

# **Minéralogie de la Formation d'Ottré au Thier del Preu et au Thier du Mont à Grand-Sart (Lierneux, Belgique), et comparaison avec les autres gisements régionaux**

Michel BLONDIEAU<sup>1</sup>, Stéphane PUCCIO<sup>2</sup>, Frédéric HATERT<sup>3</sup>,  
Martin DEPRET<sup>3</sup> et Fabrice DAL BO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Val des Cloches 131, B-6927 Tellin, Belgique

<sup>2</sup> Rue des Fontaines 156, B-4041 Vottem, Belgique

<sup>3</sup> Université de Liège, Laboratoire de Minéralogie B18, B-4000 Liège, Belgique

Manuscrit reçu le 17 juillet 2023 et accepté le 11 septembre 2023

Article publié selon les termes et les conditions de la licence Creative Commons CC-BY 4.0

## **Résumé**

Les deux collines du *Thier del Preu* et du *Thier du Mont*, situées au nord du village de Grand-Sart (Lierneux), abritent un gisement de coticule dont la minéralogie est peu connue. Un échantillonnage exhaustif durant plus d'une vingtaine d'années a permis d'y recenser une quarantaine d'espèces minérales, dont certaines très rares comme l'éosphorite et la kolbeckite. La minéralogie de cette zone s'avère donc tout aussi intéressante que celle du premier gisement de coticule où se trouvent les localités minéralogiques bien connues de Bihain, Regné et Ottré. Cet article met également en évidence la complexité et la diversité minéralogique de chacun des trois membres de la Formation d'Ottré à Grand-Sart, et une comparaison est faite avec celle observée dans les autres localités proches où affleurent les mêmes formations géologiques.

**Mots clés** : coticule, Belgique, Sart, Thier del Preu, éosphorite, kolbeckite.

## **Abstract**

The *Thier del Preu* and *Thier du Mont* hills, located to the north of the village of Grand-Sart (Lierneux), host a coticule deposit which is still exploited today. The mineralogy of this area is not well documented, but during last decades, investigations carried out in the region have made it possible to identify more than 40 mineral species, including rare minerals such as eosphorite and kolbeckite. This paper also shows the complexity and the mineralogical variation of each of the three members of the Ottré Formation at Grand-Sart, and develops a comparison with the mineralogy observed in other typical localities of the region.

**Keywords**: coticule, Sart, Thier del Preu, eosphorite, kolbeckite.

## 1. Introduction

Le coticule est une roche beige à jaunâtre, formant des couches de quelques centimètres d'épaisseur dans des phyllades ordoviciens violets du Massif de Stavelot, Belgique. Cette roche très particulière fut exploitée comme pierre à aiguiser du fait de ses propriétés abrasives exceptionnelles, qui sont liées à sa composition minéralogique : un grain très fin et très résistant formé de cristaux de grenats d'une dizaine de microns de diamètre, enchâssés dans une matrice plus tendre constituée de divers micas blancs appelés *séricite*.

Cette roche n'a été exploitée avec certitude que depuis 1625, d'après un écrit de Christophe de Gernechamps qui signale sa commercialisation aux foires de Francfort et de Venise (Remacle, 1982). De toute manière, comme l'ajoute cet auteur : « *L'emploi de cette pierre ne se justifie que pour les fins tranchants et l'on sait que l'acier n'a fait son apparition dans les régions d'occident que dans le moyen-âge.* » Puisque le coticule était déjà bien connu au-delà de nos frontières au début du 17<sup>e</sup> siècle, il est probable que des exploitations existaient déjà au 16<sup>e</sup> siècle et peut-être même avant. Cette industrie extractive n'a cessé de se développer et est restée très florissante jusqu'au milieu du 20<sup>e</sup> siècle, pour périliter ensuite avec l'apparition des rasoirs électriques, des rasoirs jetables ainsi que de nouveaux abrasifs synthétiques. L'extraction artisanale des pierres était devenue de plus en plus compliquée, et toutes les fosses traditionnelles, trop peu mécanisées, ont progressivement été abandonnées.

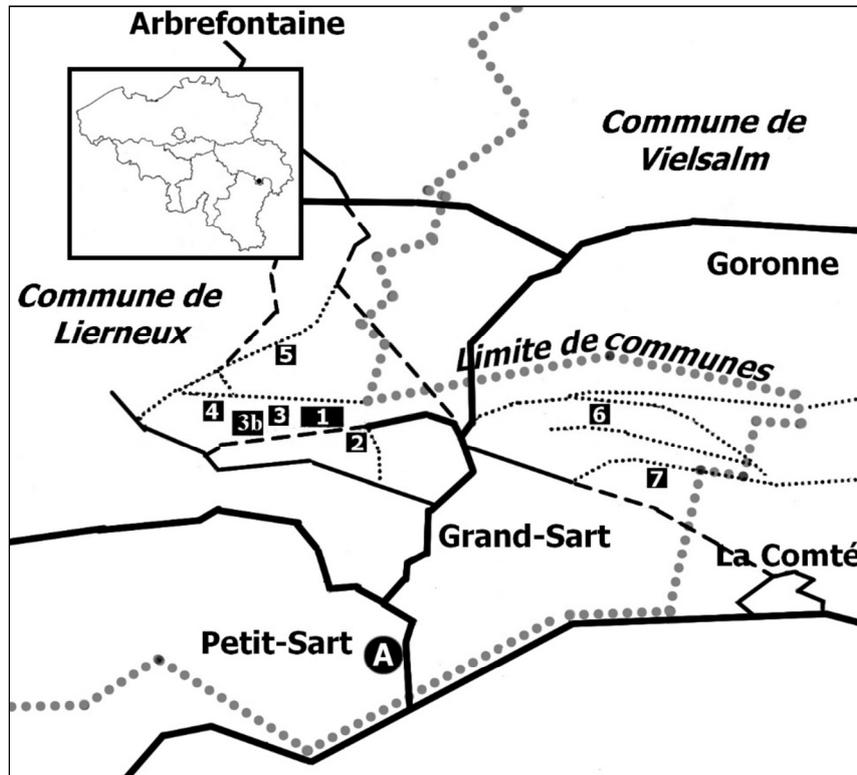
Vers la fin des années 1980, cinq géologues et ingénieurs passionnés reprirent l'activité pour une petite production artisanale. L'un d'eux, Maurice Célis, a cru au potentiel unique de cette pierre qui surpasse encore aujourd'hui toutes les autres pierres naturelles ou artificielles. Il a alors fondé, en 1998, la société *Ardennes-Coticule* qui, avec des moyens modernes, a repris l'extraction en carrière dans la colline du Thier del Preu à Grand-Sart. Ce village de la commune de Lierneux se trouve dans la partie ouest de ce qui est considéré par les géologues comme le *deuxième gisement de coticule*, qui s'étend vers l'est jusqu'à Salmchâteau (Anten, 1923; Lessuisse, 1980). La minéralogie de cette région est moins connue que celle du *premier gisement de coticule* situé plus au sud, aux Thiers de Regné et de Bihain.

Deux collines d'une altitude de plus de 520 m et d'orientation est-ouest se trouvent au nord du village de Grand-Sart : il s'agit respectivement du *Thier del Preu* [TDP] à l'ouest et du *Thier du Mont* [TDM] à l'est. De très nombreux travaux carriers pour le coticule, mais également miniers pour le manganèse, y ont été réalisés anciennement. Tous ces vieux sites sont aujourd'hui très souvent envahis par une végétation dense, et ce n'est généralement qu'à la faveur de travaux forestiers ou carriers qu'il nous a été possible de collecter des échantillons à ces endroits. La majorité des observations minéralogiques ont cependant été réalisées dans les chantiers ouverts par la société *Ardennes-Coticule* au versant sud du Thier del Preu.

Cet article présente la description minéralogique des échantillons récoltés ces vingt dernières années autour du village de Grand-Sart. Avec une quarantaine d'espèces recensées, ce gisement montre une diversité comparable à celles d'autres localités du Massif de Stavelot, comme par exemple Bihain, Otré, Regné et Vielsalm-Salmchâteau (Blondieau *et al.*, 2017). Une comparaison de ces différents gisements sera fournie en fin d'article.

## 2. Échantillonnage

Les principaux sites d'échantillonnages, explorés au cours de cette étude et numérotés de 1 à 7, sont décrits ci-dessous et localisés sur la Figure 1.



**Figure 1 :** Localisation du village de Grand-Sart et des principaux sites qui ont été échantillonnés dans les carrières du Thier del Preu (sites n°1 à 5) et du Thier du Mont (sites n°6 et 7). 1. Carrière en exploitation, 2. Fosse au sud du chemin menant à la carrière, 3. Tranchées tracées à l'ouest de la carrière, 3b. Excavation pour empiérement du chemin, 4. Zone à coticule affectée par des roches volcaniques, 5. Anciennes exploitations de manganèse de la concession d'Arbrefontaine, 6. Zone à turquoise, 7. Zone à gahnite et pyrophyllite. A : Atelier de la Société *Ardennes-Coticule* qui exploite la carrière au Thier del Preu. Longueur de la carte = 4 km, le Nord est situé vers le haut de la figure.

