

Métallotectes de répartition de la scheelite à Salau

par

C. DERRÉ*

6.1. Introduction

L'étude de la chronologie relative de l'apparition des minéraux de métamorphisme de contact par rapport au plissement P2 nous permet de mettre en évidence (C. DERRÉ, 1978), dans l'auréole centrée sur la granodiorite de Salau, un retard croissant dans les cristallisations en fonction de la distance du massif. Elles apparaissent ainsi près du massif, antérieures à synchrones de la flexion, et loin de celui-là, postérieures à la schistosité S2. Dans l'auréole la plus proche, nous pouvons observer en outre la superposition de paragenèses successives, correspondant au refroidissement progressif des roches. La culmination du métamorphisme de contact s'est produite au début du plissement P2, se manifestant par une flexion des roches. Les températures atteintes lors de la formation des skarns à hédénbergite et grenat sont de l'ordre de 600 à 500 °C. En dessous de cette température se sont formés des silicates hydroxylés. Ils ont pris naissance à la suite de la transformation de la paragenèse primaire à des températures s'échelonnant entre 500 et 400 °C. Les circulations hydrothermales ont été favorisées par l'apparition de la foliation liée à la fin du plissement P2.

Le plissement P3, en plis arrondis, s'accompagne d'une déformation de la foliation précédente, coupée par une schistosité grossière et par des fractures

d'extension contenant de la pyrrhotite, un peu de scheelite et de la trémolite.

Enfin, dans les fentes tardives liées au plissement P4 se rencontre une paragenèse de très basse température (laumontite, prehnite, chlorite, pyrite).

Nous avons établi que la scheelite, principalement associée à la pyrrhotite et aux skarns à hédénbergite, appartenait à trois générations successives de cristallisation. La première génération, liée aux silicates calciques des skarns, se distribue en zone par rapport à la bordure de la granodiorite dans les skarns zonés. Elle est associée aux rubans de pyrrhotite dans les skarns rubanés. La seconde génération accompagne le stade de foliation (S2) associé à la déformation tectonique (P2) qui plisse l'ensemble des roches. La troisième génération se localise seulement dans les fissures plus tardives.

Nous avons distingué deux types de corps minéralisés en relation avec la nature de leur encaissant. Cette distinction est également valable pour les teneurs en tungstène qu'ils renferment (fig. 34).

A l'échelle des corps minéralisés, la concentration en scheelite dépend de la nature de la roche encaissante et du style de déformation de ces

* C.N.R.S., Equipe de recherche « Provinces métallogéniques », Laboratoire de Géologie Appliquée, Université de M. Curie, 75230 Paris Cedex.

roches. Ainsi, la teneur moyenne de ces corps minéralisés est élevée (1,20 à 2,30 WO_3). C'est le corps en colonne du « S.C. » logé dans une gouttière plongeant vers l'Est qui présente la plus forte teneur moyenne.

Les corps minéralisés sont donc le résultat de

la superposition de ces générations de scheelite et des plissements qui affectent les rubans minéralisés de la première génération.

Examinons comment se distribuent la scheelite et les teneurs en tungstène dans ces corps minéralisés.

6.2. Répartition de la scheelite et concentration dans les corps minéralisés

6.2.1. Les corps minéralisés encaissés dans les cipolins rubanés gris et blanc

a) La pyrrhotite lenticulaire de la gouttière « sud »

Cette lentille se compose de zones développées en bordure de la granodiorite vers le cipolin. La granodiorite est bordée par la pyrrhotite sans scheelite, puis par une bande de pyrrhotite très riche en petits cristaux de scheelite, elle-même longée irrégulièrement par un skarn à hédénbergite et grenat, dans lequel la scheelite est disséminée en cristaux centimétriques.

Quelle que soit la largeur de cette bande, la scheelite se dispose de la même manière en quantité aussi abondante. La minéralisation exploitable est essentiellement liée à la largeur du corps minéralisé, donc, lorsque la bordure de la granodiorite est irrégulière, forme des gouttières, lorsqu'il existe des apophyses assez rapprochées (moins d'une dizaine de mètres).

