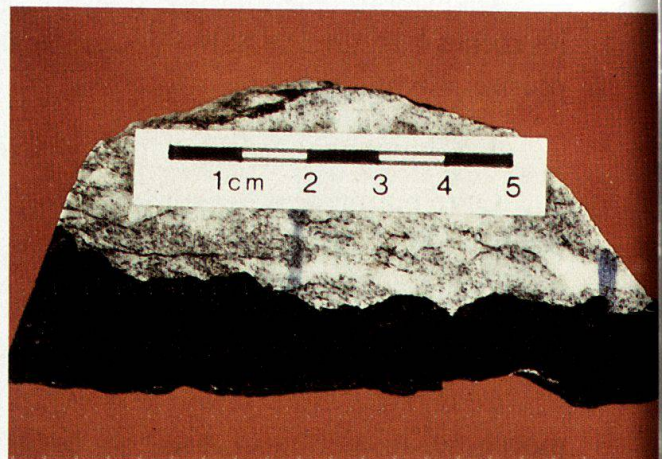
Pl. 1, a : Lum. nat. Serpentinite à structure maillée, chrysotile (1) et cristaux de bastite (2).



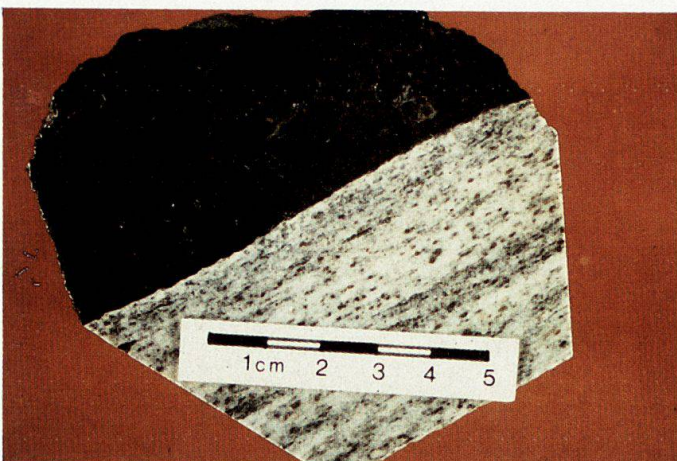
Pl. 1, b : Ophicalcite à éléments serpentineux bréchiques.



Pl. 1, c : Gabbro à cristaux de diorite injecté par un filon de diabase.



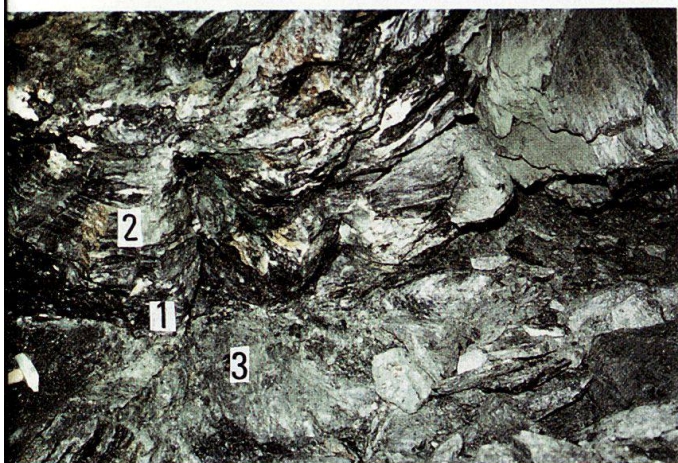
Pl. 1, d : Quartzite à riebeckite typique.



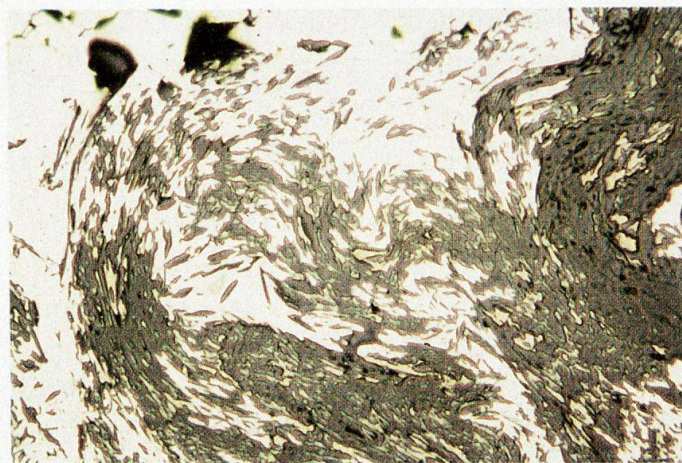
Pl. 1, e : Marbre ou cipolin fruité (Termier, 1904) en contact avec du minéral massif.



Pl. 1, f : Métasomatite à lawsonite (1).

