

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE MÉTALLOGÉNIQUE DE LA RÉGION D'ALLEMONT (MASSIF DE BELLEDONNE, ISÈRE)

par Marceau CLAVEL ¹

G É N É R A L I T É S

Situation de la zone étudiée.

1) *Situation géographique.*

Le massif de Belledonne, où sont situées les minéralisations, objet de cette étude, forme la moyenne partie des chaînes cristallines qui constituent l'ossature des Alpes dauphinoises.

La concession minière des Chalanches se trouve près du village d'Allemont. C'est au lieu dit « La Fonderie » qu'étaient traités les minerais provenant des Chalanches et des autres gisements de la région. Avant l'installation de la fonderie royale, ce lieu-dit s'appelait « Les Fourneaux ». Outre les mines des Chalanches, un rapide examen de la région d'Allemont permet de se rendre compte qu'indépendamment des célèbres minéralisations à cobalt, nickel, argent existaient des mines de plomb et d'argent, à cuivre et zinc subordonnés.

2) *Situation géologique.*

Depuis les précurseurs de la géologie de la région [GUETTARD, 1779 ; DOLOMIEU, 1795 ; ELIE DE BEAUMONT, 1828 ; GRAS, 1839], on

¹ Résumé d'une thèse présentée le 14 juin 1963 à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy pour l'obtention du titre de Docteur d'Université.

sait que celle-ci est constituée de terrains sédimentaires, de granites et de schistes cristallins. Ch. LORY, dans sa Description géologique du Dauphiné [1860], retient une structure en éventail du massif de Belledonne dont la forme générale serait celle d'un anticlinorium complexe.

La première notion structurale importante est introduite par P. LORY [1893]. Il s'agit du « synclinal médian », accident tectonique majeur orienté parallèlement à la chaîne ; depuis la vallée de la Romanche il se prolonge jusque dans la région de Beaufort, en Savoie. Des écailles mésozoïques pincées dans cet accident permettent de lui attribuer un rejeu récent. Le synclinal médian permet de subdiviser la chaîne en un rameau externe à l'Ouest, un rameau interne à l'Est.

Des travaux fragmentaires nombreux se succèdent jusqu'à notre époque ; ils sont dispersés en de nombreuses publications, mais peu d'éléments nouveaux sont apportés quant à la structure d'ensemble. Depuis 1950 environ, un renouveau d'intérêt se manifeste concernant Belledonne, avec les travaux des géologues hollandais de l'Université de Leyde [DEN TEX, 1950 ; TOBI, 1958 ; YPMA, 1963], ceux de Cl. et P. BORDET (depuis 1952) et ceux des chercheurs du Laboratoire de Géologie de l'Université de Grenoble [BERTHET et MICHEL, 1958 ; DONDEY, 1960 ; J.-L. TANE, 1962 ; SARROT-REYNAULD, 1962]. Actuellement, il est admis que, du point de vue structural, Belledonne est divisé en un rameau externe et un rameau interne séparés par un accident tectonique très important, le « synclinal médian », qui a rejoué lors de l'orogénèse alpine.

Dans la suite de ce travail, j'utiliserai la nomenclature préconisée par P. BORDET pour le levé au 1/50 000^e du massif de Belledonne : cet essai pourra donc, par la suite, s'intégrer à ce travail d'ensemble. P. BORDET isole dans le massif de Belledonne des terrains cristallophylliens, des granites, des terrains sédimentaires de couverture. En ce qui concerne les subdivisions qu'il a établies à l'intérieur des terrains cristallophylliens, une corrélation peut être faite avec les coupures admises par d'autres auteurs qui ont travaillé dans la même région : J. SARROT-REYNAULD [1962], dans sa thèse sur le Dôme de La Mure, en a dressé un tableau.

Le plan de cet ouvrage sera le suivant : l'étude du contexte géologique, dans lequel se trouvent les anciennes mines, permettra d'abord de les situer avec précision par rapport à la géologie de Belledonne ; une deuxième partie décrira les gisements et les minéralisations qu'ils renferment ; pour terminer, et ce sera l'objet de la troisième partie, un essai de détermination des processus génétiques responsables de la mise en place des gisements amènera à leur assigner une place dans la classification métallogénique.

PREMIERE PARTIE

ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE

A) Formations du Socle.

1) *Terrains cristallophylliens.*

a) LA SÉRIE BRUNE.

Particulièrement bien représentée dans la région d'Allemont, elle est surtout composée de gneiss cataclasés à chlorite, séricite, muscovite et plagioclases acides ; ils renferment parfois de la tourmaline noire et des lentilles pegmatitiques.

Ces gneiss sont migmatisés, leur partie la plus profonde peut localement acquérir un faciès d'anatexite, avec néoformation de biotite. Au-dessus, ces gneiss prennent un faciès d'embranchés ceillées, avec lentilles pegmatitiques à oligoclase et muscovite, plus rarement tourmaline et microcline. Ils renferment une passée d'amphibolites de quelques mètres de puissance, qui affleure près de l'Eau d'Olle, à Pont-Rattier, et qui fut rencontrée dans les travaux souterrains du Villaret. Le sommet de la série est constitué par des micaschistes siliceux à grenat, disthène, andalousite.

Vers l'Est, la série brune est limitée par le prolongement Sud du granite des Sept-Laux, dans l'arête des Rissieux qui domine la rive gauche de l'Eau d'Olle. Le contact se fait par l'intermédiaire d'une faille Nord-Sud, près de Pont-Rattier. Cette faille est accompagnée d'une intense mylonitisation. R. MICHEL et P. BERTHET [1958] séparent les gneiss d'Allemont des micaschistes et leptynites à passées d'amphibolites de Pont-Rattier. Un contact anormal empêcherait de voir la relation entre ces deux formations. En réalité, il semble bien que la différence de faciès et de composition minéralogique des formations qui bordent l'Eau d'Olle soit due à la mylonitisation qui souligne la faille des Rissieux. La continuité des micaschistes à grenat et du niveau d'amphibolites semble confirmer cette interprétation (fig. 1 et fig. 9).

La série brune est le siège d'une rétro-morphose, d'une métasomatose potassique pratiquement limitée à une néoformation de biotite, d'une métasomatose sodique marquée par une forte albitisation et, peut-être, d'une métasomatose borée.

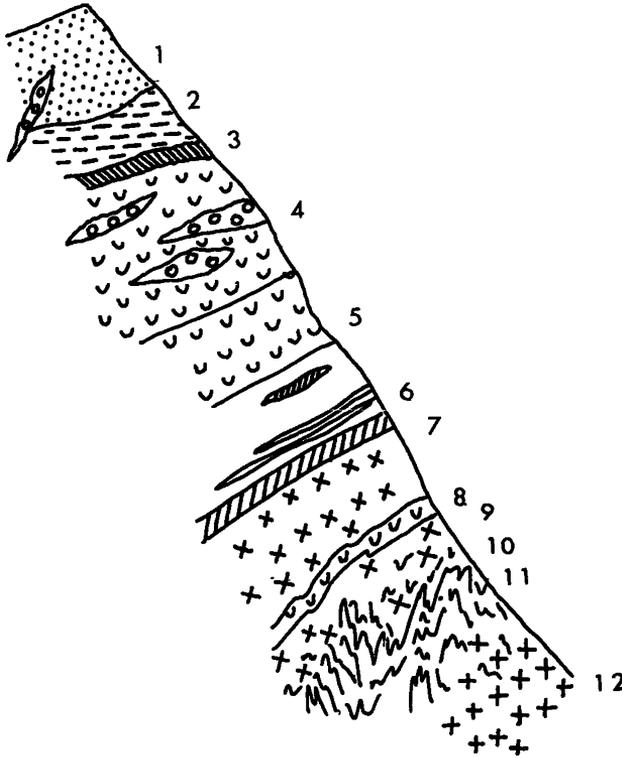


Fig. 1. — Succession lithologique dans la région d'Allemont.

Série satinée : 1, tufs acides recristallisés; 2, gneiss albitiques; 3, micaschistes à grenats chloritisés.

Série verte : 4, amphibolites à passées gabbroïques; 5, amphibolites feldspathiques; 6, chloritoschistes, amphibolites, cipolins, roches éruptives; 7, micaschistes à grenats.

Série brune : 8, gneiss chloriteux; 9, amphibolites; 10, embréchites; 11, migmatites; 12, granite.

b) LA SÉRIE VERTE.

Sa base est constituée, sur une centaine de mètres de puissance, par des roches très variées dans le détail : chloritoschistes dérivés d'une roche volcanique indéterminable ; micaschistes à biotite, grenat, disthène, andalousite ; cipolins pratiquement dépourvus de minéraux ; amphibolites à lits de hornblende verte orientée, alternant avec des lits de feldspaths très altérés ; micaschistes à grenat et biotite, enrichis en disthène et biotite néoformée le long des zones de décollement des couches ; amphibolites avec des amas d'une roche éruptive qui peut être rattachée, en première

approximation, à la famille des spilites ; micaschistes chloriteux à grains fins, renfermant des bancs de cipolins et, conforme à leur litage, une roche éruptive à augite qui paraît appartenir à la famille des basaltes ; amphibolites dont le contact avec les micaschistes est souligné par un banc de cipolin à fragments boudinés de la roche à amphiboles.

Au-dessus, les roches deviennent plus uniformes, il s'agit d'amphibolites feldspathiques litées dont les minéraux principaux sont la hornblende verte et l'andésine. Les minéraux opaques sont l'oligiste, l'ilménite associée au rutile, le sphène et les sulfures (pyrite dominante, traces de chalcopryrite et de pyrrotine). Des venues quartzo-feldspathiques sont conformes à la schistosité ou la recoupe.

Le sommet de la série verte est composé de gneiss amphiboliques avec ou sans grenat de néoformation, contenant des lentilles de roches riches en pyroxène schilleritisé, et des amphiboles (ouralite et hornblende verte) ; le plagioclase est une andésine.

La texture des roches de cette série, leur richesse en titane, la nature de leurs plagioclases conduisent à attribuer une origine volcanique basique à ces formations. Il est plus difficile de se prononcer quant à l'origine des roches qui composent la base de cette série ; leur affleurement est très limité, leur puissance est faible. Il s'agit vraisemblablement d'un épisode volcanique acide local. Les roches à pyroxène du sommet de la série ont un net caractère gabbroïque, surtout lorsqu'on les compare au gabbros du complexe basique et ultrabasique de Chamrousse - Lacs Robert [E. DEN TEX, 1950].

c) LA SÉRIE SATINÉE.

Elle affleure surtout dans la région des sommets et peut être correctement étudiée à la Grande-Roche. La base est composée de micaschistes à grenat complètement chloritisé, puis viennent des gneiss albitiques à faciès leptynitique, en affleurements discontinus. Le sommet de la série, telle qu'elle est représentée sur le terrain étudié, est constitué par des gneiss gris à grain variable ; ils renferment des lentilles de quartz. Localement, les gneiss contiennent des amphibolites litées, alternant avec des lits quartzo-feldspathiques. A l'œil nu, et sur affleurement discontinu, ces amphibolites sont difficiles à distinguer des amphibolites de la série verte. Dans les gneiss de la série satinée se trouvent des roches à grosses amphiboles, pauvres en éléments blancs. Leur gisement semble être stratoïde, et les affleurements sont remarquablement continus des Chalanches à la Barre des Ecus. Leur direction est NNE et leur pendage oscille entre 25 et 40° NNW.

Le microscope permet de se rendre compte que ces amphiboles sont des ouralites dérivées sans doute d'augite. Amphiboles et pyroxènes sont biotitisés, particulièrement

près de Chalanches, soit le long des cassures, soit par plages. La biotite, d'apparence très fraîche, n'est pratiquement jamais chloritisée. Les éléments leucocrates sont des feldspaths indéterminables et un peu de quartz à extinction onduleuse. La ressemblance de cette roche avec les gabbros de Chamrousse est à souligner.

Les anciens auteurs appelaient diabases ce type de roche. La structure étant grenue et non pas ophitique, il est préférable de ranger ces roches parmi les gabbros, en insistant sur les difficultés de détermination précise des pyroxènes et surtout des feldspaths.