### 2.1. Site n°1 - Carrière en activité au versant sud du Thier del Preu

Cette carrière (Figure 1, n°1) est exploitée par la société *Ardennes-Coticule* qui reprend, avec des moyens modernes, le gisement de coticule anciennement travaillé sur de nombreuses petites parcelles par puits et galeries. Les travaux actuels récupèrent les bonnes parties du gisement délaissées par les anciens, notamment parce qu'elles se trouvaient aux limites de parcelles ou bien parce qu'elles nécessitaient trop de travail. Les couches de coticule sont concordantes avec la stratification et s'y présentent, dans cette carrière, avec un pendage important (Figure 2). Le coticule extrait est manufacturé à l'atelier qui est situé au village de Petit-Sart à très peu de distance de la carrière.

La carrière au sud du Thier del Preu recoupe encore très fréquemment des galeries tracées par les anciens. Ce sont d'une part des galeries en travers-banc en direction des couches de coticule à exploiter, et qui partaient du fond de puits profonds de plusieurs dizaines de mètres parfois. Sur la figure 3, on observe l'orifice d'une galerie en travers-banc recoupée par les travaux carriers qui ont mis au jour la paroi avec du coticule jaunâtre anciennement exploité. On y remarque également de nombreux trous où étaient logés des rondins de soutènement.

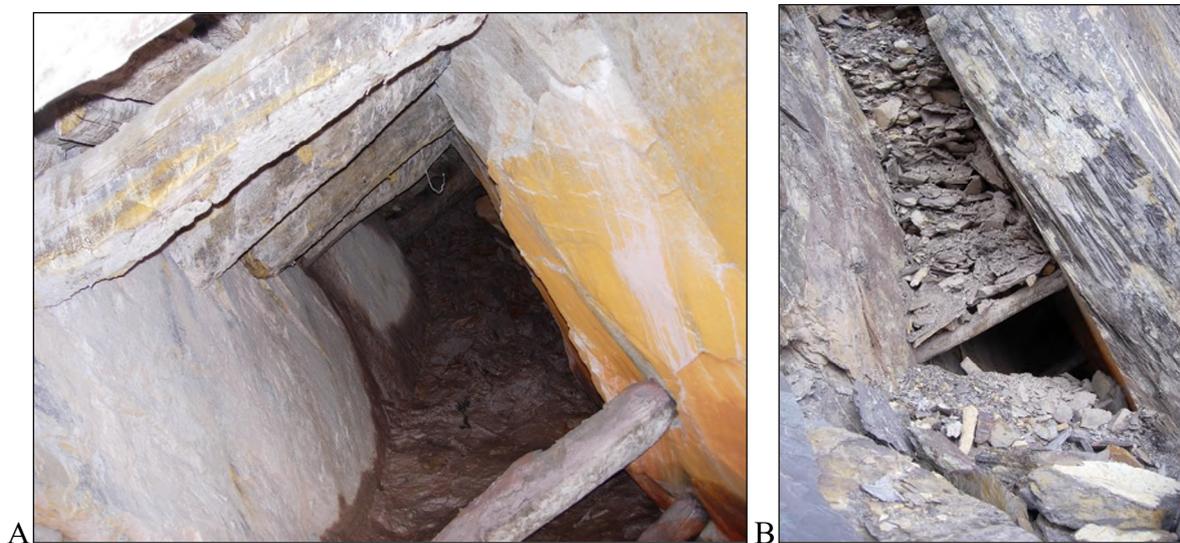
D'autre part, parallèlement aux couches de coticule et aux couches de phyllades, on peut observer des galeries d'exploitation (Figure 4A). Pour éviter de remonter les déchets de phyllades, ces derniers étaient soigneusement entreposés dans les vides créés par l'exploitation et soutenus par des rondins de bois. Ce mode d'exploitation était très dangereux (Figure 4B).



**Figure 2** : Couches de coticule (jaune beige) concordantes avec les couches de phyllades violets. Carrière du Thier del Preu à Grand-Sart, photo M. Blondieau, 2015.



**Figure 3 :** Ancienne galerie travers-banc, observée dans la carrière du Thier del Preu de Grand-Sart. Photo M. Blondieau, 2010.



**Figure 4 :** Ancienne galerie d'exploitation recoupée par la carrière du Thier del Preu de Grand-Sart. A. Galerie avec boisage. B. Déchets entreposés au-dessus de la zone qui était en exploitation. Photos M. Blondieau, juillet 2018.

À l'ouest de la carrière en activité, une parcelle boisée déjà exploitée par les anciens vient d'être remise en exploitation. Des couches de coticule extrêmement plissées y sont bien visibles (Figure 5). Dans la paroi située au nord, on peut parfois observer de belles plages de turquoise sur les diaclases de phyllades. Afin d'exploiter les couches de coticule de cette parcelle, le carrier a fait évacuer en 2021, sur une dizaine de mètres de hauteur, toutes les

couches stériles localisées plus au sud. Lors de ces travaux préparatoires, nous avons pu observer des phosphates (vantasselite, wavellite) et de grandes veines de rhodochrosite.



**Figure 5 :** Carrière du Thier del Preu, extension ouest. Coticule ondulé en place.  
Photo M. Blondieau, 2015.

## 2.2. Site n°2 - Fosse au sud-est de la carrière, versant sud du Thier del Preu

Une fosse de reconnaissance a été réalisée en 2017 au sud-est du chemin d'accès menant à la carrière (Figure 1, n°2 et Figure 6). On a pu y observer des phyllades imprégnés de lithiophorite, ainsi que des diaclases saupoudrées de différentes espèces de minéraux en globules blancs ou verts, appartenant au groupe de la turquoise. Des rosettes de wavellite y ont également été récoltées. Cette fosse a été rebouchée en 2020.



**Figure 6 :** Fosse au sud de la carrière du TDP à Sart. A l'arrière-plan de la photo, le Thier du Mont. Photo M. Blondieau, mai 2018.

### 2.3. Sites n°3 et n°3b - Travaux à l'ouest de la carrière sur le versant sud du TDP

En 2018, deux longues tranchées profondes de deux à trois mètres et quelques autres petites tranchées intermédiaires ont été creusées à l'ouest de la carrière en activité (Figure 1, n°3 et n°3b et Figure 7A). Tracées du Sud vers le Nord, elles avaient pour but de détecter la présence éventuelle de couches de coticule exploitables. Elles ont ensuite été rapidement rebouchées. La deuxième tranchée, la plus à l'ouest de la carrière (Figure 1, n°3b et Figure 7A), a montré une minéralogie très proche de celle observée au site n°2. Cela a été confirmé par les travaux de 2020, qui ont été réalisés à l'est de cette tranchée pour l'empierrement du chemin prévu pour dévier le charroi des camions afin qu'ils ne traversent plus le village (Figure 7B). Tout récemment (2022), le carrier a mis en exploitation la totalité de la partie sud du Thier del Preu. L'aspect de cette zone change donc très rapidement.



**Figure 7** : Travaux dans la partie ouest du Thier del Preu. A. Tranchée n°2 tracée en 2018. B. Excavation pour empierrement du chemin en 2020. Photos M. Blondieau.

### 2.4. Site n°4 - Occurrence de roches volcaniques, nord-ouest du Thier del Preu

Cette occurrence de roches volcaniques (Figure 1, n°4) associées au coticule, a été décrite par Lamens & Geukens (1984). A cet endroit, on peut encore observer d'anciens travaux pour le coticule qui n'y semble d'ailleurs pas de très bonne qualité. Ces auteurs ont creusé une tranchée qui leur a permis d'estimer l'épaisseur de cette coulée de lave à environ un mètre.

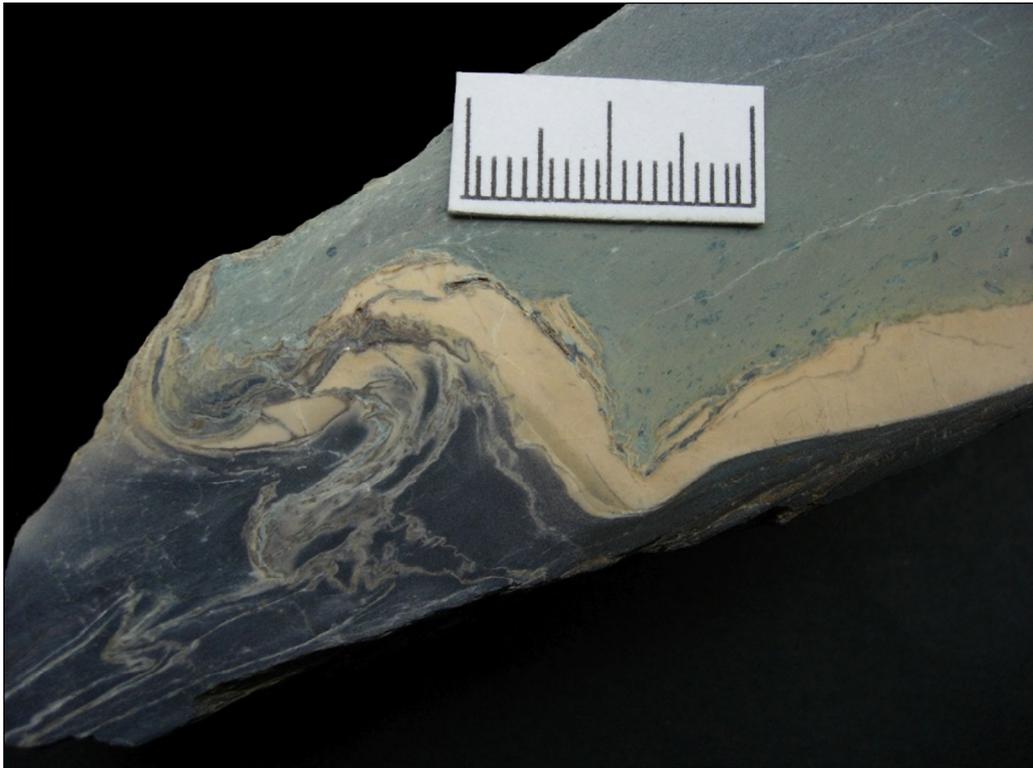
Les analyses qu'ils ont réalisées indiquent que cette roche est une rhyolite calco-alcaline, mais tous les cristaux de feldspath sont transformés en chlorite et en *séricite* (ancien terme désignant les micas blancs, muscovite et paragonite). On y observe aussi quelques rares phénocristaux de quartz très arrondis et des minéraux opaques dont l'hématite, ainsi que des veinules de turquoise associée à de la lithiophorite.

