

# Le gisement de manganèse de la Vallée de la Lienne, Belgique

Frédéric HATERT<sup>(1)</sup>, Michel BLONDIEAU<sup>(2)</sup>, Stéphane PUCCIO<sup>(3)</sup>,  
Maxime BAIJOT<sup>(1)</sup> et Christelle GUSTINE<sup>(1)</sup>

(1) Laboratoire de Minéralogie, Université de Liège B18 – B4000 Liège, Belgique – fhatert@ulg.ac.be

(2) Val des Cloches, 131 – B-6927 Tellin, Belgique – michelblondieau@freegates.be

(3) Rue des Fontaines 156, B-4041 Vottem, Belgique – stephane.puccio@gmail.com

The Lienne valley in the Belgian province of Liège was the scene of a manganese mining saga during the 19th and 20th centuries. The sedimentary ore bodies were found as two concordant layers in a reddish violet phyllite. These rocks can be attributed to the mid "Salmian" Sm2 (Ordovician) and are embedded in heart of the Ardennes anticline where they make up a part of the Stavelot massif. Metamorphic minerals were formed during the Variscan orogeny. Throughout the region, this level of the Salmian is associated with manganese mineralization and is famous for the rare minerals that may be found. Some manganese silicates such as spessartine and carpholite have been reported from the Lienne valley since the end of the 19th century, whereas piemontite and sursassite are recent discoveries. In addition to the manganese, there are also small quantities of copper and lead. Analyses carried out on a large number of samples taken from the old mine dumps and from the numerous quartz veins in the phyllites and quartz-phyllites have shown the presence of some fifty mineral species, making this valley one of the most prolific mineral localities in Belgium.

La vallée de la Lienne, en Province de Liège, Belgique, a été le théâtre d'une épopée minière aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles pour le manganèse. On y a en effet trouvé un minerai de type sédimentaire, présent en deux couches concordantes, avec des phyllades rouge violacé. Ces roches, attribuées anciennement au Salmien moyen Sm2 (Ordovicien), sont logées dans le cœur de l'anticlinal ardennais et font partie du Massif de Stavelot. Au cours de l'orogène varisque, des minéraux métamorphiques sont apparus. Partout dans la région, cet étage du Salmien moyen se caractérise par une teneur importante en manganèse et est réputé pour les minéraux rares qu'on y trouve. Dans la vallée de la Lienne, quelques silicates de manganèse tels que la spessartine et la carpholite avaient déjà été signalés anciennement et ce, dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Par contre, la piemontite et la sursassite sont des découvertes récentes. Enfin, en plus du manganèse, on observe aussi un peu de cuivre et de plomb. Les analyses réalisées sur de nombreux échantillons prélevés dans les vieux déblais miniers et les filons de quartz lardant les phyllades et quartzophyllades ont ainsi montré la présence de plus d'une cinquantaine d'espèces minérales faisant ainsi de cette vallée un des lieux les mieux minéralisés de Belgique.

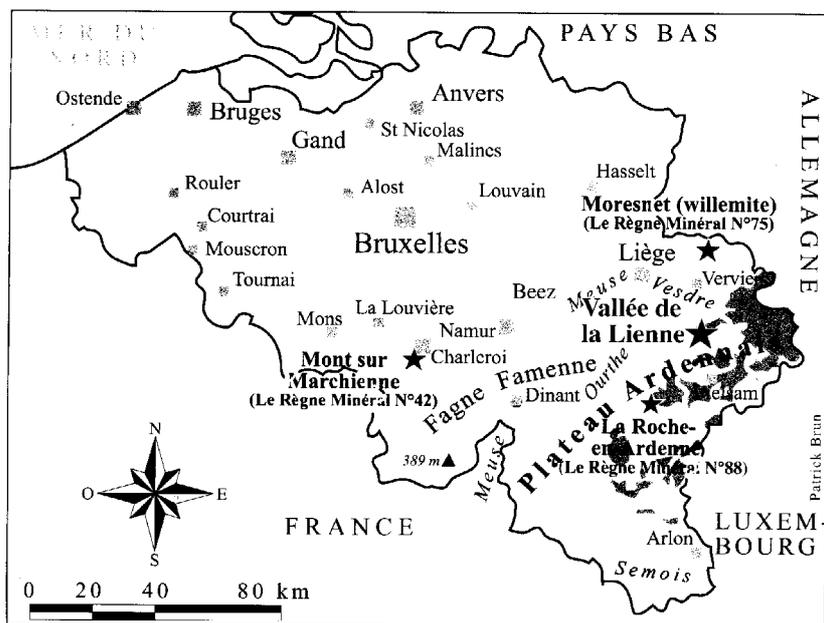
**Keywords :** Lienne valley, Belgique, manganese mine, minerals of manganese.

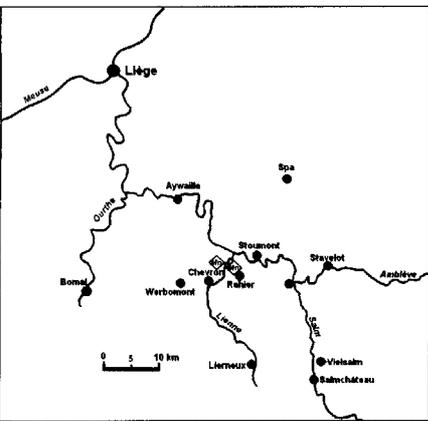
Dans la vallée de la Lienne inférieure, aux environs de Chevron et Rahier, au sud de Liège, Belgique, les roches du Salmien moyen Sm2 (Ordovicien inférieur) sont enrichies en fer (Fe) et en manganèse (Mn) dans deux couches, chacune puissante de 70 cm environ. Il ne s'agit pas de filons, mais bien de dépôts sédimentaires de type syngénétique, c'est-à-dire que les minéraux de manganèse

se sont déposés en couches comme les autres sédiments. Géologiquement, le Salmien forme à cet endroit un petit synclinal étroit dont le grand axe E-W ne dépasse pas 4 km de longueur. Bien que d'allures compliquées, les couches de minerai affleurent à plusieurs reprises sur les bordures Nord et Sud du synclinal, à moins d'un kilomètre l'une de l'autre. C'est dans cette région qu'une activité minière intense s'est développée durant une assez courte période, de 1868 à 1934.

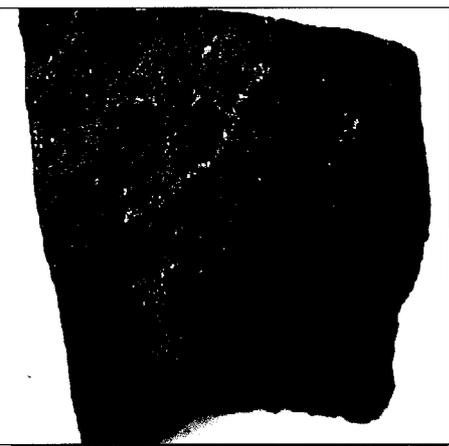
Quatre concessions pour l'exploitation du manganèse ont été octroyées dans la région. Celles de Bierleux et de Werbomont ont rapidement fusionné pour former la concession dite de "Bierleux-Werbomont", qui a produit à elle seule plus de 75 % du minerai extrait (Dussart et Dussart, 1991). Les concessions plus modestes de Moët-Fontaine et de Meuville n'ont fourni respectivement que 20 et 5 % du minerai extrait (Dussart et Dussart, 1991).

Berger (1965) décrit le minerai de la Lienne comme une roche arénacée dont les éléments détritiques sont des grains de quartz, de rhodochrosite, d'hématite, de phosphates et de débris de roches. A titre indicatif, le minerai trié de la couche inférieure (la plus riche des deux couches et la seule à avoir été vraiment exploitée), expédié aux usines en 1889, ne contenait que 16 à 18 % de manganèse ainsi que 19 à 22 % de fer (Libert, 1905). La teneur en manganèse varie cependant fortement d'un point à l'autre du gisement et, localement, elle peut parfois tomber





Carte de localisation des anciennes mines de manganèse de la Lienne, au nord de Rahier et de Chevron, dans la Province de Liège, Belgique (Dussart et Dussart, 1991)



Minéral de manganèse et joints de phyllade rouge  
4 x 4 cm - Moët-Fontaine  
Coll. et photo : M. Blondieau.

en dessous de 8 % (Calembert, 1947). Au total, il s'agit donc d'un minerai très pauvre, inexploitable dans les conditions économiques actuelles (Berger, 1965). Il n'empêche que les mines de la Lienne ont produit une masse totale atteignant 378 628 tonnes de minerai, laissant évidemment de nombreuses traces dans la vallée (Dussart et Dussart, 1991).

D'un point de vue minéralogique, cette région est très intéressante. En effet, les roches du Salmien moyen, dont la géochimie particulière est caractérisée par la présence de manganèse et de fer, mais également d'un peu de cuivre, de plomb et d'arsenic, ont été affectées par un métamorphisme modéré ( $T \sim 300^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 1-2$  kbar, Theye *et al.* 1996), qui a permis

la cristallisation de minéraux métamorphiques exceptionnels comme la spessartine, la carpholite (Fransolet, 1972 ; Theye *et al.* 1996), l'ardennite-(V) et la sursassite (Hatert *et al.* 2008). Les fractures parcourant les couches de minerai ont été minéralisées en quartz et en rhodochrosite rose et pure (de Koninck 1879) ; les minéraux de cuivre semblent plutôt localisés dans les failles rejetant les couches de manganèse, notamment à Moët-Fontaine (Firket, 1883).

Actuellement, des minéraux de belle qualité peuvent encore être recueillis dans les haldes situées près des sites d'extraction du minerai de manganèse. On y trouve des blocs de quartz blanc contenant de la rhodochrosite rose massive, ainsi que des blocs quartzeux constituant le minerai, parfois piquetés de malachite trahissant la présence des sulfures de cuivre. En surface, ces roches sont malheureusement souvent couvertes d'enduits noirs d'oxydes de manganèse.

Le but de ce travail est tout d'abord de décrire les minéraux exceptionnels liés aux dépôts de manganèse de la vallée de la Lienne. Quelques hypothèses sont ensuite émises concernant leur mode de formation.

## HISTORIQUE DE L'EXPLOITATION DU MINÉRAI DE MANGANÈSE

La présence de minerai de fer en Ardenne est connue de longue date. Les traces d'une industrie de transformation de ce minerai en fonte remontent à l'époque romaine, et ces industries locales ont persisté jusqu'au début du 19<sup>ème</sup> siècle. La présence de nombreux petits gisements de fer dans la vallée de la Lienne favorisa le développement d'usines métallurgiques modestes dans cette région, notamment au hameau des Forges dont le nom rappelle encore ce passé industriel. La présence du cours d'eau de la Lienne fournissait l'énergie nécessaire au fonctionnement des machines, et la forêt ardennaise fournissait le charbon de bois indispensable au fonctionnement des fourneaux dans lesquels la fonte était coulée.

Dans la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, cette industrie artisanale subit une perte de vitesse, suite à l'exploitation intensive de la forêt. Il fallait donc trouver un moyen de remplacer le charbon de bois, et l'industrie métallurgique se déplaça vers les centres d'extraction de la houille, situés dans la vallée de la Meuse. Dès 1823, John Cockerill installa des hauts-fourneaux à Seraing puis à Liège ; cette industrie s'étendit ensuite jusque dans le bassin de Charleroi. La fonte se révéla bientôt peu satisfaisante pour la fabrication des machines ; elle fut supplantée par l'acier, moins cassant et plus malléable. Au cours du processus de fabrication de l'acier, le manganèse joue un rôle vital comme agent permettant tout d'abord d'extraire le soufre du bain métallique, mais également d'améliorer les caractéristiques techniques de l'acier (laminage plus facile, forgeabilité et ténacité meilleures). Dans cette seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, le minerai de manganèse de la

## Vous avez dit Salmien ?

La vallée de la Salm parallèle à celle de la Lienne a donné son nom aux roches ordoviciennes observées dans la région. Historiquement, ces couches géologiques ont été décrites en Belgique comme appartenant à l'étage Salmien. Aujourd'hui, ces couches font partie du groupe de la Salm et correspondent vraisemblablement à l'Arenig. Les couches les plus intéressantes d'un point de vue minéralogique sont les phyllades à coticule Sm2b. Ainsi, dans la vallée de la Salm, à quelques dizaines de kilomètres de la vallée de la Lienne, on trouve les localités-types de plusieurs espèces minérales. Signalons Bihain, localité-type de la vantasselite ; Ottré, localité-type de deux espèces minérales : la davreuxite et l'ottrélite ; mais aussi Salmchâteau, localité-type de l'ardennite-(As).

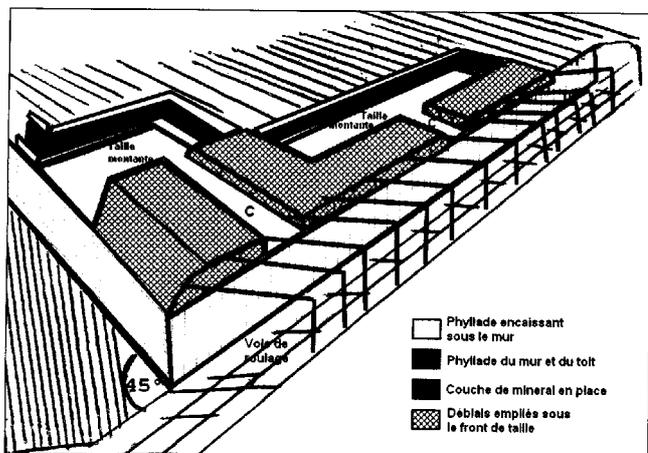
Ordovicien			
	Supérieur (Llanvirn ?)	Sm3b	Quartzophyllades noirs pyriteux
		Sm3a	
		Sm2c	Phyllades homogènes violacés et verts, à chloritoides
	Moyen ("Salmien" (Arenig ?)	Sm2b	Phyllades à coticule
		Sm2a	Schistes violacés à rhodochrosite
		Sm1c	Schistes à magnétite
	Inférieur (Tremadoc)	Sm1b	Quartzophyllades Vert bleu
		Sm1a	
Cambrien			
	Supérieur	Rv5	
		Rv4	
Supérieur	Revinien	Rv3	Phyllades sombres
		Rv2	
		Rv1	Quartzites gris
	Supérieur	Dvb	Phyllades verts et quartzites blanc verdâtre
Moyen	Devilien	Dva	
		Dva	

vallée de la Lienne va donc susciter un grand intérêt de la part des métallurgistes. C'est Guillaume Lambert (1818-1900), Ingénieur des Mines formé à l'Université de Liège, qui fut le premier, en 1867, à obtenir une concession de 153 hectares pour l'exploitation du manganèse dans la Lienne. En 1886, il lancera, avec l'aide de son fils Paul, la véritable exploitation industrielle de la concession de Moët-Fontaine. Dans un premier temps, le minerai était proposé aux industriels, comme adjuvant à concurrence de 10 % dans les hauts-fourneaux. D'autres concessions furent également accordées, notamment celle de Meuville à la société John Cockerill (163 hectares), et celle de Bierleux-Werbomont à la Société des Mines des Ardennes (1385 hectares). Le minerai était transporté grâce à une voie de chemin de fer étroite, permettant de l'acheminer des concessions minières vers la gare de Stoumont. Les berlines transportant le minerai étaient alors culbutées dans les wagons de la ligne de l'Amblyève, et le précieux chargement était transporté jusqu'aux hauts-fourneaux de la région liégeoise. Les concessions de Moët-Fontaine et de Meuville furent exploitées jusqu'en 1898, et celle de Bierleux-Werbomont jusqu'en 1934. La dernière reprise de cette mine l'a été par Cockerill qui avait racheté la concession formant ainsi la concession de Bierleux-Werbomont-Meuville. Toutefois, ces derniers travaux n'eurent lieu que dans la partie Bierleux de la concession.