Outre leur gisement en couches, ces roches furent signalées en filons (galerie de cobalt occidentale : E. GRAFF, 1846). Près des Chalanches et à la base de la Grande Lance d'Allemont, leurs épontes sont très fortement pyritisées et les minéraux des gneiss encaissants méconnaissables tant leur broyage est intense. Ils se révèlent très riches en minéraux micacés (chlorites et séricite) et le graphite peut y être abondant. J.-G. SCHREIBER, alors qu'il dirigeait les mines, signalait un net enrichissement en argent des filons lorsqu'ils recoupaient ces niveaux pyriteux.

La majeure partie des roches de la série satinée semblent dériver d'une série volcanique acide à caractère kératophyrique. Les gabbros paraissent s'être mis en place soit dans des failles, soit dans des zones de décollement des couches.

2) *Les roches éruptives.*

a) LES ROCHES VOLCANIQUES.

Deux formations différentes ont été décrites et rattachées aux basaltes et aux spilites. Ces roches sont liées au socle et contemporaines de la sédimentation ou postérieures à cette dernière.

b) LES ROCHES DE PROFONDEUR.

Les roches de la famille des gabbros apparaissent au sommet de la série verte et existent en filons ou en couches dans la série satinée, accompagnées par une forte pyritisation.

Le granite des Sept-Laux se termine un peu à l'Est du terrain étudié. Selon P. BORDET [1963], il se trouve au cœur d'un anticlinal de série brune. Il s'enracine probablement dans une zone de migmatites dont quelques rares affleurements sont observés dans la série brune.

c) LES FILONS QUARTZOFELDSPATHIQUES.

Interstratifiés ou sécants, ils sont assez abondants, dans la série verte en particulier. Leur mise en place peut être reliée aux phénomènes de migmatisation dans la série brune.

3) *Le Métamorphisme.*

Le métamorphisme général a affecté l'ensemble des formations anté-houillères. Vers la fin de l'induration du socle se sont mis en place des granites, vraisemblablement enracinés dans une zone de migmatites. Plus tard, dans des conditions moins profondes, la région a subi une intense rétromorphose.

a) MÉTAMORPHISME GÉNÉRAL.

D'âge anté-houiller, son intensité se situe entre la base des Micaschistes inférieurs et le sommet des Gneiss supérieurs de J. JUNG et ROQUES [1952] ou, dans la nomenclature des auteurs scandinaves, dans les faciès amphibolite et amphibolite-épidote.

b) LA RÉTROMORPHOSE.

Les phénomènes rétromorphiques peuvent être classés en néoformations et en remplissage de fractures. Les néoformations peuvent être les unes sans apport (chloritisation des biotites, des amphiboles, des grenats ; ouralitisation des pyroxènes ; séricitisation des feldspaths, de l'andalousite, du disthène), les autres avec apport (sodique pour l'albitisation, potassique pour la biotitisation des amphiboles). Dans ces deux derniers cas, le remplacement paraît métagénétique. En ce qui concerne la néoformation de tourmaline, la métagénèse borée semble concrétionnaire. Les remplissages de fractures, quartzeux à quartzo-albitiques, sont généralement en filonnets qui recoupent la roche encaissante. A l'échelle microscopique, les épontes apparaissent plus fortement altérées que le reste de la roche. La séricitisation des feldspaths, la transformation des amphiboles en épidote ou zoïsite a pu s'accompagner de libération de calcium qui se retrouve dans les interstices sous forme de carbonates hypidiomorphes.

L'ensemble de ces transformations tend à stabiliser une association minérale comportant séricite, chlorite, albite, épidote, éventuellement quartz et calcite. Les formations métamorphiques prennent ainsi place dans le faciès prasinite des auteurs scandinaves ou la zone des Micaschistes supérieurs de J. JUNG et M. ROQUES [1952].

Ces transformations rétromorphiques sont d'autant plus intenses que la roche transformée a subi un broyage préalable ; les néoformations se développent plus facilement à partir de minéraux granulés [HARKER, 1932]. D'où, par exemple, l'altération plus forte des épontes de fractures et la rétromorphose très poussée dans les formations de Pont-Rattier.

B) Les formations de couverture.

En lambeaux dans la région étudiée, elles ne sont citées ici que pour mémoire, à cause de leur rôle passif dans la région. La couverture est constituée par du Houiller, qui affleure à Clos Chevalier, des calcaires bleu-noir du Lias, au niveau de la vallée de l'Eau d'Olle, et des terrains quaternaires, glaciaire, éboulis et alluvions.

C) Tectonique.

L'examen de la figure 9 permet de dégager les grandes lignes structurales de la région d'Allemont.

Les amphibolites de la série verte forment, jusqu'à la Drayre de l'Aiguille, une dalle à plongement Sud qui leur donne une disposition synclinale compliquée par des accidents secondaires. A l'Est de la faille de la Drayre de l'Aiguille, les couches acquièrent une orientation NE à NNW plus régulière ; les pendages, de NW à WNW, sont compris entre 25 et 40°. La série verte, dans une disposition normale, affleure à peu près jusqu'aux Chalanches, situées dans la série satinée. La série brune constitue le cœur de cet anticlinal. Cette succession normale dont l'orientation est NNE vient buter contre l'accident NS qui souligne, dans les Rissieux, le contact granite des Sept-Laux — série brune.

La région des sommets est beaucoup plus compliquée. P. BORDET² décrit ainsi les éléments structuraux qui la constituent : le synclinal de série satinée de la Grande-Roche a son flanc NW qui vient buter contre un anticlinal complexe de série satinée, constituant l'axe Grande Lance d'Allemont - Grand Charnier. Plus à l'Ouest, un synclinal de série satinée passe par le col de la Portette et vient se terminer entre Clos-Chevalier et les Pisses. Tous ces accidents, accompagnés de broyages intenses, viennent se coincer dans la région des anciennes mines des Chalanches.

Trois styles tectoniques différents se rencontrent dans le secteur étudié :

a) *Tectonique souple*. — Phénomène de semi-profondeur, elle est particulièrement nette dans la série verte ; des décollements de couche la caractérisent, souvent masqués par des recristallisations postérieures.

² Note en préparation. Renseignement obligeamment communiqué par l'auteur.

b) *Tectonique cassante*. — Elle est caractérisée par des failles accompagnées de zones broyées de plusieurs dizaines de mètres de puissance. Les directions dominantes de ces accidents sont Nord-Sud, Est-Ouest, Nord-Est à Nord-Nord-Est, plus rarement NNW.

c) *Tectonique de couverture*. — Elle n'affecte ici que les terrains du Lias.

CONCLUSION

Un bref schéma paléogéographique va permettre de rappeler l'histoire des massifs externes ; les faits observés dans la région d'Allemont pourront être replacés dans un cadre plus vaste.

Les massifs cristallins externes acquièrent leurs grandes lignes structurales au cours de la période anté-houillère. Après la sédimentation d'une zone axiale caractérisée par un volcanisme préorogénique, basique d'abord, acide ensuite, le métamorphisme général et les phases de plissement conduisent l'ensemble des terrains à un état d'induration ; la mise en place des roches à caractères gabbroïques se produit sans doute à ce moment-là. Par la suite, des granites post-tectoniques se mettent en place, vraisemblablement enracinés dans une zone de migmatites. Une phase de tectonique épigénétique ménage des graben à sédimentation houillère, encore affectés par les dernières manifestations de l'orogénèse hercynienne (volcanisme orthophyrique).

Les phénomènes de tectonique cassante commencent à la fin de l'orogénèse hercynienne et deviennent dominants au cours de la phase tectonique alpine marquée essentiellement par des réarrangements d'abord obliques, puis verticaux du socle.

Le polymétamorphisme des formations anté-houillères est caractérisé par deux phases de métamorphisme.

Un problème extrêmement important est celui de l'âge du rétro-morphisme. Pour les uns [P. BORDET, 1956 a], il résulte surtout d'un dynamométamorphisme affectant, entre Houiller et Trias, l'ensemble du socle induré. Pour les autres [R. MICHEL, 1953], il s'agit d'un métamorphisme alpin de plus faible degré qui correspond à un nouvel équilibre des formations plus évoluées de l'orogénèse hercynienne.

Dans le cadre de ce travail, aucun argument de terrain ne permet de trancher cette alternative.

DEUXIEME PARTIE

DESCRIPTION DES GISEMENTS

A) Historique.

Il semble bien que la découverte d'un bloc d'argent « natif » en 1765 soit à l'origine de l'ouverture des mines des Chalanches. L'exploitation, d'abord conduite par les paysans de la région, se solda par un grave accident. Le gouvernement de Louis XVI intervint alors et donna les mines de toute la région à Monsieur, le futur Louis XVIII. Ce dernier fit appel à J.-G. SCHREIBER, Ingénieur du Corps Royal des Mines de Saxe, pour diriger l'exploitation des Chalanches. Les mines connurent une grande prospérité grâce à l'exploitation de l'argent ; elles furent célèbres par la beauté et la variété des échantillons qui y furent recueillis ; leur déclin commença sous la Révolution, accentué par la crise économique. Au début du XIX^e siècle, les mines étaient pratiquement fermées et toute activité avait cessé en 1808. En trente ans, près de dix tonnes d'argent furent extraites, soit une production annuelle de plus de 300 kg. Le nickel et le cobalt, sans intérêt pour la métallurgie d'alors, étaient rejetés ; les mattes de fusion servaient à l'empierrement des chemins.

Par la suite, de nombreuses tentatives de remise en exploitation furent faites : traitement des mattes de fusion, abattage des piliers laissés par J.-G. SCHREIBER. Aucune de ces tentatives n'eut vraiment de résultat. Le dernier essai de reprise eut lieu au cours de la guerre 1939-1945 ; il ne donna pas lieu à une exploitation.

L'histoire des gisements où domine la galène accompagnée de blende et de chalcopryrite, situés à peu près au niveau de la vallée de l'Eau d'Olle, est plus obscure : dans l'Oisans, ces minerais sont plus communs et la phase d'exploitation principale est plus ancienne ; selon la tradition orale, elle remonterait à l'occupation arabe de la région. Il est même possible qu'elle date de la période gallo-romaine.

Il ne subsiste que peu de données bibliographiques concernant les anciens travaux, et aucun essai synthétique n'a jamais été tenté concernant les mines de la région d'Allemont³.

³ Aux Archives du Service des Mines, à Grenoble, se trouve un rapport d'expertise de P. EVRARD, établi en 1898 pour le compte du concessionnaire. Il donne une bonne description des anciennes mines à B.P.G.C.

Les anciens travaux et les minéralisations qu'ils renferment seront d'abord décrits. L'ensemble de ces observations permettra de tenter une explication de la genèse des gisements métallifères. Une remarque s'impose : les échantillons examinés proviennent le plus souvent de haldes. Ils sont donc peu représentatifs et non repérés par rapport aux travaux souterrains ; ces restrictions limitent la portée des conclusions qui peuvent être déduites de cette étude.

B) Les gisements à B.P.G.C.

Les principaux quartiers où eurent lieu les recherches ou les exploitations (fig. 9) sont ceux du Mollard (A), du Villaret (C), des Arabes (F), et de la Fare-l'Écuelle (G). Les mines du Grand-Bois (B) furent des exploitations de fer. Les travaux de la Combe (D), ouverts sur des indices prometteurs, furent rapidement arrêtés. Les recherches des Granges et du Coteyssard (E) et de la Traverse (H) furent plus limitées. Sur le chemin de Bâton se trouve un affleurement (I) qui n'a pas fait l'objet de travaux. Dans les quartiers du Villaret et des Arabes, des anciens travaux (dépilage de poches de minerai) furent rencontrés au cours des derniers travaux (fin du XIX^e siècle).

1) Disposition des gisements.