Cette roche, très altérée, est de teinte gris verdâtre et se caractérise parfois par la présence de nombreuses vacuoles (petites cavités circulaires millimétriques) dans lesquelles on rencontre du quartz cryptocristallin, des minéraux du groupe de la *chlorite*, et parfois aussi des globules de turquoise (Figure 8).

La lave s'est épanchée sur un sédiment non induré, qui s'est ensuite transformé en phyllade et en coticule par métamorphisme, ce qui a produit des remous parfois visibles sur de rares échantillons. L'échantillon de la figure 9 est remarquable dans la mesure où il montre la superposition de la roche volcanique sur le coticule, lui-même posé sur le phyllade violacé. La figure 10 montre un appendice de coticule intrudé dans la roche volcanique.



**Figure 8** : Roche volcanique gris-vert de Grand-Sart, avec nombreuses vacuoles. L = 5 cm, collection et photo M. Blondieau.



**Figure 9** : Roche volcanique posée sur une mince couche de coticule, elle-même déposée sur du phyllade violacé. Échantillon orienté en position de dépôt des couches, L = 8 cm. Collection et photo M. Blondieau.

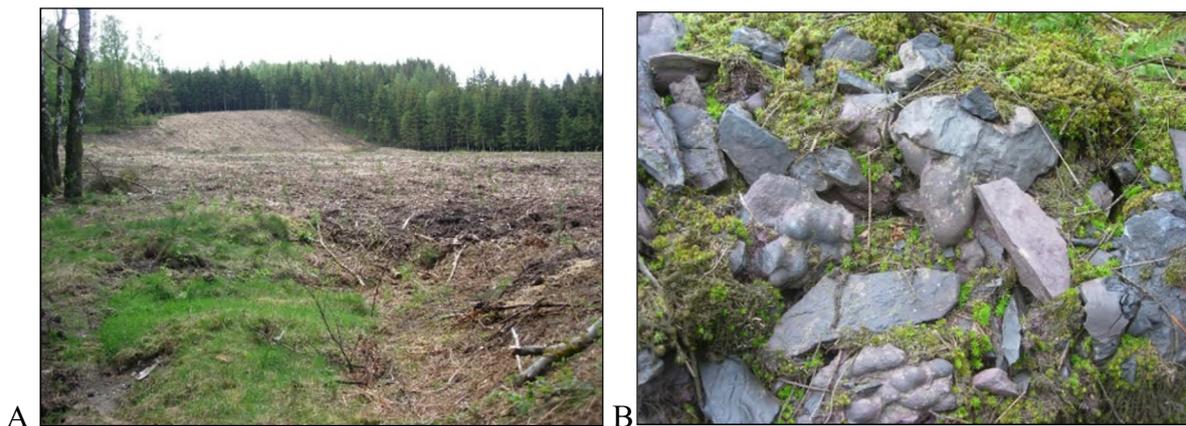


**Figure 10** : Appendice de coticule intrudé dans la roche volcanique, Grand-Sart. L = 6 cm, collection et photo M. Blondieau.

## 2.5. Site n°5 - Ancienne concession d'Arbrefontaine pour manganèse, au versant nord du TDP

Au 19<sup>e</sup> siècle, des travaux importants ont été effectués pour recherche du manganèse dans la concession d'Arbrefontaine, au nord de la colline du Thier del Preu (Figure 1, n°5). Ces travaux ont consisté en tranchées orientées nord-sud qui ont été suivies par de larges fosses orientées est-ouest, au niveau de la rupture de pente notamment (Figure 11A). Bien que plus ou moins comblés, ces travaux ont été bien visibles en 2018 suite à une mise à blanc de la sapinière. Autour des tranchées et des fosses, on a encore pu observer des petit tas d'un minerai assez particulier (Figures 11B) qui a été décrit par Dumont (1847) : "[...] *on exploite à environ ½ lieue au sud d'Arbrefontaine un filon couché de manganèse, dirigé de l'Ouest à l'Est. Le minerai y est en masses stratoïdes, aplaties, souvent couvertes de mamelons, et en rognons d'un noir mat, entremêlés de phyllade violet, fragmentaire et désagrégé [...]* Cette mine de manganèse parait être une des plus riches de la contrée."

Au 19<sup>e</sup> siècle, cet endroit était situé en province de Luxembourg sur la commune d'Arbrefontaine. Plus tard, il a été rattaché à la province de Liège et donc au village de Grand-Sart.



**Figure 11** : Ancienne mine de manganèse d'Arbrefontaine (site n°5, Figure 1). A. Le site où eurent lieu les principaux travaux se trouve au niveau de la rupture de pente (arrière-plan de la photo) dans une parcelle déboisée et déjà replantée (2018). B. Morceaux de minerai en rognons, abandonnés en petits tas près des fosses. Photos M. Blondieau.

## 2.6. Site n°6 - Travaux de recherche pour coticule au versant nord du Thier du Mont

Vers 2010 sur le versant nord du Thier du Mont, une petite galerie et d'anciens travaux carriers pour le coticule ont pu être observés lors d'un déboisement réalisé par des bûcherons (Figure 1, n°6 et Figure 12). La turquoise a pu y être récoltée en place avec de la goethite, dans des diaclases et sur du *pseudocoticule* rosé (roche riche en grenat mais inutilisable en tant que pierre abrasive, voir description ci-dessous). Les lieux sont aujourd'hui envahis par des ronces.



**Figure 12** : Travaux carriers au versant nord du Thier du Mont. A. Carrière. B. Affleurement avec turquoise. Photos Marie Meunier, avril 2014.

### 2.7. Site n°7 - Travaux de recherches pour coticule au versant sud du Thier du Mont

Sur le versant sud du TDM, on a pu, comme sur le versant nord, profiter de déboisements opérés par des bûcherons. Ceci nous a permis d'observer de nombreux anciens travaux dont des galeries à flanc de coteau, des puits ainsi que de nombreuses tranchées et travaux carriers (Figure 1, n°7 et Figure 13). Près de petites fosses, on a récolté de petits cristaux de gahnite bleue et des joints à pyrophyllite. Plus au nord, on a également observé des morceaux de pseudocoticule rosé.



**Figure 13** : Présence d'un cabestan rouillé près d'un ancien puits au versant sud du Thier du mont. Photo M. Blondieau, 2016.

### 3. Contexte géologique

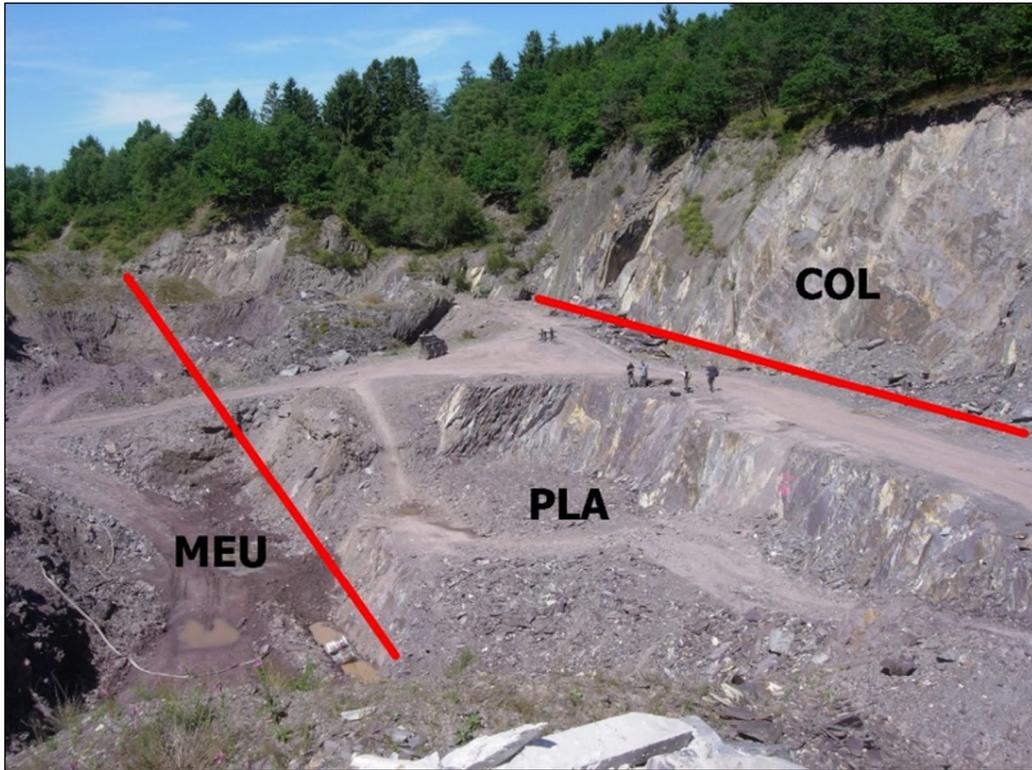
D'un point de vue géologique, Grand-Sart est situé dans la partie sud du Massif de Stavelot, le plus grand des quatre massifs cambro-ordoviciens ardennais abritant des roches du Paléozoïque inférieur. L'abondance de manganèse dans ces roches, conjugué au métamorphisme qui les a affectées (360-450°C et 100-300 MPa ; Fielitz & Mansy, 1999), ont permis la cristallisation de minéraux exotiques dont certains sont très rares. Les phases rétrogrades du métamorphisme ont également induit la formation d'autres espèces minérales.

