

Extrait du Géologie et géo-tourisme

<http://jfmoyen.free.fr>

Hydrothermalisme et ressources : dépôts de type « VMS » près de Rouyn-Noranda, Québec.

- Textes et documents pédagogiques - Photos géologiques -
Date de mise en ligne : lundi 25 ao²008

Description :

Géologie de sulfures massifs

Géologie et géo-tourisme

Les dépôts VMS

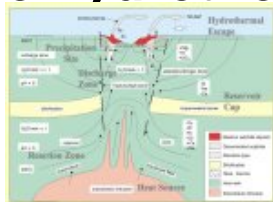
Les VMS, ou « Volcanogenic massive sulfides » (en Français : sulfures massifs, ou gisements exhalatifs sulfurés) sont des minéralisations primaires, ou syngénétiques (elles se sont formées en même temps que les roches-hôtes), piégées à l'intérieur d'une couche donnée (« stratabound », elles ne recourent pas la stratigraphie comme le feraient par exemple des veines aurifères dans une faille), composés principalement de sulfures et formés sur ou près du fond de l'océan. Ce sont les manifestations d'une activité hydrothermale de type « fumeur noir ». Ils sont riches en métaux tels que Fe et Mn, mais aussi Cu, Zn, Pb, plus rarement Au et Ag, essentiellement sous forme de sulfures de ces métaux : pyrrhotite et pyrite (sulfures de fer) ; chalcopyrite (Cu), galène (Pb), sphalérite (Zn), etc.

83 dépôts VMS individuels sont connus dans l'Abitibi dans son ensemble, pour un total de 700 millions de tonnes de sulfures correspondant à 9.8 MT de cuivre, 22.7 MT de zinc et 37 Millions d'onces d'or (1 once = 30g environ). Une trentaine de ces dépôts sont dans le district de Rouyn-Noranda, le plus gros (celui de Horne) représente à lui seul près de 200 millions de tonnes de sulfures. Les dépôts exploitables ont de 1 à 8 % de Cu et autant de Zn, avec des traces d'or, généralement sub-économiques (il faut des teneurs minimums de 2 à 5 g/T pour être rentable).

Historiquement, c'est le cuivre qui a été exploité à Rouyn (et qui justifie l'existence de la ville !) ; mais le dépôt de Horne contient aussi 6 g/T d'or, ce qui justifie son exploitation pour ce métal (en plus du cuivre) ; c'est une exception, la plupart des dépôts VMS de Rouyn-Noranda ne contiennent pas assez d'or pour être rentables.

L'âge des dépôts de l'Abitibi s'échelonne entre 2696 et 2730 Ma ; ceux de Rouyn-Noranda ont entre 2696 et 2701 Ma.

Structure d'un système hydrothermal VMS



Représentation schématique d'un système hydrothermal VMS (dessin aimablement fourni par H. Gibson, Laurentian University, Sudbury)

Les VMS sont la manifestation d'une circulation hydrothermale océanique. Leur formation nécessite les éléments suivants :

1. Une source de chaleur, pour fournir l'énergie du système. Ici, il s'agit de plutons de plagiogranites (plutons du Lac Flavrian et pluton du Lac Duffault).
2. Une zone de réaction, où des fluides acides et à haute température réagissent avec les roches. Ces réactions se déroulent aux alentours de 400°C et leur bilan peut s'écrire avec des réactions comme, par exemple, basalte + eau = epidote + actinolite + quartz + ions en solution. Elles forment donc un fluide riche en ions, en particulier Fe et les éléments géochimiquement proches comme Cu, Zn, etc. Les éléments incompatibles avec une affinité pour les fluides (dont le soufre) sont aussi mis en solution.
3. Un toit imperméable (par exemple, des basaltes où le verre a été remplacé par de la silice, précipitée à partir d'ions dissous dans les fluides), et une zone de décharge (comme un système de fractures) ; les deux éléments vont « focaliser » les circulations d'eau chaude, les canaliser le long des fractures (et empêcher une percolation diffuse dans la roche) ;
4. Une zone de précipitation, sur le fond océanique, à l'endroit où l'eau chaude et minéralisée rentre en contact

Hydrothermalisme et ressources : dépôts de type « VMS » près de Rouyn-Noranda, Québec.

avec l'eau froide de l'océan. L'essentiel de la précipitation va avoir lieu in-situ et construire un monticule de sulfures (la cheminée du « fumeur noir ») ; une partie de la matière s'échappe dans l'océan sous forme d'un panache hydrothermal, qui va se dissoudre et/ou précipiter à distance, en plus faibles quantités.