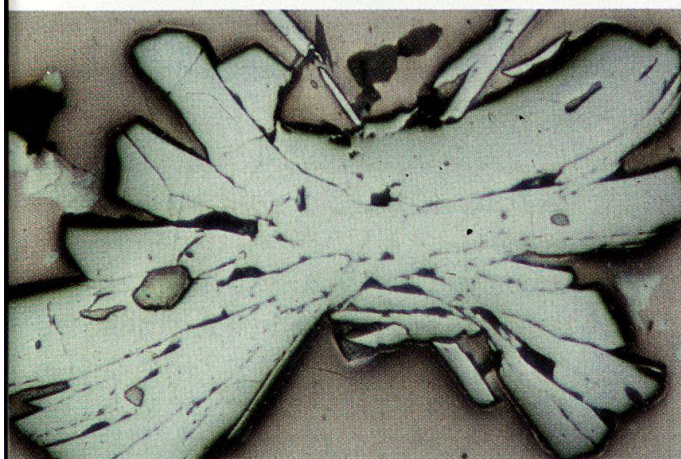


Pl. 2, a : Boudin de minéral (1) pris entre des quartzites (2) au toit et des calcschistes (3) au mur.



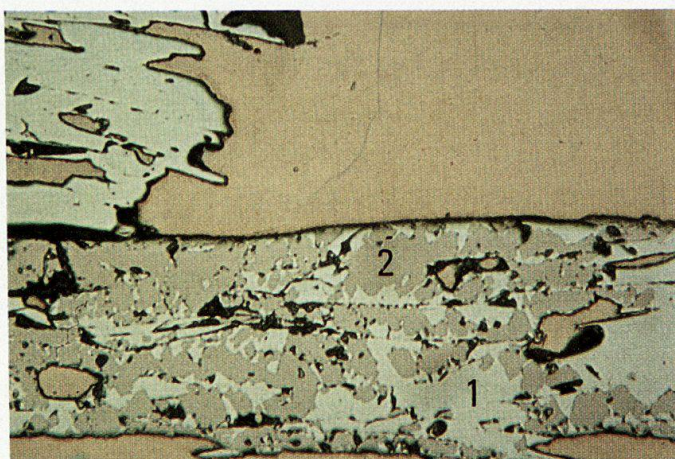
Pl. 2, b : Lum. nat. Aiguilles de riebeckite formant des plis dans une plage de chalcopyrite.

100 μ m



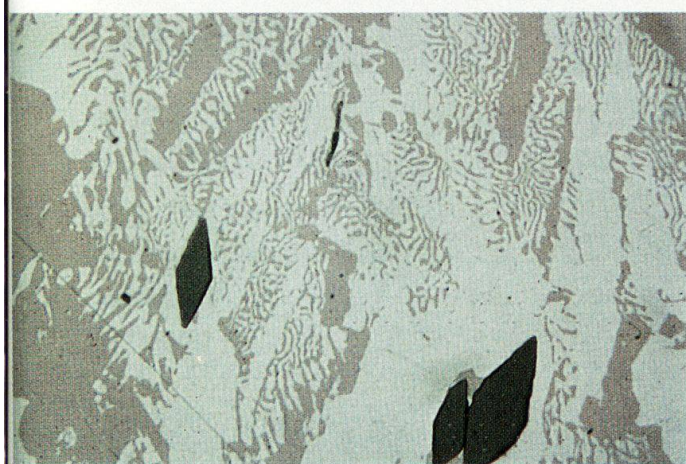
Pl. 2, c : Lum. nat. Gerbe d'hématite dans la bornite.

100 μ m



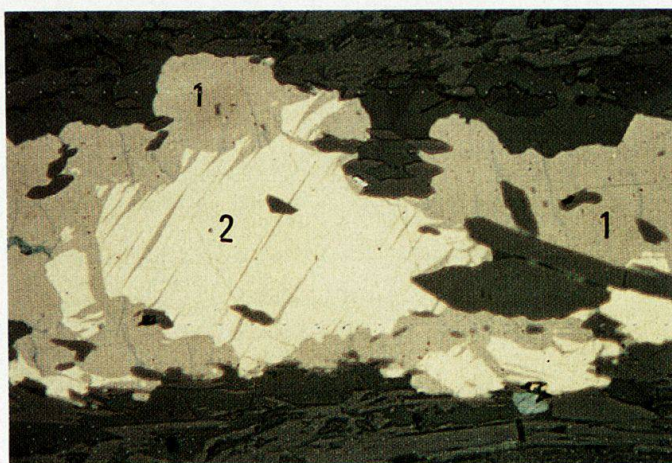
Pl. 2, d : Lum. nat. Pseudomorphose d'hématite (1) par de la magnétite (2).

100 μ m



Pl. 2, e : Lum. nat. Association myrmécitique bornite/digénite. On remarque les sections losangiques de la riebeckite.

100 μ m



Pl. 2, f : Lum. nat. Flamme de bornite (1) envahissant une plage de chalcopyrite (2).

100 μ m

tectonique des plaques (Frey *et al.*, 1974; Dal Piaz, 1974; Dietrich *et al.*, 1974). Les phases suivantes peuvent être envisagées:

1. *Métamorphisme océanique*
(Jurassique-Crétacé inférieur) reconnue à Saint-Véran
2. *Métamorphisme alpin*
 - a) 1^{re} phase de compression (Cénomanién-Eocène) paragenèses éclogitiques (Alpes valaisannes et piémontaises) et à glaucophane I.
 - b) 2^e phase de compression (Eocène-Oligocène) (paroxysme alpin) paragenèse à px-sodique et à glaucophane II, reconnue à Saint-Véran.
 - c) Phase de rétromorphose (Oligocène-Miocène) paragenèse schiste vert, reconnue à Saint-Véran.