Les roches présentes dans les collines du TDP et du TDM appartiennent principalement à la Formation d'Otré du Groupe de la Salm (Ordovicien). Trois membres la constituent : le Membre de *Meuville*, celui de *Les Plattes* et celui de *Colanhan* (Tableau 1). Par le passé, ces couches étaient attribuées à *l'étage salmien*, terminologie aujourd'hui désuète mais encore parfois utilisée.

**Tableau 1** : Formations et membres du Groupe de la Salm (Verniers *et al.*, 2001).

Âge	Système		Groupe	Formation	Membre	Anciennes unités
- 461 M.A	Ordovicien	Moyen	de la Salm = « <i>Salmien</i> » (Sm)	Bihain (BIH)	Salmchâteau	Sm3b
					Ruisseau d'Oneu	Sm3a
Otré (OTT)				Colanhan (COL)	Sm2c	
		Les Plattes (PLA)		Sm2b		
		Meuville (MEU)		Sm2a		
- 485 M.A		Inférieur			Jalhay (JAL)	Lierneux
	Spa		Sm1b			
	Solwaster		Sm1a			

Ces membres de la Formation d'Otré peuvent être observés dans la carrière en activité du TDP (Figure 14). Toutefois le Membre de *Colanhan* non exploité se trouve à quelques mètres à l'arrière du front de taille.



**Figure 14** : Carrière du Thier del Preu, vue vers l'ouest. Au sud, le Membre de *Meuville* (MEU) avec des roches fragiles de couleur rouge-violet. Au centre de l'image, le Membre de *Les Plattes* (PLA) avec les couches à coticule. Au nord, le Membre de *Colanhan* (COL) non exploité à Grand-Sart. Photo M. Blondieau, juillet 2017.

### 3.1. Le Membre de *Meuville* (MEU)

Ce membre est essentiellement formé de quartzophyllades rouges à violacés (Geukens, 1986 ; Verniers *et al.*, 2001). Dans la carrière de Grand-Sart, il est surtout constitué d'une roche silteuse rouge violacée très altérée et très peu cohérente, qui renferme localement des accumulations d'oxydes de manganèse (cryptomélane et lithiophorite principalement) mais aussi des veines de quartz injectées de ces mêmes espèces minérales (Figure 15). Dans la région, c'est dans ce membre que se trouvent d'ailleurs tous les anciens travaux pour manganèse, dont ceux réalisés au versant nord du TDP dans la concession minière d'Arbrefontaine. Ces minerais ont été formés *per descensum* sous climats chauds et humides durant l'ère tertiaire, et leur accumulation s'est principalement réalisée dans des zones faillées (Blondieau, 2019). Dans la carrière du Thier del Preu, les roches friables de ce membre sont récupérées pour la fabrication de briques colorées.

Dans la partie la plus à l'ouest de la carrière (site n°1), qui va être remise en exploitation prochainement, ces roches ont été arrachées par le carrier en 2021 afin d'accéder aux couches de coticule. Contrairement à la partie est de la carrière, cette partie est constituée de phyllades très cohérents. Nous y avons observé des phosphates (wavellite et vantasselite) et, non loin du contact avec les couches de coticule, des joints avec rhodochrosite. Dans le site n°3b, des bancs de roches rougeâtres attribués à ce membre et renfermant de nombreuses veines d'oxydes de manganèse noir montrent très localement une minéralogie particulièrement

intéressante avec éosphorite, vantasselite, wavellite et variscite. Les phyllades y sont parfois très plissotés (Figure 16).



**Figure 15 :** Aspect typique du quartz blanc bréchique, avec éléments anguleux cimentés par des oxydes de manganèse noirs. Ancienne mine de manganèse d'Arbrefontaine, collection et photo M. Blondieau.

Geukens (2008) indique également : « *La base de ce membre [de Meuville] est formée d'un banc schisto-gréseux vert clair à gros cristaux de chloritoïde manganésifère.* » Ces derniers ne sont pas observables dans la carrière mais des blocs volants ont été repérés au sud du site n°3b et à l'extrême nord du site n°5. Le sommet de ce membre se caractérise parfois aussi par la présence de kanonaïte et de braunite, deux espèces rares, toujours associées à un mica rose constitué de muscovite et parfois aussi de paragonite. Cette minéralogie est tout à fait similaire à celle du Coreux (Salmchâteau) et a été observée au nord du site n°5.

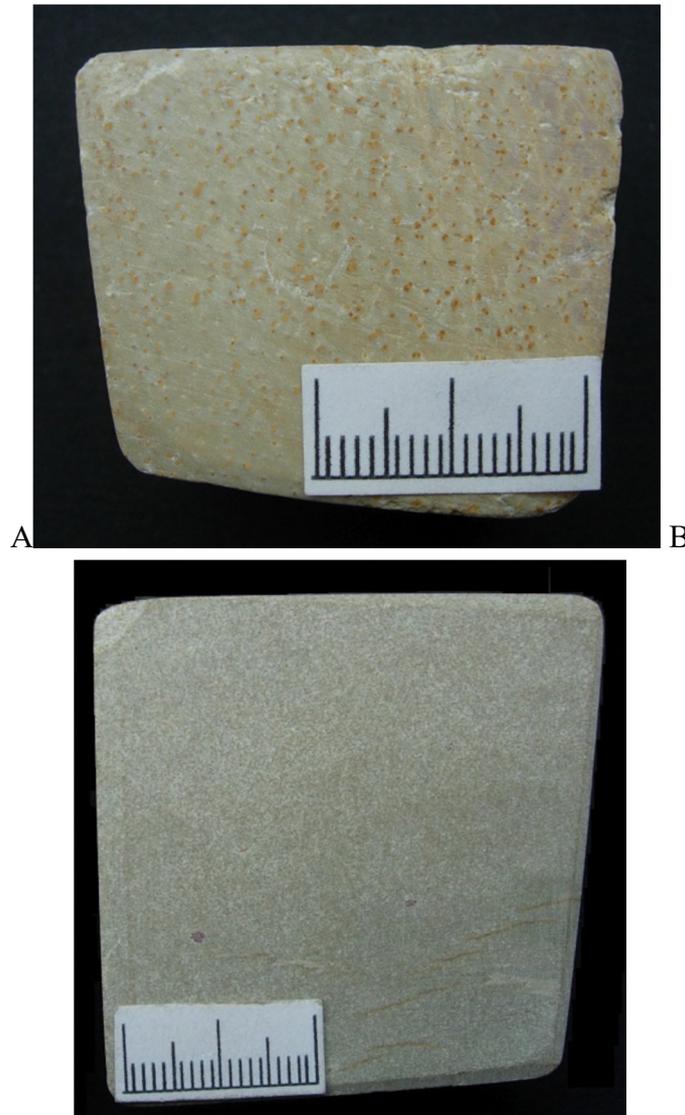


**Figure 16 :** (A) Phyllade plissé du Membre de Meuville, site 3b, Thier del Preu. L = 7cm. (B) Echantillon scié mettant en évidence la couleur violacée typique du phyllade de ce membre, ainsi que la présence de veinules d'oxyde de manganèse très plissotées (nsutite majoritaire). L = 5cm. Collection et photo M. Blondieau.

### 3.2. Le Membre de *Les Plattes* (PLA)

Ce membre est formé de phyllades violets contenant des couches de coticule. Il n'est pas rare que de petits cristaux d'andalousite rétrotransformée parsèment ces phyllades, plus rarement le coticule (Figure 17A). Ces cristaux sont constitués d'un mélange fin de minéraux micacés, parmi lesquels la muscovite, la kaolinite et la pyrophyllite.

Au sommet du Membre de *Les Plattes*, on observe aussi des couches de phyllades et de coticule avec andalousite rétromorphosée mais également avec chloritoïde, ce qui annonce le Membre de Colanhan qui se caractérise par une présence très abondante de ce dernier minéral. Une de ces couches, la première du Membre de Colanhan, est appelée *La verte* et fournit des pierres de qualité moyenne (Figure 17B; Gabelica, 2022).