La figure 9 montre que les directions des filons se disposent suivant deux ensembles principaux :

a) *Direction NNE — SSW à NE — SW* : leur pendage est NW. Ils dessinent un alignement du Villaret à la Fare, les décalages visibles sont vraisemblablement dus au jeu des failles. A cet ensemble appartiennent le filon n° 5 du Mollard (A), et les filons n°s 4-5-6 des Arabes (F).

b) *Direction NW à NNW* : les pendages sont NE pour les filons n°s 1, 2, 3, 4 du Mollard et le n° 1 des Arabes.

c) *Autres directions* : NS le n° 9 du Villaret (C) et le n° 2 des Arabes ; EW le filon de la Traverse (H) et le n° 3 des Arabes.

Ces directions doivent être considérées à l'échelle de la concession ; dans le détail, elles sont beaucoup plus compliquées. Au cas où se poursuivrait l'exploration de ces gisements, il convient de retenir l'hypothèse d'une continuité des zones minéralisées, au-delà des complications dues à la tectonique de détail.

2) *Caractères des gangues.*

Il semble y avoir deux « venues » principales différentes :

a) *L'une est accompagnée d'une bréchification de la roche encaissante.* Le ciment est constitué par des carbonates, calcite, sidérose, ankérite, dont l'altération supergène aboutit à la formation de terres rouges et noires, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse. Les fragments de roches encaissantes inclus sont séritisés, silicifiés et carbonatés (Mollard n^{os} 1-2-5 (A), Grand-Bois (B). Des filonnets de quartz ou de carbonates plus tardifs recoupent ces formations ainsi, parfois, que des filonnets de pyrite encore plus récents (Mollard n^o 5).

b) *L'autre venue est surtout constituée de quartz*, lui-même cataclastique, souvent d'une teinte rougeâtre (les Arabes, le Mollard n^o 4, la Fare, l'Écuelle (G), rarement géodique (la Traverse, les Arabes).

Le rubanement des épontes, des fragments de roches inclus, les stries de glissement aux épontes et dans le corps des filons sont la règle générale.

Dans la première venue dominant la galène et la blende ; la seconde est plus riche en chalcopryrite accompagnée de blende et de galène.

3) *Caractères des minéralisations.*

a) *La pyrite* se trouve comme minéral relique dans les autres minéraux métallifères, en filonnets sécants, disséminée dans les carbonates ou dans le quartz. Elle présente une particularité intéressante dans un échantillon provenant du Grand-Bois : elle est remplacée en bordure ou le long de cassures par de la pyrrhotine (photo 1, pl. I). D'après les expériences de laboratoire citées par H. SCHNEIDERHÖHN [1941], la réaction $\text{FeS}_2 \rightleftharpoons \text{FeS} + \text{S}$ se fait dans le sens \rightarrow , à pression atmosphérique, entre 665° et 575° ; cette expérience est surtout indicative ; il n'y a pas lieu de considérer cette transformation comme un géothermomètre.

b) *La pyrrhotine* : signalée au Grand-Bois, j'ai pu l'observer dans les filons du Mollard, associée à la galène, et aux Arabes. Elle est fortement magnétique. Elle existe dans tous les autres quartiers, en inclusion dans la chalcopryrite et dans la blende. Ce minéral se transforme parfois en marcassite à texture « bird-eyes ».

c) *La chalcopryrite* : il semble y en avoir deux générations au moins : l'une, sans inclusions, a dû se former dans des conditions superficielles. Elle est rare : La Traverse (H), Chemin de Bâton (I) ; l'autre, la plus abondante, est riche en inclusions : blende en bâtonnets ou en étoiles, indépendants des lamelles de mâcle (photo 2, pl. I) ; pyrrhotine en goutte-

lettes lobées ; des inclusions de chalcopryrite dans de la galène à grain fin renferment des lamelles de dissociation possédant tous les caractères optiques de la cubanite (fig. 2) et du minéral de nickel inconnu (« unbekanntes Nickelerz » de P. RAMDOHR, 1933) au Mollard n° 1. Ces types de chalcopryrite correspondent à une mise en place dans des conditions de haute à moyenne température ; elle semble plus abondante dans les filons à gangue quartzreuse. Je n'ai pas observé de cuivre gris parmi les inclusions, mais ces minéraux y furent signalés par différents auteurs.



Fig. 2. — Le Mollard n° I :
inclusion de chalcopryrite dans la galène.
(dimension de l'inclusion : 15 μ).

La chalcopryrite (1), associée à la pyrrhotine (2), renferme des lamelles de dissociation de cubanite (3).

d) *La blende* : pour ce minéral, il y a sans doute plusieurs générations, dont deux certaines : la blende peut être translucide, sans inclusion de pyrrhotine ou de chalcopryrite ; ce type est assez rare (La Traverse (H), Chemin de Bâton (I)). Mais en général la blende est très foncée, riche en inclusions de pyrrhotine et de chalcopryrite en gouttelettes à bords lobés ou en bâtonnets.

Ces deux types de blende renferment un peu d'argent. E. GUEYMARD, en 1842, signalait que les blendes du Mollard étaient aurifères et platini-fères. En réalité, l'or natif n'est pas inclus dans la blende ; il est probable que ses échantillons étaient contaminés. Quant au platine, sa présence n'a pas été vérifiée.

Une analyse spectrale pour traces a montré que la blende de la Combe (D) renferme de l'étain, ce qui permet de lui supposer une genèse à température assez élevée.

Dans toutes les blendes analysées spectrographiquement, apparaît le cadmium, plus abondant dans les blendes de La Traverse et du Chemin du Bâton, et le cobalt, en plus grande quantité à la Combe ; le spectre du cobalt est douteux dans la blende de La Traverse. En ce qui concerne l'indium, le gallium et le thallium, l'imprécision de la méthode employée n'a pas permis de conclure.

e) *La galène* : elle est le minéral le plus abondant dans les filons d'Allemont ; en général à grain fin, elle est étroitement associée à la blende. Elle contient de 1 à 4 kg d'argent à la tonne, mais les minéraux d'argent exprimés sont rares (argyrose à la Combe). L'analyse spectrale a permis d'observer les raies du bismuth et de l'antimoine. Il est légitime de penser que l'argent existe en solution solide dans la galène, sous forme de schapbachite et sous forme d'inclusions de cuivre gris (présence d'antimoine). La galène de la Combe renferme un peu d'étain.

La galène est parfois associée aux plages de pyrrhotine (le Mollard, les Arabes) et contient des inclusions de chalcopyrite, pyrite, pyrrhotine.

f) *L'or* : de l'or natif en grains arrondis, disséminé dans la gangue, a été observé sous le microscope sur des échantillons provenant du Mollard. Des essais d'amalgamation sur des échantillons de 100 kg, ramenés à 10 kg après broyage et inquartations successifs, ont montré que l'or se trouve aussi aux Arabes et à la Combe. Des pannages effectués dans les halles permettent d'affirmer qu'il n'y a pas d'or gros dans ces mines. A l'analyse chimique, seules des traces ont été décelées. Les anciens auteurs [E. GUEYMARD, E. GRAFF, P. EVRARD] signalaient de fortes teneurs en or. Les observations actuelles infirment donc les leurs aussi bien pour l'or que pour le platine.

g) *Minéraux supergènes* : ils ne se trouvent qu'en petite quantité à cause des conditions de lessivage superficiel. Les plus abondants sont la goethite réticulée ou colloforme, la lépidocrosite et la covelline en grains, exceptionnellement en petits cristaux. Ces minéraux ne jouent qu'un rôle subordonné dans les gisements.

Le tableau suivant schématise les conditions de mise en place des différents minéraux métallifères.

TABLEAU n° 1.

*Répartition des principaux minéraux
d'après leurs conditions de formation.*

Minéraux	Hypothermal	Mésothermal	Epithermal
Pyrite			
Chalcopyrite			
Blende			
Galène			
Or			?
Pyrrhotine			

L'examen microscopique et les analyses spectrales permettent déjà d'isoler deux types de blende, galène et chalcopyrite, dont les profondeurs de mise en place sont différentes.

L'étroite association des minéraux principaux, chalcopyrite, blende, galène, pyrrhotine permet de leur assigner une mise en place contemporaine. Ceci n'exclut pas la possibilité de plusieurs phases minéralisatrices, suggérées par la minéralisation des différentes gangues ; en outre, un remplissage différent des cassures, selon leur orientation, peut être envisagé : au Mollard n° 5 (direction 26° pendage NW), la blende et la galène dominent dans la gangue à carbonates ; au Mollard n° 1 (direction NNW, pendage SSW) la zone axiale, quartzreuse, est plus riche en chalcopyrite ; seul l'échantillonnage systématique des filons, l'étude spectrographique des éléments de traces contenus dans les minerais permettraient de conclure sur ces problèmes. D'autre part, les mines de fer de la région d'Allevard, de Vizille ou d'Allemont (le Grand-Bois, l'Articol), dont le minerai de base était la sidérose, renfermaient des sulfures qui rendaient parfois le minerai impropre à la fonte ; il y a lieu de se demander quelle relation spatiale existe entre les filons où domine le fer (Grand-Bois) ou les sulfures (le Mollard). Dans l'hypothèse d'une continuité, la variation de composition du filon pourrait être suivie sur une profondeur d'environ 500 mètres.

4) *Mode de gisement.*

a) *Les gisements sont indépendants des variations lithologiques de la roche encaissante, mais confinés surtout dans la série brune. Les minéralisations se sont mises en place dans des zones mylonitisées (le Mollard)*

dans des migmatites (la Combe), des gneiss rétro-morphosés (les Arabes) ou des amphibolites (Chemin du Bâton). A noter cependant que l'affleurement du Chemin du Bâton est proche du sommet de la série brune.

b) *Les gisements se sont mis en place au cours de mouvements tectoniques.* Ils ont un net caractère filonien.

La direction filonienne oscillant entre le NNE et le NE est une direction de décollement des couches, les autres directions représentent des failles. Aux Arabes et au Villaret, les chantiers s'arrêtent sur une cassure orientée au NE à remplissage de quartz stérile. Les minéralisations n'ont pas été recherchées au Nord de cette faille.

c) *Les poches minéralisées sont la règle générale.* Cet aspect des gisements n'a pas été étudié en détail ; il constitue probablement la clé des problèmes posés par une exploitation éventuelle. Ces poches se trouvent au croisement de filons ou proviennent d'un grand développement, dans les filons en général lenticulaires, d'un amas minéralisé.

d) *Les phénomènes métasomatiques et le remplacement de la gangue* par les minéraux métallifères semblent assez limités ; leur mise en place résulte surtout de vides créés lors de la bréchification du quartz et des épontes. La métasomatose a une plus grande importance dans les épontes bréchiques des filons.

e) *Profondeur des minéralisations.* En général, les anciens travaux semblent peu profonds. L'examen de la structure de la série brune, où sont encaissés les gisements, permet de se rendre compte que les minéralisations se retrouvent, semblables à elles-mêmes, depuis le contact avec le granite des Sept-Laux jusqu'aux micaschistes à grenats. Il est donc possible de supposer aux gisements une profondeur de l'ordre de 1 000 mètres.

C) Les Chalanches.

1) *Histoire des idées concernant les Chalanches.*

La période d'exploitation intensive menée par J.-G. SCHREIBER (XVIII^e siècle) a marqué profondément les idées ultérieurement émises sur l'origine et la nature des mines des Chalanches. Ses travaux, conduits avec une rare maîtrise, lui permirent, grâce à la seule exploitation de l'argent, de faire de ce gîte une affaire rentable. Il faut se demander si ses convictions pro-werneriennes n'ont pas limité ses recherches en ce qui concerne la profondeur exacte du gîte.

Vers le milieu du XIX^e siècle, une reprise des mines en vue de la fabrication du bleu de cobalt est tentée. E. GRAFF [1846] visita les quartiers encore praticables des Chalanches. Il insista sur l'irrégularité des minéralisations observées sous forme d'amas ou de filonnets en stockwerk et nota l'existence de 50 filons, groupés en 5 formations principales.

1. Filons à ocre argentifère : direction Nord, pendage Ouest, formation de St-Léonard.
2. Filons à cobalt, nickel, antimoine, ocre, tous plus ou moins argentifères :
 - a) à direction Est, pendage Nord : St-Cosme;
 - b) à direction Nord, pendage Est : Prince héréditaire, Perrin, Maxime. Ils sont plus jeunes que 1, mais il y a peut-être une différence entre *a* et *b*.
3. Formations de diabases en filons (galerie occidentale de cobalt) ou en couches (galerie de l'Espérance). Les diabases sont traversées par *b*, leur puissance est d'une vingtaine de mètres.
4. Filons sauvages : failles remplies de débris de roches encaissantes.
5. Fentes plus petites, à même remplissage.