Les déformations plicatives, très marquées en raison du comportement plastique de la pyrrhotite et du cipolin, s'accompagnent d'une seconde génération de scheelite, parfois très abondante, et nettement visible dans la granodiorite foliée par exemple, et dans les zones de cipolin et de pyrrhotite pincées dans la granodiorite, dans les charnières, conduisant à des teneurs en WO_3 de 2 à 14%.

b) La pyrrhotite en colonne du « S.C. »

Le corps en colonne présente la même répartition zonale, par rapport à la bordure de la granodiorite ou des cornéennes silico-alumineuses.

Dans le plan horizontal, la colonne a une section en « croissant » dont la portion la plus renflée présente des teneurs de 3 à 10% de WO_3 (localement de 13%). La frange la plus riche en scheelite souligne généralement le contact avec le cipolin rubané gris et blanc, sans oublier les portions effilées du croissant ainsi que des rubans qui partent dans le cipolin suivant les plans de foliation des plis P2 ou suivant des fractures précoces plissées ensuite.

Dans le sens vertical, les plus fortes teneurs en WO_3 se situeraient entre les niveaux 1452 et 1377, portion la plus large de la colonne. En réalité, la scheelite n'y était pas plus concentrée que dans les niveaux inférieurs plus minces, entre 1377 et 1320 m, qui offraient des teneurs de 2 à 4% de WO_3 . La variation de largeur, par contre, peut s'expliquer par un contrôle structural. En effet, au-dessus du niveau 1425, l'apophyse nord, qui formait la gouttière avec l'apophyse sud, disparaît. Il ne subsiste alors qu'une toute petite rainure, subverticale, dans l'apophyse sud. Quant à la diminution de la largeur de la minéralisation au-dessous du niveau 1377, elle peut s'expliquer par l'éloignement progressif de la granodiorite du contact cipolin-cornéennes silico-alumineuses, formant un flanc de la gouttière.

Ainsi, les teneurs varient peu à l'intérieur des bandes minéralisées sur toute la hauteur de ces corps minéralisés; les variations notées sont en relation avec la forme du corps minéralisé et fonction de la largeur. Celle-ci est souvent augmentée par le plissement.

Cette même règle semble valable pour les nombreux corps minéralisés du « quartier Véronique » découverts dans les gouttières à l'Ouest du gisement du bois d'Anglade. Eux aussi sont encaissés dans le cipolin rubané gris et blanc, formant des lentilles et colonnes très riches en scheelite (2% WO_3).

6.2.2. Les corps minéralisés encaissés dans les cornéennes calciques

a) Les lentilles de pyrrhotite dans les skarns rubanés

Dans les corps minéralisés du « golfe », la scheelite se répartit dans les bandes de pyrrhotite avec des concentrations généralement plus importantes vers la bordure que dans les skarns rubanés à pyrrhotite. Entre ces bandes, les skarns rubanés sont pauvres en scheelite (0,40 à 0,17 % WO_3), laquelle y est disséminée, même au contact de la granodiorite, sauf dans une mince frange (3 cm) qui s'observe parfois, discordante sur le rubanement. Que ce rubanement soit subparallèle ou perpendiculaire au contact de la granodiorite, les teneurs restent sensiblement identiques, et en moyenne inférieures à celles des corps minéralisés encaissés dans le cipolin gris et blanc (1,06 % WO_3).

Dans le sens vertical, la minéralisation rubanée du « golfe » présente toujours la même répartition de la scheelite sans que l'on puisse observer d'enrichissement en profondeur. Les trois bandes de pyrrhotite, bien individualisées en amont du niveau 1452, s'épanouissent en aval. Au-dessus du niveau 1430, la régularité des bandes à pyrrhotite est perturbée par des déformations, plus marquées dans le fond de cette gouttière. Les cristallisations de scheelite de seconde génération n'y sont pas aussi abondantes que dans les corps minéralisés encaissés dans le cipolin rubané gris et blanc, ceci en raison des différences de compétence. Les skarns rubanés avec les bandes de pyrrhotite forment un ensemble beaucoup plus homogène, réagissant seulement par la création d'un réseau de fissures où cristallisent les minéraux de plus basse température et un peu de scheelite.