Au total, près de 380 000 tonnes de minerai, d'une teneur en manganèse variant entre 14 et 20 %, furent extraites des gisements de la Lienne. Cette fructueuse exploitation a laissé de nombreuses traces dans le paysage de la région pour qui sait encore où les trouver sous la végétation. Ainsi, de nos jours, à côté de haldes plus ou moins étendues, on peut encore découvrir dans les trois concessions des orifices d'entrée de certaines galeries et puits. Il existe aussi des témoins plus discrets comme des murets, diverses excavations, des anciennes bornes ou, plus insolites, d'anciens magasins à explosifs à Moët-Fontaine et à Bierleux.

## LES DIFFÉRENTES CONCESSIONS MINIÈRES

La vallée est très encaissée puisqu'il existe un dénivelé de l'ordre de 100 mètres entre le fond où coule la rivière et le plateau. La couche de minerai d'abord observée à l'affleurement a été suivie en profondeur par des galeries et puits percés à différents niveaux de la colline et ensuite par des travaux souterrains réalisés jusqu'à plus de 150 mètres sous le niveau de la Lienne.



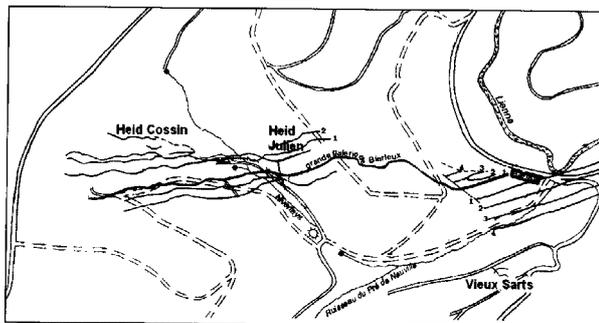
Bloc diagramme illustrant les tailles montantes dans la couche inclinée à 45° vers le Sud. Par gravité, le minerai arraché à la veine tombait dans des wagonnets placés sous les cheminées bien aménagées dans les stériles soutenant le toit, toit non représenté ici sur les déblais et au-dessus des chambres d'exploitation.  
D'après Dussart et Dussart (1991)

A Bierleux et à Moët-Fontaine, la couche de minerai avait une puissance moyenne de 60 cm, mais variant entre 40 cm et parfois plus d'un mètre. Son inclinaison était en moyenne de 45° vers le Sud. Les chantiers en activité consistaient généralement en une série de tailles montantes remblayées, chacune desservie par une cheminée aménagée dans les déblais et aboutissant à une voie inférieure de roulage. Cette méthode convient bien pour les gisements fortement pentus inclus dans des massifs rocheux de bonne stabilité, ce qui était le cas ici. Les stériles étaient entassés en un remblai serré et bien fait qui suivait les fronts de taille à quelques mètres de distance. Cette technique permettait ainsi de ne remonter à la surface qu'un minimum de déblais et d'assurer également le soutènement du toit de la couche. Des cheminées mettaient en communication les tailles et la voie de roulage.

### (1) LA CONCESSION DE BIERLEUX-WERBOMONT

Cette concession se trouve sur la rive gauche de la Lienne et est la plus étendue. Le siège de la mine et l'ancien carreau se trouvaient le long de la route longeant la Lienne, juste en face du camping "Les Salins" dans lequel on voit encore aujourd'hui l'ancienne résidence du directeur de la mine (Dussart et Dussart, 1991). Après la fermeture définitive de la mine, les lieux ont été occupés par une scierie, laquelle est aujourd'hui à l'abandon mais toujours bien visible du côté gauche de la route vers Targnon.

A proximité du siège de la mine de Bierleux, le minerai a d'abord été exploité à partir de quelques galeries percées à flanc de coteau dont la galerie n°1 dite "grande galerie de Bierleux" conduite sur plus de 1300 m vers la Heid Cossin. Trois galeries étagées (2 à 4) ont été réalisées plus haut que l'œil de la galerie n°1. Enfin, une grande descenderie (vallée) creusée à peu de distance de l'œil de la grande galerie a permis la réalisation de quatre galeries de roulage (1 à 4) sous le niveau de la Lienne. La plus profonde se trouvait à 154 m de profondeur. De tous ces travaux, il ne reste pratiquement rien aujourd'hui, si ce n'est un petit déblai au sommet duquel se trouvent quelques bâtiments en ruine dont celui contenant le gros ventilateur qui chassait l'air dans les galeries. La carpholite est signalée à cet endroit (Berger, 1965), ainsi que la spessartine.

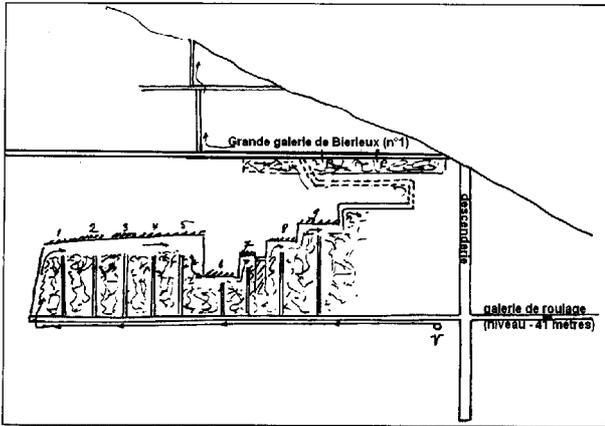


Plan des galeries dans la concession de Bierleux, d'après Dussart et Dussart (1991).

- Près du siège social, côté Nord : 4 galeries percées dans le coteau (1 à 4). La grande galerie de Bierleux (n°1) a été percée quelques mètres au-dessus du niveau de la Lienne et a été conduite à l'ouest vers la Heid Julien et la Heid Cossin. Sa longueur totale a atteint 1300 m. Au départ d'une descenderie, 4 galeries de roulage ont été tracées côté Sud sous le niveau de la Lienne : -41 m, -77m, -116m et -154m.
- A la Heid Cossin : importants travaux de surface et descenderie avec une galerie de roulage au niveau - 36 m.
- Aux Vieux-Sart : petites galeries percées dans le coteau pour exploiter la couche supérieure de minerai.

La "Heid Julien" et la "Heid Cossin" sont deux grandes zones situées à l'ouest du siège de la mine où le minerai affleurait. Il a été exploité d'abord en surface puis par galeries souterraines tracées au départ d'une descenderie. On y accède par un chemin privé fermé par une barrière mais une autorisation d'accès peut être demandée à la maison se trouvant près de l'entrée du chemin. Le long de ce chemin,

en contrebas, se trouvent quelques déblais miniers entreposés dans des prairies le long du ruisseau du pré de Neuville. Dans ces déblais, on y a observé des quartz à rhodochrosite et des phyllades avec joints d'albite minéralisés en pyrite, marcasite et chalcopryrite. Ces minéralisations ont été décrites comme typiques de la partie Ouest du gisement (Berger, 1965). Il y a une dizaine d'années, les bûcherons ont mis à blanc des parcelles d'épicéas se trouvant sur les anciennes haldes de la Heid Cossin, éventrant ainsi les haldes et mettant au jour de nombreux blocs de quartz à rhodochrosite ainsi que des roches siliceuses rouge sang pigmentées par de l'hématite.

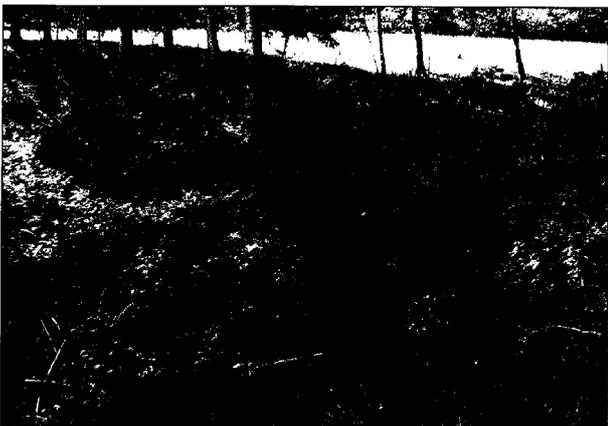


Plan et coupe des galeries de la concession de Bierleux-Werbomont en 1908.

Les galeries à flanc de coteau ne sont plus exploitées à cette époque, mais servent à la ventilation de la mine. Une descenderie ("vallée") d'une inclinaison de 45° vers le Sud a été aménagée à proximité de l'œil de la galerie n°1 (grande galerie de Bierleux) pour pouvoir exploiter le minerai sous le niveau de la Lienne. Sur le schéma, on peut distinguer 9 tailles montantes en activité à partir d'une galerie de roulage réalisée au niveau - 41 m. Chaque taille a une dimension de l'ordre de 10 à 15 m de large. Dans chaque taille, une cheminée permet l'évacuation des minerais dans la galerie de roulage. Les déblais sont autant que possible disposés tout autour de la cheminée. Les flèches sur le schéma indiquent le mouvement de l'air au départ d'un ventilateur (V).

Plan annexé au rapport de visite des travaux du 07 octobre 1908.

Enfin, au sud du siège de la mine, au lieu-dit, "Vieux Sarts", on voit encore quelques galeries minières qui ont été exploitées durant la Première Guerre mondiale (Dussart et Dussart, 1991). La galerie dite "Sous Bierleux" se divise en trois branches se terminant toutes sur des effondrements après quelques mètres (Caubergs, 1991). A l'intérieur de cette galerie, on y observe encore bien la veine de minerai. La carpholite y a été signalée (Berger, 1965) et s'y rencontre encore en beaux échantillons dans les déblais, en association avec des oxydes de manganèse dans des quartzophyllades extrêmement durs. L'ardennite, signalée à Bierleux en association avec la carpholite, la muscovite et la sudoïte (Pasero *et al.*, 1994), provient probablement de ces travaux.



Œil d'une des galeries réalisées aux Vieux Sarts, dans la concession de Bierleux - Photo : M. Blondieau

## (2) LA CONCESSION DE MOËT-FONTAINE

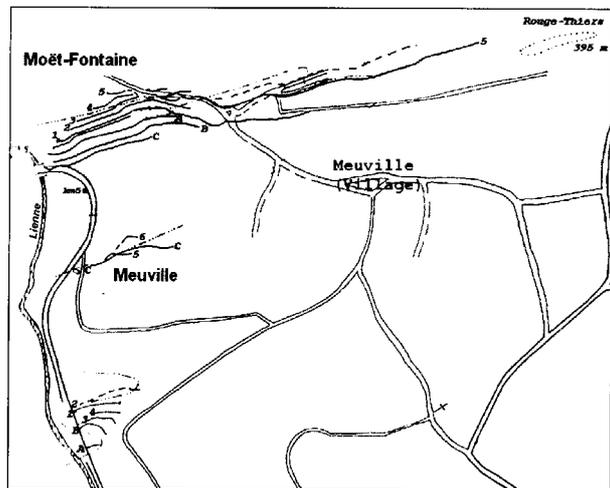
La concession de Moët-Fontaine est située sur la rive droite de la Lienne, on y a exploité la même couche de minerai que Bierleux, dans la partie Nord du synclinal.

Les premiers travaux ont été réalisés sur le sommet de la colline, à l'ouest du village de Neuville. On y voit encore un trou créé suite à l'effondrement du toit de la grande galerie dite de "Moët-Fontaine", laquelle a atteint une longueur de 850 m. Par la suite, 4 autres galeries ont été réalisées à différents niveaux de la colline. Le minerai a été conduit pendant quelques années sur des glissières et était récupéré au fond de la vallée. La technique fut rapidement abandonnée au profit d'un système de wagonnets se déplaçant sur un plan incliné aménagé sur la pente de la colline. Près des replats où avaient été percées les galeries (toutes éboulées) se trouvent des déblais dans lesquels on peut récolter à peu près tous les minéraux répertoriés dans le bassin de la Lienne. Plus tard, une descenderie a été réalisée et a permis la réalisation de galeries sous le niveau de la Lienne.

Dans la vallée, un peu au nord du hameau "Les Minières", avant le pont sur la Lienne (50 m après le km 5 de la N.645) et près d'une carrière abandonnée (en fait, l'ancien carreau de la mine), des petites haldes sont encore partiellement visibles à hauteur de la route (Dussart et Dussart, 1991). Elles se poursuivent sur toute la hauteur de la colline mais sont totalement masquées par l'abondance de la végétation. Signalons qu'à une dizaine de mètres au-dessus du niveau de la route, on peut encore observer l'ancien abri à explosifs.



Siège de la mine de Moët-Fontaine vers 1890. La photo montre à l'arrière-plan une colline dénudée sur laquelle on repère différents replats indiquant les galeries percées à flanc de coteau. Une grande glissière permettait à cette époque de conduire les minerais sur le carreau de la mine. A l'avant-plan, decauville permettant l'expédition des minerais - Photo publiée avec l'aimable autorisation de Madame Dussart.



Plan des galeries des concessions de Moët-Fontaine et de Neuville (d'après Dussart et Dussart, 1991).

- Concession de Moët-Fontaine : 5 galeries percées dans le coteau (1 à 5) ; la galerie 5, dite "grande galerie de Moët-Fontaine" a atteint une longueur de 850 m. Au départ d'une descenderie, 4 galeries de roulage ont été tracées côté Sud sous le niveau de la Lienne : -7m, -20m, -49m et -72m (Galerie du pré, A, B et C).
- Concession de Meuville : 6 galeries percées dans le coteau sur deux sites distant de 400 m environ. Les galeries 1 à 4, au sud de la concession sont tracées dans la couche n°1 exploitée aussi dans les deux autres concessions. Les galeries 5 et 6 l'ont été au nord de la concession dans la couche n°2 moins riche en manganèse. Des travaux souterrains de peu d'extension ont également été réalisés (A à C). Les lignes en pointillé indiquent la position approximative des couches de minerai à l'affleurement.

Un peu plus haut, on voit des murets, vestiges de l'ancien plan incliné ayant servi au transport des minerais ; ces murets s'observent sur toute la hauteur de la colline.

Une centaine de mètres environ au sud des haldes de la concession de "Moët-Fontaine", dans la ravine située à quelques dizaines de mètres au nord des barres rocheuses, se trouvent épars des blocs de quartz et de quartzophyllades. Certains de ces blocs sont minéralisés en carpholite ; d'autres en sursassite (Hatert *et al.* 2008). Des oxydes de manganèse terreux et de la manganite fibreuse sont également observés.



*Galerie n°5 effondrée, concession de Moët-Fontaine, sur le plateau à l'ouest du village de Meuville - Photo : S. Puccio*



*Abri à explosifs, concession de Moët-Fontaine - Photo : S. Puccio*

### **(3) LA CONCESSION DE MEUVILLE**

La concession de Meuville est, comme celle de Moët-Fontaine, située sur la rive droite de la Lienne, mais un peu plus au sud. Elle a exploité d'une part la deuxième couche de minerai et d'autre part la première comme dans les deux autres concessions, mais sur la lèvre Sud du synclinal. Dans cette partie du gisement, la couche s'y montrait plus chiffonnée et moins riche. Les travaux de recherche y ont été importants mais les productions infimes. Paradoxalement, c'est dans cette concession que se trouvent aujourd'hui les vestiges les mieux conservés de cette épopée minière. Cette concession a été attribuée à Cockerill qui avait installé des haut-fourneaux dans la région liégeoise. Pour cette raison, cette concession de Meuville est parfois appelée aussi "concession Cockerill". La limite entre la concession de Moët-Fontaine et celle de Meuville se situait un peu au nord de l'auberge de la Lienne ; cette dernière est bien visible à droite de la route vers Targnon, au hameau dit "Les Minières". Juste derrière cette auberge, le long d'un petit chemin, on peut observer des déblais venant de travaux de peu d'importance encore bien visibles un peu plus haut dans le coteau. Ces travaux ont été réalisés dans la couche de minerai supérieure et ont été abandonnés rapidement car la teneur en manganèse y était souvent inférieure à 15 % et, en dessous de 13 %, le minerai était refusé.