Les paragenèses constatées à Saint-Véran occupent un domaine assez large du champ pression/température. Les paragenèses à pyroxène sodique et lawsonite se manifestent à des pressions très élevées (7-9,5 kb) et à des températures faibles à modérées (200-300°C). Les paragenèses à amphiboles bleues et lawsonite correspondent à des pressions élevées (5,5-9 kb) et à des températures légèrement supérieures (250-390°C). La rétromorphose postérieure s'exprime par la disparition de la glaucophane et de la lawsonite et par le passage au faciès schiste vert. Cette dernière phase a dû se produire à la suite d'une nette chute de la pression (<5 kb), la température augmentant quelque peu (360-440°C). Ces valeurs ont été déterminées par Steen (1972, 1975), en Haute-Ubaye, région voisine de Saint-Véran et qui a subi une évolution métamorphique comparable.

5. LE GISEMENT CUPRIFÈRE DE SAINT-VÉРАН

La mine de Saint-Véran a déjà fait l'objet de plusieurs publications auxquelles le lecteur pourra se référer. Termier (1904), Wegmann (1928), Routhier (1946).

5.1. OBSERVATIONS GÉOLOGIQUES DANS LA MINE

Nous avons établi la topographie de la mine et levé la géologie entre les galeries 5 (cote 2230 m) et 3 (cote 2380 m). Depuis l'intérieur de la mine, l'accès aux niveaux supérieurs (travers banc 2bis et 2 (Routhier, 1946)) est possible, mais peu sûr. On retrouve dans la mine la plupart des formations telles qu'elles affleurent en surface et dans la même succession (figure 4a, b). Les seules galeries d'accès encore praticables (travers-bancs 4 et 5) ont été percées en direction dans les calcaires siliceux, puis des travers-bancs dirigés sur la droite intersectent le reste des formations constituant la séquence de la mine s. stricto: calcaires siliceux, marbres à calcite rouge, quartzites, sulfures massifs, serpentinites, talcschistes/diabases (figures 2, 4a, b, chapitre 3).

La série de la mine peut se répéter (partiellement complète), comme au niveau du travers-banc 4 (figure 4b) au sein de l'encaissant que constituent les schistes lustrés.