Dans le sens longitudinal, les variations des teneurs en WO_3 sont irrégulières. Au niveau 1452 par exemple, une bande de pyrrhotite montre des teneurs de 1,89 % au contact du massif, puis de 2,60 à 4,40 % vers l'Est, en s'éloignant de la bordure, vers le cipolin à silicates calciques. Dans la bande voisine, au contraire, les teneurs sont plus élevées (3 à 5 % WO_3) près de la granodiorite et diminuent progressivement (2,60 à 3,30 %, puis 0,35 % WO_3) vers l'Est, à 25 m de la granodiorite.

La distribution de la scheelite est liée, d'une part à l'existence de niveaux de composition favorable, rubans à pyroxène ou à biotite, riches en quartz, où elle est très abondante, alternant avec des rubans à pyroxène massif et grenat où elle est

plus disséminée, et d'autre part à la présence d'intercalations plus calciques au contact desquelles elle est encore plus concentrée. Elle est de ce fait plus indépendante d'une zonalité par rapport à la bordure de la granodiorite, à la différence de la minéralisation encaissée dans le cipolin gris et blanc, mais présente une zonalité par rapport au rubanement primitif des roches, en relation avec les échanges chimiques et les réactions qui ont pu se produire entre les rubans de composition différente (niveaux calciques et niveaux silico-alumineux).

b) La gouttière de pyrrhotite massive et de skarns rubanés du Nord.

Le corps minéralisé « nord », composé de pyrrhotite massive à rubans biotitiques et quartzeux, présente la même direction que la bordure de la granodiorite, ce qui détermine sa largeur (10 à 25 m) et sa continuité.

Directement en contact avec la granodiorite, il n'existe pas, ou très peu de scheelite dans la pyrrhotite (0,10 à 0,45 % WO_3), conformément à la zonalité déjà observée par rapport à la granodiorite. Cette zone correspond à la frange de roche intrusive modifiée envahie par pyrrhotite. En réalité, dans le détail, le rubanement est légèrement oblique sur le contact, et il est possible de voir que les bandes minéralisées peuvent arriver jusqu'au contact de la granodiorite. Les filons de microdiorite quartzique sont également sécants sur le rubanement. La scheelite se localise de préférence dans les rubans les plus riches en quartz qui alternent avec les bandes de pyrrhotite « stérile », contenant elles aussi du quartz, mais provenant de lambeaux de granodiorite transformée.

Les teneurs sont très semblables à celles du « golfe », mais les largeurs minéralisées sont plus importantes, car dans cette zone de gouttière, la pyrrhotite au comportement plastique est intensément plissée, permettant des répétitions des rubans minéralisés, tandis que les plis deviennent plus larges vers les skarns rubanés à hédénbergite et grenat. Il en résulte des teneurs importantes dans le cœur des gouttières (1,20 à 3,50 %).

Vers le Sud-Est, donc en s'éloignant de la bordure de la granodiorite, la pyrrhotite massive passe à des skarns rubanés où la scheelite se localise surtout dans les rubans à pyroxène. Les teneurs diminuent (0,80 à 2 %). Enfin, lorsque la pyrrhotite rubanée dans les skarns disparaît, la présence de scheelite décroît brusquement (0,45 à 0,20 % WO_3 dans les skarns à hédénbergite, épidote, grenat). Enfin les cipolins à silicates calciques qui les relayent ne contiennent plus de scheelite.

6.3. Les métallotectes

L'examen de la répartition de la scheelite et de ses concentrations dans les corps minéralisés nous renseigne sur les principaux métallotectes.

Les deux groupes de corps minéralisés s'individualisent bien par la nature des roches encaissantes, leur paragenèse sulfurée et leur teneur en WO_3 (fig. 34). Ces teneurs dépendent également du contexte structural.

Dans les skarns rubanés qui renferment des teneurs en WO_3 assez faibles, la richesse en scheelite des bandes de pyrrhotite est contrôlée par certains niveaux lithologiques. Leur extension est liée à la distance de la granodiorite et à la présence de gouttières.