Les haldes, couvertes de ronces, renferment beaucoup de blocs avec de petits cristaux limpides de quartz recouverts d'oxydes de manganèse. Beaucoup d'autres espèces minérales y ont été recueillies également. On accède à ces travaux miniers par un autre petit chemin forestier partant vers le Sud et qui s'élève dans le coteau. Ils se trouvent dans le coude serré que fait le chemin vers le Rouge-Thier (Dussart et Dussart, 1991). Un peu plus haut, ce chemin recoupe des veines de coticule dans lequel ont été observés de très petits cristaux d'ardennite (Baijot, 2007). La carpholite en débris est également signalée sur ce chemin allant des minières à Meuville (Blaise, 1930).



*Tailles montantes effondrées, concession de Meuville, derrière l'auberge de la Lienne - Photo : S. Puccio*

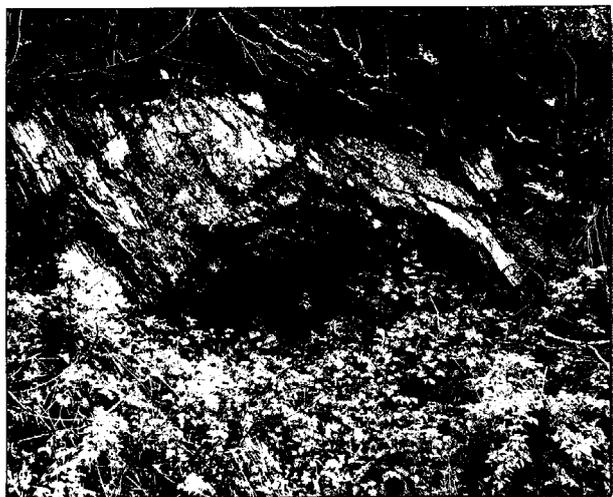


*Ancienne galerie de roulage effondrée, concession de Meuville derrière l'auberge de la Lienne - Photo : S. Puccio*

D'autres travaux, nettement plus conséquents, ont été exécutés plus au sud entre l'auberge de la Lienne et le moulin de Rahier. A droite de la route vers Targnon, on observe encore l'œil d'une galerie. Ces travaux ont été réalisés dans la couche de minerai inférieure qui se trouvait très chiffonnée à cet endroit (Dussart et Dussart, 1991). Il s'agit d'un travers-banc de 37 m de longueur se terminant sur front de taille (Caubergs, 1991). Des travaux plus conséquents, dissimulés dans la végétation, se trouvent une dizaine de mètres plus haut que le niveau de la route. On y voit, dans une plantation d'épicéas, l'orifice d'une autre galerie bordée de haldes. La clinoclase fut signalée dans une galerie de la région, avec malachite (Mélon, 1954). Il s'agit vraisemblablement de cette galerie.

Sur le plateau, à Meuville, à l'ouest de la colline du "Rouge-Thier", on trouve en surface des débris de quartzophyllades lie de vin, imprégnés de quartz et parfois de carpholite. Blaise (1930) en avait déjà retrouvé en place sur un chemin à cet endroit. Associés à la carpholite, on observe parfois des petits cristaux bleu vert d'anatase.

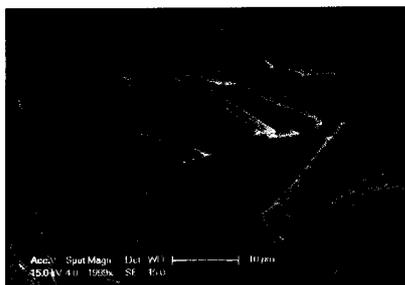
Enfin, près de la route de Meuville à Xhierfomont, à l'est de la colline du "Rouge-Thier", on retrouve de nombreux débris de roche à carpholite dans le petit bois en contrebas du grand coude que fait la route pour contourner la colline (Blaise, 1930). La carpholite est également signalée en place dans le talus de la route, une dizaine de mètres avant la tranchée de recherche de manganèse (Blaise, 1930). Elle y est toujours observable actuellement. Corin (1930) a également observé ce minéral en place au niveau du tournant situé 250 m plus au sud.



Œil de la galerie le long de la route entre le moulin de Rahier et l'auberge de la Lienne, concession de Meuville.  
Photo : S. Puccio.

## DESCRIPTION DES MINÉRAUX

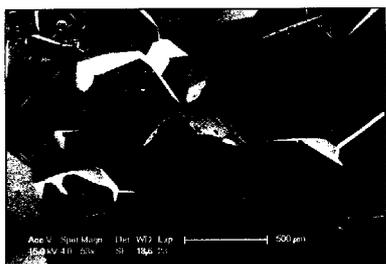
### ■ "Adulaire" (orthose, ou orthoclase)



Adulaire en minuscules cristaux au faciès pseudo-rhomboédrique - Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert

L'adulaire a été identifié sur un échantillon de Moët-Fontaine, en association avec le quartz, la chlorite et la sidérite. Il forme de minuscules cristaux présentant une morphologie caractéristique rappelant celle du rhomboèdre et atteignant 30 µm de longueur. Leur spectre EDS a mis en évidence les éléments majeurs K, Al et Si, confirmant ainsi l'identification du minéral. L'adulaire est une variété de feldspath potassique de basse température observée principalement en contexte métamorphique, par exemple dans les fissures alpines en association avec amphibole, quartz et chlorite.

### ■ Albite



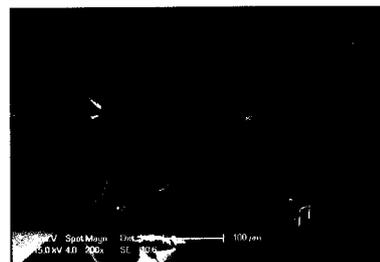
Cristal d'albite au centre de la photo, avec quartz et chlorite - Les minières  
Cliché MEB : F. Hatert

L'albite est signalée en faibles quantités aux environs de la terminaison Ouest de la couche de minerai de manganèse. Cette partie de la couche a été exploitée à la Heid Cossin, dans la concession de Bierleux (Berger, 1965). De petits cristaux blancs automorphes, déposés sur un tapis de cristaux de quartz limpides et

récoltés récemment dans la concession de Moët-Fontaine, mais également aux minières, se sont également révélés être de l'albite. L'identification est confirmée par diffraction des rayons X, ainsi que par le spectre EDS qui a mis en évidence la présence de Na, Al et Si, ainsi que l'absence de K.

### ■ Anatase

L'anatase est un minéral bien fréquent dans la région mais, du fait de ses petites dimensions, il passe facilement inaperçu. Les cristaux gris bleu à bleu vert montrent des morphologies très variées, généralement caractérisées par une combinaison de plusieurs bipyramides, parfois accompagnés d'une base et d'un prisme tétraogonal. Les faces du quadroctaèdre sont caractérisées par une fine striation. De beaux cristaux ont été récoltés à Meuville sur carpholite, ainsi qu'aux Minières et à Moët-Fontaine avec quartz, sidérite et albite. L'identification du minéral est confirmée par son spectre EDS qui met en évidence la présence de Ti et O.



Anatase sur quartz. De belles stries de croissance sont visibles sur les faces de la bipyramide quadratique.

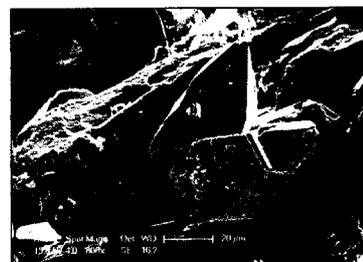
Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert

### ■ Anglésite

A Moët-Fontaine, de très petits cristaux incolores à blancs sont observés dans des joints que l'on pourrait prendre pour des petites veines de coticule, voire de pseudocoticule. Ces cristaux sont comparables à des quadroctaèdres, qui présentent parfois des faces striées. Parfois, on observe des assemblages à axes parallèles, au sein desquels plusieurs cristaux s'empilent en engendrant des angles rentrants. L'identification de ce minéral est confirmée par le spectre EDS qui démontre la présence de Pb, S et O comme éléments majeurs.



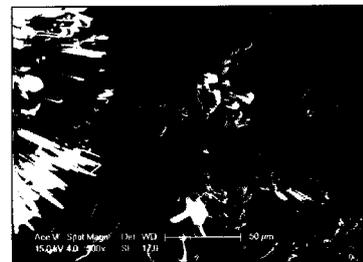
Anglésite. Curieux empilement de deux cristaux bipyramidés - Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert



Anglésite montrant des stries de croissance  
Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert

### ■ Aragonite

A Moët-Fontaine, l'aragonite a été observée sur un échantillon unique, sur lequel elle forme des agrégats fibro-radiés de cristaux aciculaires, dont la longueur peut atteindre 100 µm. L'analyse chimique qualitative montre la présence des seuls éléments Ca, C et O, confirmant ainsi l'identification.



Aragonite en agrégat fibroradié  
Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert

### ■ Ardennite-(V)

L'ardennite est une espèce minérale initialement identifiée en Belgique (Hatert et al. 2002). Toutefois, le

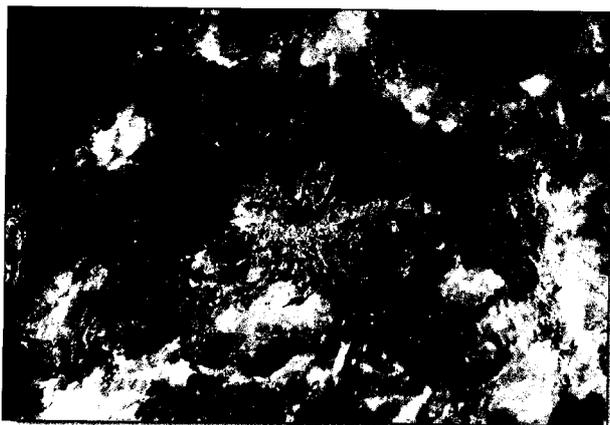


Ardennite-(V) en cristaux biseautés  
Les Minières - Cliché MEB : F. Hatert



Ardennite-(V) en cristaux montrant un  
faciès aciculaire - Les Minières  
Cliché MEB : F. Hatert

des anciens travaux pour manganèse réalisés par la société Cockerill, au nord de la concession de Meuville. On l'observe en cristaux millimétriques jaunes avec piémontite, ainsi que sur des blocs de coticule. L'ardennite-(V), associée à la piémontite, forme soit des cristaux tabulaires aux faces striées, qui se terminent en biseau, soit des cristaux au faciès beaucoup plus aciculaire. L'identification du minéral est confirmée par un spectre EDS, qui met en évidence la présence des éléments majeurs Si, Al, Mn, Mg, V et Ca.



Ardennite (jaune), oxydes de manganèse (noir) et sursassite (rouge-brun) sur quartz - 3 x 2 cm - Les Minières - Coll. et photo : S. Puccio

### ■ Azurite

Des pustules bleues d'azurite sont observables sur le minéral de manganèse du Salmien moyen se trouvant dans les déblais de la concession de Moët-Fontaine, ainsi que dans les déblais de la concession Cockerill juste derrière l'auberge de la Lienne. Des cristaux millimétriques, associés en rosettes et plages parfois centimétriques, ont été récoltés dans de petits joints avec chlorite et malachite, au sein de blocs d'un minéral de manganèse très grenu, minéralisé en sulfures de cuivre. Une analyse par diffraction des rayons X a permis de confirmer l'identification de cette espèce.

### ■ Barytine

Elle est signalée en petites masses clivables, en association avec malachite et clinoclase, dans une galerie de Moët-Fontaine (Mélon, 1954). Des cristaux tabulaires millimétriques très minces, incolores à blancs, ont également été observés dans toutes les parties du gisement (Bierleux, Meuville et Moët-Fontaine). Elle a été observée dans les travaux Sud de la concession de Meuville en cristaux prismatiques, caractérisés

minéral de la localité-type Salmchâteau a été récemment renommé ardennite-(As) en raison de la découverte de l'ardennite-(V) dans les alpes italiennes (Barresi *et al.* 2007).

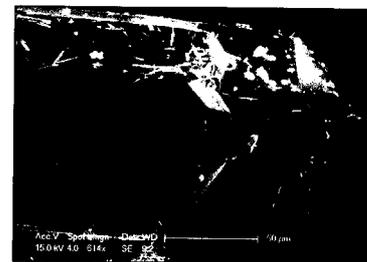
A Bierleux, l'ardennite s'observe en association avec quartz, carpholite, sudoïte, muscovite et un peu d'hématite. Les analyses chimiques réalisées par Pasero *et al.* (1994) indiquent qu'il s'agit d'ardennite-(V). Ce minéral est également présent aux Minières, sur le chemin qui monte vers Meuville, à une cinquantaine de mètres

par les combinaisons des formes {001}{101}{011}{211} et {001}{101}{210}{120}{011}{310}{212} (avec  $a = 8,88$ ,  $b = 5,45$  et  $c = 7,15$  Å). Ils sont partiellement recouverts de malachite en fines aiguilles, et leur spectre EDS montre la présence de Ba, S et O comme seuls éléments majeurs. A Moët-Fontaine, les cristaux sont souvent moins trapus que dans la concession de Meuville et s'y présentent généralement en tablettes translucides très fines.

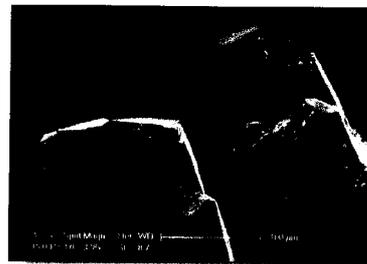
### ■ Bornite

Avec la chalcocite, la bornite est un des sulfures primaires

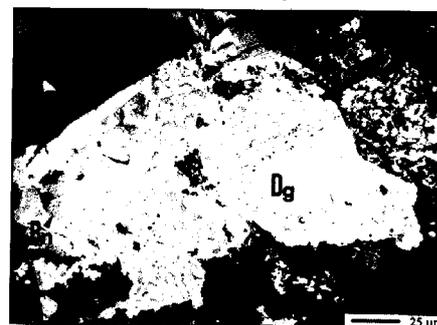
les plus abondants du Massif de Stavelot. Sa couleur "gorge de pigeon" sur cassure fraîche permet de l'identifier facilement. Dans la vallée de la Lienne, la bornite forme de petites mouches de quelques millimètres sur le minéral ou, plus rarement, dans de petits joints du quartz. Parfois même, elle s'individualise en petites veinules dans le phyllade lie-de-vin qui encaisse le minéral. Le minéral se présente sous un même habitus dans toutes les concessions minières de la vallée (Bierleux, Meuville et Moët-Fontaine). Au microscope polarisant en lumière réfléchie, de belles associations myrmékittiques (rappelant la forme de galeries de fourmi) avec la digénite sont observées. Une analyse chimique quantitative à la microsonde électronique conduit à la formule  $Cu_{3,07}Fe_{0,97}S_{3,95}$ , en bon accord avec la composition idéale du minéral (Hatert, 1996).