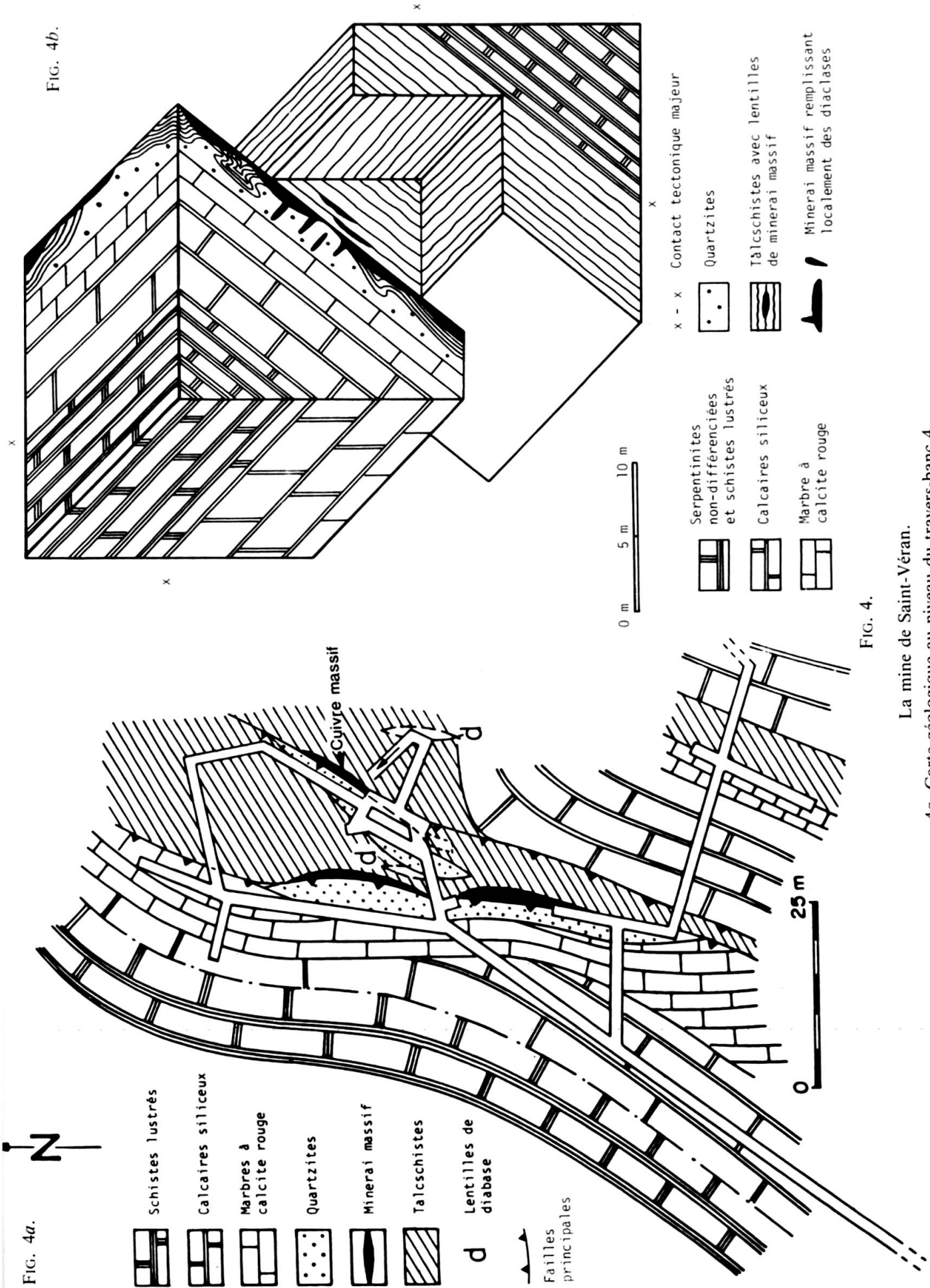


FIG. 4.

La mine de Saint-Véran.

4a. Carte géologique au niveau du travers-banc 4.
4b. Section géologique à travers la série de la mine. On notera les différentes dispositions du minerai au sein de l'encaissant, ainsi qu'une faille oblique inverse entre les talschistes et les quartzites.

Nous avons souvent remarqué, à la base des quartzites, des niveaux massifs à amphiboles bleues dont l'épaisseur varie de 20 à 80 cm. Ils sont constitués à 90% par des aiguilles de riebeckite à laquelle se mêlent quelques grains de magnétite, d'hématite ainsi que de rares grains de bornite et de chalcopyrite. Au mur de la couche minéralisée, la présence d'ophicalcites et de talcschistes à riebeckite a été également observée. D'autre part, nous avons cartographié des lentilles de diabase de quelque 60 m³ enrobées dans les talcschistes (figure 4*b*). Enfin, entre les niveaux 3 et 4 (Routhier, 1946), les lentilles de sulfures massifs sont en contact direct, au toit, avec les marbres à calcite rouge, les quartzites étant absents.

5.2. QUELQUES REMARQUES SUR LA GÉOLOGIE STRUCTURALE

La série de la mine a subi les effets de plusieurs phases de déformations structurales. Nous avons observé, sans les situer très précisément, les effets d'au moins deux phases distinctes.

Tout d'abord, une phase de plissement a affecté plus particulièrement les calcaires siliceux et les marbres. Dans ces derniers, on remarque de nombreux plis isoclinaux, parfois ouverts, à charnière aiguë de type concentrique aplati à semblable. Dans les calcaires siliceux, le style tectonique est différent et l'on note des plis ouverts de type concentrique.

Ensuite, une phase postérieure a causé un accident tectonique majeur entre le minerai massif et les formations sus- et sous-jacentes (Wegmann, 1927; Routhier, 1946). L'analyse de plusieurs diaclases situées au niveau des sulfures massifs suggère un mouvement de faille inverse oblique le long d'un plan parallèle au toit des talcschistes et à la base de la couverture sédimentaire des ophiolites, quartzites ou marbres (figure 4*a*). Au cours de cette phase, le minerai a été tectonisé et remobilisé, comme l'indiquent les phénomènes suivants:

- nombreux plis de lits de riebeckite dans le minerai;
- localement, présence d'une brèche tectonique de quartzite à riebeckite le long du plan de faille;
- remplissage par le minerai de diaclases de tension perpendiculaires au plan de faille;
- remplissage par le minerai de diaclases de tension parallèles au plan de faille;
- phénomènes de boudinage et de bourrage du minerai le long du plan de faille (Pl. 2, *a*).

5.3. GÉOMÉTRIE DU NIVEAU À SULFURES

Le niveau exploité se présente comme une couche pendant de 60° en moyenne vers l'ouest; il a été reconnu entre les cotes 2230 et 2480, soit sur une hauteur de 250 mètres et une longueur de 300 mètres environ. La puissance et l'extension horizontale de ce niveau sont très variables et nous sommes plus exactement en présence

d'une série de lentilles réunies par des parties amincies. Entre les cotes 2480 (TB 1) et 2300 (TB 4), la couche a été exploitée en deux lentilles dans le prolongement l'une de l'autre. La section exploitée diminue vers le bas comme l'attestent les chiffres du tableau n° 1.

Tableau 1. **Surface des sections exploitées à trois niveaux différents**
(Poulain, 1967)

Altitude	Lentille nord			Lentille sud		
	Puissance	Longueur	Section	Puissance	Longueur	Section
2390	2,5 m	36 m	90 m ²	2 m	40 m	20 m ²
2300	3,1 m	16 m	59 m ²	2 m	5,6 m	11,2 m ²
2260	0,2 m	10 m	5 m ²			

Enfin, une lentille tectonique de quartzite à riebeckite contient du cuivre natif qui s'est également réparti dans des talcschistes le long du plan de faille qui la borde (figure 4a). Cette zone mesure approximativement 20 mètres de hauteur, 15 mètres de largeur et 2 mètres d'épaisseur.