Les filons, complexes, sont constitués par des « calcaires », avec filons métallifères soit au toit, soit au mur, soit dans l'axe. Les filons suffisamment développés sont rubannés. GRAFF y note la succession suivante des minéraux :

1. Quartz.
2. CO₃Fe.
3. CO₃Ca magnésifère avec Co, Sb.
4. Co, Ni, Sb.
5. CO₃Ca magnésifère avec Co, Sb.
6. CO₃Fe.
7. Quartz.

DE BEUST, venu de Freiberg, visita les Chalanches en compagnie de GRAFF. Il mit en doute les convictions « descensionnistes » de J.-G. SCHREIBER et compara les Chalanches à Annaberg et Scheideberg. Les observations de GRAFF servirent de base aux auteurs qui, par la suite, étudièrent les Chalanches [Ch. LORY, 1860 ; A. LACROIX, 1913 ; L. DE LAUNAY, 1913]. L'idée généralement admise actuellement est que les minéralisations des Chalanches représentent la partie superficielle de filons ramifiés qui deviennent plus réguliers en profondeur. La zone minéralisée représenterait un stockwerk de 600 × 500 m.

2) *Etat actuel des anciens travaux.*

Une grande déception attend le promeneur qui se rend aux Chalanches. Il ne subsiste des anciennes mines que des baraques en ruine et deux cônes d'éboulis ; à première vue il n'y a pratiquement pas de minerai.

Deux groupes d'anciens travaux existent aux Chalanches (fig. 9), le quartier des Cromots (J) et les Chalanches (K) proprement dites.

a) QUARTIER DES CHALANCHES (K).

Les galeries furent ouvertes pour la plupart sur la face Sud des Pisses, à proximité de deux niveaux pyriteux orientés au NNE, à pendage compris entre 25° et 45° WNW, qui prennent en écharpe le flanc de la montagne (fig. 9). Ces niveaux pyriteux sont en relation avec les roches à faciès gabbroïque. Les entrées de mines qui figurent sur les cartes Vizille 3-4 au 1/20 000^e et Vizille au 1/50 000^e sont les entrées des galeries Rose et St-Léonard. Les travaux souterrains très importants s'échelonnent entre 1 790 et 1 970 m, les chantiers d'abattage étant localisés de 1 850 à 2 000 m d'altitude. La longueur totale des galeries atteindrait une quinzaine de kilomètres. Un premier scheidage des minerais devait être effectué dès la sortie des galeries et parachevé près de la forge, sur la plate-forme de la galerie Espérance. C'est là que j'ai pu récupérer les échantillons décrits ci-dessous ; quelques beaux échantillons peuvent aussi être ramassés dans les déblais de St-Léonard. Le minerai est en petits cristaux disséminés dans une gangue carbonatée bréchique, à ciment de calcite, dolomie, ankérite, sidérose avec un peu de quartz. Les minerais métallifères peuvent se grouper en amas, en filonnets et se répartissent surtout dans le ciment de la roche, plus rarement dans les fragments de la roche incluse. Quelques échantillons sont constitués par une roche chloriteuse, mylonite sans doute, renfermant des minéraux métalliques régulièrement répartis. Il semble bien établi que E. GRAFF appelait « filons de calcaires » les brèches carbonatées, car nulle part, ni en place, ni dans les éboulis, le calcaire ou les cipolins n'ont pu être trouvés.

b) QUARTIER DES CROMOTS (J).

L'époque où eurent lieu ces recherches n'est pas connue ; elle est sans doute postérieure aux travaux de J.-G. SCHREIBER. Les entrées des galeries dessinent deux directions E-W et deux directions N-S. Les travaux débutèrent par des dépilages de surface par tranchées, se poursuivirent en galeries distantes les unes des autres d'une dizaine de mètres. La galerie des Cromots a été tracée dans l'allongement d'un filon de direction moyenne N-W, constitué par une double éponte de quartz bien cristallisé qu'une salbande argileuse isole de la caisse filonienne. Le filon a une vingtaine de centimètres de puissance, sa zone axiale est constituée par des terres rouges dérivant de carbonates oxydés aux cristaux bien reconnaissables encore malgré leur totale pseudomorphose en limonite. Il n'y a pas de minéralisation notable. La galerie des Cromots a rencontré deux filons orientés NE, verticaux, qui furent le siège de dépilages importants. La roche encaissante, localement enrichie en pyrite, est un gneiss gris parfois kaolinisé.

En dessous, se trouve la galerie d'Emile, dont les avancements furent arrêtés peu avant la rencontre du premier chantier des Cromots ; elle est ouverte dans des gneiss amphiboliques.

De nombreuses autres galeries sont effondrées ; l'une d'elles fut tracée dans l'allongement d'un filon à asbeste, calcite, épidote, minéralisé en pyrite, à l'affleurement du moins. Les autres galeries ne sont pas praticables sans un minimum de travaux miniers destinés à assurer la sécurité de l'exploration.

Dans ce quartier, les rares minéralisations récupérées le furent dans les haldes.

3) Structure de la zone des Chalanches.

La tectonique de la zone des Chalanches est caractérisée par la rencontre d'accidents dans la région des mines. Ceux-ci s'accompagnent d'un intense broyage des roches, d'où l'abondance des formations bréchiques. Il est probable que la série verte dessine un mouvement synclinal dont le flanc Nord serait laminé et broyé. C'est là que se sont mis en place les gabbros. La pyritisation apparaît, pour une part au moins, liée à la mise en place de ces roches. C'est dans la région des Chalanches que le resserrement, donc le broyage des couches, est le plus intense.

Le prolongement Nord de la faille de la Drayre de l'Aiguille sépare le quartier des Cromots de celui des Chalanches. Si ces deux quartiers ont la même signification structurale, il est probable que les minéralisations qui s'y trouvent ne représentent pas la même profondeur de mise en place. Cette proposition demeurera hypothétique tant que des travaux miniers n'auront pas été effectués dans ces deux quartiers. La limite Est des exploitations des Chalanches est constituée par la faille de la Drayre Grande, au-delà de laquelle la minéralisation ne fut pas recherchée. Son rejet semble être de l'ordre d'une dizaine de mètres. Vers l'Ouest, les travaux d'abattage ne dépassent pas l'entrée de la galerie Satler. J.-G. SCHREIBER a sans doute été gêné par l'important recouvrement sur la rive gauche de la Combe de La Balme. Ou bien, ne rencontrant que des formations à basses teneurs, en dessous de ses limites d'exploitabilité, il n'a pas poussé plus avant ses travaux.

Ces examens de terrain précisent déjà certains caractères structuraux des Chalanches : les minéralisations sont très probablement en stockwerk, mais rien ne permet de conserver les dimensions de 500 × 600 mètres de la zone minéralisée, puisqu'une continuité est probable tant vers l'Ouest (les Cromots) que vers l'Est (au-delà de la Drayre Grande). Enfin, les minéralisations se trouvent dans des brèches carbonatées et non pas dans des calcaires.

4) *Etude des minerais.*

a) LES GANGUES.

Le tableau n° 2 dresse une liste des minéraux de gangue. A. LACROIX [1913] a réuni les minéraux cités par différents auteurs dans une nomenclature moderne intelligible. HERICART DE THURY [1806] citait la baryte ; A. LACROIX n'en fait pas mention ; je ne l'ai pas observée aux Chalanches. Par contre, des filons barytiques existent près du Houiller de Clos Chevalier et dans la Grande Vaudaine, associée à l'oligiste.

TABLEAU n° 2.

*Minéraux des gangues signalés aux Chalanches
par différents auteurs.*

	L. HERICART DE THURY (1806)	A. LACROIX (1913)	M. CLAVEL (1963)
Sidérose			+
Calcite	+	+	+
Dolomite	+	+	+
Ankérinite		+	+
Dialogite			?
Epidote	+	+	+
Trémolite	+	+	+
Asbeste		+	+
Actinote		+	+
Quartz	+	+	+
Gypse	+	+	+
Baryte	+		

Carbonates : il s'agit de calcite, dolomite, ankérinite, sidérose et peut-être dialogite. Leur observation est compliquée par une altération poussée. Les ocres et wads qui constituent la partie axiale des filons minéralisés se sont formés, au moins en partie, par l'oxydation des carbonates. Ces derniers sont automorphes ou xénoblastiques ; dans ce cas, ils cimentent d'autres minéraux.

Quartz : laiteux, translucide, plus rarement noir, il peut être à extinction onduleuse ou à caractères optiques normaux, bourré d'inclusions ou limpide, engrené ou en grands cristaux automorphes. Souvent les minéraux métallifères se trouvent à proximité du quartz comme l'indique la figure 3. Cette observation est d'ailleurs un bon critère lors de la recherche de minerais dans les déblais.

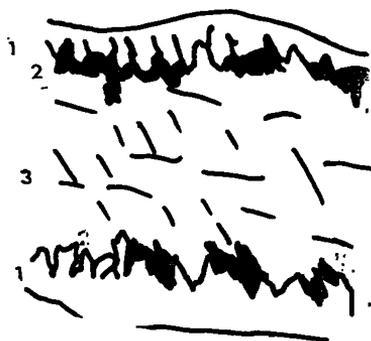


Fig. 3. — Les Chalanches : disposition habituelle des minéraux métallifères dans la gangue ($\times 2$).

1, quartz; 2, minéraux métallifères (arséniures); 3, carbonates.

Epidote, actinote, asbeste : ces minéraux se développent aux dépens des amphiboles et des pyroxènes et se trouvent aussi bien dans les éléments des brèches que dans leur ciment.

Gypse : minéral d'altération superficielle, il est présent parmi les carbonates de la gangue.

Les fragments de roches encaissantes, inclus dans les brèches, sont des gneiss ou des roches basiques, enrichis en calcite, séricite, chlorites et plus rarement quartz.

b) LES MINÉRAUX MÉTALLIFÈRES.

Les deux tableaux suivants énumèrent les minéraux métallifères trouvés aux Chalanches. A. LACROIX sera encore cité, ainsi que P. RAMDOHR et P. YPMA qui signalent des minéraux que je n'ai pas observés moi-même. HÉRICART DE THURY avait mentionné du « plomb molybdaté » (wulfénite)

TABLEAU n° 3.

*Minéraux hypogènes cités aux Chalanches
(y compris d'éventuels minéraux de cimentation).*

Minéraux hypogènes	A. LACROIX (1913)	P. RAMDOHR (1933)	M. CLAVEL (1963)	P. YPMA (1963)
Allemontite	+	+	+	
Antimoine	+			
Bismuth				+
Stibine	+			+
Amalgame	+			
Mercure	+			
Cinabre	+			
Argyrose	+		+	
Blende	+		+	
Chalcopyrite	+		+	
Skutterudite ⁴	+		+	
Cobaltite	+		+	
Dyscrasite	+		?	
Galène	+		+	
Löllingite	+		+	
Mispickel	+		+	
Nickéline	+		+	
Breithauptite		+		+
Panabase	+			
Pyrite	+		+	
Rammelsbergite ⁵ ..			+	
Safflorite				
Polybasite		+		+
Pyrargyrite		+		+
Stromeyerite (?) ..			+	
Cubanite (?)			+	
Argentopyrite (?) ..			+	+

⁴ A. LACROIX citait de la chloantite et de la smaltite. W. UYTENBOGAARDT [1951] les élimine et, se référant à R. J. HOLMES [1947], retient les termes skutterudites cobaltifères, nickélifères, ferrifères.

⁵ La mauvaise qualité des échantillons et les moyens mis en œuvre n'ont pas permis de pousser très loin les distinctions entre les différents composants de certaines espèces minérales comme les safflorites I, II et III de P. RAMDOHR et H. SCHNEIDERHORHN [1893, 1913]. En outre, je me suis borné à distinguer certains sulfoarséniures de fer, nickel, cobalt, de leurs diarséniures, en adoptant la terminologie de W. UYTENBOGAARDT.

qui ne semble pas avoir été retrouvé. Le tableau n° 3 cite les minéraux qui peuvent être considérés comme hypogènes, et dans le tableau n° 4 figurent les minéraux supergènes.