Barytine - Concession de Meuville  
Clichés MEB : F. Hatert



Morphologies de cristaux de barytine  
observés dans la concession de Meuville



Bornite (Bn) formant des associations  
myrmékittiques avec la digénite (Dg).  
En haut, les plages bleues montrant des fentes  
de retrait sont constituées de yarrowite.  
Microscope polarisant en lumière réfléchie  
Moët-Fontaine - Cliché : F. Hatert

### ANALYSES CHIMIQUES À LA MICROSONDE ÉLECTRONIQUE DES SULFURES DE LA LIENNE

	Bornite	Idaïte	Chalcopyrite	Yarrowite	Digénite	Pyrite	Marcasite
	(1)	(1)	(1)	(3)	(1)	(1)	(1)
S	25,08	30,65	34,50	29,73	21,46	51,61	45,52
Fe	10,74	15,12	29,78	0,88	0,15	46,34	39,74
Cu	63,77	53,07	34,18	69,15	77,77	0,17	13,15
As	-	-	-	-	-	-	0,16
<b>Total</b>	<b>99,59</b>	<b>98,84</b>	<b>98,46</b>	<b>99,76</b>	<b>99,38</b>	<b>98,12</b>	<b>98,57</b>
NOMBRE DE CATIONS PAR UNITÉ FORMULAIRE							
S	3,95	3,71	2,00	1,00	5,00	1,98	1,82
Fe	0,97	1,05	0,99	0,02	tr.	1,02	0,91
Cu	5,07	3,24	1,00	1,17	9,15	tr.	0,27
As	-	-	-	-	-	-	tr.

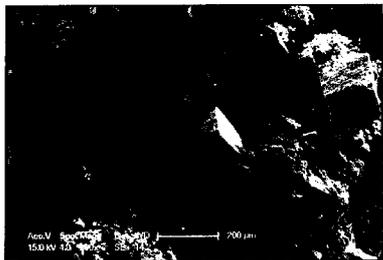
Tableau 1

Analyse : J. Wautier (Louvain-la-Neuve, Belgique).  
Les nombres d'analyses ponctuelles, exprimées en pourcentages poids, sont représentés entre parenthèses. Les analyses ont été interprétées sur une base de 1 S (covellite bleue), 5 S (digénite), 3 atomes (pyrite, marcasite), 4 atomes (chalcopyrite), 8 atomes (idaïte), et 10 atomes (bornite) par unité formulaire.

## ■ Brochantite

La brochantite se présente généralement en enduits micro-cristallins de couleur vert émeraude. Souvent associée à la langite, elle forme parfois avec elle des cristaux mixtes bleus à verts. La brochantite a été récoltée dans les haldes où se trouvent des sulfures de cuivre, notamment à Moët-Fontaine. Son identification a été confirmée par diffraction des rayons X.

## ■ Calcite



Calcite en cristaux rhomboédriques et todorokite – Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert

A Moët-Fontaine, la calcite a été observée en cristaux rhomboédriques, associés à de petits agrégats noirs de todorokite. Le spectre EDS de cette calcite montre qu'elle est légèrement magnésienne.

## ■ Carpholite

La première description de carpholite en Belgique est fournie par de Koninck (1879), sur un échantillon de couleur jaune paille provenant de la vallée de la Lienne inférieure. Cet échantillon se présentait en enduits à fibres parallèles ou en petites masses irrégulières, le plus souvent dans les parties froissées de la roche. Fransolet (1972) précise que la carpholite se présente également en filonnets irréguliers dans les phyllades rouges, en limets discontinus parallèles à la schistosité ou en rosettes fibroradiées de 7 à 10 mm de diamètre. En fait, la carpholite est fréquente dans la vallée de la Lienne inférieure, non loin des couches de minerai de manganèse anciennement exploitées à :

**Bierleux** : en association avec l'ardennite et contenant des traces significatives de vanadium (Pasero *et al.*, 1994). On peut la récolter actuellement dans les haldes, à proximité de la galerie "sous Bierleux", au lieu-dit des "Vieux-Sarts" ; la carpholite y est très belle, en fibres assez épaisses d'une belle couleur jaune.

**Meuille et Xhierfomont** : Blaise (1930) signale la carpholite sur le chemin des Minières à Meuille, à l'ouest de la colline du "Rouge-Thier", à l'entrée du chemin vers Chession, et près de la route de Meuille à Xhierfomont, à l'est de la colline du "Rouge-Thier".

**Les Minières** : dans une ravine, à une centaine de mètres plus à l'est des vieilles haldes de la mine de Moët-Fontaine, la carpholite se rencontre en blocs erratiques. Au même endroit, d'autres blocs contiennent de la sursassite.

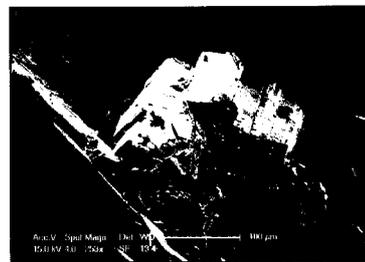
**Moët-Fontaine** : sur les haldes de l'ancienne mine de manganèse, des fibres de carpholite sont parfois observées dans la rhodochrosite massive.



Carpholite dans quartzophyllade - 10 cm x 7 cm - Aux Vieux Sarts, concession de Bierleux - Coll. et photo : M. Blondieau

## ■ Cérusite

Sur les haldes de l'ancienne mine de manganèse de Moët-Fontaine, des petites croûtes grisâtres, ainsi que de minuscules cristaux blancs ou gris blanc sur galène, sont constitués de cérusite. Ces cristaux montrent parfois la macle pseudo-hexagonale par accolement selon (110) caractéristique, et leur spectre EDS confirme la présence de Pb, C et O.



Cérusite sur quartz, macle pseudo-hexagonale – Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert

## ■ Chalcocite

La chalcocite est un des sulfures primaires les plus fréquents du Massif de Stavelot. Elle s'observe généralement en nodules ou injections dans les phyllades ou dans des filons de quartz. La distinction entre chalcocite et djurléite ne peut pas se faire visuellement. La chalcocite a été reconnue dans un puits de recherche de la concession de Moët-Fontaine, ainsi que dans une galerie ayant recoupé une petite faille rejetant la couche de minerai exploitée. Le minéral s'y présente en petits nodules de 4 à 5 mm de diamètre dans la roche (Firket, 1883). Des cristaux de plusieurs millimètres sont également observables dans les petites cavités du quartz minéralisé en cuivre, dans les concessions de Bierleux et Meuille.



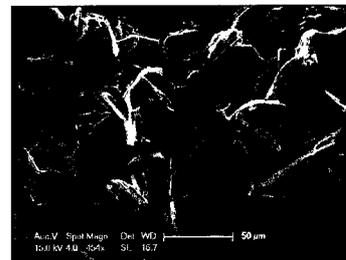
Chalcopyrite (Cpy) associée à des agrégats granuleux de marcasite (Mar) et à des cubes automorphes de pyrite (Pyr).  
Microscope polarisant en lumière réfléchie – Moët-Fontaine  
Cliché : F. Hatert

## ■ Chalcopyrite

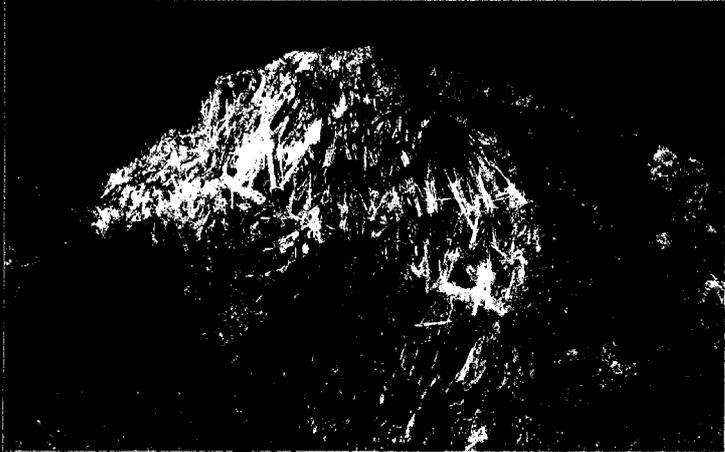
La chalcopyrite se présente en petites mouchetures dans le minerai de manganèse, seule ou associée à la bornite. Elle forme parfois de petits joints d'épaisseur millimétrique, et des petits cristaux mal définis s'observent également dans des joints chloriteux à anatase. A Moët-Fontaine, la chalcopyrite est associée à des agrégats granuleux de marcasite et à des cubes automorphes de pyrite. Sa composition chimique, obtenue grâce à des analyses chimiques à la microsonde électronique, correspond à  $Cu_{1,00}Fe_{0,99}S_{2,00}$  (Hatert, 1996).

## ■ Chlorites (chamosite-clinocllore-pennantite)

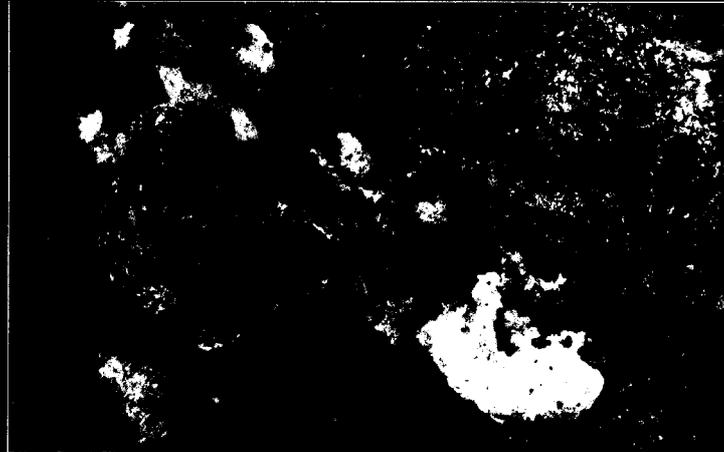
Les chlorites sont parmi les principaux minéraux formés par le métamorphisme ayant affecté les roches du Salmien. Au sein de ce groupe, la chamosite forme une série avec la clinocllore ; ce dernier minéral est cependant mieux représenté dans le Massif de Stavelot (Hatert, 2002). Dans la vallée de la Lienne, les lamelles de clinocllore, de couleur verte, sont fréquemment associées à la rhodochrosite (Berger, 1965). Des photos au microscope électronique à balayage d'un échantillon de Moët-Fontaine montrent un tapis de fines lamelles de chlorite, parsemé de globules de sidérite et de



Chlorite - Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert



*Carpholite - 6,4 x 4 mm - Bierleux, La Lienne, Liège, Belgique  
Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



*Azurite - 2,4 x 1,5 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique  
Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



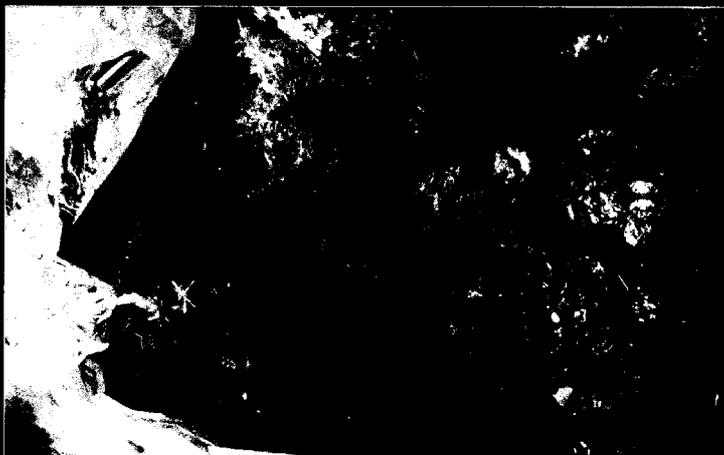
*Chalcocite et malachite - 2,6 x 1,6 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique - Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



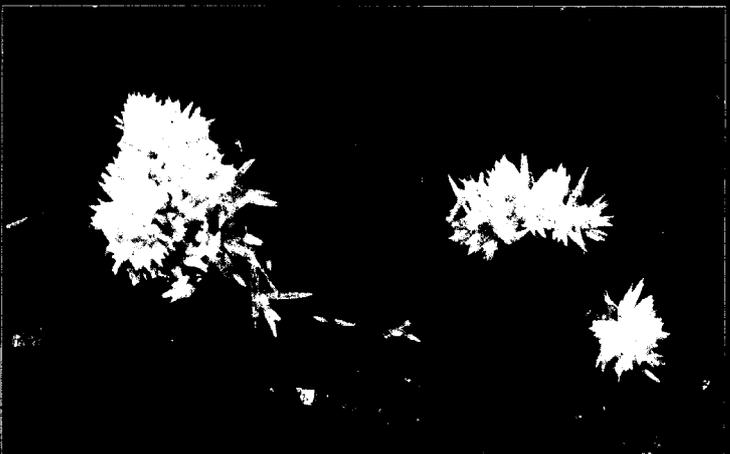
*Chalcocite et malachite - 1,9 x 1,2 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique - Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



*Malachite et chlorite sur quartz - 6,8 x 4,4 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique - Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



*Malachite et chlorite sur quartz - 5,4 x 3,3 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique - Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



*Pyromorphite sur quartz - 3,5 x 2,2 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique - Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*



*Sursassite - 9,9 x 6,4 mm - Les Minières, La Lienne, Liège, Belgique  
Coll. : M. Blondieau - Photo : P. Chollet*

cristaux isolés de quartz et d'adulaire. Le spectre EDS de cette chlorite montre qu'il s'agit d'un terme intermédiaire entre clinochlore et chamosite. A Moët-Fontaine, une chlorite en lamelles brunâtres, particulièrement riche en manganèse, a été identifiée comme pennantite sur base de son analyse chimique à la microsonde électronique (Schreyer *et al.*, 1986).

### ■ Chloritoïde-ottrélite

L'ottrélite et le chloritoïde *stricto sensu* font partie du groupe des chloritoïdes. L'ottrélite est le terme riche en Mn<sup>2+</sup>, alors que c'est Fe<sup>2+</sup> qui domine dans le chloritoïde. Les travaux de Theye et Fransolet (1994) montrent que l'ottrélite est assez rare dans le massif de Stavelot ; son identification est confirmée aux épontes du filon de quartz d'Ottré. Dans la vallée de la Lienne, le chloritoïde se présente en petits cristaux noirs aux plans de clivages brillants, parsemant certains schistes du Salmien. Les analyses réalisées par Theye et Fransolet (1994) et Theye *et al.* (1996) confirment qu'il s'agit bien d'un terme intermédiaire entre chloritoïde et ottrélite, contenant approximativement 50 % de chaque composante.

### ■ Clinoclase

La clinoclase est signalée dans une galerie de recherche à Moët-Fontaine, en association avec barytine et malachite. Elle se présente en cristaux bleu verdâtre très foncés atteignant 3 mm de longueur et 1 mm de largeur (Mélou, 1954). Des réserves peuvent cependant être émises quant à la localisation de la galerie où aurait été collecté l'échantillon. En effet, toutes les galeries de Moët-Fontaine (à part une seule, mais impénétrable) ont disparu depuis bien longtemps, au tout début du 20<sup>ème</sup> siècle, donc bien avant la collecte de l'échantillon. D'autre part, la concession de "Moët-Fontaine" est souvent mal située par les géologues amateurs qui la confondent systématiquement avec celle de "Meuville" (Dussart et Dussart, 1991). La provenance ainsi citée devrait plutôt être une galerie de la concession de Meuville, et non une galerie de Moët-Fontaine. Ajoutons en complément que c'est justement dans la grande galerie de Meuville que la barytine s'est trouvée la plus abondante ; l'échantillon de clinoclase décrit est précisément associé à la barytine. Toutefois, le seul échantillon connu, acquis par l'Université de Liège, semble relativement suspect. C'est donc avec beaucoup de réserve qu'il faut considérer la clinoclase comme faisant partie des minéraux recensés en Belgique.

### ■ Connellite

La connellite a été observée sur un échantillon recueilli dans les halles de la concession de Moët-Fontaine. Le minéral, accompagné de brochantite, se présente en petites sphérules bleues dont l'identification a été confirmée par diffraction des rayons X.

### ■ Cryptomélane

Le cryptomélane est l'oxyde de manganèse le plus fréquent du Massif de Stavelot (Fransolet et Mélou, 1975 ; Gustine, 2002) ; il est signalé pratiquement partout où affleurent les couches de Salmien moyen. D'éclat terreux à submétallique, le cryptomélane présente une couleur noire à gris noire et montre des formes très variées : stalactitiques, botryodiales, en petits filonnets ou en enduits. D'un point de vue chimique, les échantillons du Massif de Stavelot sont relativement pauvres en potassium (Gustine, 2002). La majeure partie du minerai de manganèse de la Lienne est constituée de cryptomélane ; toutefois, les parties les plus oxydées de la roche montrent une transformation progressive en nsutite (Gustine, 2002).