5.4. TYPES DE MINÉRAI

Il est certain que la tectonique et le métamorphisme ont eu un rôle important dans la formation des différents types de minerai tels que nous les observons aujourd'hui. Des phénomènes de remobilisation partielle à l'échelle locale ont oblitéré les relations primaires entre les différentes associations minéralogiques pour constituer les paragenèses suivantes:

- minerai massif formant le niveau à sulfures massifs limité au toit par les quartzites et au mur par les talcschistes.
Paragenèse: bornite - digénite - chalcocite (95% du minerai exploité).
- Sulfures et oxydes disséminés dans les niveaux constitués à 90% de riebeckite.
Paragenèse: chalcopyrite - magnétite - bornite (4% du minerai exploité).
- minerai massif remplissant des diaclases décimétriques dans les quartzites et les niveaux à riebeckite.
Paragenèse: bornite - digénite - chalcocite (0,5% du minerai exploité).
- minerai massif en lentilles décimétriques, parallèles à la schistosité développée dans les talcschistes, ceci jusqu'à une distance de deux mètres au mur du niveau à sulfures massifs.
Paragenèse: bornite - digénite - chalcocite (0,5% du minerai exploité).

La figure 4b illustre la disposition des différents types de minerai au sein de l'encaissant. A l'échelle microscopique, on s'aperçoit que le minerai massif a été fortement tectonisé, des lits de riebeckite ont été affectés par des plis, les aiguilles d'amphiboles bleues sont tordues ou brisées et cimentées par le minerai. On observe également dans ce dernier, comme dans les quartzites, une variété de riebeckite sans orientation préférentielle ou arachnoïde (Pl. 2, a).

5.5. EXPLOITATION DE LA MINE

A travers les différentes phases de travaux, qui remontent au temps des Romains, la mine de Saint-Véran ne connut que deux périodes d'exploitation industrielle: la première entre 1929 et 1931 par une petite société minière privée, puis entre 1938 et 1941 par la Société industrielle des mines, filiale du groupe Pechiney. Le minerai était abattu de manière sélective, seul l'horizon à sulfures massifs a été exploité. Environ 2500 tonnes de minerai à 40% de cuivre ont été extraites de la mine, soit 1000 tonnes de cuivre métal.

6. MINÉRAUX OPAQUES

Dans la mine de Saint-Véran, nous avons déterminé les minéraux suivants, cités par ordre d'importance quantitative décroissante (figure 5).

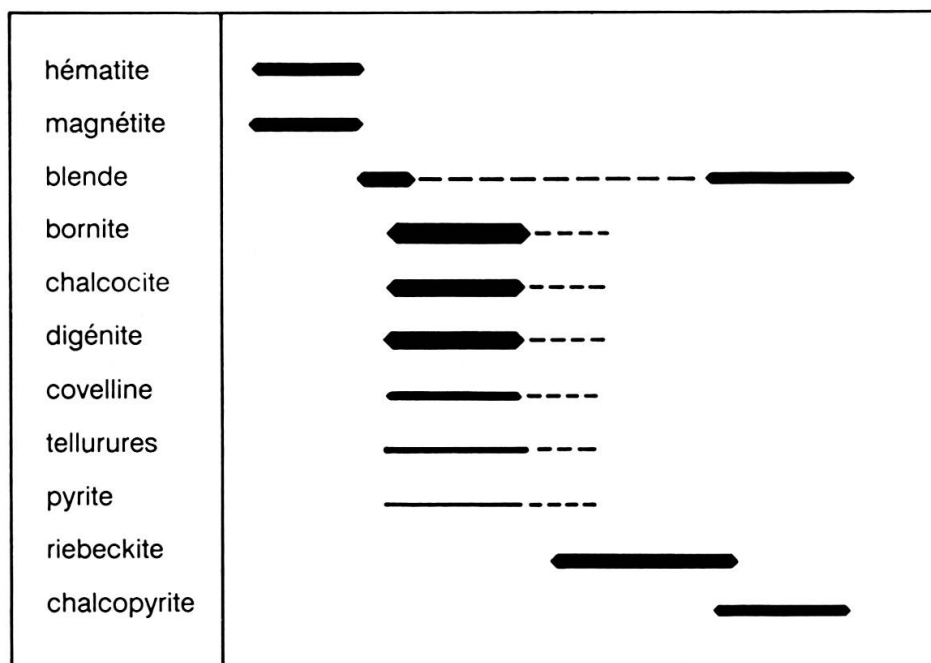


FIG. 5.

Séquence paragénétique des principaux minéraux opaques.

Minéraux principaux: bornite, digénite, chalcocite, hématite, magnétite.

Minéraux accessoires: blende, chalcopyrite, covellite, pyrite, linnéite $(\text{CoCuNi})_3\text{S}_4$, cuivre natif, idaïte Cu_5FeS_6 , mawsonite $\text{Cu}_7\text{Fe}_2\text{SnS}_{10}$, hessite Ag_2Te , altaïte PbTe , coloradoïte HgTe , clausthalite PbSe , cuprite, malachite.

D'autre part, Bouladon et Picot (1960) ont signalé à Saint-Véran la présence de galène (PbS), de stannite jaune (CuFeSnS_4) et de sylvanite (AuAgTe_4).

La description détaillée de chaque minéral est donnée dans l'ordre de leur formation.