Dans le cipolin rubané gris et blanc, les corps de pyrrhotite massive à scheelite, qui longent la granodiorite ou les cornéennes silico-alumineuses, renferment les plus fortes teneurs en WO_3 . Ils doivent leur puissance et donc leur valeur économique à l'existence de gouttières, de filons de granodiorite, d'épaississements et de répétitions par plissement.

Ces principaux métallotectes, pouvant s'appliquer à la recherche de nouveaux corps minéralisés autour de la granodiorite de Salau, sont donc des métallotectes lithologiques et structuraux que nous allons analyser plus en détail.

6.3.1. Métallotectes lithologiques

a) Les contacts entre le cipolin rubané gris et blanc et les roches silico-alumineuses

La minéralisation la plus riche en scheelite encaissée dans le cipolin rubané gris et blanc longe soit la granodiorite, soit les cornéennes silico-alumineuses. Elle se localise dans la pyrrhotite et dans le skarn à hédénbergite développés aux dépens du cipolin, conformément à la « règle d'Umpleby ».

— *Le contact granodiorite-cipolin.* La largeur des skarns zonés qui longent la bordure de la granodiorite et de ses apophyses dépend beaucoup de la distance de « granite à granite », des irrégularités des flancs. Les gorges, à toutes les échelles, contribuent à augmenter la puissance minéralisée.

— *Le contact cornéennes silico-alumineuses - cipolin.* Comme dans le cas précédent, le contact est longé par une zone de pyrrhotite et de skarn à hédénbergite et grenat. L'épaisseur ne dépasse pas une dizaine de centimètres, sauf s'il existe des « pièges » structuraux favorables, et si la distance de la granodiorite n'est pas trop importante. Les travaux miniers récents nous ont permis de constater qu'en s'éloignant de la granodiorite, la bande de pyrrhotite ne renfermait plus de scheelite. Ainsi, à plus de 50 m, les paragenèses des roches encaissantes indiquent un degré de métamorphisme plus faible, avec notamment la disparition de la biotite dans les cornéennes silico-alumineuses, et la coexistence de la pyrrhotite avec la pyrite.

b) Les roches rubanées à alternances calcaïques et silico-alumineuses

Dans la formation d'alternances de calcaires et de shales transformée en une alternance de rubans de cornéennes calcaïques de composition variable, les skarns rubanés (*) se développent suivant ce rubanement originel, au contact et aux dépens des niveaux silico-alumineux. La zonalité dans la répartition des silicates calcaïques (épidote, hédénbergite, grenat) se manifeste ainsi à l'échelle des rubans par une réaction avec les niveaux très calcaïques. La scheelite y est peu abondante (0,20 à 0,50 % WO_3).

La scheelite se localise dans les rubans les plus riches en quartz, contenant soit du pyroxène, soit de la biotite (1 à 2 % WO_3), alternant avec des rubans à pyrrhotite, biotite ou pyroxène, qui reflètent encore le rubanement originel de la roche.

Par leur situation structurale, ces formations riches en quartz correspondent justement à la partie inférieure de la formation d'alternances calcaires-shales de Salau, qui se compose de rubans gréseux dont l'épaisseur varie entre 10 et 50 cm.

On en déduit que les transports et les échanges chimiques permettant l'apparition de skarns se font sur une faible distance (une vingtaine de mètres au maximum). Les skarns développés du côté du cipolin

(*) Ces skarns rubanés sont appelés skarnoïdes par M. FONTEILLES et P. SOLER dans les chapitres 3 et 4.