**Figure 17 :** Pièces manufacturées de coticule (don de M. Célis, Ardennes-coticule). A. Coticule avec mouchetures d'andalousite rétromorphosée. B. Coticule verdâtre avec chloritoïde, appelé *La verte*. Collection et photo M. Blondieau.

Dans certaines zones particulièrement déformées, on observe des veines de quartz laiteux (Figures 18 et 19), et parfois aussi des roches bréchiques rouges silicifiées (Figure 20). Dans les veines de quartz se rencontrent localement de gros noyaux d'andalousite verte, de l'ardennite-(As), et parfois de la gahnite en petits cristaux bleus. Dans les roches bréchiques rouges silicifiées, on observe des minéraux de terres rares comme la florencite-(Ce), ainsi que de l'ardennite-(As), de l'anatase, et plus rarement de la kolbeckite ou de la rhodochrosite.



**Figure 18 :** Couche de cotchule en place, recoupée par une veine de quartz laiteux. Carrière du TDP, L  $\approx$  20 cm, photo M. Blondieau, octobre 2020.



**Figure 19 :** Veines de quartz laiteux dans la carrière du Thier del Preu. Le cercle rouge indique la zone où a été trouvée en place l'ardennite-(As). L'orifice d'une galerie en travers-banc est également visible sur la gauche. Photo M. Blondieau, 2014.



**Figure 20** : Roche bréchique rouge silicifiée, carrière du Thier del Preu. Collection et photo M. Blondieau.

### 3.3. Le Membre de *Colanhan* (COL)

Ce membre renferme des phyllades durs, violacés ou verdâtres, à chloritoïdes. Ces roches, ayant bien résisté à l'érosion, constituent les parties les plus élevées des deux collines de Grand-Sart (synclinaux perchés). À certains endroits de la région, ces roches ont pu être exploitées pour la fabrication d'ardoises, mais ça n'a pas été le cas à Grand-Sart, car la roche ne s'y débitait pas en grands feuillets. Cependant, à la carrière du TDP, les pierres de ce membre sont accessoirement récupérées comme moellons pour la construction.

La première couche du Membre de Colanhan est *La verte*, suivie, après quelques mètres, de plusieurs couches d'une roche visuellement proche du coticule, mais d'une teinte plus rosée et d'un aspect beaucoup plus grenu (Gabelica, 2022). Ces roches sont les *pseudocoticules* décrits par Baijot *et al.* (2011), qui étaient appelés "*cresses*" par les carriers de Vielsalm, là où elles sont bien représentées dans les ardoisières. À Grand-Sart, ces roches sont assez peu observables puisque le Membre de Colanhan n'a été que fort peu travaillé. On a cependant pu en observer quelques fragments au Thier del Preu (versant sud) et au Thier du mont (versants sud et versant nord) (Figure 21).

Les pseudocoticules sont inutilisables en tant que pierre à aiguiser, car ils contiennent des grenats de grande taille (jusque 50  $\mu\text{m}$  de diamètre), inclus dans une matrice quartzreuse. Leur couleur rose caractéristique est due à la présence d'hématite (Baijot, 2007; Baijot *et al.*, 2011). Ces roches, fréquemment parcourues par des veines de quartz perpendiculaires à la stratification, ne doivent pas être confondues avec les dernières couches de coticule (*La verte*) (Figure 17B) qui renferment des chloritoïdes verdâtres mais encore aussi des porphyroblastes d'andalousite rétromorphosée, ce qui n'est pas le cas de ces pseudocoticules.

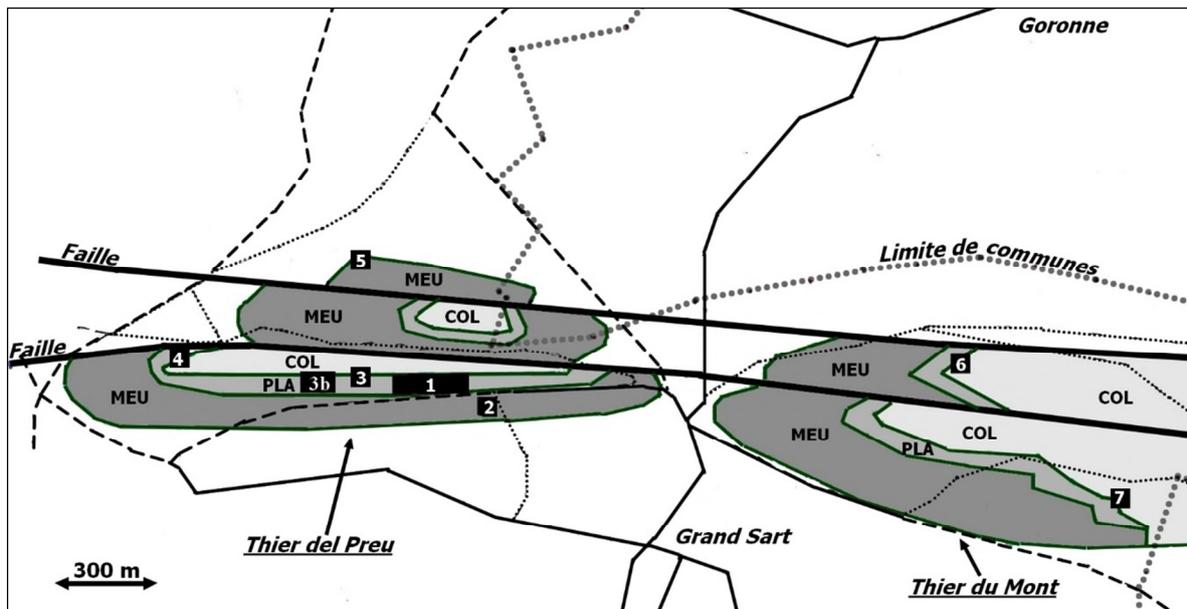
Le Membre de Colanhan est celui qui renferme le plus de turquoise bien colorée en bleu ou vert. On peut notamment l'observer dans la paroi nord de la partie ouest de la carrière en activité (site n°1), mais aussi sur le versant nord du Thier du Mont (site n°6), où ce membre est bien exposé dans une sorte de petite carrière creusée au nord d'une galerie de recherche de coticule.



**Figure 21** : Pseudocoticule rosé (*cresse*) de Grand-Sart (Thier del Preu, versant Sud). La couleur rosée et la présence de veines de quartz sont caractéristiques de cette roche. La teinte vert kaki de la couche inférieure est due à la présence de cristaux de chloritoïde verdâtre. Ces roches particulières et très typiques se trouvent à quelques mètres de la base du membre de Colanhan. Collection et photo M. Blondieau.

### 3.4. Carte géologique indiquant les différents membres de la Formation d'Ottré à Grand-Sart

La figure 22 montre la carte géologique des deux collines du TDP et du TDM à Grand-Sart, où sont représentés les différents membres de la Formation d'Ottré (Geukens, 2008). Les sites décrits ci-dessus y sont également reportés. Ces deux collines, d'une altitude supérieure à 500 m, sont des synclinaux inversés mis en relief par érosion des roches tendres du membre de Lierneux. Ces dernières roches sont plus grisâtres, fragiles et moins bien litées ; elles ont été observées en place au sud du site n°2 ainsi qu'en blocs volants au site n°3b.



**Figure 22 :** Carte géologique montrant les roches de la Formation d'Otré à Grand-Sart, dans les collines du Thier del Preu (à l'ouest) et du Thier du Mont (à l'est) (Geukens, 2008).

MEU = Membre de Meuville, PLA = Membre de Les Plattes, COL, Membre de Colanhan.

Les numéros correspondent aux sites décrits (voir légende en Figure 1). Les roches autour de ces deux Collines, laissées en blanc, appartiennent au Membre de Lierneux et au Membre de Spa ; elles n'ont que peu d'intérêt d'un point de vue minéralogique.

D'après cette carte géologique, les travaux entrepris à partir de 2018 aux sites n°3 et 3b à l'ouest de la carrière, ont été effectués dans le Membre de Les Plattes (PLA). Si des couches de mauvais coticule ont bien été observées à l'extrême nord de la première tranchée (tranchée n°1), cela n'a pas été le cas dans la seconde (tranchée n°2) tracée plus à l'ouest, ni dans les importants travaux de 2020/2021 (site n°3b), bien que des fragments de coticule aient été observés dans les parties superficielles (déchets d'exploitations anciennes ou présence plus au nord des couches de coticule ?). Cela signifie que le Membre de Les Plattes est moins puissant vers l'ouest que ce qui est mentionné sur la carte géologique. Les anciens l'avaient sans doute déjà remarqué car il n'y a eu que peu de travaux dans cette partie du Thier. Les roches qui ont servi à empierrer le chemin ont été extraites dans la grande excavation n°3b ; il s'agit de roches du Membre de Meuville avec notamment des roches rougeâtres à veinules d'oxydes de manganèse noirs, mais aussi des phyllades plus bleutés de la zone de transition avec le Membre de Les Plattes qui n'a cependant pas été observé à cet endroit.