5. Enfin, de l'eau de surface s'infiltré (sans doute par des fractures également) et descend en profondeur remplacer les fluides chauds sortis par le fumeur noir.

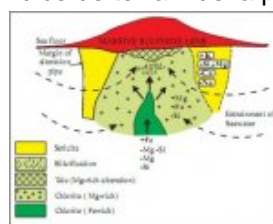
C'est la focalisation des circulations de fluides, dans un court laps de temps et dans une zone restreinte, qui va permettre la création d'un dépôt de grande taille (et économiquement important).

Les réactions d'altération

Deux types d'altération se développent dans les systèmes hydrothermaux des VMS :

1. En profondeur, dans la zone d'altération, les réactions (aux alentours de 400°C) correspondent à la formation des minéraux du faciès schiste vert (épidote, actinote). Les réactions sont de la forme basalte + eau = épidote + quartz + actinote + ions et correspondent à un départ net de potassium, magnésium et fer (ainsi que des éléments géochimiquement proches) de la roche.
2. Plus près de la surface, directement sous le fumeur noir, l'altération est un peu différente et présente deux composants :
 - Une altération qui progresse de faciès à séricite (perte de Na, Mg, Si et Ca) dans les zones les moins affectées, à un faciès à chlorite dans les zones plus altérées (allant jusqu'à des assemblages à Fe-chlorite qui ont perdu la quasi-totalité de Na, Mg et Ca, et une grande partie de leur silice puisque une chlorite a moins de 30% de SiO₂, à comparer aux 50% d'un basalte) ;
 - Une silicification en place des roches, par remplacement et précipitation de la silice dissoute un peu plus loin (on peut obtenir par endroit des roches qui ont jusqu'à 80% de SiO₂ !).

Ce système d'altération a une géométrie en cheminée (avec les zones plus altérées, à chlorite, au centre), à l'aplomb des amas sulfurés, et est un très bon indice de terrain de la proximité d'un tel gisement.



Coupe schématique de la cheminée d'altération associée à un VMS Gibson et Galley, 2007. Cette coupe montre la disposition des principales zones d'altération, et les mouvements d'ions.

Les dépôts VMS de Rouyn-Noranda (Québec)

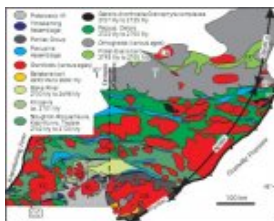
Aux alentours de Rouyn-Noranda, on observe (dans différents sites) les composants d'un système hydrothermal de type VMS. La ville doit son existence à ces dépôts c'est essentiellement une ville minière, construite autour de l'exploitation du cuivre piégé dans ces VMS.



Usine de traitement du cuivre à Rouyn

Contexte géologique :

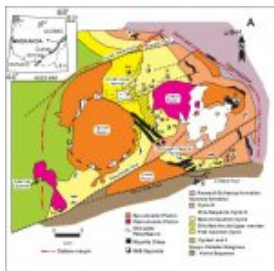
Rouyn-Noranda se situe dans le Nord-Ouest du Québec, à 700 km de Montréal, dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. L'Abitibi est, au point de vue géologique, une « ceinture de roches vertes » Archéenne (la plus étendue au monde), qui se compose surtout de laves, avec quelques sédiments, déposés entre 2750 et 2670 Ma. À l'intérieur de cet ensemble, le groupe de Blake River (2700-2695 Ma) forme un synclinal, dont Rouyn occupe la terminaison Est.