### ■ Cuivre natif

Dans les minerais de manganèse de la Lienne inférieure, le cuivre natif a été observé en association avec la cuprite et la malachite, notamment dans une galerie de la concession de Meuville. De minuscules cristaux y sont parfois observés.

### ■ Cuprite

La cuprite se présente en minuscules octaèdres rouges, associés au cuivre natif dans la grande galerie de la concession de Meuville.

### ■ Digénite

La digénite est le sulfure secondaire le plus fréquent des filons à sulfures du Massif de Stavelot. Dans les déblais de l'ancienne mine de Moët-Fontaine, il forme des associations myrmékittiques avec la bornite (c'est-à-dire des textures dont la forme rappelle celle des galeries creusées par les fourmis), comme le montrent les photos au microscope polarisant en lumière réfléchie (Hatert, 1996). Les analyses chimiques à la microsonde électronique indiquent une composition Cu<sub>9,15</sub>S<sub>5</sub> très proche de la composition idéale du minéral.

### ■ Galène

Dans le Salmien du Massif de Stavelot, la galène est un minéral plutôt rare et n'est souvent observée qu'en fort petites plages. Dans la vallée de la Lienne, le minéral a été récolté sur les halles de Moët-Fontaine, où il forme des plages millimétriques à centimétriques autour de la bornite.

### ■ Goethite

La goethite est un minéral fréquemment associé à d'autres oxydes et hydroxydes de fer dans les minerais brun rouille appelés généralement "limonite". Dans le Salmien du Massif de Stavelot, elle ne forme cependant pas de grosses masses et ne s'observe qu'en petites concrétions ou en enduits. De petites croûtes fibreuses avec reflets brun rougeâtre caractéristiques ont été récoltées sur des concrétions d'oxydes de manganèse, dans

ANALYSES CHIMIQUES À LA MICROSONDE ÉLECTRONIQUE  
DES OXYDES DE MANGANÈSE DE LA LIENNE.

	Cryptomélane (15)	Lithiophorite	Manganite (5)	Pyrolusite (10)	Nsutite (7)
MnO <sub>2</sub> *	86,56	36,26	0,08	95,98	86,40
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3,01	17,93	85,53	-	-
MnO*	-	-	-	-	6,52
K <sub>2</sub> O	2,99	0,03	-	0,05	0,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,11	22,22	0,01	0,24	0,15
CaO	0,16	0,06	-	0,26	0,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,14	0,05	0,15	0,13
NiO	-	0,18	-	-	-
CoO	-	-	-	-	0,06
CuO	0,12	-	0,04	-	-
ZnO	0,23	0,37	0,03	0,02	0,05
Li <sub>2</sub> O*	-	3,04	-	-	-
H <sub>2</sub> O*	-	11,64	9,78	-	1,90
<b>Total</b>	<b>94,25</b>	<b>91,87</b>	<b>95,52</b>	<b>96,69</b>	<b>95,89</b>
Mn <sup>4+</sup>	7,705	0,646	0,001	1,000	0,915
Mn <sup>3+</sup>	0,295	0,352	0,999	-	-
Mn <sup>2+</sup>	-	-	-	-	0,085
K	0,491	tr.	-	0,001	0,006
Al	0,168	0,670	tr.	0,004	0,003
Ca	0,022	tr.	-	0,004	0,005
Fe <sup>3+</sup>	0,007	tr.	0,001	0,002	0,001
Ni	-	tr.	-	-	-
Co	-	-	-	-	0,001
Cu	0,012	-	tr.	-	-
Zn	0,022	tr.	tr.	tr.	0,001
Li	-	0,320	-	-	-
H	-	2,000	1,001	-	0,194

Tableau 2

Analyste : J. Wautier (Louvain-la-Neuve, Belgique).  
Les nombres d'analyses ponctuelles, exprimées en pourcentages poids, sont représentés entre parenthèses. Les astérisques représentent les teneurs recalculées. Les analyses ont été interprétées sur une base de 1 Mn (lithiophorite, manganite, pyrolusite, nsutite) et 8 Mn (cryptomélane) par unité formulaire. Source : Gustine, 2002.



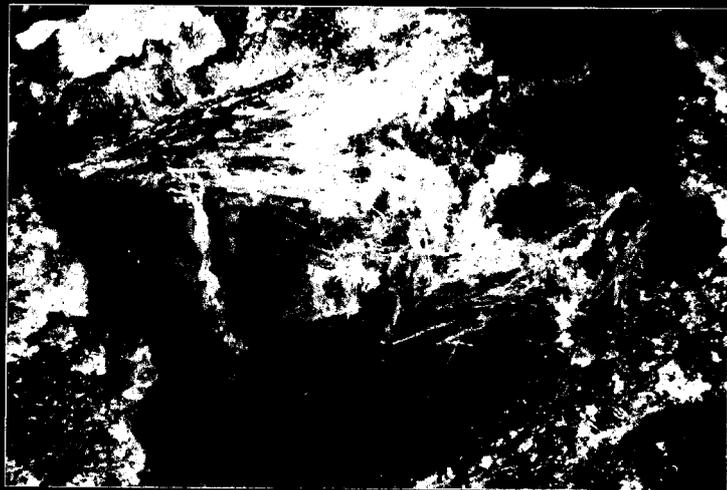
*Albite et chlorite sur quartz - 6,8 x 4,5 mm - Moët-Fontaine, La Lienne, Stavelot, Belgique  
Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*



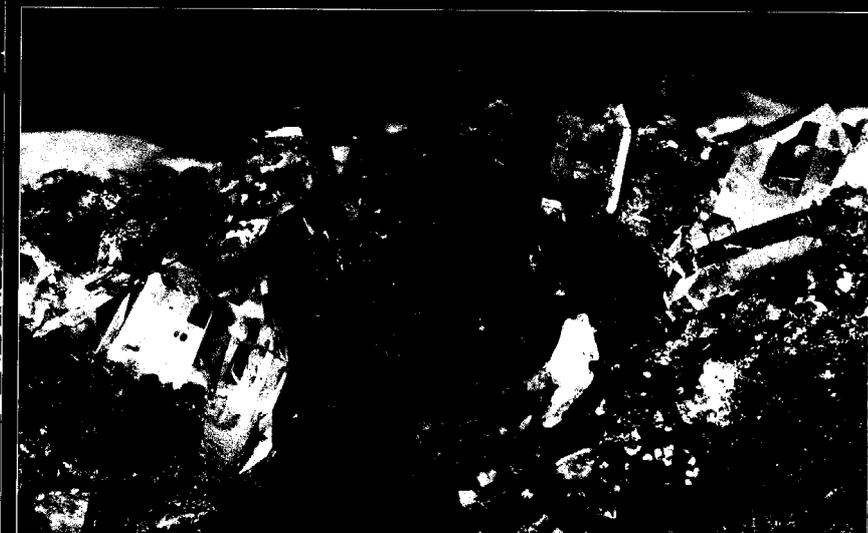
*Cuprite - 1 x 1 mm  
Moët-Fontaine, La Lienne,  
Stavelot, Liège, Belgique  
Coll. : S. Puccio  
Photo : P. Chollet*



*Malachite - 4,9 x 3,2 mm  
Moët-Fontaine, La Lienne,  
Stavelot, Liège, Belgique  
Coll. : S. Puccio  
Photo : P. Chollet*



*Carpholite - 3,3 x 2,2 mm - Moët-Fontaine, La Lienne, Stavelot, Liège,  
Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*



*Quartz sur chlorite - 21 x 14 mm - Moët-Fontaine, La Lienne, Stavelot,  
Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*

*Pyromorphite et malachite - 1,4 x 2,1 mm - Moët-Fontaine, La Lienne,  
Stavelot, Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*

des cavités de quartz provenant notamment des haldes de l'ancienne concession de Moët-Fontaine.

### ■ Groutite

La groutite montre la même composition chimique que la manganite, mais cristallise dans le système cristallin orthorhombique alors que la manganite est monoclinique. A Moët-Fontaine, la groutite a été reconnue en mélange avec goethite et hématite (identification par diffraction des rayons X, M. Deliens, IRScNB, 2004). Les échantillons analysés se présentent soit en petits cristaux noirs à gris argenté, soit en liserés noirs millimétriques dans des fissures de la rhodochrosite.

### ■ Gypse

Le gypse est un minéral récent formé par la percolation des eaux dans certaines galeries ou dans les anfractuosités de rochers surmontés de minéralisations sulfurées qui, en s'oxydant, fournissent des ions sulfates. Ce minéral a été observé à Moët-Fontaine, sur une surface de minerai de manganèse contenant des sulfures de cuivre.

### ■ Hématite

L'hématite est signalée en de nombreux endroits du Massif de Stavelot, souvent en masses lamellaires de dimensions plus ou moins importantes, associées à la chlorite et au quartz. A Bierleux, Meuville et Moët-Fontaine, l'hématite est cryptocristalline et constitue l'essentiel du ciment de la roche (Berger, 1965). On l'observe parfois en petites lamelles métalliques dans le minerai et dans les quartz associés ; elle forme également de petits cristaux très minces, translucides, de couleur rouge, notamment à Bierleux. Ces cristaux ont la forme de petits hexagones et sont soit isolés, soit regroupés en petites rosettes. A Bierleux, sur le site de la Heid Cossin, l'hématite colore en rouge sang certains schistes.

### ■ Idaïte

L'idaïte est un sulfure de cuivre et de fer de couleur bronze, qui se rencontre parfois comme produit d'altération de la bornite. A Moët-Fontaine, l'idaïte est plutôt de couleur brunâtre, et forme des structures coronitiques (en couronne) autour de la chalcopryrite (Hatert, 1996). L'analyse chimique à la microsonde électronique indique une composition  $Cu_{3,24}Fe_{1,05}S_{3,71}$  en assez bon accord avec celle de l'idaïte.

### ■ Kutnohorite

On signale la récolte, pendant la Seconde Guerre mondiale, d'un échantillon de kutnohorite bien cristallisé, en rhomboédres bien roses sur un tas de minerai du Salmien moyen entreposé à l'usine de la société Cockerill (Fransolet, 1975). Cependant, à cette époque, plus aucune mine n'était exploitée dans la vallée de la Lienne. La dernière, celle de Bierleux, était exploitée par Cockerill et a fermé ses portes en 1934. Il est donc probable que cette trouvaille se soit réalisée dans un stock de minerai non encore utilisé, provenant de la mine de Bierleux et récupéré pendant la guerre. La kutnohorite ne peut se différencier visuellement de la rhodochrosite, mais Schreyer *et al.* (1986) ont confirmé son identification grâce à des analyses chimiques à la microsonde électronique réalisées sur un échantillon de Moët-Fontaine. Un échantillon récolté récemment dans les haldes de la concession de Meuville derrière l'auberge de la Lienne montre ce minéral en petits cristaux rhomboédriques blancs, associés au quartz ; leur identification a été confirmée par diffraction des rayons X.

### ■ Langite

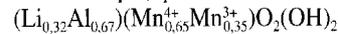
La langite, généralement associée à la brochantite, semble cependant moins répandue que cette dernière. Elle est reconnue en très petits cristaux avec brochantite, dans les

déblais de Moët-Fontaine où le minerai renferme des traces de sulfures de cuivre (Hatert, 1996). L'identification du minéral a été confirmée par diffraction des rayons X.

### ■ Lithiophorite

Lorsqu'elle est fraîche, la lithiophorite présente un éclat submétallique et une couleur gris foncé. Par altération, l'éclat devient terreux et la couleur plus brune. Le minéral présente un faciès botryoïdal ou forme des enduits ; il est fréquemment associé au cryptomélane des gîtes de la vallée de la Lienne (Gustine, 2002).

Son identification est confirmée par une analyse chimique à la microsonde électronique, qui conduit à la formule suivante :



### ■ Malachite

La malachite est omniprésente là où les sulfures de cuivre ont été soumis à l'oxydation atmosphérique, mais c'est dans la partie centrale du synclinal (concessions de Meuville et de Moët-Fontaine) qu'elle semble s'exprimer le mieux. On la rencontre le plus souvent en enduits verts dans les fractures de la roche, mais elle se présente également en petites sphérules millimétriques ou en aiguilles dans de petites cavités de quartz minéralisées en sulfures. Généralement, elle est localisée à proximité des mouchetures de bornite et de chalcocite, mais elle se rencontre aussi en association avec la rhodochrosite, la barytine ou la cérosite.



Malachite sur quartz  
Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert



Malachite, détails saisissants  
des cristaux - Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert

### ■ Manganite

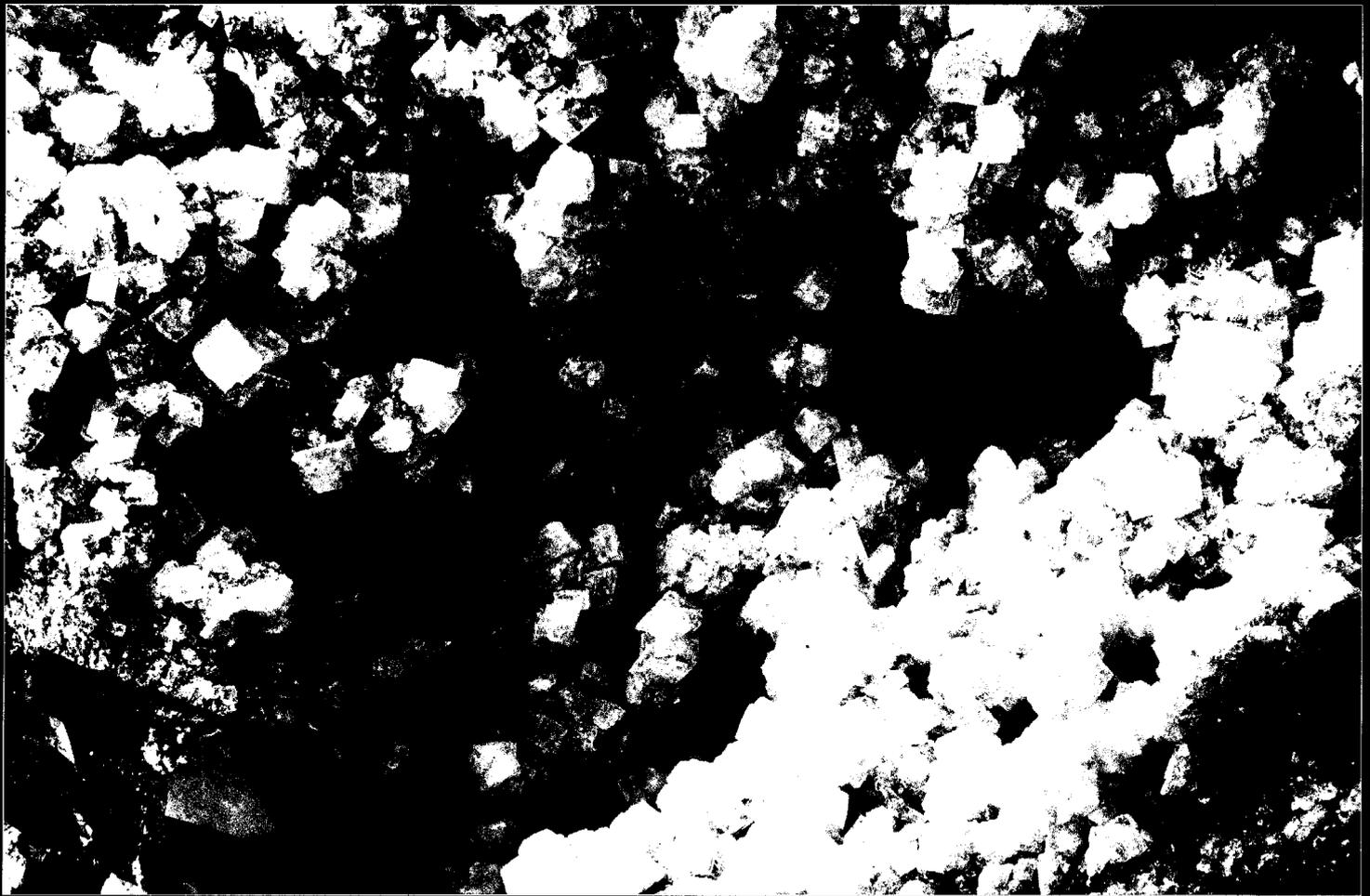
La manganite représente le terme initial de l'oxydation de la rhodochrosite. Elle se transforme ultérieurement en nsutite puis en pyrolusite (Gustine, 2002). L'observation d'une section polie d'un échantillon de la concession de Meuville, un peu plus au Nord du moulin de Rahier, a mis en évidence des cristaux xénomorphes de manganite gris, de quelques dizaines de micromètres de longueur. Des reliques de manganite sont également fréquentes au cœur des cristaux de pyrolusite (Gustine, 2002). Des échantillons récoltés récemment dans les haldes de Moët-Fontaine montrent de petits cristaux de manganite à l'éclat métalliques, disséminés sur les cristaux de quartz. Dans ces cristaux, la phase dominante est bien la manganite. Toutefois, certains pics montrent une autre phase qui pourrait être, sans certitude, de la pyrolusite.