#### 4. Descriptions minéralogiques

Les échantillons décrits dans cet article ont été examinés sous la loupe binoculaire et l'identité des espèces a été confirmée par diffraction des rayons X sur un diffractomètre de poudres PANALYTICAL PW-3710 utilisant la radiation  $FeK_{\alpha}$  ( $\lambda = 1,9373 \text{ \AA}$ ) ou un diffractomètre BRUKER D8 ECO utilisant la radiation  $CuK_{\alpha}$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) et qui permet la quantification des différentes phases minéralogiques grâce au logiciel TOPAS 4.2. Lorsque les quantités de matière étaient très faibles, un diffractomètre à 4 cercles Rigaku Xcalibur, équipé d'un

détecteur EOS et utilisant la radiation  $\text{MoK}_\alpha$  ( $\lambda = 0,7107 \text{ \AA}$ ), a été utilisé en mode « Debye-Scherrer ».

Les paramètres de mailles de quelques espèces ont été calculés à partir des diffractogrammes de poudre avec le programme *LCLSQ* version 8.4 (Burnham, 1991).

La morphologie de quelques minéraux a été observée à l'aide d'un microscope électronique à balayage environnemental FEI ESEM-FEG XL 30 (CAREM-ULg, Cellule d'Appui à la Recherche et à l'Enseignement en Microscopie de l'Université de Liège). Les images ont été obtenues en électrons secondaires (mode « haut-vide ») sous une tension d'accélération de 15 kV et sur des échantillons métallisés au platine ou à l'or. Des spectres EDS (« Energy Dispersive X-ray Spectrometry ») de microanalyse élémentaire aux rayons X ont été obtenus avec le même microscope, équipé d'un détecteur de rayons X Si(Li) EDAX ou SDD Bruker 129 eV. Selon les cas, la tension d'accélération était réglée à 15, 20 ou 30 kV. Les spectres ont été traités soit par le logiciel EDAX, soit par le logiciel Quanta Esprit 1.9 qui a fourni l'identification des éléments.

Nous avons également déterminé la composition chimique de quelques échantillons avec un spectromètre à fluorescence X portable Niton XL3T-980 GOLDD+ de chez Thermo Fisher. Ce spectromètre possède un tube à rayons X Niton XL3T composé d'une anode d'or pouvant émettre un faisceau de 3 mm de diamètre d'une intensité allant de 9 à 50 kV pour un courant de 0 à 40  $\mu\text{A}$ . Les rayons X réémis passent ensuite dans un détecteur de type GOLDD (Geometrically Optimized Large Area Drift Detector) d'une résolution : <185 eV à 60000 cps pour un temps de mise en forme de 4  $\mu\text{s}$ .

Les minéraux sont décrits par ordre alphabétique, et leur formule chimique idéale est tirée de la liste officielle de la *Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification of the International Mineralogical Association* (CNMNC-IMA). Toutefois, certaines espèces difficiles à identifier sont regroupées par groupes de minéraux. Ce sera le cas des *apatites*, *chlorites*, *micas* et *turquoises*. Ces noms de groupes sont mis en italique.

D'après les observations que nous avons pu faire, nous signalons la présence de chaque espèce minérale dans chacun des trois membres de la formation d'Ottre. Ces derniers, bien que constitués d'unités différentes aux caractéristiques complexes, semblent avoir chacun une identité géochimique et minéralogique propre. Les minéraux observés dans ces entités géologiques ont été formés selon différents processus à différentes époques : métamorphisme et phases d'altération. Ces dernières sont notamment responsables des nombreux oxydes noirs de manganèse mais aussi des phosphates (plus discrets) tels que la turquoise, la wavellite et la cacoxénite par exemple. Toutefois, il semblerait que toutes ces minéralisations, qu'elles soient d'origine métamorphique ou d'altération, présentes dans des phyllades ou dans des veines silicifiées (quartz et/ou roches rouges silicifiées), aient toujours un rapport étroit avec la géochimie des couches traversées.

Les descriptions minéralogiques fournies dans cet article sont le résultat de patientes observations menées très régulièrement depuis plus de vingt ans. Si l'accès à la carrière est aisé (avec accord de l'exploitant), il n'en est pas du tout de même pour les autres sites qui sont

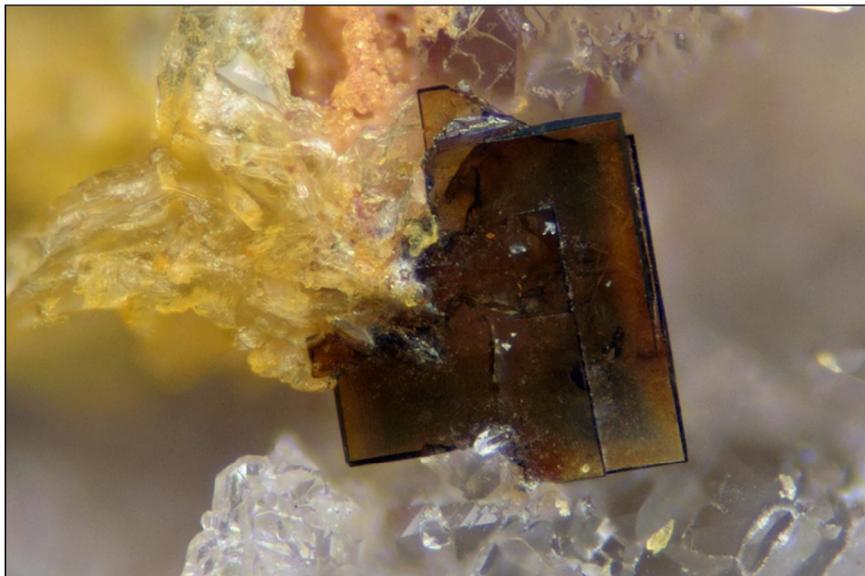
enfouis dans une végétation très dense. Ce n'est d'ailleurs souvent qu'à la faveur de travaux de déboisements qu'il a été possible d'échantillonner sur ces sites qui avaient fait par le passé l'objet de travaux carriers ou miniers. Une fois déboisés, ils sont souvent rapidement replantés ou simplement laissés à l'abandon et les ronces qui s'y développent couvrent toutes ces surfaces, ce qui interdit alors les observations minéralogiques. Ce sont donc des sites ingrats et difficiles, où les trouvailles intéressantes sont plutôt l'exception, mais nous sommes persuadés que cette Formation d'Ottré révélera encore à l'avenir d'autres surprises minéralogiques.

#### 4.1. Anatase, $\text{TiO}_2$

L'anatase est déjà signalée dans la Formation d'Ottré, notamment dans le Membre de Meuville de la vallée de la Lienne et dans le Membre de Colanhan à Salmchâteau et Vielsalm (Hatert *et al.*, 2002). Elle a également été observée dans le Membre de Les Plattes à Bihain au gisement de vantasselite (Blondieau, 2006)

À Grand-Sart, l'anatase a été observée dans le Membre de Les Plattes et dans le Membre de Colanhan. Elle se présente sous forme de petits cristaux tabulaires brun-noir ne dépassant guère un millimètre et montrant une morphologie très comparable à celle des cristaux de Vielsalm. L'identification visuelle est confirmée par une analyse de diffraction des rayons X réalisée sur un cristal provenant du versant nord du Thier du Mont.

- Dans le Membre de Les Plattes, elle est observée avec de la chlorite et parfois aussi avec de l'ardennite-(As) dans des fissures d'une roche rouge silicifiée ou dans des joints très minces des phyllades de la carrière du Thier del Preu (site n° 1) (Figure 23).
- Dans le Membre de Colanhan, elle a été observée en association avec la wardite et l'hématite au versant nord du Thier du Mont (site n°6).



**Figure 23 :** Anatase de Grand-Sart (carrière du Thier del Preu) avec chlorite et quartz. L = 0,6mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet.

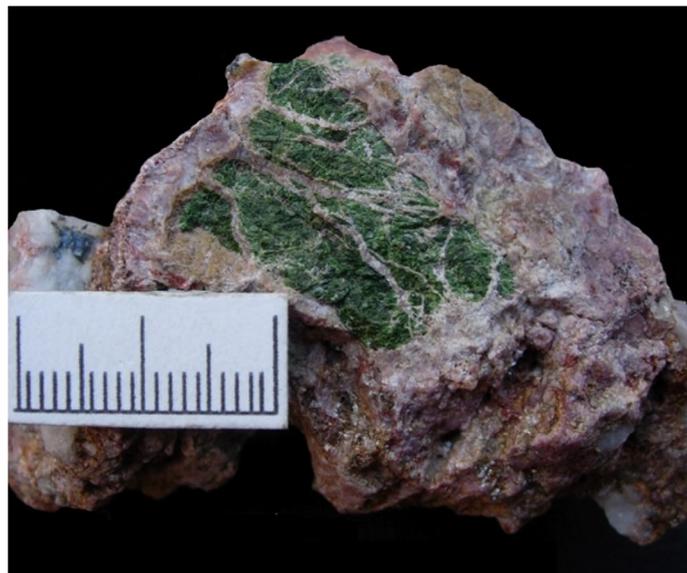
## 4.2. Andalousite, $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$

### Kanonaïte, $\text{Mn}^{3+}\text{AlO}[\text{SiO}_4]$

L'andalousite est une espèce déjà signalée en de nombreux endroits de la Formation d'Ottre. Elle est fréquente dans les exploitations de coticule du Membre de Les Plattes, mais elle est également signalée à Ottre et à Recht (Hatert *et al.*, 2002).