Carte géologique de l'Abitibi Benn et Moyen, 2008. Rouyn-Noranda occupe la terminaison Est du synclinal de Blake River (en vert pâle)

Volcanologie :

Le groupe de Blake River est principalement formé de laves basiques à intermédiaires (des basaltes et des andésites surtout), avec de plus rares rhyolites ; dans cette unité très bien conservée et relativement peu déformée, il est possible de reconnaître des structures volcaniques bien préservées, qui montrent une activité volcanique effusive et sous-marine (ou sous-aquatique en tout cas) : empilement de coulées ; pillow-lavas ; etc. À l'échelle cartographique, on peut reconnaître une grande structure d'effondrement de type « caldeira ».



Carte géologique de la caldeira de Rouyn, dans le groupe de Blake River. Gibson et Galley, 2007. Rouyn-Noranda se trouve près du point A' à la terminaison S de la coupe.

Coupe dans la caldeira de Rouyn-Noranda. Gibson et Galley, 2007. La majorité des dépôts se trouvent à la limite entre les formations d'Amulet (jaune soutenu) et de Millenbach (jaune clair)

Pillows lavas dans des basaltes du groupe de Blake River, région de Rouyn-Noranda

Pillows lavas dans des basaltes du groupe de Blake River, région de Rouyn-Noranda Notez la forme très bien préservée de ces pillows, avec un critère de polarité évident (le pillow est ici en position normale)

Le système hydrothermal :

Hydrothermalisme et ressources : dépôts de type « VMS » près de Rouyn-Noranda, Québec.

Les photos suivantes montrent les éléments du système hydrothermal ; elles sont présentées sans logique géographique particulière, mais au contraire avec une logique géologique depuis les parties profondes vers les parties superficielles du système.

Sauf précision du contraire, les photos se rapportent au système de Millenbach/Amulet (cf. carte et coupe) ; quelques photos identifiées comme telles viennent des alentours du dépôt de Horne (H sur la carte).

Les zones d altération profondes



« Pods » d altération à épidote-quartz dans des basaltes

« Pods » d altération à épidote-quartz dans des basaltes

« Pods » d altération à épidote-quartz dans des basaltes

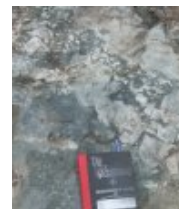


Les zones de silicification et d altération superficielle



Brèche andésitique silicifiée. Ces brèches correspondent à des sommets de coulées (« flow-top breccia »).

Brèches silicifiées La silicification peut être très poussée ; ces roches sont originellement des andésites (52-56 % SiO₂) mais les clastes ont typiquement de 68 à 82% de SiO₂ !



Brèches silicifiées On reconnaît ici une brèche de sommet de coulée ; on passe progressivement de bas en haut de la coulée "massive", à la brèche, à la coulée supérieure.



Brèches silicifiées. Dans certains cas, on peut constater que la silicification est plus poussée à la périphérie des

clastes que dans leur cSur, ce qui est logique si elle provient d'une circulation de fluides

Les fractures de circulation des fluides



Fractures remplies de sulfures, correspondant à d'anciennes circulations de fluides qui ont précipité des sulfures. Ici les rhyolites sont elles aussi altérées (séricitisation). Proche du dépôt de Horne.

Fractures remplies de sulfures, correspondant à d'anciennes circulations de fluides qui ont précipité des sulfures. Vue rapprochée du précédent. Proche du dépôt de Horne.



Circulation de fluides et précipitation de sulfures dans les joints de rhyolites prismées (débit en « orgues »). Notez aussi les stries glaciaires sur le dessus de l'affleurement. Horne.



Circulation de fluides et précipitation de sulfures dans les joints de rhyolites prismées. Vue rapprochée du précédent.

L'altération sous les fumeurs noirs



Zones altérées immédiatement sous les VMS. Les taches blanches sont des associations de cordiérite et de gehdrite, qui sont le résultat du métamorphisme de contact de roches altérées en chlorite par les circulations de fluides ; le métamorphisme de contact s'est développé lors de la mise en place de coulées de laves plus jeunes au-dessus de la zone d'altération. En raison de son allure, cette roche est surnommée « dalmatianite ». Ces roches ne sont donc pas directement des roches altérées par l'hydrothermalisme, mais elles en dérivent directement.