TABLEAU n° 4.

*Minéraux supergènes signalés aux Chalanches
par différents auteurs.*

Minéraux supergènes	A. LACROIX (1913)	M. CLAVEL (1963)
Kermésite	+	
Valentinite	+	
Cérargyrite	+	
Soufre	+	+
Arsénolite	+	
Cérusite	+	
Malachite	+	+
Annabergite	+	+
Asbolite	+	
Biébérite	+	
Erythrite	+	+
Pyromorphite	+	
Argent	+	
Ocre argentifère	+	+

Ces derniers ne jouent qu'un rôle limité, en raison de l'importance des circulations superficielles dans cette région de haute montagne. Seules les ocres argentifères et les asbolites importent, en tant que supports des minéralisations principales.

Pyrite : elle se trouve en grains automorphes, souvent cassés et altérés, sans transformation en pyrrhotine et subsiste souvent en reliques dans d'autres minéraux, mispickel surtout. D'après ses caractères optiques, elle est riche en arsenic. Dans les formations non filoniennes, elle s'associe au graphite. Des paillettes de löllingite peuvent s'individualiser en son centre (fig. 4), phénomène signalé par H. SCHNEIDERHÖHN à Reichenstein. La pyrite subit parfois un remplacement central par la blende (fig. 5).

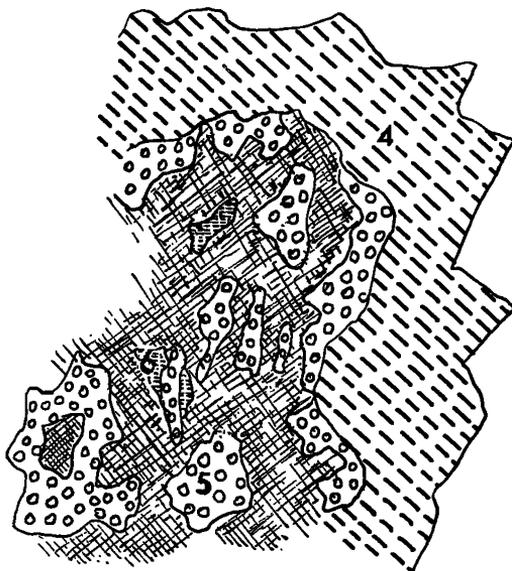


Fig. 4. — Les Chalanches : association de pyrite (5) et de löllingite (6) dans du mispickel (4) ($\times 200$).

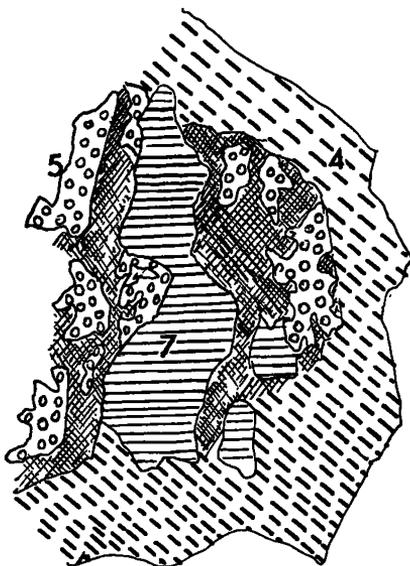


Fig. 5. — Les Chalanches : blende (7) se développant dans des cristaux cassés de pyrite (5) contenus dans du mispickel (4) ($\times 200$).

Mispickel : abondant, en individus automorphes mâclés autour des cristaux de pyrite (fig. 6), son anisotropie peut être anormalement faible. Il est riche en inclusions : reliques de pyrite, petits grains anisotropes rosés, löllingite et petits cristaux d'un minéral jaunâtre qui a les caractères optiques d'une argentopyrite.

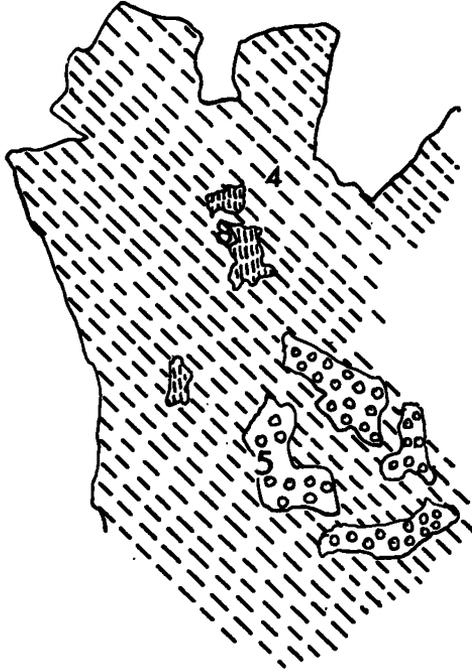


Fig. 6. — Les Chalanches : mispickel (4) renfermant des reliques de pyrite (5) et un minéral dont les caractères optiques sont ceux de l'argentopyrite (8) ($\times 200$).

Löllingite : elle est étroitement associée à la pyrite et au mispickel.

Skutterudite : avec la pyrite et le mispickel, les skutterudites sont les minéraux les plus abondants dans les échantillons examinés. Les textures « à la Vauban » abondent, soulignées parfois par l'altération superficielle. Les grandes plages de skutterudites sont formées de trois constituants à caractères optiques légèrement différents. L'attaque par les vapeurs régales développe les textures (photo 3, pl. I). L'association mispickel - löllingite -

skutterudite est assez courante (fig. 7). La skutterudite se trouve aussi sur le pourtour de cristaux de pyrite ou autour des plages de nickéline (photo 4, pl. I).

Nickéline : l'association nickéline au centre, chloantite sur le pourtour est classique aux Chalanches. La nickéline, étroitement associée à la rammelsbergite, suivant des figures qui pourraient être de dissociation, forme une plage allongée. L'altération de ces minéraux est forte, seuls

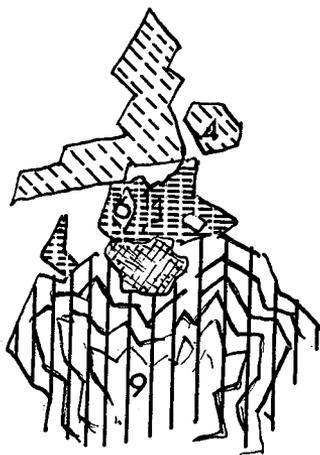


Fig. 7. — Les Chalanches : skutterudite (9) associée au mispickel (4) et à la löllingite (6) ($\times 150$).

subsistent alors des grains de rammelsbergite. La skutterudite nickélifère entoure ces reliques de nickéline ; elle est constituée par trois composants distincts, dont deux apparaissent en lumière naturelle (photo 4, pl. I), disposés en « rim-structure ».

Safflorite-Rammelsbergite : la détermination de ces deux minéraux à partir de cristaux petits, avec le seul secours de méthodes optiques, n'a pas été tentée. Ils peuvent être observés dans des plages riches en pyrite, argyrose, galène.

Allemontite : j'ai eu en main une section polie de ce minéral, appartenant à l'E.N.S.G. de Nancy. L'arsenic se trouve en association graphique dans l'antimoine qui en est le constituant principal.

Stromeyerite : une plage isolée de stromeyerite a été observée dans un échantillon qui renferme de la pyrite, du mispickel, de la blende, de l'argyrose, de la chalcopryrite. Ce minéral a été trouvé aussi en inclusion dans de la galène (fig. 8).

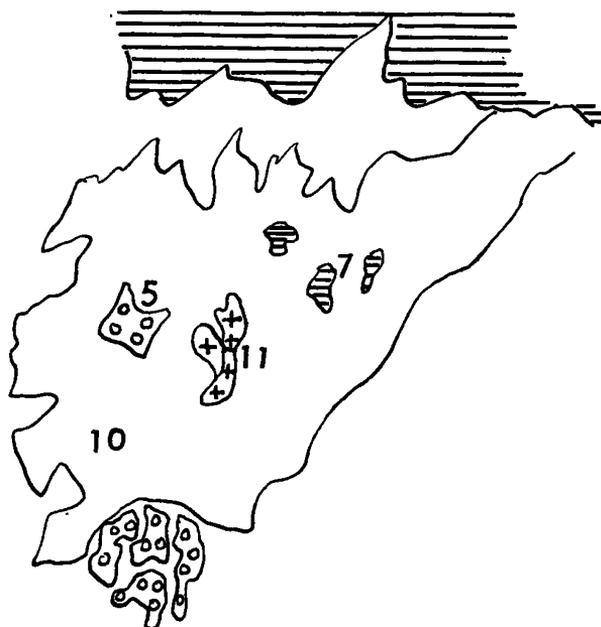


Fig. 8. — Les Chalanches : galène (10) contenant de la pyrite (5), de la blende (7) et, sans doute, de la stromeyerite (11) (dimension de l'inclusion : 20 μ).

Blende : de couleur très brune, à inclusions de chalcopryrite et pyrrotine, elle est semblable à la blende rencontrée dans les autres quartiers. D'autres blendes associées aux brèches à ciment d'épidote et de carbonates sont translucides et sans inclusions. La blende peut remplacer la pyrite.

Galène : toujours observée avec la blende, la chalcopryrite et l'argyrose, elle englobe souvent des reliques de pyrite. Elle renferme des inclusions de blende, chalcopryrite, stromeyerite.

Chalcopryrite : liée à la blende et à la galène, elle se trouve aussi en petits cristaux au voisinage des sulfoarséniures. Elle accompagne en outre la pyrite, comme minéral subordonné, dans les épontes. Elle renferme

inclusion de la galène, de la blende, de la pyrrhotine et des lamelles de dissociation semblables à celles signalées dans le filon n° 1 du Mollard.

Argyrose : dans le matériel étudié, l'argyrose était le minéral d'argent le plus abondant ; il ne semble pas qu'il s'agisse d'acanthite.

Argentopyrite : de petites inclusions en lamelles dans le mispickel ou en plages à bords lobés dans les skutterudites seront désignées sous ce nom. La détermination est uniquement fondée sur les caractères optiques de ces minéraux ; elle est donc sujette à caution.

Argent : bien que non repéré dans les échantillons décrits ici, il constitue le principal minerai exploité. J.-G. SCHREIBER, et après lui E. GRAFF, signalent que certaines terres ocreuses et certaines asbolanes renfermaient beaucoup d'argent bien que le métal y demeurât invisible. L'argent natif fut signalé dans les carbonates des gangues.

Autres minéraux : P. RAMDOHR [1960] et P. YPMA [1963] signalent l'association breithauptite-nickeline, en association mirmékitique. A. LACROIX mentionnait que la nickéline des Chalanches renfermait un peu d'antimoine (8 %) et en faisait un terme de passage à l'arite. Je n'ai pas observé de breithauptite. Il ne semble pas, de toute façon, que ce phénomène soit général et la nickéline ne paraît pas très abondante aux Chalanches.

Les mêmes auteurs ont déterminé de la polybasite. En outre, P. YPMA a observé du bismuth natif associé à la safflorite. C'est la première fois que le bismuth est signalé aux Chalanches comme minéral exprimé, et sa présence rapprocherait les Chalanches des gisements classiques à nickel, cobalt, argent.

c) ASSOCIATIONS MINÉRALES ET PARAGÉNÈSES.

L'étude des minerais, confrontée avec les recherches antérieures, permet de mettre en évidence un certain nombre de faits.

La pyrite semble être le minéral le plus ancien des Chalanches ; son altération superficielle constitue un important repère sur le terrain.

Les sulfoarséniures et arséniures de fer, nickel, cobalt englobent souvent la pyrite. L'antimoine paraît n'être que subordonné, le soufre et surtout l'arsenic sont les principaux minéralisateurs.