Hématite. On observe ce minéral en gerbes (Eisenrosen) intactes ou en lamelles tordues flottant dans les sulfures. Fréquente dans le minerai massif, elle est rare et de taille réduite dans les zones riches en riebeckite. Nous avons remarqué une pseudomorphose de l'hématite par une variété de magnétite appelée muschketovite, causée par une élévation de la température due au métamorphisme (Picot et Johan, 1977) (Pl. 2, c).

Magnétite. Ce minéral, le plus souvent idiomorphe, est rare dans les niveaux à sulfures massifs mais fréquent dans les zones riches en riebeckite. Les deux oxydes de fer étant profondément cariés par les sulfures, nous concluons donc qu'ils ont cristallisé avant ces derniers (Pl. 2, d).

Blende. Relativement rare, elle se caractérise par des réflexions internes intenses, on la trouve souvent cariée par les sulfures de cuivre et la riebeckite.

Bornite. Ce sulfure est de loin le plus fréquent à Saint-Véran; on l'observe en larges plages formant une matrice pour les autres minéraux ou en inclusions dans de la chalcopyrite. Il est le plus souvent isotrope, parfois légèrement anisotrope, rarement fortement anisotrope, c'est alors de la mawsonite. De l'idaïte se substitue parfois à la bornite; le remplacement débute le long des clivages sous forme de fines lamelles et s'accompagne de néoformation de chalcopyrite. De nombreuses associations myrmécitiques bornite/digénite ou bornite/chalcocite caractérisent le minerai de Saint-Véran. Les avis sont nombreux en ce qui concerne les conditions de formation de ces structures. Néanmoins, nous pensons pouvoir les expliquer en invoquant, comme l'avait déjà fait Routhier (1946), des phénomènes de remplacement. La bornite, la digénite, la chalcocite et la covellite se carient mutuellement. Comme ces sulfures ont été partiellement remobilisés au cours des phases successives de métamorphisme, on ne peut déterminer leur position paragénétique originelle (Pl. 2, e).

Digénite. C'est, en quantité, le second sulfure de la couche minéralisée exploitée à Saint-Véran. Nous en avons observé deux variétés; l'une de couleur blanche ne se distingue de la chalcocite que par son isotropie, l'autre est de couleur bleu-gris. On trouve ces deux types de digénite sous forme d'association lamellaire, alors que la digénite bleue est le plus souvent associée à de la covellite et forme parfois de belles associations myrmécitiques avec la bornite.

Chalcocite. Fréquent, ce minéral est toujours associé avec de la bornite et forme souvent avec cette dernière de belles myrmécites.

Tellurures et séléniures. Les minéraux de ce groupe se retrouvent généralement en petites inclusions le plus souvent dans la bornite, mais parfois aussi dans la chalcopyrite et dans la blende. Ils ont été déterminés par des méthodes optiques classiques (Uytenbogaart & Burke, 1971) et dans certains cas par microscopie électronique à balayage et microanalyse par spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie. L'altaïte, la clausenthalite et la hessite sont les minéraux de ce groupe les mieux représentés.

Pyrite. Sa rareté témoigne d'une particularité du gisement de Saint-Véran, signalée par Wegmann (1927) et soulignée par Routhier (1946): la déficience en soufre, par rapport aux métaux lourds, ce qui explique l'abondance des sulfures «riches» en cuivre et la presque totale absence du sulfure de fer. La pyrite est clairement postérieure à la blende et antérieure à la chalcopyrite. Nous pensons qu'elle fait partie de la séquence des sulfures de cuivre primaires.

Chalcopyrite. Ce minéral fréquent est étroitement associé à la présence des amphiboles bleues et des oxydes de fer. Sa formation n'a débuté qu'à partir de la phase schiste bleu du métamorphisme alpin et résulte vraisemblablement de la variation du rapport Cu/Fe au sein des minéraux de la couche minéralisée, due à des phénomènes de remobilisation.

Linnéite. Très rare, nous avons observé des plages de linnéite corrodée par une association bornite-chalcopyrite. Des flammes de cette même association se développent dans des plages de chalcopyrite (Pl. 2, f).

Covellite. Fréquente et facilement reconnaissable par son pléochroïsme et son anisotropie, elle s'observe toujours en agrégats xénomorphes à structure lamellaire dans la bornite; elle est souvent associée à la digénite.

Cuivre natif. Il se trouve en minces feuilletés parallèles à la schistosité dans les talcschistes et, dans des quartzites, en lits grossièrement parallèles aux aiguilles de riebeckite. La présence du cuivre natif est probablement due à des phénomènes secondaires d'oxydation ayant affecté une zone primaire semblable à celle de la couche minéralisée principale.

7. L'INDICE CUPRIFÈRE DU PIC CORNIVIER

Cet indice est situé à 150 m à l'est du Pic-Cornivier, sur la crête menant de ce dernier à la pointe des Sagnes Longues. Une crête de gabbro affleure sous un petit col. On peut suivre sur une dizaine de mètres les changements de sa structure. De peu déformé, ce métagabbro acquiert une structure prasinitique typique: lits de chlorite et d'épidote entourant des yeux d'albite et de glaucophane.

Par contraste avec la mine, les minéraux opaques de l'indice du Pic Cornivier sont peu nombreux. On trouve, par ordre d'importance quantitative décroissante, la chalcopyrite, la blende, la linneïte (Bouladon & Picot, 1968). La description détaillée de chaque minéral est donnée par ordre de succession paragenétique.