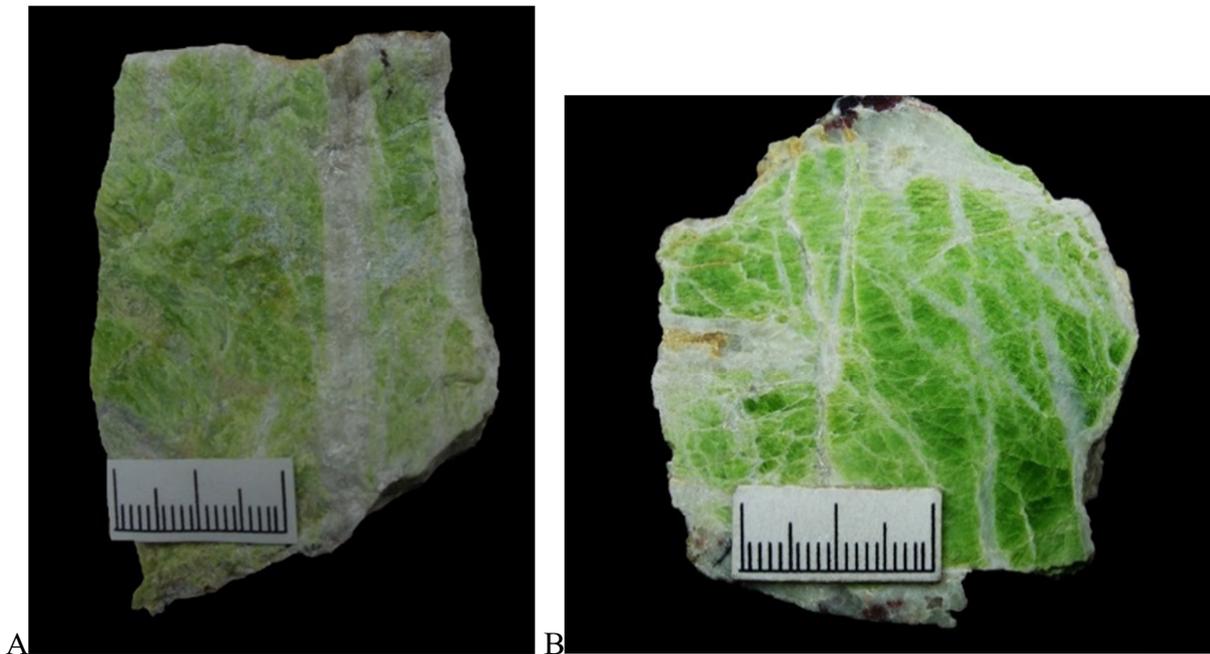
À Grand-Sart, l'andalousite a été observée dans les membres de Les Plattes et de Meuville.

- Dans le Membre de Meuville, les phyllades sont fréquemment piquetés de mouchetures rouges millimétriques ou parfois de trous, qui devaient être initialement des cristaux d'andalousite comme on en voit encore dans certains phyllades et couches de coticule du Membre de Les Plattes. Des analyses par diffraction des rayons X réalisées sur des petits grains rougeâtres observés dans des échantillons de minerai de manganèse d'Arbrefontaine (site n°5) indiquent qu'il s'agit de kaolinite et de muscovite, deux espèces observées également avec l'andalousite dans les phyllades du Membre de Les Plattes. L'andalousite semble avoir été complètement altérée dans ce membre. Un seul échantillon d'andalousite spectaculaire, formant des plages vert pistache associées à des micas roses (association muscovite/paragonite), à de la braunite et à du rutile fibreux, a été découvert à Arbrefontaine (Figure 24). Sa couleur verte intense rappelle celle de la kanonaïte du Coreux (Schreyer *et al.*, 2004), mais ses paramètres de maille ( $a = 7,925(5)$ ;  $b = 7,896(5)$ ;  $c = 5,572(2)$  Å) conduisent à un contenu en (Mn + Fe) de l'ordre de 0,25 atome par unité formulaire, calculé à partir de la corrélation établie par Schreyer *et al.* (2004) pour la solution-solide andalousite-kanonaïte. Cette composition est confirmée par les analyses chimiques à la microsonde électronique (Université d'Oslo, analyste Muriel Erambert), qui fournissent la formule  $(\text{Al}_{1,76}\text{Mn}^{3+}_{0,23}\text{Fe}^{3+}_{0,02})_{\Sigma 2,01}\text{O}[\text{Si}_{0,99}\text{O}_4]$ . Cet échantillon se situe donc encore loin de la kanonaïte, et correspond plutôt à une andalousite très manganésifère (10,96 % en poids de  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ).



**Figure 24** : Andalousite manganésifère sur association de muscovite/paragonite rose, ancienne mine de manganèse d'Arbrefontaine, versant nord du Thier del Preu, Grand-Sart. Collection et photo M. Blondieau.

- Dans le Membre de Les Plattes, les phyllades, et notamment ceux de la carrière en activité (site n°1), contiennent en abondance des petits porphyroblastes millimétriques blanchâtres ou rougeâtres assez comparables à ceux observés dans le Membre de Meuville, mais qui sont identifiés par diffraction des rayons X comme majoritairement constitués d'andalousite et d'un peu de kaolinite très minoritaire. Dans certaines couches de coticule, ces grains sont complètement transformés en phyllosilicates secondaires (Figure 17A), ce qui n'altère pas trop les qualités des pierres à rasoir manufacturées mais en déprécie cependant la valeur. Dans certaines veines de quartz laiteux, l'andalousite peut aussi se développer en grandes plages verdâtres de plusieurs centimètres de diamètre, avec phyllosilicates en surface (Figure 25). Ces minéraux blancs constitués principalement de muscovite et de pyrophyllite cachent la belle couleur verte du minéral qui ne peut s'observer qu'en cassure fraîche. Cette couleur verte est due à des traces de manganèse trivalent (Abs Wurmbach *et al.*, 1981). Les analyses par diffraction des rayons X de cette andalousite en plages vertes montrent la présence d'andalousite majoritaire, associée à un peu de pyrophyllite. Les gros cristaux centimétriques enchâssés dans le quartz semblent visuellement presque entièrement rétomorphosés (Figure 26) mais une analyse par diffraction des rayons X d'un de ces cristaux indique une présence encore importante d'andalousite avec chlorite et pyrophyllite. Sur le flanc sud du TDM (site n°7), des petits noyaux millimétriques verdâtres, identifiés visuellement comme andalousite, sont observés dans certaines couches de roches assez claires riches en andalousite altérée et hématite. L'identification de ces échantillons est confirmée par diffraction des rayons X.



**Figure 25** : Andalousite verte et veinules de phyllosilicates blancs d'altération, carrière de Grand-Sart. A. Echantillon brut, B. Echantillon scié et poli. Collection et photo M. Blondieau.



**Figure 26 :** Cristaux d'andalousite rétomorphosée avec pyrophyllite et quartz, carrière de Grand-Sart. Collection et photo M. Blondieau.

#### 4.3. Groupe de l'*apatite*, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$

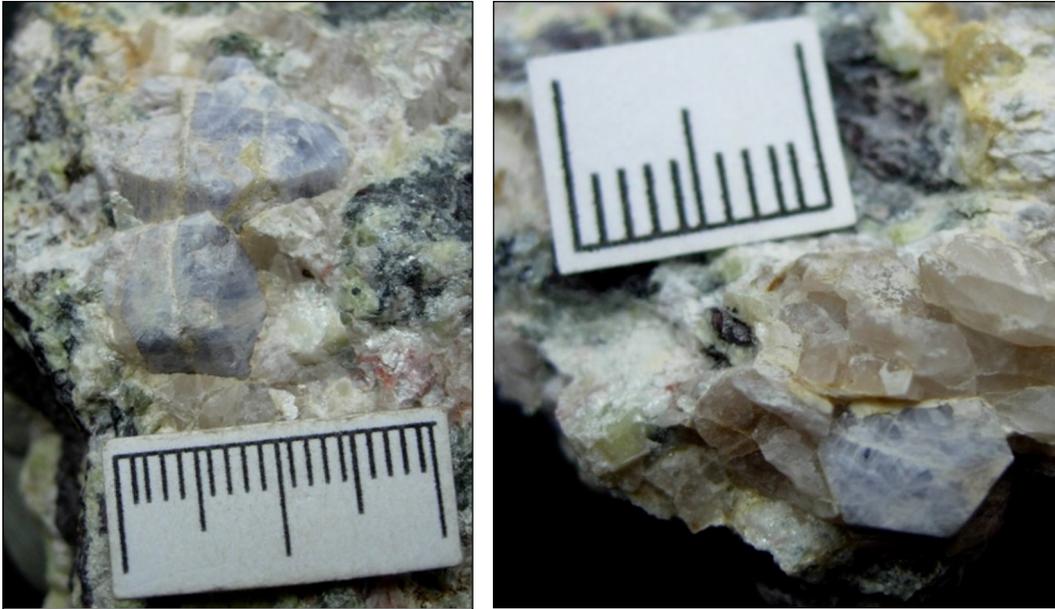
Le groupe de l'*apatite* renferme plusieurs espèces qui ne se différencient que par un anion, autre que l'ion phosphate, présent dans la formule chimique du minéral. On distingue ainsi la fluorapatite, la chlorapatite et l'hydroxylapatite. Ces différentes espèces ne peuvent pas être différenciées visuellement. Des petits cristaux violacés sont signalés à Salmchâteau au filon de cuivre, mais aussi en association avec de l'ardennite-(As). De beaux cristaux incolores sont également connus à Vielsalm (Hatert *et al.*, 2002). Le minéral, constituant accessoire des roches régionales, ne s'exprime pas toujours de manière macroscopique et est d'ailleurs à l'origine des nombreuses espèces de phosphates secondaires.