"Dalmatianite"

Les VMS proprement dits



Lentille VMS de Moose Head Cette lentille fait environ 2 mètres d'épaisseur ; elle est « coincée » entre des laves altérées (dalmatianite) en dessous, essentiellement couvert d'éboulis maintenant ; et des laves plus récentes au dessus. Les sulfures sont les roches peu spectaculaires de couleur brune/jaunâtre rouillée

Lentille VMS de Moose Head Autre vue générale.



Lentille VMS de Moose Head Vue rapprochée des sulfures.

Les dépôts distaux



Niveau de « tuff » (« exhalite ») entre les andésites de Millenbach (en bas) et les andésites d'Amulet (en haut). Les tuffs font une dizaine de centimètres d'épaisseur et sont au niveau du stylo, on reconnaît la teinte brune rouillée des sulfures. Ils correspondent à la précipitation distale de sulfures, à partir du panache hydrothermal dans le fond de l'océan

Remaniement des sulfures



Grès volcanoclastiques » comprenant des petits fragments de sulfures. Autour du dépôt de Horne. Les roches volcanoclastiques (ou volcano-détritiques) sont, techniquement, des sédiments détritiques grossiers ; mais ils ne sont composés que de fragments de laves, souvent anguleux et mal classés. Ce sont donc les produits de la destruction, pratiquement in-situ, en tout cas avec peu de transport, de laves. Il peut s'agir par exemple du remaniement de cendres, d'éboulis sur les flancs d'un dôme de lave, etc. Ici on observe des fragments de sulfures, qui témoignent de la destruction d'un fumeur noir



Autre exemple de roches volcanoclastiques. ici avec de plus gros clastes de sulfures (plus proche du fumeur noir d'origine ?). Proche du dépôt de Horne.



Clastes de sulfure dans roches volcanoclastiques. Horne.



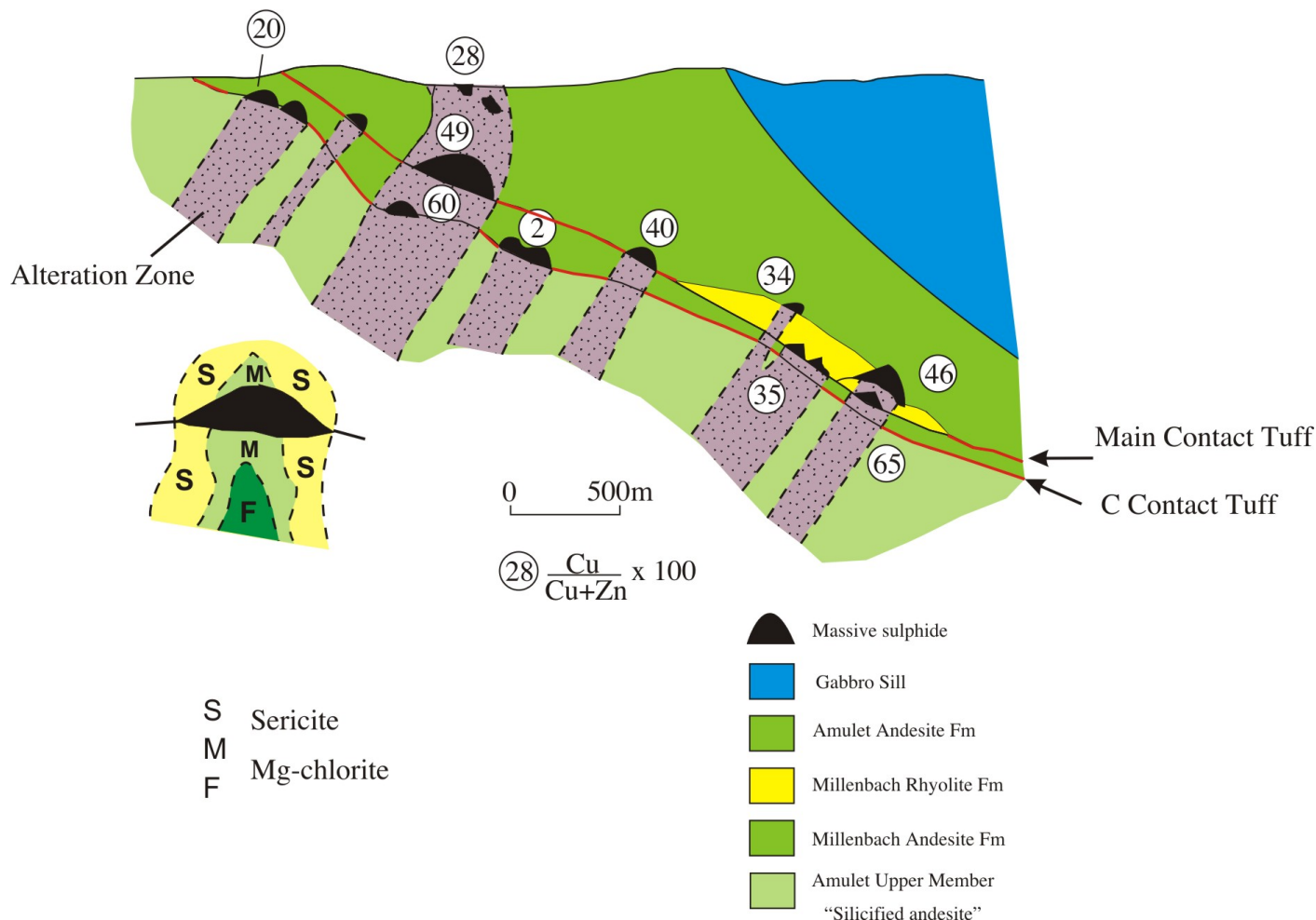
Clastes de sulfure dans roches volcanoclastiques. Vue rapprochée du précédent. Horne.