### ■ Marcasite

A Moët-Fontaine, la marcasite a été identifiée par diffraction des rayons X et forme de petits "polyramboïdes", associés à la chalcopryrite et à la pyrite (Hatert, 1996). Dans une petite halde de la concession de Bierleux, des joints dans le phyllade renferment sur l'albite des globules millimétriques de marcasite, montrant des cristaux maclés associés à la pyrite. L'identification est confirmée par une analyse chimique à la microsonde électronique, qui indique toutefois des teneurs en cuivre atteignant 13,15 % en poids.

### ■ Muscovite

La muscovite forme de minces lits phylladeux, qui soulignent la stratification du minerai de manganèse de la Lienne (Berger, 1965).



*Kutnohorite sur quartz - 2,1 x 1,4 cm  
Les Minières, La Lienne, Stavelot, Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*

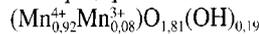


*Piémonite et quartz - 1,6 x 1,1 mm  
Les Minières, La Lienne, Stavelot, Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*

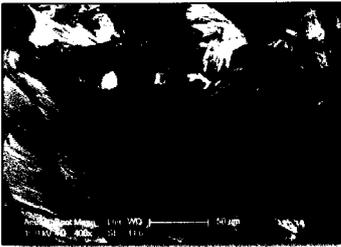
## ■ Nsutite

La nsutite se présente en masses noires dans des cavités de quartz ou en veinules dans les phyllades. Sa surface altérée possède un éclat terreux, et elle constituerait un terme intermédiaire de la série d'oxydation transformant la rhodochrosite en pyrolusite (Gustine, 2002). La nsutite a été observée dans la concession de Meuville et dans celle de Moët-Fontaine, sur des sections polies où elle forme des agrégats sphérolitiques constitués de fines fibres. Ces agrégats ont un diamètre d'une centaine de micromètres. Le minéral forme également une texture squelettique, au sein de laquelle il est partiellement transformé en pyrolusite. La nsutite se présente alors en lamelles entourées par des aiguilles de pyrolusite secondaire (Gustine, 2002).

L'identification est confirmée par une analyse chimique à la microsonde électronique, qui conduit à la formule suivante :



## ■ Piémontite



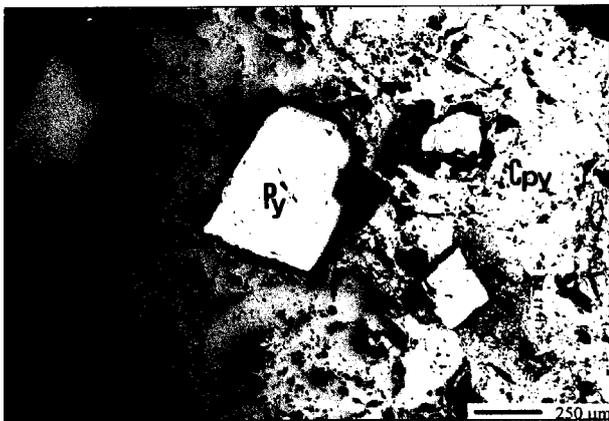
Piromorphite. Cristaux en gerbes, posés sur des cristaux d'arsénite (à gauche) Les Minières - Cliché MEB : F. Hatert

La piromorphite appartient au groupe des épidotes. Hatert (2002) précise que ce minéral aurait été observé par Schreyer *et al.* (1986), en association avec spessartine et kutnohorite. Sur les haldes de la concession de Meuville aux Minières, la piromorphite a été reconnue en fins agrégats fibreux formés

de cristaux en éventail, déposés sur la chlorite. Ces cristaux sont étroitement associés à l'arsénite-(V). L'identification du minéral est confirmée par un spectre EDS qui met en évidence la présence des éléments majeurs Si, Al, Ca, Mn et Ce.

## ■ Pyrite

La pyrite est observée à Moët-Fontaine, en petits cristaux cubiques inclus dans la chalcopryrite ou en inclusions grenues centimétriques avec chalcopryrite et pyromorphite. L'examen au microscope en lumière réfléchie montre que ces cubes sont également associés à la marcasite granulaire. A Bierleux, des petits cristaux de pyrite peuvent également être observés sur les cristaux d'albite, dans des fissures du minerai contenant également des cristaux de marcasite. Une analyse chimique à la microsonde électronique indique la composition  $\text{Fe}_{1,02}\text{S}_{1,98}$ , très proche de la formule idéale du minéral.



Cristaux de pyrite dans la chalcopryrite (cpy). Microscope polarisant en lumière réfléchie - Moët-Fontaine - Cliché : F. Hatert

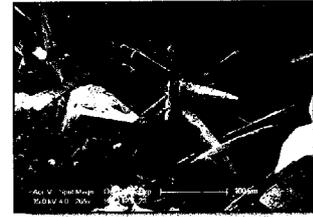
## ■ Pyrolusite

La pyrolusite se présente fréquemment en fines aiguilles ou en enduits à éclat métallique. Elle est parfois observée en aiguilles autour de lamelles de nsutite dont elle dérive (Gustine, 2002), ou se rencontre en association avec la carpholite

(Ledoux, 1911 ; Blaise, 1930) ou la manganite dont elle est le produit de déshydratation. Le plus souvent, la pyrolusite se forme par altération superficielle de la rhodochrosite (Berger, 1965). Gustine (2002) précise qu'elle constitue en fait le terme final d'une série d'oxydation de la rhodochrosite ; celle-ci s'oxydant successivement en manganite, puis en nsutite, et enfin en pyrolusite.

## ■ Pyromorphite

La pyromorphite a été découverte à Moët-Fontaine, dans les déblais de l'ancienne mine de manganèse, en association avec pyrite, chalcopryrite et malachite. Le minéral forme des cristaux blancs millimétriques constitués d'une pyramide hexagonale aiguë, parfois surmontée d'une base. Ces cristaux peuvent être isolés ou former des agrégats d'aiguilles dont la forme rappelle celle des oursins. L'identification a été confirmée par un spectre EDS qui indique la présence des éléments majeurs Pb, P et Cl. Le calcium est également présent mais en quantité faible. Il s'agit donc bien de pyromorphite et non de phosphohédyphane. Les images au microscope électronique à balayage mettent en évidence des figures de dissolution spectaculaires en forme de dents de scie.



Pyromorphite en cristaux corrodés, sur quartz - Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert



Pyromorphite. Gros plan sur les figures de dissolution observées sur les cristaux - Moët-Fontaine Cliché MEB : F. Hatert



Pyromorphite. Cristaux corrodés sur quartz - Moët-Fontaine Cliché MEB : F. Hatert



Pyromorphite. Gros plan sur les figures de dissolution observées sur les cristaux Moët-Fontaine Cliché MEB : F. Hatert



Pyromorphite. Gros plan sur une figure de dissolution d'un cristal montrant une structure en dents de scie - Moët-Fontaine Cliché MEB : F. Hatert

## ■ Pyrophyllite

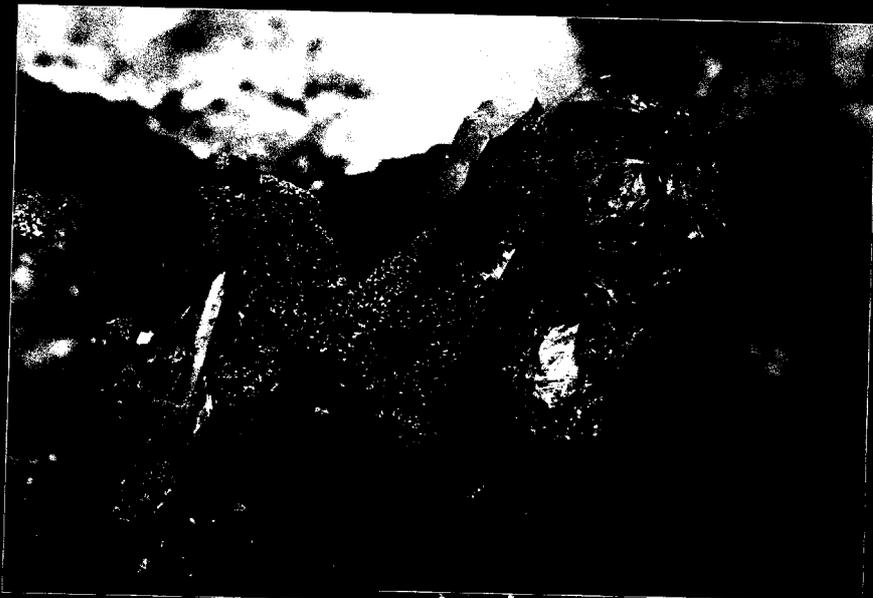
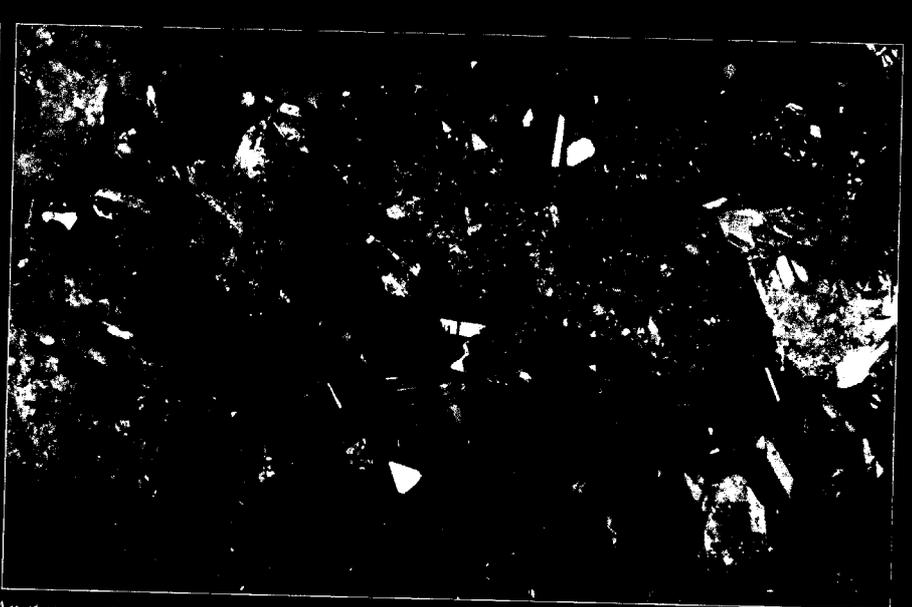
Elle forme de petites lamelles nacrées disposées en éventail, sur un échantillon de rhodochrosite provenant de Moët-Fontaine. L'identification du minéral a été confirmée par diffraction des rayons X.

## ■ Quartz

Le quartz est un minéral omniprésent dans la région puisqu'il constitue l'essentiel du remplissage des veines qui parcourent en tous sens les roches du Salmien. Dans la vallée de la Lienne, les cristaux incolores, généralement d'une taille inférieure à un centimètre, sont abondants et recouverts d'enduits noirs constitués d'oxydes de manganèse. Ils montrent parfois des zones "fantômes" colorées en rouge. A Bierleux, on peut aussi observer des imprégnations d'hématite dans le quartz, ce qui confère aux cristaux une couleur rouge éclatante.

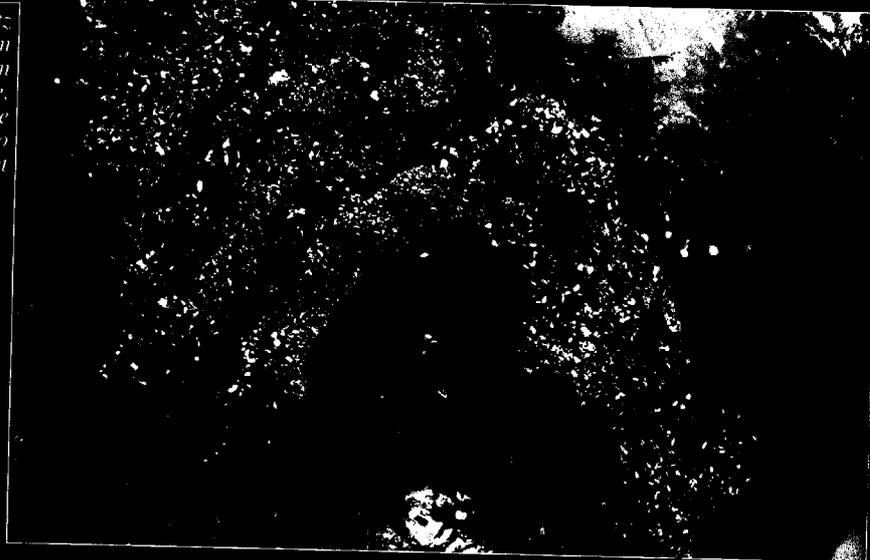


Anatases sur quartz  
Ci-contre : 4,1 x 2,7 mm  
Ci-dessus : 3,3 x 2,2 mm  
Les Minières, La Lienne,  
Stavelot, Liège, Belgique  
Coll. : S. Puccio  
Photos : P. Chollet

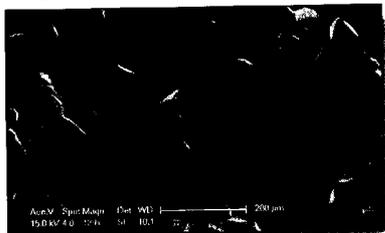


Pyrolusite et quartz  
Ci-dessus : 9,6 x 6,4 mm  
Ci-contre : 5,1 x 3,4 mm  
Les Minières, La Lienne,  
Stavelot, Liège, Belgique  
Coll. : S. Puccio  
Photo : P. Chollet

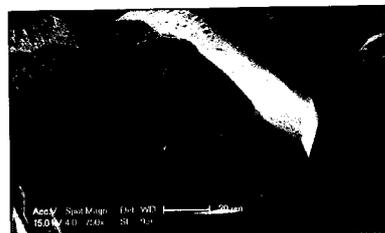
Stibnite  
9,9 x 6,6 mm  
Les Minières,  
La Lienne, Stavelot,  
Liège, Belgique  
Coll. : S. Puccio  
Photo : P. Chollet



## ■ Rhodochrosite



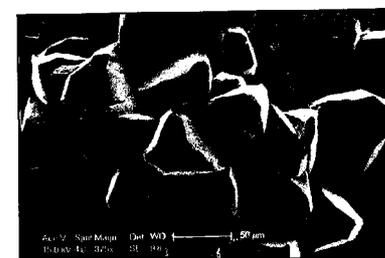
Rhodochrosite – Agrégat de cristaux  
Moët-Fontaine – Cliché MEB : F. Hatert



Rhodochrosite : cristal caractérisé par un rhomboédre aigu dominant (grandes faces à gauche et à droite) associé aux facettes d'un rhomboédre plus obtus (3 petites faces d'aspect triangulaire à l'avant-plan), d'un scalénoédre (2 faces bien visibles au centre du cristal) et d'une base (face hexagonale à l'avant-plan).  
Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert



Cristaux de rhodochrosite - Moët-Fontaine  
Clichés MEB : F. Hatert



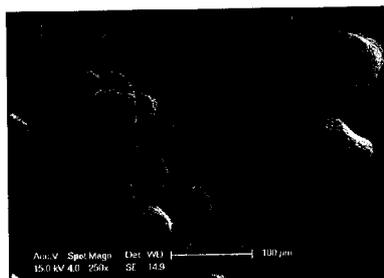
Cristaux de rhodochrosite - Moët-Fontaine  
Clichés MEB : F. Hatert

d'une base. Signalons également la présence de fragments d'échinodermes fossiles constitués de rhodochrosite dans des couches supérieures à celles exploitées (Lamens, 1986). Gustine (2002) propose une séquence d'oxydation de la rhodochrosite :

*rhodochrosite → manganite → nsutite → pyrolusite*

## ■ Sidérite

Des analyses par diffraction des rayons X, réalisées sur le minerai de manganèse de la Lienne, ont mis en évidence la sidérite en faibles quantités (Berger, 1965). Des petits rhomboédres globulaires bruns souvent groupés en



Sidérite en cristaux globuleux, montrant des faces triangulaires, associés à de minuscules cristaux d'adulaire sur chlorite  
Moët-Fontaine - Cliché MEB : F. Hatert

agrégats récoltés sur les haldes de la mine de Moët-Fontaine ont fourni un diffractogramme correspondant à celui de la sidérite. Le spectre EDS de ces globules avait pourtant, dans un premier temps, suggéré une rhodochrosite avec des quantités significatives en fer. Cela s'explique vraisemblablement par la présence d'une mince couche d'oxydes de manganèse sur ces globules.