REPARTITION DE LA SCHEELITE A SALAU

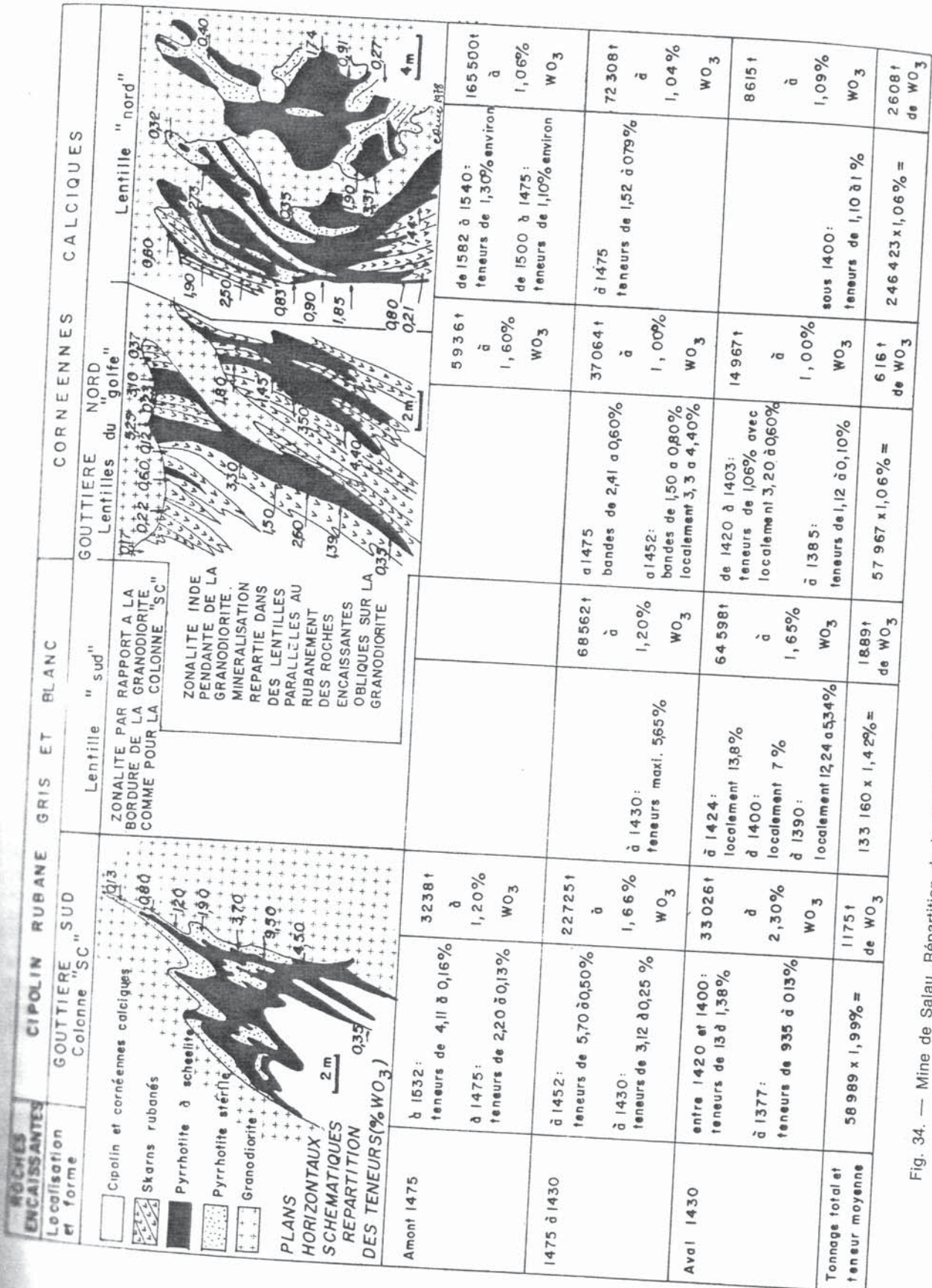


Fig. 34. — Mine de Salau. Répartition de la scheelite dans les différents corps minéralisés, classés en fonction de la roche encaissante et de leur morphologie (d'après doc. Sté des Mines d'Anglade).

rubané gris et blanc se limitent à une dizaine de centimètres le long du contact, sauf s'il est lobé et s'il existe des roches siliceuses proches (cornéennes silico-alumineuses traversées par la granodiorite). Les skarns développés aux dépens des cornéennes calciques se localisent préférentiellement le long des bandes les plus silico-alumineuses avec des zones de réaction au contact des niveaux calciques. La scheelite cristallise de préférence dans les bandes les plus siliceuses. A Aurenère, elle est localisée dans les anciens niveaux shalo-gréseux carbonatés. La position lithostratigraphique semble donc jouer un rôle important dans la source des éléments nécessaires à la formation des skarns. La silice, l'alumine, le fer des niveaux shalo-gréseux proches fourniraient l'essentiel des apports. En effet, les échanges entre la granodiorite et le cipolin rubané seul sont beaucoup plus réduits.