Géométrie des dépôts

Dans le secteur Amulet/Moose Head, on peut reconstituer la géométrie et l'histoire des minéralisations. L'essentiel des dépôts massifs se trouvent concentrés le long du contact entre deux unités de laves, Amulet et Millenbach. Ce contact est marqué par deux fins niveaux de tuffs (« exhalites ») riches en sulfures, correspondant à la précipitation depuis le panache ; ils sont jalonnés d'accumulations VMS, dont certaines sont économiques. Les deux niveaux superposés matérialisent deux niveaux successifs du fond océanique.

Chaque VMS est associé à une cheminée d'altération, qui correspond à la zone de circulation qui l'a alimentée. Ces cheminées ont été métamorphosées par la mise en place des laves supérieures (Millenbach) et sont maintenant des « dalmatianites » à cordiérite et gehdrite, mais elles correspondaient à l'origine à des zones chloritisées.

Dans un cas, la cheminée se poursuit dans la formation supérieure (Millenbach) où elle forme de nouveaux VMS ; on a ici un exemple d'une circulation hydrothermale de relativement longue durée et/ou particulièrement active, qui existait déjà avant du dépôt des andésites de Millenbach, et qui a continué à fonctionner après leur mise en place.



Coupe schématique montrant la disposition des différents éléments au voisinage immédiat des VMS de Moose Head et Amulet, dans la région de Rouyn Gibson et Galley, 2007.

Reconstitution des conditions de dépôt des VMS de Millenbach Gibson et Galley, 2007.

Références

Manuel de gîtologie de Michel Jébrak, Université du Québec à Montréal : <http://scta.uqam.ca/gitologie/mjg0.htm>

Gibson, H., and Galley, A., 2007, [Volcanogenic massive sulphide deposits of the Archean, Noranda District, Quebec](#), in Goodfellow, W. D., ed., Mineral Deposits of Canada : A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Special Publication No. 5, Mineral Deposits Division, Geological Association of Canada, p. 533-552.

Voir aussi à http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/metallogeny/vms/noranda/index_f.php

Benn, K. et Moyen, J.-F., 2008. The Late Archean Abitibi-Opatoca terrane, Superior Province : a modified oceanic plateau. In *When did plate tectonics begin on Earth ?* K.C. Condie et V. Pease (Editors), Geological Society of America, Special Paper 440, Boulder. Chap. 9 pp. 173—198.

Hydrothermalisme et ressources : dépôts de type « VMS » près de Rouyn-Noranda, Québec.

Merci à [H. Gibson](#) qui a présenté ces roches sur le terrain lors d'une [excursion](#) géologique de la [Geological Society of America](#) (Juillet 2008) ; et qui m'a aimablement fourni les figures de son article et le très beau dessin de principe du fonctionnement d'un VMS.