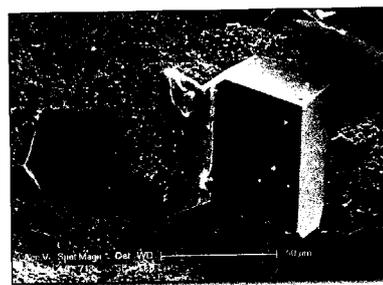
## ■ Soufre natif

Le soufre natif a été reconnu à Moët-Fontaine, en petits cristaux déformés sur des veinules de chalcopryrite parcourant le minerai de manganèse. L'identification du minéral est confirmée par des tests micro-chimiques.

## ■ Spessartine

La spessartine, minéral manganésifère du groupe des grenats, est très fréquente dans le Salmien du Massif de Stavelot.

Il s'agit d'un minéral typique du métamorphisme qui a affecté les roches de cette région. La spessartine est également le constituant essentiel du coticule, cette pierre à aiguiser naturelle extraite depuis des siècles dans la région.

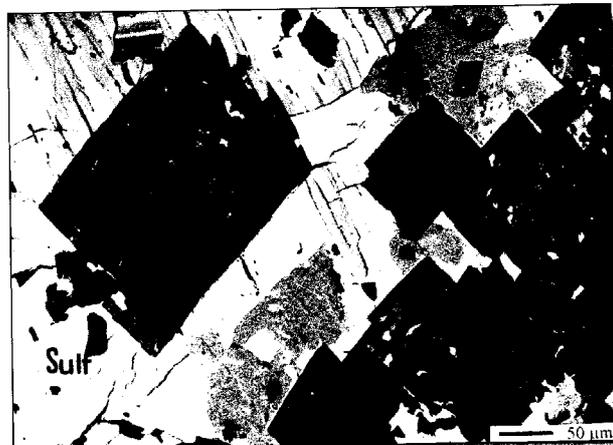


Spessartine en rhombododécaèdres  
Moët-Fontaine  
Cliché MEB : F. Hatert

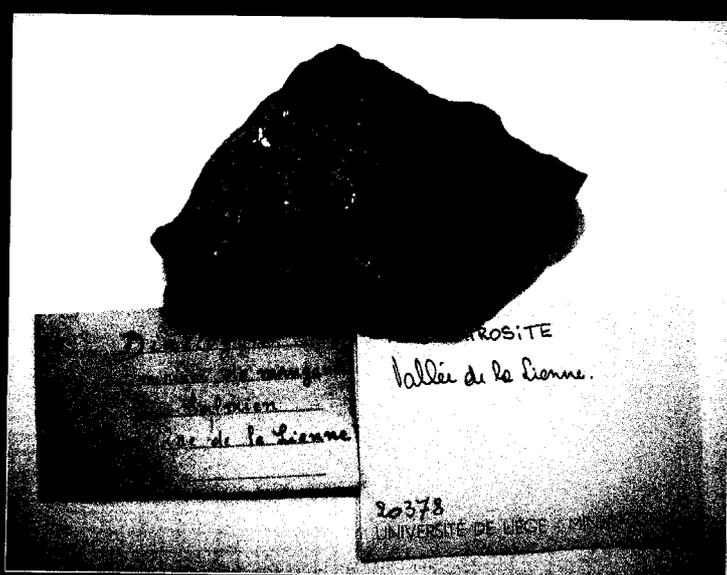
C'est d'ailleurs à la finesse de ses cristaux de spessartine (taille inférieure à 10 micromètres) que le coticule doit ses caractéristiques abrasives. Dans la vallée de la Lienne, la spessartine est un constituant microscopique du coticule observé par Baijot (2007) aux Minières et à Bierleux. Sa composition est très proche du terme manganésifère pur (Theye *et al.*, 1996 ; Baijot, 2007). Dans certaines veines de quartz de la région, la spessartine s'individualise également en cristaux orange dont la taille atteint 100 µm, associés à la rhodochrosite et à la chlorite. Ces cristaux sont caractérisés par la morphologie du rhombododécaèdre {110}.

## ■ Spionkopite-yarrowite

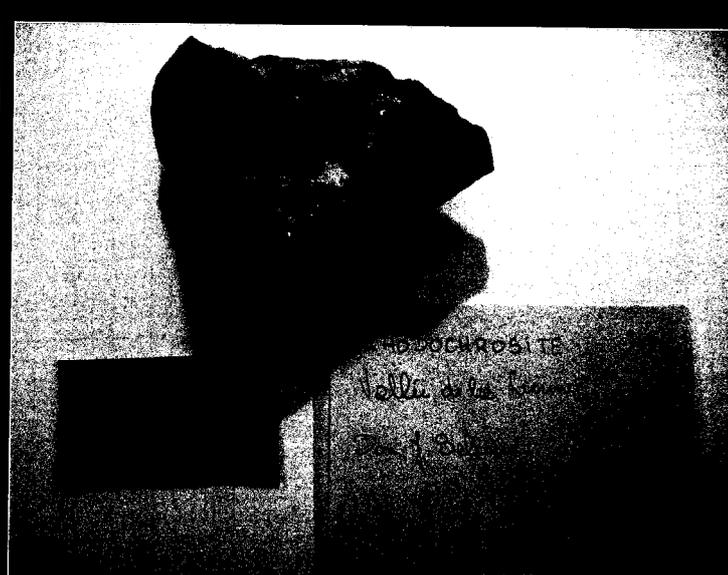
La covellite, parfois aussi appelée "covelline", est un sulfure secondaire de composition CuS, se développant le plus souvent dans la bornite et la chalcopryrite auxquelles elle est généralement associée. Hatert (1996) distingue deux types de covellite dans le Massif de Stavelot : la covellite normale,



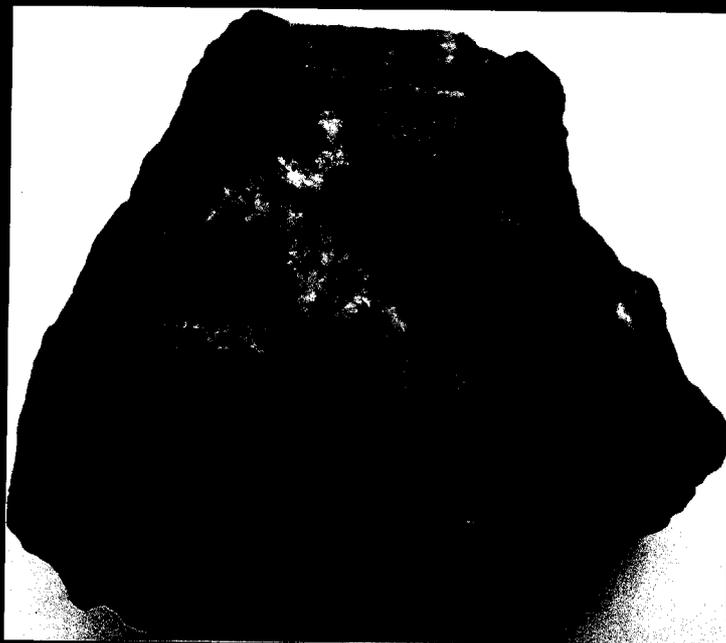
Yarrowite (parties bleues montrant des fentes de retrait dans la partie supérieure de la photo au-dessus et à droite d'un gros cristal de rhodochrosite Carb) ; les parties bleu pâle (Sulf) sont constituées de digénite et les parties roses de bornite.  
Microscope polarisant en lumière réfléchie  
Moët-Fontaine – Cliché : F. Hatert



Rhodochrosite massive rose et minéral de manganèse - 10 x 7 cm  
Mines de manganèse de la Liègne - Coll. : Laboratoire de Minéralogie de  
l'Université de Liège (échantillon récolté en 1904) - Photo : M. Blondieau



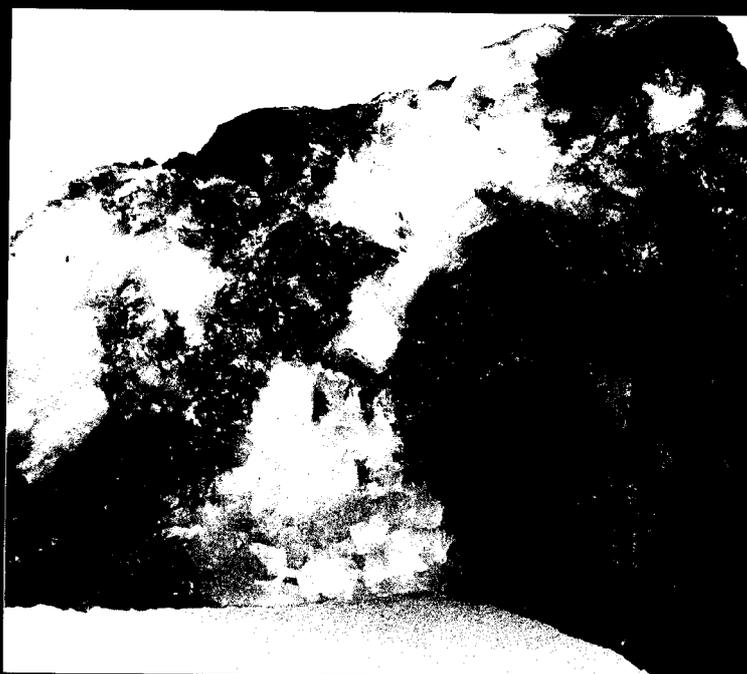
Rhodochrosite massive rose et quartz. Il n'y a pas de calcite  
contrairement à ce qu'indique l'ancienne étiquette - 9 x 8 cm  
Mines de manganèse de la Liègne - Coll. : Laboratoire de Minéralogie de  
l'Université de Liège - Photo : M. Blondieau



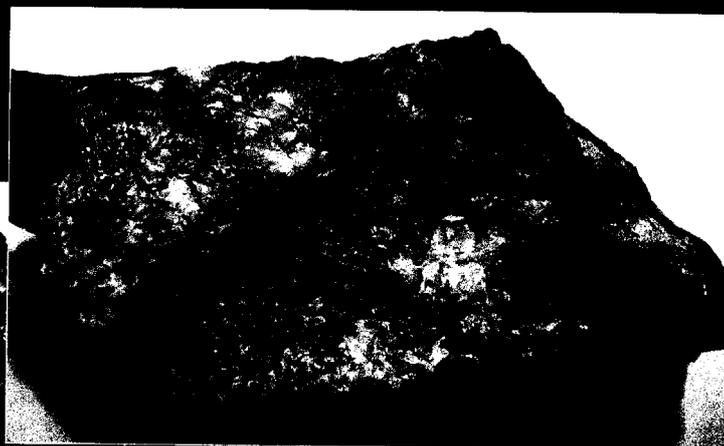
Rhodochrosite rose associée au minéral de manganèse - 4 x 3 cm  
Moët-Fontaine - Coll. et photo : M. Blondieau



Rhodochrosite massive rose et quartz - 13 x 6 cm  
Mines de manganèse de la Liègne - Coll. : Laboratoire de Minéralogie  
de l'Université de Liège - Photo : M. Blondieau



Rhodochrosite massive rose, quartz  
et spessartine jaune - 15 x 8 cm  
Mines de manganèse de la Liègne  
Coll. : Laboratoire de Minéralogie  
de l'Université de Liège  
Photo : M. Blondieau



Rhodochrosite en voie d'oxydation  
et oxydes de manganèse noirs  
4 x 2 cm  
Moët-Fontaine  
Coll. et photo : M. Blondieau

d'aspect granulaire et pulvérulente sous le microscope en lumière réfléchie, et la covellite bleue ("blaubleibender covellite"), beaucoup plus riche en cuivre et présentant un faciès lamellaire. Dans une étude ultérieure, Hatert (2005) signale que cette "blaubleibender covellite" est en fait constituée du mélange intime des deux espèces : la yarrowite et la spionkopite. Dans la vallée de la Lienne inférieure, et plus particulièrement à Moët-Fontaine, la covellite bleue est observée avec l'idaïte, en structures coronitiques (en couronne autour d'un îlot de sulfure primaire) autour de la chalcopyrite. Ceci indique une transformation de la chalcopyrite en idaïte puis en covellite bleue (Hatert, 1996). Des lamelles de covellite bleue sont également observées en remplacement de la digénite, dans la même localité. Les analyses chimiques à la microsonde électronique mettent en évidence un rapport Cu/S = 1,17, plus proche de celui de la yarrowite (Cu/S = 1,13) que de celui de la spionkopite (Cu/S = 1,39).

### ■ Sudoïte

La sudoïte est une chlorite alumineuse caractéristique d'un degré de métamorphisme faible. Elle constitue un minéral secondaire dérivant d'une réaction chimique entre l'andalousite et le clinocllore (Kramm, 1980). A Bierleux, la sudoïte est observée en lames minces, en association avec la muscovite, la carpholite et l'ardennite (Pasero *et al.*, 1994). Le minéral est un constituant fréquent des schistes rouges à spessartine de la vallée de la Lienne, ainsi que des ségrégations contenant la carpholite (Theye *et al.*, 1996).

### ■ Sursassite

Aux Minières, la sursassite a été observée dans des blocs de quartz épars au fond d'une ravine, à une centaine de mètres à l'est des haldes de l'ancienne mine de manganèse de Moët-Fontaine. Une veine de quartz contenant ce minéral, atteignant 2 m de longueur et 20 cm de puissance, a également été observée en place, au-dessus de cette ravine. Le minéral est fibreux, de couleur brun à rouge brun, et présente parfois de beaux cristaux aciculaires dans les cavités du quartz. Il est fréquemment associé aux oxydes de manganèse. L'analyse chimique fournie par Hatert *et al.* (2008) conduit à la composition suivante :



Composition qui est d'ailleurs confirmée par un affinement de la structure cristalline du minéral.