C'est donc le contact entre la granodiorite et la formation d'alternances calcaires-shales, en particulier la partie inférieure à rubans shalo-gréseux, qui est favorable, ainsi que le contact entre la granodiorite et la base du calcaire de Salau, laquelle renferme des lentilles shalo-gréseuses.

L'intrusion granodioritique aurait donc joué un rôle mobilisateur intense des éléments contenus dans les strates qu'elle a traversées. Loin de la granodiorite, on observe un épisode hydrothermal, contemporain de sa mise en place, avec la formation de nombreuses veinules de silice et de pyrite, et localement d'arsénopyrite dans les niveaux shalo-gréseux, ce qui montre bien que la source des éléments peut se trouver dans l'encaissant.

6.3.2. Métallotectes structuraux

a) Distance par rapport à la bordure de la granodiorite et hauteur par rapport à la zone apicale

Les roches citées précédemment doivent se situer dans l'auréole de contact près de la granodiorite, à moins de 50 m de sa bordure. La largeur des corps minéralisés à silicates calciques et ferri-fères dépend aussi de la forme de la granodiorite, comme nous le verrons plus loin.

Lorsque les conditions sont réalisées, il arrive que les bordures de la granodiorite, bien lobées, ne contiennent pas de minéralisation puissante. C'est le cas du golfe de cornéennes calciques affleurant au-dessus du niveau 1620 et des golfes de cipolins gris et blanc visibles dans le ravin de

la Fourque jusqu'au col (1888 m). Nous nous trouvons sans doute trop près de l'apex de la granodiorite, où la largeur de l'auréole est plus étroite en raison d'une diminution plus rapide de la température. C'est aussi le cas du petit pointement d'Aurenère, qui représente le sommet d'une intrusion granodioritique composée de filons à grain fin à bordures microgrenues. La scheelite se limite aux rubans biotitiques et quartzeux, provenant de la transformation des lits shalo-gréseux occupant un petit « golfe ».

b) Disposition des couches par rapport à la bordure de la granodiorite

La minéralisation se dispose différemment lorsque les roches encaissantes sont perpendiculaires ou subparallèles à la bordure de la granodiorite (fig. 35).

— *Cornéennes perpendiculaires à la bordure.* Dans ce cas (1), illustré par les lentilles du « golfe », les skarns rubanés alternent avec les cipolins à silicates calciques. Leur extension et leur épaisseur diminuent en s'éloignant du contact aussi bien dans le sens horizontal que vertical; elles dépendent par conséquent de la forme de la granodiorite.

Lorsque les cornéennes silico-alumineuses (2) forment un angle aigu avec la granodiorite, la gouttière ainsi formée contient une masse importante de pyrrhotite à scheelite et des skarns développés aux dépens du cipolin. Des exemples représentatifs de cette disposition sont le corps en colonne du « SC » et la partie Est du corps minéralisé « Véronique » nouvellement découvert (1976).

— *Cornéennes et cipolins subparallèles à la bordure.* L'exemple de la lentille « nord » (3) montre une large bande de pyrrhotite à rubans quartzeux et biotitiques longeant la bordure de la granodiorite. L'épaisseur de cette bande de pyrrhotite et des skarns rubanés qui l'accompagnent diminue quand la gouttière s'élargit.

Il en est de même pour la minéralisation de la lentille « sud » (4) encaissée dans le cipolin rubané gris et blanc qui longe une bordure de l'apophyse de granodiorite. Son épaisseur dépend du rapprochement entre les apophyses.

Un cas particulier (5) peut se présenter lorsque les cornéennes silico-alumineuses sont subparallèles à la bordure de la granodiorite. Une bande étroite de cipolin peut y être intercalée. C'est le cas de la lentille « B » traversée par la recoupe R3 au niveau 1430. Les sondages montrent qu'il s'agit d'un « coin » de cipolin s'élargissant vers le haut.