La *chalcopyrite* se trouve en lits parallèles à la schistosité ou emplissant des fissures perpendiculaires. On trouve également de la chalcopyrite dans un quartzite à chlorite sous-jacent, associé à des veinnules quartzieuses tardives.

La *blende* forme de fines veines traversant et entourant les plages de chalcopyrite. On ne la trouve que sous sa forme bothryoïdale et collomorphe, appelée «schalenblende».

La *linneïte* se rencontre en cristaux de petites dimensions (de l'ordre de 50 microns), dans la chalcopyrite ou dans le métagabbro encaissant. Nous n'avons pas procédé à une analyse chimique précise, mais d'après ses caractères optiques il devrait s'agir d'une carrolite (Co_2CuS_4).

8. GENÈSE ET CLASSIFICATION

Les études récentes basées sur les données océanographiques permettent de mieux comprendre les processus qui ont donné origine au gîte de Saint-Véran (Sillitoe, 1972, Hutchinson 1973, Mitchell et Garson 1976). Celui-ci se classe parmi les gisements à sulfures massifs liés à l'activité hydrothermale (circuits de convections, Parmentier et Spooner, 1978) qui accompagne la formation de croûte océanique le long des rides médio-océaniques. Les observations de l'équipe scientifique CYAMEX (Francheteau *et al.*, 1979) ont confirmé ce modèle de genèse qui s'applique également aux gisements cuprifères de Chypre (Searle, 1972), d'Ergani Maden et Kure en Turquie, d'Oxec, Guatemala. Dans les Alpes, les effets de l'orogénèse alpine ont le plus souvent oblitéré les caractéristiques métallogéniques primaires des gîtes cuprifères rendant leur classification problématique. Néanmoins, à la suite de Brigo *et al.*, 1976, on peut distinguer:

a) les minéralisations stratiformes intercalées au sein d'une séquence volcano-sédimentaire à tufs.

b) Les minéralisations associées à une séquence ophiolitique d'affinité océanique situées au sein des diabases ou à l'interface entre ces dernières et leur couverture sédimentaire.

Il est donc possible de regrouper les gisements d'Alagna (val Sesia) et de Saint-Marcel (val d'Aoste) dans la première catégorie, alors que les minéralisations de Vezani et Noceta en Corse, ainsi que l'indice de Viaforcia (Dal Piaz *et al.*, 1979) ont une genèse semblable au gisement de Saint-Véran et relèvent de la seconde catégorie.

CONCLUSION

Le gisement de Saint-Véran est, comparé aux autres indices cuprifères alpins du même type, celui dont les caractéristiques géologiques primaires ont été les moins affectées par l'orogénèse alpine. Les paramètres métallogéniques suivants le définissent:

- paragenèse à Cu-Fe-Zn avec présence de tellurures et séléniures
- minerai à sulfures massifs intercalé au sein d'une séquence ophiolitique
- métamorphisme de faciès schiste bleu ayant affecté l'ensemble des formations de la mine.

Ces particularités font que le gisement cuprifère de Saint-Véran est, dans l'état actuel de nos connaissances, unique en son genre.

REMERCIEMENTS

Cet article synthétise et développe les résultats du travail de diplôme de l'un des auteurs (Bouvier, 1979) qui a été effectué sur le terrain, ainsi que les échanges de vue avec les autres auteurs et leurs suggestions.

Grâce à sa connaissance de la région, le professeur P. Routhier, de l'Université de Paris VI, France, a contribué à la définition de certaines notions contenues dans l'article. N. Picot, du BRGM d'Orléans, a aimablement revu et complété certaines déterminations de minéraux opaques. Des remerciements vont aussi à plusieurs membres du Département de minéralogie de l'Université de Genève et surtout à M. G. Stalder pour la préparation des surfaces polies, M. M. Muller pour celle des lames minces, Mme J. Berthoud pour la dactylographie du texte et à M. P. Zbinden pour la réalisation des figures.