Une étude plus complète demanderait qu'au moyen de la sonde de Castaing et de la microchimie, soit définie la composition exacte de tous les constituants arséniés et sulfoarséniés. La seule détermination optique est insuffisante pour connaître, par exemple, la composition des différentes skutterudites, safflorites, ou encore le passage éventuel du mispickel au glaucodot, comme le suggèrent les propriétés optiques anormales de certains cristaux de mispickel. Parmi les minéraux d'argent signalés aux Chalanches,

il n'y a que des sulfures, sulfoantimoniures et antimoniures et pas de minéraux arséniés.

Il est possible d'admettre que les minéralisations riches en antimoine ne sont pas contemporaines de celles où les minéralisateurs dominants sont le soufre et l'arsenic. L'argyrose apparaît en général associée à l'antimoine et aux sulfures, plus rarement aux minéraux arséniés.

L'association mercure, cinabre, amalgame fut signalée aux Chalanches par J.-G. SCHREIBER ; son extension est inconnue, elle semble de toute façon peu importante et il est difficile de se prononcer sur ses rapports avec les autres minéraux.

Les minéralisations à blende, galène et chalcopryrite sont semblables à celles qui se trouvent dans les mines de la série brune. Leur gisement est peut-être différent de celui des minerais à cobalt, nickel, argent.

Il convient de préciser que la faille de la Drayre de l'Aiguille, à son intersection avec le Chemin de Bâton, renferme un petit filon à galène, blende, chalcopryrite (I).

Dans les gangues où dominent les minéraux de remaniement se trouvent de la blende translucide, de la galène sans inclusion, de la chalcopryrite sans blende, pyrrhotine ou lamelles de dissociations.

Les observations précédentes permettent de grouper, avec vraisemblance, plusieurs paragénèses ; cette distinction sera fondée sur la composition chimique et sur les relations des minéraux entre eux. L'étude des minéralisations en place, la géochimie de minéraux constituants permettront par la suite de préciser et, sans doute, de modifier ce schéma.

Pyrite : aux Chalanches surtout, elle est liée à la mise en place des roches gabbroïques et à l'écrasement tectonique. Il n'y a pas été observé de transformation en pyrrhotine. De la pyrite plus jeune est subordonnée à d'autres minéraux métallifères.

Minéraux arséniés et sulfoarséniés. — Ils se déposent autour de la pyrite, la löllingite se développe à l'intérieur de la pyrite. Le cobalt et le nickel à l'état d'arséniures et de sulfoarséniures sont en première approximation à peu près contemporains du mispickel et de la löllingite. Comme cela a été souligné précédemment, l'antimoine est, dans cette association, subordonné. Cette paragénèse renferme sans doute un peu d'argent et, d'après P. YPMA (1963), du bismuth.

Sulfures du groupe B.P.G.C. — Ces minéraux présentent les mêmes caractères que ceux observés dans la série brune, au niveau de la vallée. L'argyrose y est cependant plus abondante. La stromeyerite semble n'avoir que peu d'importance du point de vue génétique. D'après J.-G. SCHREIBER, la chalcopryrite est aurifère, des cuivres gris y sont associés. Il est difficile d'affirmer la relation d'âge et de gisement entre les deux paragénèses pré-

cédentes. Des phénomènes de remaniement superficiels ont abouti à des recristallisations de sulfures à caractères superficiels.

Antimoine, arsenic, soufre, mercure et argent. — Sauf pour l'argent, l'importance des minéraux déposés est quantitativement faible, mais leur importance génétique est cependant certaine. Par rapport aux arséniures et sulfoarséniures, les proportions d'antimoine et d'arsenic s'inversent. A. LACROIX signale des argents rouges dans les formations d'altération hydrothermale du type asbeste, actinotes, carbonates. Le mercure et le cinabre furent trouvés par J.-G. SCHREIBER [1798] à Saint-Arey et Prunières, près de La Mure, dans des formations secondaires.

La gangue de ces minéralisations n'apparaît pas clairement par suite du manque d'échantillons caractéristiques.

Minéralisations supergènes. — Des phénomènes moins profonds, souvent nettement supergènes, ont joué un rôle évident dans la remarquable complication de ce gîte.

En ce qui concerne l'enrichissement en cobalt et nickel des asbolanes, deux phénomènes se sont produits : d'une part, l'altération des carbonates, ankérite en particulier, et l'enrichissement en manganèse ; d'autre part, le remplacement des arséniures par le manganèse et l'enrichissement en argent natif des wads cobaltifères. Souvent des reliques de skutterudite peuvent être observées dans les plages de terre noire, riches en manganèse.

Ch. PALMER et E. BASTIN [1913] ont étudié l'effet précipitant des arséniures sur les solutions argentifères ; par exemple, 1 g de FeAs_3 précipite 4,7 g d'argent. L'enrichissement en argent est, pour une bonne part, lié à des phénomènes complexes dont il n'est pas encore possible d'établir l'importance relative.

Une étude complète des minerais, conduite à partir d'échantillons plus représentatifs, avec des moyens d'observation plus fins, permettra de préciser l'ordre de succession des minéraux et des différentes paragenèses. La suite des recherches aux Chalanches devra faire appel d'une part aux observations de géologie minière, d'autre part aux méthodes fines d'investigations géochimiques et minéralogiques. Pour le moment, de nombreux problèmes demeurent posés : ordre de succession exact des paragenèses, place exacte de certains minéraux, allemontite et minéralisation argentifère en particulier.

Les gisements du niveau de la vallée et les mines des Chalanches possèdent une paragenèse commune : celle à blende, galène, chalcopyrite, pyrrhotine et pyrite subordonnée. Il convient donc de se demander quelle relation existe entre ces deux gisements ; c'est ce que je tenterai d'établir au cours d'un essai sur l'origine des minéralisations qui termine ce mémoire.

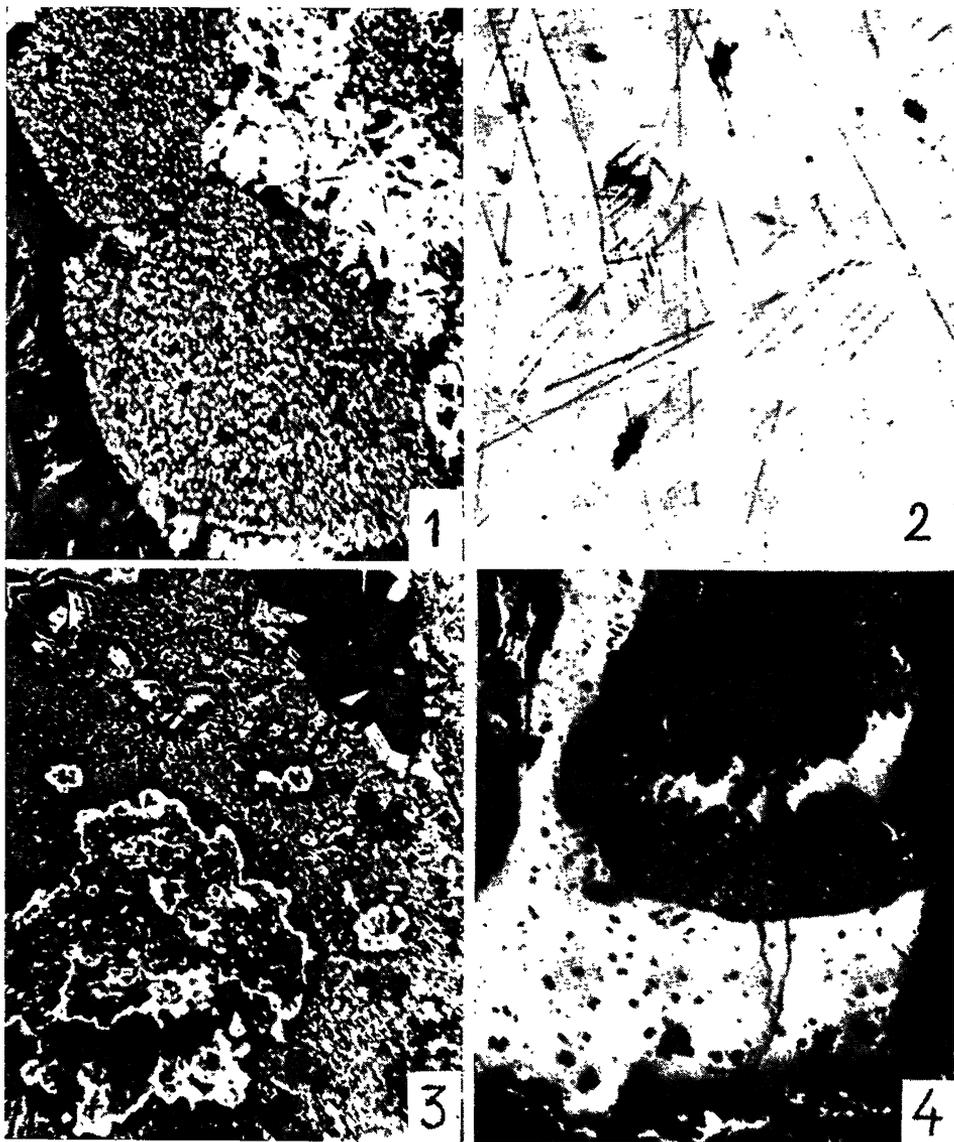


PLANCHE I. — Microphotographies de sections polies.

1, Le Grand Bois ($\times 90$); remplacement de la pyrite par la pyrrhotine le long des diaclases et sur le pourtour du grain de pyrite.

2, La Combe : chalcopryrite après attaque nitrique ($\times 240$); l'attaque met en évidence les lamelles de mâcles. Les inclusions grises sont de la blende. On voit ici nettement que les inclusions de blende paraissent sans relation mécanique avec les lamelles de mâcle de la chalcopryrite.

3, Les Chalanches : bloc d'éboulis renfermant un filonnet de skutterudite ($\times 90$); la skutterudite est ici photographiée après attaque par les vapeurs d'eau régale. Trois composants sont visibles, l'un sous forme d'amas ulcérimiformes, l'autre en texture « à la Vauban », le troisième constituant le fond de la roche.

4, Plate-forme de triage ($\times 90$); association caractéristique (Lacroix, 1913) de nickeline (au centre, altérée) entourée de skutterudite nickélifère, dans une gangue à carbonates dominants. Sur la partie supérieure gauche de la photo, l'existence de deux composants dans la skutterudite est bien visible.

TROISIEME PARTIE

ESSAI SUR LA GENÈSE DES GISEMENTS
DE LA RÉGION D'ALLEMONT**Comparaison des deux gisements.**

Le tableau n° 5 relève les caractères dominants des deux types de gisements décrits précédemment. L'examen de leurs différences et de leurs analogies permettra de les rattacher à des types de gisements définis ; puis, en les comparant à des gîtes mieux étudiés, tenter de découvrir le ou les processus de mise en place des minéralisations.

Analogies.

Les minéraux du B.P.G.C. sont les mêmes dans les deux types de gisements ; la tectonique contrôle étroitement la mise en place des minéralisations ; l'altération des éponges est la même, compte tenu de la différence de composition lithologique des roches encaissantes.

Différences.

Les Chalanches, outre les minéraux du B.P.G.C., renferment des minéraux du nickel, du cobalt, de l'argent natif, de l'antimoine, de l'arsenic et du mercure en faible quantité ; les niveaux pyriteux exercent une nette influence sur la richesse des filonnets sécants. La minéralisation est contenue dans un stockwerk, la séparation entre les éponges et les filons est plus difficile ; les phénomènes de remplacement peuvent aboutir à la formation de minéralisations du type inclusion.

A partir de cette comparaison rapide, notons l'analogie entre les gisements d'Allemont, les Chalanches en particulier, et les gisements de type « fahlband » isolés par DE LAUNAY.

La paragenèse à blende, galène, chalcopryrite, pyrrhotine s'apparente à celle des gisements de Falun [E. GRIP, 1960] et surtout Skelleftea [MAGNUSSON, 1960], la paragenèse à nickel, cobalt, argent s'apparente à celles signalées au Val d'Anniviers [H. E. HUTTENLOCHER, 1934], à Schladming [L. DE LAUNAY, 1913] et, d'une manière générale, aux minéralisations des brandes des Alpes orientales. La présence du bismuth amène

TABLEAU n° 5.