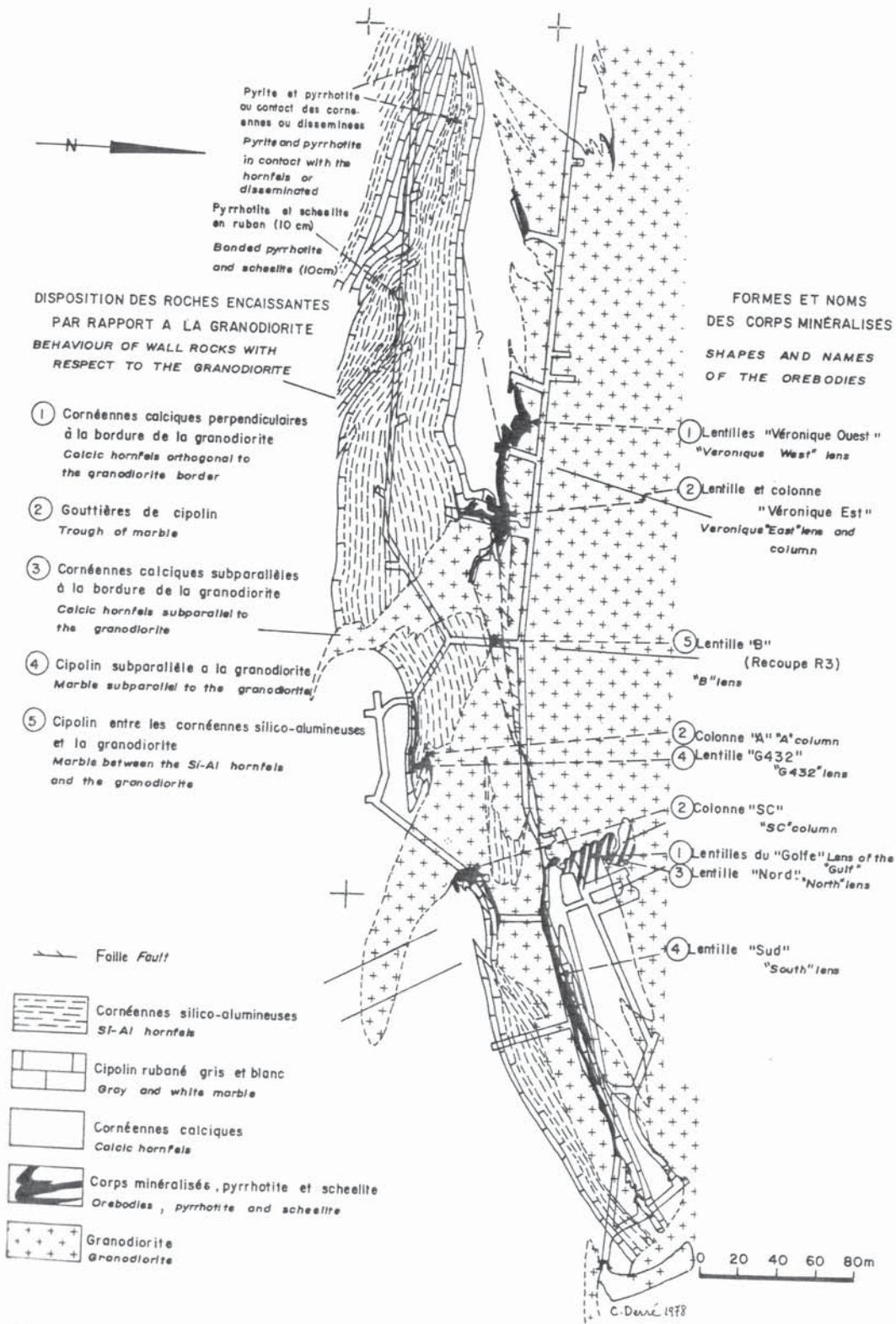


Fig. 35. — Plan d'ensemble de la mine de Salau (niveau 1430) montrant différents sites préférentiels de localisation des amas de pyrrhotite et sheelite (d'après les plans de la Sté des Mines d'Anglade, Géologie par J. FAURE et L. NANSOT).

c) Forme de la granodiorite

Comme nous l'avons fait entrevoir précédemment, l'existence d'une minéralisation bien développée nécessite, non seulement des roches de composition favorable, mais également la présence d'irrégularités dans la bordure de la granodiorite.