Sursassite dans le quartz - 6 x 4 cm - Les Minières  
Coll. et photo : M. Blondieau

### ■ Tennantite

La tennantite a été observée sur plusieurs échantillons de Moët-Fontaine, où elle forme des plages grises millimétriques déposées sur la chlorite, et associées au quartz et à la pyrite. L'identification du minéral a été confirmée par diffraction des rayons X.

### ■ Todorokite

La todorokite a été observée en petits agrégats déposés sur les cristaux de calcite de Moët-Fontaine. Au microscope électronique à balayage, ces agrégats montrent un enchevêtrement de lamelles contournées. L'identification du minéral repose sur son diffractogramme de poudres de rayons X, ainsi que sur un spectre EDS qui met en évidence la présence de manganèse (Mn) et calcium (Ca) comme éléments majeurs.

## GENÈSE DES MINÉRALISATIONS

La bordure Sud du Massif de Stavelot, dont fait partie la vallée de la Lienne, est caractérisée par des roches particulièrement enrichies en fer et en manganèse. Cet enrichissement est probablement lié à des exhalations hydrothermales sous-marines, genres de "fumeurs noirs" qui auraient été la source des éléments chimiques rares présents dans les roches de la région (Krosse et Schreyer, 1993). Lorsque ces roches ont été soumises au métamorphisme varisque, elles ont subi des températures de l'ordre de 300°C et des pressions de 1 à 2 kbar (Theye *et al.*, 1996), induisant ainsi la cristallisation des minéraux métamorphiques. Parmi ces minéraux, citons la spessartine, constituant important du coticule, ainsi que les chlorites et les chloritoïdes. Dans la vallée de la Lienne, la carpholite est également apparue, ainsi que la sursassite, l'ardennite-(V) et la piémontite. Ces silicates de manganèse rares sont semblables à ceux connus dans d'autres gisements, notamment dans le Val d'Aoste, Italie.

Les minéraux sédimentaires, porteurs à l'origine des teneurs élevées en manganèse, étaient la rhodochrosite et le cryptomélane. Au cours de l'évolution du gisement, ils furent affectés par des transformations traduisant une oxydation croissante. Ainsi, Gustine (2002) propose une séquence d'oxydation de la rhodochrosite en manganite, nsutite et enfin pyrolusite. La rhodochrosite des veines de quartz provient certainement d'une recristallisation de celle présente dans le minerai, au cours de la phase métamorphique rétrograde.

Au cours de la diminution des températures métamorphiques, d'autres minéraux se sont également formés, comme par exemple les sulfures de cuivre qui ont cristallisé entre les rhomboèdres automorphes de rhodochrosite. Ces sulfures furent également affectés par diverses transformations. Ainsi, bornite et chalcocite ont progressivement évolué vers la digénite puis la covellite bleue, et la chalcopyrite a fourni l'idaïte. Plus tard, lorsque ces minéraux ont subi l'altération météorique, ils ont formé de nombreux minéraux secondaires, comme par exemple la connellite, le gypse, l'azurite, la malachite, la brochantite et la langite. La galène primaire a fourni le plomb nécessaire à la cristallisation des minéraux secondaires : pyromorphite, cérusite et anglésite.

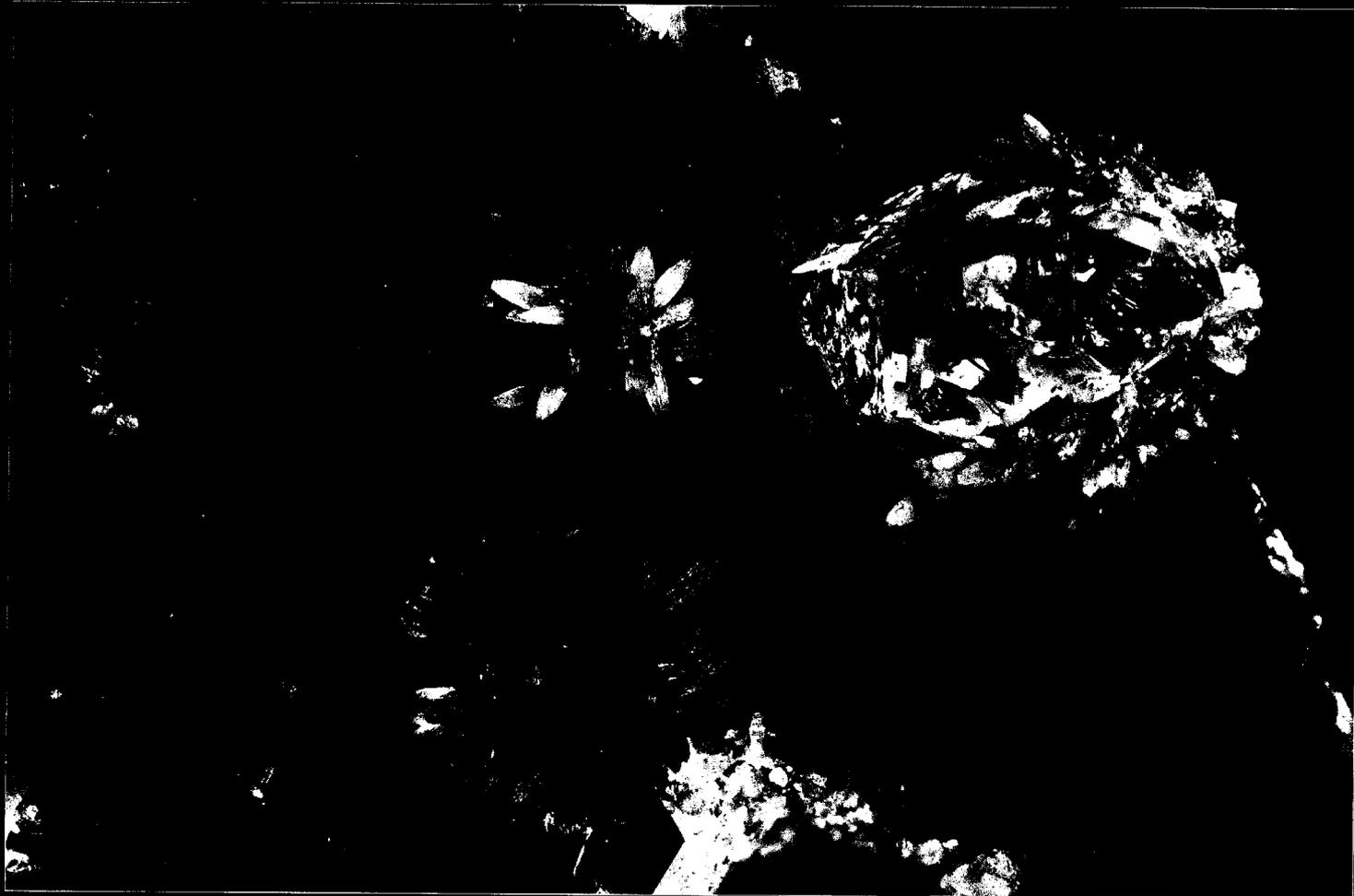
La complexité des minéralisations de la vallée de la Lienne est donc liée non seulement à la géochimie exceptionnelle des sédiments du Salmien moyen, mais également à la diversité des processus géologiques qui ont affecté les roches de cette région.

## CONCLUSION

Au total, on recense aujourd'hui un peu plus de 50 espèces minérales dans la vallée de la Lienne, ce qui en fait finalement un des sites les mieux minéralisés de Belgique. Cette richesse est liée d'une part au contexte géochimique particulier des roches salmiennes du Massif de Stavelot, particulièrement enrichies en nombreux éléments chimiques comme Mn, Fe, Cu, As, Ba, V, Pb et les terres rares, notamment (Hatert, 2005).



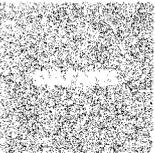
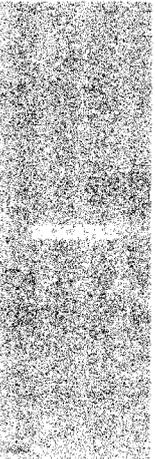
*Rhodochrosite - 4,2 x 2,8 mm*  
*Moët-Fontaine, La Lienne, Stavelot, Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*



*Rhodochrosite sur quartz - 9,6 x 6,4 mm*  
*Moët-Fontaine, La Lienne, Stavelot, Liège, Belgique - Coll. : S. Puccio - Photo : P. Chollet*

D'autre part, le métamorphisme de faible degré a permis la formation d'espèces rares, donnant ainsi à ces gisements un grand intérêt scientifique.

Le tableau suivant reprend la liste des espèces recensées dans la région, ainsi que leur origine.

Classe	Espèce minérale	Minéraux sédimentaires	Minéraux métamorphiques	Minéraux secondaires
	Bornite	+		
	Chalcopryrite	+		
	Chalcocite	+		
	Cuivre natif			+
	Digénite			+
	Galène	+		
	Idaïte			+
	Marcasite	+		+
	Pyrite	+		
	Spionkopite			+
	Soufre natif			+
	Tennantite	+		
	Yarrowite			+
<b>HALOGÉNURES</b>	Connellite			+
	Anatase		+	+
	Cryptomélane	+		
	Cuprite			+
	Goethite			+
	Groutite			+
	Hématite	+		
	Lithiophorite	+		
	Manganite			+
	Nsutite			+
	Pyrolusite			+
	Todorokite			+
<b>CARBONATES</b>	Aragonite			+
	Azurite			+
	Calcite			+
	Cérusite			+
	Kutnohorite	+		
	Malachite			+
	Rhodochrosite	+		
	Sidérite	+		
	Anglésite			+
	Barite	+		
Brochantite			+	
	Gypse			+
	Langite			+
	Clinoclase (?)			+
<b>PHOSPHATES ET ARSÉNIATES</b>	Fluorapatite	+		
Pyromorphite			+	
	Adulaire		+	
	Albite		+	
	Ardennite-(V)		+	
	Carpholite		+	
	Chamosite		+	
	Chloritoïde		+	
	Clinoclase		+	
	Muscovite		+	
	Pennantite		+	
	Piémontite		+	
	Pyrophyllite		+	
	Quartz	+	+	
	Spessartine		+	
	Sudoïte		+	
Sursassite		+		

## BIBLIOGRAPHIE

- BAIJOT, M. (2007)** - Etude minéralogique et géochimique des pseudocoticules de la vallée de la Salm et des coticules de la vallée de la Lienne. Mémoire de Licence, Université de Liège, 72 p.
- BERGER, P. (1965)** - Les dépôts sédimentaires de manganèse de la Lienne inférieure. Annales de la Société géologique de Belgique, 88, pp. 245-252.
- BLAISE, F. (1930)** - Deux gîtes de carpholite en place dans le Salmien supérieur de la Lienne. Annales de la Société géologique de Belgique, 54, B135-B137.
- BLONDIEAU, M. (2005)** - Les gisements minéraux du Salmien dans le massif de Stavelot. Edition M. Blondieau, 90 p.
- BLONDIEAU, M. (2006)** - Description des espèces minérales présentes dans les gisements salmiens du Massif de Stavelot - Edition M. Blondieau, 148 p.
- CALEMBERT, L. et MACAR, P. (1947)** - Les minerais de manganèse de Belgique. Chapitre III du Centenaire de l'A.I.L.G. Congrès de 1947, pp. 104-110.
- CAUBERGS, M. (1991)** - Inventaire de quelques anciennes mines et carrières souterraines de wallonie Essai d'archéologie minière, édition d'auteur, 313 p.
- De KONINCK, L.L. (1879d)** - Sur la carpholite de Meuville (Rahier). Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 2<sup>e</sup> série, 47, pp. 564-567.
- De KONINCK, L.L. (1879a)** - La rhodochrosite de Moët-Fontaine. Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 2<sup>e</sup> série, 47, pp. 568-569.
- DUSSART, N. et DUSSART, J. (1991)** - Les mines de Chevron et Rahier, le manganèse de la basse vallée de la Lienne. Editions Dussart, 170 p.
- FRANSOLET, A.-M. (1972)** - Données nouvelles sur la carpholite de Meuville (vallée de la Lienne, Belgique). Bulletin de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, 95, pp. 84-97.
- GUSTINE, C. (2002)** - Les associations d'oxydes et d'hydroxydes de manganèse dans le Massif de Stavelot. Mémoire de licence, Université de Liège, 43 p.
- HATERT, F. (1996)** - Etude minéralogique préliminaire de quelques sulfures du Massif de Stavelot. Mémoire de licence, Université de Liège.
- HATERT, F. (2005)** - Transformation sequences of the copper sulfides from Vielsalm, Stavelot Massif, Belgium. Canadian Mineralogist, 43, pp. 623-635.
- HATERT, F., DELIENS, M., FRANSOLET, A.-M. et VAN DER MEERSCH, E. (2002)** - Les minéraux de Belgique, 2<sup>ème</sup> édition. 304 p.
- HATERT, F., FRANSOLET, A.-M., WOUTERS, J. et BERNHARDT, H.-J. (2008)** - The crystal structure of sursassite from the Lienne valley, Stavelot Massif, Belgium. European Journal of Mineralogy, 20, pp. 993-998.
- KRAMM, U. (1980)** - Sudoite in low-grade metamorphism manganese rich assemblage. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 138, 1-13.
- KROSSE, S. et SCHREYER, W. (1993)** - Comparative geochemistry of coticules (spessartine-quartzite) and their redschist country rocks in the Ordovician of the Ardennes Mountains, Belgium. Chemie des Erde, 53, pp. 1-20.
- LEDOUX, A. (1911)** - Sur la carpholite du Salmien de la vallée de la Lienne. Bulletin de la Société belge de Géologie, 38, B173-B176.
- LIBERT, J. (1905)** - Les gisements ferro-manganésifères de la Lienne. Annales de la Société géologique de Belgique, 32, B144-B154.
- MÉLON, J. (1954)** - La clinoclase de Moët-Fontaine. Annales de la Société géologique de Belgique, 77, B163-B164.
- MÉLON, J. BOURGUIGNON, P. et FRANSOLET, A.-M. (1976)** - Les Minéraux de Belgique. Editions G. Lelotte, Dison (Belgique), 283 p.
- PASERO, M., REINECKE, T. et FRANSOLET, A.-M. (1994)** - Crystal structure refinements and compositional control of Mn-Mg-Ca ardenites from the Belgian Ardennes, Greece, and the Western Alps. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, 166, pp. 137-167.
- SCHREYER, W., FRANSOLET, A.-M. et ABRAHAM, K. (1986)** - A miscibility gap in trioctahedral Mn-Mg-Fe chlorites : Evidence from the Lienne Valley manganese deposit, Ardennes, Belgium. Contributions to Mineralogy and Petrology, 94, pp. 333-342.
- THEYE, T. et FRANSOLET, A.-M. (1994)** - Virtually pure ottrelite from the region of Otré, Belgium. European Journal of Mineralogy, 6, pp. 547-555.
- THEYE, T., SCHREYER, W. et FRANSOLET, A.-M. (1996)** - Low-temperature, low-pressure metamorphism of Mn-rich rocks in the Lienne syncline, Venn-Stavelot Massif (Belgian Ardennes), and the role of carpholite. Journal of Petrology, 37, pp. 767-783.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Pascal Chollet pour les photos qu'il a réalisées et qui enrichissent cet article. Michel Blondieau remercie Nicole Dussart et Philippe Camus pour les autorisations d'utilisation des documents historiques ainsi que pour tous les échanges de courrier très constructifs. Enfin, un grand merci à toute l'équipe du *Règne Minéral* pour l'aide apportée.