*Tableau comparatif des deux types de gisements
de la région d'Allemont.*

	B.P.G.C.	Co Ni Ag
Minéraux dominants.	Pyrite, pyrrhotine, galène, chalcopryrite, blende (argyrose), (cuivre gris), (or).	Pyrite, galène, blende, chalcopryrite (pyrrhotine), mispickel, arséniures et sulfoarséniures de fer, nickel, cobalt, asbolane, argyrose, sulfoantimoniures et antimoniures d'argent, allemon-tite, stibine, argent (cinabre), (mercure), (cuivres gris).
Roches encaissantes.	Gneiss chloriteux ré-tromorphosés, migmati-sation locale, faciès em-bréchitique à micaschis-teux.	Proximité du contact entre des formations à amphiboles dé-rivées d'une série volcanique basique et des tufs kéra-tophy-riques d'une série volcanique acide. Mise en place de roches de la famille des gabbros. Loca-lisation contrôlée par des fac-teurs tectoniques.
Mode de gise-ment.	Filons.	Stockwerk.
Mode de rem-plissage.	Remplissage de cas-sures, métasomatose li-mitée aux minerais mé-talliques et, à un degré moindre, aux épontes bréchifiées.	Métasomatose dominante sur le remplissage.
Gangues.	Quartz dominant, car-bonates subordonnés.	Carbonates, épidote, asbeste, quartz (barytine ?), (gypse).
Altération des épontes.	Séricite, chlorites, car-bonates.	Séricite, chlorites, carbonates, épidote, zoïsite.

P. YPMA à comparer les Chalanches à Freiberg où existent les mêmes associations minérales, avec des structures semblables. Une remarque restrictive s'impose ; si le télescopage des minéralisations est classique dans ces types de gisements, la pyritisation y est d'origine sédimentaire, liée à des niveaux riches en matières organiques.

Aux Chalanches, c'est surtout l'écrasement des roches vertes au cours de l'orogénèse, associé au volcanisme, qui est responsable de la pyritisation ; ceci conduit à l'idée d'un gisement à influence topominérale [H. SCHNEIDERHÖHN, *op. cit.*] lié à une pyritisation.

La comparaison des minéralisations avec les types fahlband et gîtes topominéraux mérite d'être poussée plus avant. Cependant, comme l'hypothèse d'une minéralisation d'origine descendante fut la première formulée, elle sera d'abord discutée ; ensuite, le rôle probable joué par l'environnement pétrographique sera examiné à la lumière des idées métallogéniques récentes.

1) *Hypothèse descendante.*

Il s'agit là de la seule hypothèse génétique formulée jusqu'à ce jour. Due à J.-G. SCHREIBER, disciple de WERNER, contredite par DE BEUST, elle fut pratiquement abandonnée par la suite.

Cette opinion se heurte à certaines objections :

le gisement des Chalanches a une extension limitée;

la pyritisation est connue ailleurs dans Belledonne, aucun enrichissement en minéraux métalliques n'est signalé;

la continuité probable des paragenèses sulfurées est de plus de 1 000 mètres et sa composition minéralogique et géochimique est uniforme, tant à proximité du granite des Sept-Laux qu'au sommet de la série verte. Pour accepter cette hypothèse, il faut admettre une composition remarquablement constante des solutions descendantes;

la grande complexité des minerais des Chalanches s'oppose aussi à cette hypothèse.

La présence de certains minéraux métallifères peut se comprendre par des phénomènes peu profonds et même superficiels :

formation des minéraux supergènes et dépôt d'argent natif accentué par la présence d'arséniures;

P. M. TATARINOV [1957] justifie également la concentration superficielle en argent par la formation d'une argentojarosite;

les phénomènes descendants peuvent aussi rendre compte de la concentration du nickel et du cobalt dans les asbolanes, de la formation de certains minéraux des gangues, carbonates, gypse et de minerais métalliques tels que blende translucide, chalcopyrite sans inclusion.

Il y a donc lieu de retenir l'hypothèse d'une minéralisation descendante comme source d'enrichissement du gisement, surtout aux Chalanches.

2) Gisement de type « fahlband ».

Les « fahlband », appelées aussi brandes, furent isolées en un groupement particulier par L. DE LAUNAY [1913], davantage pour des raisons morphologiques que génétiques. La métallogénie moderne tend à isoler dans ce groupe de gisements les amas pyriteux et les imprégnations diffuses d'une part, les gisements pyriteux hydrothermaux d'autre part, en retenant essentiellement parmi les phénomènes responsables de leur mise en place le métamorphisme et la composition des roches encaissantes. Un caractère fondamental de ces gisements est le télescopage de leurs minéralisations.

Une transition possible s'établit ainsi entre les gisements pyrométasomatiques et les gisements à influence topominérale de H. SCHNEIDERHÖHN [1941] :

aux Chalanches, un net enrichissement en minéraux utiles a été signalé aux intersections de fractures avec le niveau pyritisé;

la comparaison avec les gisements classiques à cobalt, nickel, argent, conduit à rapprocher les Chalanches des gisements de Cobalt ou de Bou Azzer en ce qui concerne la paragenèse principale, et aux « fahlband » pour la localisation géologique.

Il convient de faire le point des dernières acquisitions de la métallogénie moderne en vue de tenter une synthèse qui rende compte à la fois du type de paragenèse et de leur localisation.

Au Congrès géologique international de Copenhague [1960], E. GRIP et H. MAGNUSSON ont mis en évidence la relation qui existe entre la mise en place des minéralisations de Skelleftea et de Falun, les granites palinogénétiques et les phénomènes de granitisation qui les accompagnent. Dans une certaine mesure, ils ont ainsi repris, en les limitant, les conclusions auxquelles arrivait C. SULLIVAN en 1948.

Pour ces auteurs, les zones de granitisation profondes sont caractérisées par le départ de constituants des roches encaissantes. De cette manière, les minéraux mobilisés et les fluides qui les transportent ne sont plus originaires du seul granite en voie de refroidissement, mais aussi des roches en voie de granitisation et le fluide minéralisant est plus l'ichor que les composés volatils issus du magma. Le départ de la minéralisation se fait surtout à partir des zones migmatisées où s'enracinent les batholites granitiques.

La similitude de la paragenèse sulfurée de la région d'Allemont avec celles de Skelleftea et, à un degré moindre, de Falun, a déjà été signalée. Au niveau de la vallée, cependant, la pyrite ne joue qu'un rôle subordonné et ici il n'y a pas de minéraux de skarn. Par contre, la relative rareté de la pyrite dans les formations encaissantes de la minéralisation sulfurée est compensée par le fait que les minéralisations circulent à peu près librement dans les cassures plus ou moins ouvertes et dans les zones

broyées. Dans la caisse filonienne dominant les phénomènes liés à la surface libre à l'intérieur des cassures, alors que dans les brèches d'épentes, les phénomènes de métasomatose sont les plus importants.

3) Gisements à influence topominérale.

L'influence topominérale des roches encaissantes sur les minéralisateurs semble nette aux Chalanches ; les formations encaissantes joueraient un rôle précipitant dû aux pyrites et au graphite, et un rôle chimique en fournissant des métaux lourds, cobalt et nickel en particulier.

Cette hypothèse paraît probable si l'on considère :

que le stock de nickel et de cobalt des roches basiques et ultra basiques est très grand par rapport à celui des roches acides [GOLDSCHMIDT, 1937, *in* Rankama et Sahama 1957];

qu'il est admis classiquement que nickel et cobalt sont des minéraux typiques d'une différenciation magmatique basique;

que les études géochimiques des auteurs anglo-saxons ont montré que la pyrite peut renfermer des quantités notables de cobalt, de nickel et d'arsenic [HUNT *et al.*, 1955; YOUNG, 1957].

Par contre, SCHUMACHER [*in* SCHNEIDERHÖHN, 1941] semble avoir établi que le nickel et le cobalt de l'Erzgebirge étaient à mettre en relation avec les intrusions granitiques responsables de la mise en place des autres minéralisations. A Allemont, les filons à sulfures de la série brune ne renferment pas de minéraux du nickel et du cobalt. Les gisements de Norvège, des Alpes orientales ou du Valais (Val d'Anniviers) renferment du bismuth et de l'uranium. Le bismuth a été observé par P. YPMA [*op. cit.*], l'uranium manque⁶. De plus, lorsque ces gisements renferment de l'antimoine, il se trouve combiné au cobalt et au nickel, ce qui n'est pas le cas général aux Chalanches.

Le mécanisme d'enrichissement de certains gisements en métaux lourds pris aux roches encaissantes a fait l'objet, ces dernières années, de recherches poussées.

G. JOURAVSKY [1952] remarque de la magnétite dans les skutterudites de Bou Azzer et envisage un remplacement du fer par le cobalt et le nickel qui ont plus d'affinité pour l'arsenic. Si ce processus a joué ici, l'absence de magnétite permet de lui assigner un rôle réduit.

Récemment, I. J. NEKRASSOV et G. M. GAMJANIN [1962] ont établi que les minéraux ferro-magnésiens, les biotites riches en fer en particulier, sont riches en cobalt. La chloritisation de la biotite en libère le cobalt, transporté sous forme d'ion complexe, $\text{Co}(\text{OH},\text{F})_4\text{Na}_2$, dans les fluides à réaction alcaline. Le complexe se décompose en milieu acide qui permet l'apparition des arséniures de cobalt lorsque le pH se trouve compris entre 3,5 et 4,5.

⁶ A l'exception d'une mouche de pechblende trouvée par J. GEOFFROY dans un échantillon de la collection du Muséum (Communication orale, mai 1962).

position de l'allemontite dans ces paragéneses n'est pas claire ; P. QUESNEL [1960] signale sa présence dans les pegmatites de Varusträsk et lui assigne une température de formation comprise entre 600 et 400°.

D'une manière générale, la paragéneses à antimoine dominant et peut-être mercure semble postérieure aux minéralisations principales ; de plus, elle différencie les Chalanches des gisements classiques à cobalt, nickel, argent. Le gisement du mercure, du cinabre, des antimoniures d'argent n'a jamais été décrit avec précision, leur gangue nous est inconnue ; seuls des arguments géochimiques et métallogéniques permettent de formuler une hypothèse concernant leur mise en place.

L'activité volcanique fut intense dans les massifs cristallins externes, depuis le volcanisme géosynclinal jusqu'au volcanisme postorogénique qui se poursuit sous forme de volcanisme spilitique, au moins jusqu'à la fin du Trias. Elle permettra peut-être d'expliquer ces minéralisations.

De la discussion précédente, il ressort clairement que seules des études de détail permettront d'éclaircir les problèmes qui demeurent posés : mise en place des minéralisations, responsabilité exacte de chaque processus métallogénique dans la genèse des gisements.

Je conclurai en proposant un schéma de mise en place des gisements en leur attribuant une place dans la classification métallogénique.

CONCLUSIONS

A) Mise en place des minéralisations.

1° La pyrite, contemporaine de la mise en place des roches gabbroïques, est sans doute postérieure au métamorphisme général.

2° La libération de cobalt et de nickel se fait au cours de l'écrasement tectonique et, peut-être, de la rétro-morphose, l'arsenic est fourni par les pyrites.

3° Par réaction avec les minéralisateurs des zones plus profondes a lieu le dépôt dans les fissures et par voie métasomatique de la paragéneses sulfurée et de la paragéneses cobalto-nickélique, l'argent y étant associé en faible quantité.

4° Mise en place de la paragéneses à antimoine, arsenic, mercure.

5° L'altération superficielle et les phénomènes descendants amènent la formation de wad, limonite, argyrose et précipitation d'argent natif, ainsi que la formation d'un B.P.G.C. à caractère superficiel épithermal.

L'ordre de dépôt de 3, 4, 5 est schématique, il est bien évident que les phénomènes isolés ici se télescopent et que l'évolution du gisement est un phénomène lent et continu, parallèle à l'évolution géologique du massif.

B) Age des minéralisations.

Le niveau pyriteux qui joue un rôle important dans la métallogénie de ces gisements est anté-houiller. Il en est de même pour les roches gabbroïques qui, sous forme de galets, sont visibles dans les conglomérats de la base du Houiller.