Ces irrégularités peuvent se situer à toutes les échelles, depuis des rainures métriques jusqu'aux golfes d'une cinquantaine de mètres de largeur, pouvant recéler plusieurs corps minéralisés, dans des gouttières larges d'une quinzaine de mètres. Les formes sont très variables, gouttières à axe subhorizontal, ou fortement plongeant, formes en entonnoir.

La largeur de la minéralisation dépend de leur angle d'ouverture et de l'importance des apophyses de granodiorite qui les composent. Nous observons que le skarn est d'autant plus développé que la lame de granodiorite est plus importante.

On pourrait donc en déduire que la minéralisation sera plus puissante, si la température au contact des roches intrusives est maintenue plus longtemps, ce qui expliquerait ainsi la faible importance des skarns à scheelite le long des contacts rectilignes, et le long des filons et apophyses dont la texture microgrenue témoigne d'un refroidissement rapide.

d) Rôle des déformations

Les déformations plicatives ou cassantes peuvent jouer un rôle indirect ou direct dans le contrôle des minéralisations.

Le rôle indirect est celui des plissements antérieurs à la mise en place de la granodiorite, mais aussi des déformations synchrones, guidant cette mise en place.

Les déformations peuvent aussi intervenir directement en favorisant les dissolutions et les cristallisations dans des zones privilégiées.

— *Structures antéminérales.* Toutes les discontinuités structurales présentes avant la mise en place de la granodiorite et des skarns influencent leur localisation et leur forme. Ce sont :

- les contacts lithologiques qui servent de guide à la mise en place des roches intrusives, ou qui sont le lieu de cristallisation des silicates calciques, et de circulation des fluides;

- le plissement P1 antérieur au métamorphisme de contact qui multiplie les répétitions des niveaux calciques et des niveaux silico-alumineux, lesquels seront transformés en cornéennes calciques et en skarns de composition variable.

— *Structures synminérales.* Le début du plissement P2 synchrone de la mise en place de la granodiorite contrôle la forme du massif et de ses apophyses, en plus des guides structuraux antérieurs. Les discontinuités, créées par les roches de compétence différente, favorisent les décollements entre les bancs, lors de la flexion des roches. Ainsi ce sont particulièrement dans les zones de charnières que se logent des apophyses granodioritiques et des skarns à pyrrhotite. C'est à ce stade que prennent naissance les gouttières abritant les skarns et la minéralisation bien développée. Des fractures précoces, transversales sur la direction des axes de plis, servent également d'accès aux filons de microdiorite, ou renferment des cristallisations de silicates calciques. Un peu plus tardivement s'ouvrent des fissures occupées par des grenats de seconde génération. Dans les derniers stades du plissement, la pyrrhotite, qui réagit plastiquement à la différence des skarns, forme des bourrages dans les charnières et les gouttières, migre avec la chalcopryrite vers les zones d'extension. La scheelite forme des rubans plus concentrés.

L'aplatissement qui marque la fin de cette période de plissement se traduit par un écrasement des roches qui recristallisent dans une ambiance de plus basse température. Les sulfures sont redistribués et réorientés suivant la foliation S2. La scheelite de deuxième génération cristallise, se superposant aux bandes riches de première génération.

— *Structures postminérales.* Le plissement P3 déforme la minéralisation plissée en rubans répétés. La troisième génération de scheelite ne donne pas de concentrations importantes lorsqu'elle se limite à des fissures isolées en dehors des corps minéralisés.

Si la déformation peut favoriser des concentrations minérales, elle peut aussi provoquer des laminages, dans les flancs de plis et particulièrement dans les contacts entre le cipolin et la granodiorite. Ceci est bien visible dans les « queues » de corps minéralisés fracturés, formées de granodiorites foliées, de quartz et de cipolin très effilés, renfermant de la scheelite suivant la foliation. Ces fractures, quand elles sont situées dans la granodiorite, peuvent servir de guides vers des corps minéralisés situés latéralement ou plus haut.