BIBLIOGRAPHIE

- AYOUB, C. (1984). Un exemple de minéralisation associée aux ophiolites mésozoïques des Alpes cottiennes. Le gîte de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France). Etude pétrographique, structurale et métallogénique. *Thèse non publiée*, Université de Grenoble.
- BOCQUET, J. (1974). Blue amphiboles of the Western Alps, chemistry and physical characters. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 54, 425-448.
- BOULADON, J. & P. PICOT (1968). Sur les minéralisations en cuivre des ophiolites de Corse, des Alpes françaises et de Ligurie (pro parte). *Bull. Bur. Rech. géol. min.* Sect. II, 1, 21-39.
- BOUVIER, J.-D. (1979). Le gisement cuprifère de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France). *Trav. de dipl. non publié*, Univ. de Genève, Département de minéralogie, 79 p.
- BRIGO, L., G. V. DAL PIAZ & A. FERRARIO (1976). Le mineralizzazioni cuprifere legate ai termini effusivi di alcuni complessi ofiolitici nell'area Mediterranea. *Boll. Assoc. min. subalpina* 13, 352-371.
- DAL PIAZ, G. V. (1974). Le métamorphisme de haute pression et basse température dans l'évolution structurale du bassin ophiolitique alpino-apenninique (2^e partie). *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 54, 399-419.
- DAL PIAZ, G. V., P. NATALE, P. OMENETTO & R. POLINO (1979). La mineralizzazione di Viaforcia. *Mem. Sci. geol.* Padova, 32.
- DESMONS, J. (1989). Different metamorphic evolutions in the Alpine-Apenninic ophiolites (France-Italy-Switzerland-Austria). *Chem. geol.* 77, 229-250.
- DIETRICH, V., M. VUAGNAT & J. BERTRAND (1974). Alpine metamorphism of mafic rocks. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 54, 291-332.
- FRANCHETEAU, J. *et al.* (1979). Massive deep sea sulphide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. *Nature* 277, 523-528.
- FREY, M., J.-C. HUNZIKER, W. FRANK, J. BOCQUET, G. DAL PIAZ, E. JÄGER & E. NIGGLI (1974). Alpine metamorphism of the Alps, a review. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 54, 271-281.
- GASS, I. G. (1977). Origin and emplacement of ophiolites, in: Volcanic processes in ore genesis. *Inst. Min. Metall.*, London, 72-76.
- HACCARD, D. & M. LEMOINE (1970). Sur la stratigraphie et les analogies des formations sédimentaires associées aux ophiolites dans la zone piémontaise des Alpes ligures. *C. R. Soc. géol.* France, 209-210.
- HUTCHINSON, R. W. (1973). Volcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. *Econ. géol.* 68, 1223-1245.
- LAGABRIELLE, Y. (1987). Les ophiolites: marqueurs de l'histoire tectonique des domaines océaniques. Le cas des Alpes franco-italiennes (Queyras, Piémont). Comparaison avec les ophiolites d'Antalya (Turquie) et du Coast Range de Californie. *Thèse de doctorat d'état*, Université de Bretagne occidentale.
- LEMOINE, M., D. STEEN & M. VUAGNAT (1970). Sur le problème stratigraphique des ophiolites piémontaises et des roches sédimentaires associées. Observations dans le massif de Chabrière en Haute-Ubaye. *C. R. Soc. Phys. Hist. nat.* Genève, nouvelle série 5, 44-59.
- LEMOINE, M. (1971). Données nouvelles sur la série du Gondran près Briançon (Alpes cottiennes). Réflexions sur les problèmes stratigraphiques et paléogéographiques de la zone piémontaise. *Géol. alp.* (Grenoble) 47, 181-201.
- MITCHELL, A. H. G. & M. S. GARSON (1976). Mineralization at plate boundaries. *Minerals Sci. Eng.* 8, 129-169.
- PARMENTIER, E. M. & E. T. C. SPOONER (1978). A theoretical study of hydrothermal convection and the origin of the ophiolitic sulphide ore deposits of Cyprus. *Earth and planet. Sci. Lett.* 40, 33-44.
- PICOT, P. & Z. JOHAN (1977). Atlas des minéraux métalliques. *Ed. Bur. Rech. géol. min.* Orléans, 403 p.

- ROUTHIER, P. (1945). Sur les roches à riebeckite et aegyrine du cortège ophiolitique. *C. R. Soc. géol. France*, 61-63.
- (1946). Un type particulier de gîte cuprifère associé à des roches vertes: le gîte de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France). *Bull. Soc. franç. Minéral.*, 69, 99-150.
- SABY, P. (1983). Caractérisation géochimique des laves et des cumulats basiques de l'association ophiolitique du Queyras. *Mém. DEA*, Université de Grenoble.
- SEARLE, D. L. (1972). Mode of occurrence of the cupriferous pyrite deposits of Cyprus. *Trans. Inst. Min. Metall.*, Sect. B, 81, 189-197.
- SILLITORE, R. H. (1972). Formation of certain massive sulphide deposits at sites of sea-floor spreading. *Trans. Inst. Min. Metall.*, Sect. B, 81, 141-147.
- STEEN, D. (1975). Géologie et métamorphisme du complexe ophiolitique de Haute-Ubaye (Basses-Alpes, France). *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 55, 523-566.
- TERMIER, P. (1904). Roches à lawsonite et à glaucophane et roches à riebeckite de Saint-Véran (Hautes-Alpes, France). *Bull. Soc. franç. Minéral.* 27, 265-269.
- TRICART, P., M. BOURBON & Y. LAGABRIELLE (1982). Révision de la coupe Péouvou-Roche Noire (zone piémontaise s.l.), Alpes franco-italiennes): bréchification synsédimentaire d'un fond océanique ultrabasique. *Géol. alp. (Grenoble)* 58, 105-113.
- UYTENBOGAARDT, W. & E. A. J. BURKE (1971). *Tables for microscopic identification of ore mineral*. Elsevier, Amsterdam, 430 p.
- VUAGNAT, M. (1963). Remarques sur la trilogie serpentinites-gabbros-diabases dans le bassin de la Méditerranée occidentale. *Geol. Rundsch.* 53, 336-358.
- (1975). Les ophiolites: faits, hypothèses et problèmes. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.* 55, 108-116.
- WEGMANN, E. (1928). Über das Bornit Vorkommen von Saint-Véran. *Z. prakt. Geol.* 2, 19-28; 3, 36-43.