La liaison entre ces minéralisations, l'orogénie, le métamorphisme, la mise en place des granites et surtout la rétromorphose, a été mise en évidence. A ce sujet, toute discussion sur l'âge des minéralisations achoppe sur deux phénomènes géologiques distincts :

1° *L'âge de la rétromorphose* : si elle est tardihercynienne, il en est de même pour les minéralisations principales, sulfurées et arséniées. Si la rétromorphose est alpine, le caractère « chaud » de certaines paragénièses s'explique difficilement.

2° *La mise en place du granite des Sept-Laux* : sa position anticlinale dans la série brune, les faciès migmatitiques qui l'accompagnent semblent lui assigner une mise en place syncinématique et un enracinement dans des zones migmatitiques profondes. Des tentatives de datation géochronologiques par la méthode Rb/Sr aboutissent à un âge permien très douteux.

Pour certains auteurs [R. MICHEL et J.-M. BUFFIÈRE, 1963], les syénites du lac Lauvitel (Massif du Pelvoux) résulteraient de la granitisation de roches basiques. Dans ce cas, le granite serait postérieur à la mise en place du pluton basique à gabbro et serpentines.

P. YPMA [*op. cit.*] a daté, par les isotopes du plomb, 13 échantillons de galène des régions d'Allevard et de Vizille. L'âge moyen des échantillons est 230 ± 50 millions d'années. Deux galènes provenant des Arabes et du Mollard, analysées au Centre de Recherches Radiogéologiques de Nancy, ont donné des âges négatifs.

Il est donc difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'assigner un âge à la mise en place des minéralisations. Probablement, les processus métallogéniques s'étalent de la fin de l'induration du socle à l'orogénèse alpine ; la période la plus active serait la fin de l'orogénèse hercynienne, des remises en circulation et des recristallisations intervenant surtout par la suite.

C) Classification des gisements.

Au terme de cette discussion se trouve établi un schéma de mise en place des minéralisations de la région d'Allemont, dans lequel les faits d'observation se trouvent liés. L'influence des phénomènes profonds en relation avec le niveau où s'enracinent les granites, la mobilisation des

métaux lourds dans les roches encaissantes et leur précipitation dans des formations géologiquement bien définies montrent la complexité de la genèse des gisements ; les placer dans une classification endogène est difficile, compte tenu des idées métallogéniques modernes.

Les gisements de la région d'Allemont, situés à la limite des faciès hypothermaux et mésothermaux par la composition de leurs minéraux métallifères sulfurés, dans le groupe des gisements topominéraux par leur paragenèse à cobalt et nickel et dans le groupe épithermal par la paragenèse à antimoine et mercure, sont affectés par des remaniements descendants et des phénomènes complexes de remplacement.

Je propose de classer ainsi les différentes paragenèses :

TABLEAU n° 6.

Classification des gisements de la région d'Allemont.

Type de gisement	Minéraux métallifères	Gangues
Amas pyriteux.	Pyrite (chalcopyrite).	Contact roches basiques - roches acides.
Mésothermal.	Pyrite, pyrrotine blende, galène, chalcopyrite (argent) (or).	Quartz dominant carbonates subordonnés.
Mésothermal à influence topominérale.	Arséniures et sulfoarséniures de fer, nickel, cobalt (argent), (antimoine).	Carbonates, épidote (barytine), (quartz).
Epithermal.	Antimoine, mercure, arsenic, (argent) (blende, galène, chalcopyrite).	?
Remaniement de surface.	(Argyrose), argent natif, minéraux supergènes.	

Ce tableau appelle quelques remarques. Tout d'abord l'ordre exact de dépôt n'est pas encore connu. Si les minéralisateurs sont issus pour une part du granite et pour une autre part de la zone de granitisation des roches encaissantes, la paragégnèse de type mésothermal se rapproche d'une paragégnèse à influence topominérale. Le rôle du volcanisme lié au socle n'est qu'imparfaitement élucidé. L'hypothèse d'une minéralisation uniquement péritholitique est difficile à soutenir, aucun zonage n'apparaît dans les gisements métallifères qui peuvent être mis en relation avec le granite des Sept-Laux. De plus, les paragégnèses ne sont pas celles admises classiquement pour les gîtes péritholitiques.

Il n'est pas douteux qu'une étude métallogénique où le chercheur disposera de minerais bien repérés dans les différents quartiers de mines et d'un bilan géochimique portant sur la composition des minerais et de certaines formations encaissantes permettra de compléter et de modifier ce schéma. Les massifs cristallins externes renferment un grand nombre d'indices minéralisés, des indices de chromite de Chamrousse aux minéralisations de la base du Trias (Auris-en-Oisans) ou du contact Lias - socle (Oulles-en-Oisans). L'étude de ces indices ouvre un champ de recherches particulièrement intéressant, tant du point de vue théorique que du point de vue pratique. Ces études métallogéniques amèneront les chercheurs à envisager sous un angle original certains problèmes encore controversés, tant il est vrai que l'évolution d'un gisement métallifère est étroitement liée à l'histoire du contexte géologique où il est inclus. Toute classification métallogénique est trop rigide pour rendre compte de la complexité des phénomènes qui interviennent dans la mise en place des gisements. Il est probable que des études plus complètes dans Belledonne conduiront à dégager une notion de province et d'époques métallogéniques. L'accent sera mis davantage sur le contexte historique, géologiquement parlant, de la région, que sur les analogies de faits grâce auxquelles deux gisements se ressemblent plus ou moins.

BIBLIOGRAPHIE

- BASTIN (E. S.) (1939). — The nickel, cobalt, native silver ore type (*Econ. Geology*, Urbana, vol. 34, p. 1-40).
- (1950). — Interpretation of ore texture (*Geol. Soc. Am. Mem.*, New-York, 45).
- BORDET (Cl.) (1952). — Sur l'interprétation comme diapirs descendants de certaines bandes de terrains secondaires pincées dans les massifs cristallins externes des Alpes (*C. R. A. S.*, t. 235, p. 732).
- (1957). — Recherches géologiques sur la partie septentrionale du massif de Belledonne. Thèse, Paris.
- BORDET (Cl. et P.) (1953). — a) Sur la présence de carbonifère antéstéphanien dans la série cristalline du massif de Belledonne (*C. R. A. S.*, t. 236, p. 305).
- b) Sur la structure des massifs cristallins externes des Alpes françaises (*C. R. A. S.*, t. 236, p. 500).
- c) Remarques sur l'orogénèse hercynienne dans les Alpes (*C. R. A. S.*, t. 236, p. 722).
- BORDET (P.) (1956). — Les formations cristallophylliennes des massifs externes entre l'Arc et la Bonne (*B. S. Carte Géol. Fr.*, t. 54, bull. n° 250, fasc. B, p. 17-30).
- Répétitions isoclinales et granitisation dans deux séries cristallophylliennes anciennes (Alpes et Maures) (*C. R. A. S.*, t. 242, p. 387).
- (1960). — Sur la géologie du massif de Belledonne (*C. R. A. S.*, t. 252, n° 3, p. 434-436).
- DONDEY (D.) (1958). — Contribution à l'étude tectonique et pétrographique de Belledonne méridionale (Région d'Allevard, Isère) (*C. R. S. G. F.*, p. 332-334).
- (1960). — Contribution à l'étude de la série cristallophyllienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale (*T. L. G.*, t. 36, p. 285-368).
- EVRAUD (P.) (1898). — Rapport sur la concession des Chalanches (*Archives Service des Mines*, Grenoble).
- GRAFF (E.) (1846). — Note sur la mine des Chalanches (*Archives Service des Mines*, Grenoble).
- GRAS (Sc.) (1837). — a) Notice historique sur l'exploitation des mines de l'Oisans (*Revue du Dauphiné*, p. 264-279).
- (1851). — b) Sur la découverte d'une mine de mercure dans le département de l'Isère (*B. S. G. F.*, 2^e série, t. VIII, p. 562).
- (1879). — Sur l'âge géologique des couches anthracifères du département de l'Isère (*Ann. des Mines*, t. 16).
- GRIP (E.) (1960). — The Skelleftea district and the Laisvall area (*Int. Geol. Congress. Guide to excursions n° A 27 and C 22*. Swedish geological Survey).
- GUETTARD (J.) (1779). — Mémoires sur la Géologie du Dauphiné (Impr. de Claussier, Paris).
- GUEYMARD (E.) (1831). — Sur la géologie, la minéralogie et la métallurgie du département de l'Isère (Grenoble).
- GUEYMARD (E.) (1846). — a) Sur les gîtes de nickel dans l'Isère (*B. S. G. F.*, 2^e série, t. XII, p. 515).
- b) Mémoire sur le platine dans les Alpes (*B. S. G. F.*, Paris, 2^e série, t. XII, p. 429).

- HÉRICART DE THURY (1794). — Sur les gisements d'antracite de l'Oisans (*Journal des Mines*, t. XIV, p. 161, et vol. 20, p. 69).
- HUTTENLOCHER (H. F.) (1934). — Die Erzlagerstätten des Westalpen. (*Schw. Min. Petrog. Mitt.*, t. XXII, Heft 2).
- LACROIX (A.) (1913). — Minéralogie de la France.
- DE LAUNAY (L.) (1913). — Traité de métallogénie. Gîtes minéraux et métallifères.
- LORY (Ch.) (1860). — Description géologique du Dauphiné.
- LORY (P.) (1893). — Etudes géologiques dans la chaîne de Belledonne (*B. S. Stat. Isère* (4), t. I).
- (1895). — Etudes géologiques dans la chaîne de Belledonne (*B. S. Stat. Isère*, t. II).
- (1925). — Sur la tectonique de la chaîne de Belledonne au Sud d'Albertville (*C. R. A. S.*, Paris, t. 174).
- MICHEL (R.) et BERTHET (P.) (1958). — Les formations cristallophylliennes de la chaîne de Belledonne dans la vallée de la Romanche (Isère) (*C. R. A. S.*, t. 246, p. 1888).
- MICHEL (R.) et BUFFIÈRE (J.-M.) (1963). — Sur la nature et l'origine de la syénite du Lauvitel (massif du Rochail, secteur Nord-Ouest du Pelvoux, Isère) (*C. R. A. S.*, t. 256, p. 225-227).
- SARROT REYNAULD (J.) (1962). — Etude géologique du dôme de La Mure et des régions annexes (Thèse, Grenoble).
- SCHREIBER (J. G.) (1784). — Observations sur la montagne des Chalanches (près d'Allemont, Isère) (*Journal de Physique*, mai, et *B. S. S. I.*, t. I, 1839, p. 114-123).
- (1786). — Mémoire sur différentes espèces de mines qui se trouvent dans les filons de la montagne des Chalanches, près d'Allemont en Dauphiné (*Journal de Physique*, p. 143-148).
- (1788). — Lettre à M. de la Méthérie sur une mine d'argent (*Journal de Physique*, p. 368-370).
- (1798). — Notice sur la découverte de mercure coulant dans la mine d'Allemont et sur la mine de mercure de Saint Arey (*Journal de Physique*, t. IX, p. 433).
- (1806). — Mines d'or du département de l'Isère (*Journal des Mines*, 2^e semestre, t. XX).
- (1807). — Essais sur le minerai de plomb de Montjean près de Vizille, faits à la Fonderie d'Allemont en Oisans (*Journal des Mines*, t. XXI, 1^{er} semestre).
- TOBI (A. C.) (1958). — a) Volcanisme occulte dans les grès d'Allevard (Permien) et dans le Houillier du Massif de Belledonne (Isère) (*C. R. A. S.*, t. 247, p. 104).
- b) Sur les roches cristallophylliennes de la bordure Ouest du massif de Belledonne (Isère) (*C. R. A. S.*, t. 247, p. 104).
- (1959). — Petrographical and geological investigations in the Merdaret - lac Crop region (Belledonne massif, France) (*Thèse*).
- Y_{PMA} (P.) (1963). — Rejuvenation of ore deposits as exemplified by the Belledonne metalliferous Province (*Thèse, Leyden*).