À Grand-Sart, l'*apatite* est, comme partout dans la région, observée dans tous les membres de la Formation d'Ottré.

- Dans le Membre de Meuville, l'*apatite* est identifiée par diffraction des rayons X au site n°3b, où elle se présente très localement en accumulation de nombreux petits granules blancs submillimétriques dans le phyllade. Elle est également observée en petits cristaux prismatiques blancs avec vantasselite et rutile.
- Dans le Membre de Les Plattes, elle a été observée dans la carrière du TDP (site n°1) en jolis petits cristaux millimétrique incolores à blancs, présentant de nombreuses faces cristallines et observés en association avec l'ardennite-(As). Des cristaux gris-bleus très pâles, pouvant atteindre 1 cm d'arête (Figure 27), sont également observés avec micas et pyrophyllite, dans les phyllades au contact de gros nodules d'andalousite enchâssés dans du quartz laiteux. L'*apatite* de Grand-Sart est fluorescente en jaune safran sous les UV courts. Son identification visuelle est confirmée par diffraction des rayons X. Le plus souvent, l'*apatite*

est altérée et forme de grandes plages blanc mat, parfois centimétriques. Pour ces derniers échantillons, les paramètres de maille ont été calculés :  $a = 9,324(5)$ ,  $c = 6,866(5)$  Å et  $V = 517,0(5)$  Å<sup>3</sup>. Ces valeurs sont très proches de celles de la fluorapatite.

- Dans le Membre de Colanhan, l'apatite est fréquente en plages blanches d'aspect terreux dans les veines de quartz laiteux avec chlorite. Elle est observée partout où ce membre affleure.



**Figure 27** : Apatite en gros cristaux gris-bleutés de Grand-Sart. Collection et photos M. Blondieau.

#### 4.4. Ardennite-(As) , $\text{Mn}^{2+}_4\text{Al}_4(\text{AlMg})(\text{AsO}_4)(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_6$ Ardennite-(V), $\text{Mn}^{2+}_4\text{Al}_4(\text{AlMg})(\text{VO}_4)(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_6$

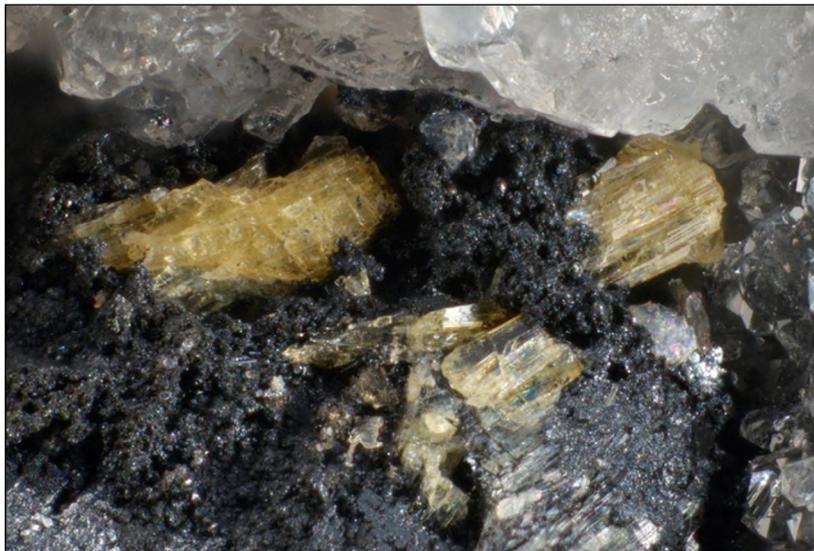
On se rappellera de la querelle qui a existé entre F. Pisani et A. von Lasaulx en 1872, à propos de la composition chimique de l'ardennite (Hatert *et al.* 2002, Van Der Meersche *et al.*, 2010). F. Pisani affirmait qu'elle renfermait de l'arsenic, et A. von Lasaulx du vanadium. Finalement, c'est la composition chimique proposée par F. Pisani qui fut acceptée. Bien plus tard, Barresi *et al.* (2007) publient la découverte à Sparone, en Italie, d'un minéral identique à l'ardennite mais avec du vanadium dominant sur l'arsenic. Ce minéral, accepté par la CNMNC-IMA, a donc été baptisé ardennite-(V), et le minéral initial a été renommé ardennite-(As).

Avec le recul, les deux protagonistes avaient tous les deux raison, mais les échantillons qu'ils avaient étudiés ne provenaient pas du même endroit. F. Pisani a étudié des échantillons de Salmchâteau, localité-type de l'ardennite-(As), alors que A. von Lasaulx avait étudié des échantillons qu'il avait achetés et qui proviendraient des environs d'Otré (Van der Meersche *et al.*, 2010). À l'époque, Bihain dépendait administrativement d'Otré, et il est très probable que ces échantillons provenaient des anciennes mines de manganèse de Bihain, lesquelles étaient justement très actives à cette époque (Blondieau, 2019). Ironie de l'histoire, nous avons réalisé des analyses chimiques qualitatives par EDS sur des échantillons d'ardennite de ce site et elles indiquent toutes la présence de vanadium et l'absence apparente d'arsenic. Il

s'agit donc bien d'ardennite-(V). Cela est confirmé par Depret *et al.* (2023) qui, dans une étude exhaustive des ardennites belges, indiquent l'existence des deux espèces d'ardennite dans notre pays. Seules des analyses chimiques permettent de les différencier car, visuellement, elles sont tout à fait comparables.

À Grand-Sart, des échantillons d'*ardennite* sont observés dans les membres de Les Plattes et de Meuville.

- Dans le Membre de Meuville, de très rares échantillons ont été collectés sur le site d'Arbrefontaine (site n°5) en association avec braunite et hollandite-strontiomélane (Figure 28). L'*ardennite*, identifiée visuellement, est confirmée par des analyses chimiques qualitatives EDS qui mettent en évidence la présence majoritaire des éléments Mn, Si, Al, O et V, ainsi que Ca et As minoritaires. Les quantités de vanadium mesurées dans ces échantillons sont très supérieures à celle de l'arsenic, indiquant qu'il s'agit d'ardennite-(V). Un minéral du groupe de l'ardennite est également identifié visuellement dans une petite géode de rhodochrosite rose dans la partie de la carrière préparée pour exploitation.



**Figure 28 :** Ardennite-(V) d'Arbrefontaine. L= 1,2 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

- Dans le Membre de Les Plattes, l'*ardennite* a été visuellement identifiée à la carrière du Thier del Preu (site n°1), d'abord en petits cristaux dans des roches rouges silicifiées et ensuite en grandes plages dans une large veine de quartz laiteux, localement veinée de rouge (Figure 29A) et associée parfois à de l'andalousite verte (Figure 30). L'ardennite est très souvent associée à des roches très rouges (Figure 29B). Des analyses par diffraction des rayons X ont confirmé qu'il s'agissait bien d'ardennite, et des analyses chimiques qualitatives par EDS ont mis en évidence la présence des éléments O, Al, Mn, Si, As, ainsi que Fe et Ca très minoritaires. Le vanadium est absent de ces échantillons ; il s'agit dès lors d'ardennite-(As) tout comme l'échantillon historique de Salmchâteau décrit par F. Pisani. Les petits cristaux semblent présenter des associations parallèles à {100} (Figure 31A). Les grandes plages d'ardennite-(As) observées dans la veine de quartz montrent que le minéral y est très corrodé,

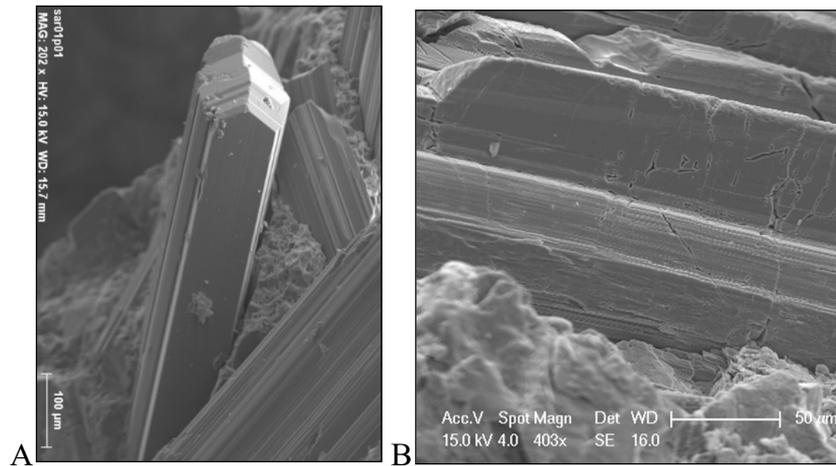
et les cristaux les plus gros présentent fréquemment de nombreuses fractures perpendiculairement à leur allongement, ce qui est d'ailleurs confirmé par les observations en microscopie électronique qui mettent en évidence cette importante corrosion (Figure 31B).



**Figure 29:** Ardennite-(As) de la carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. A. Dans un quartz veiné de rouge, B. En association avec une roche rouge et du quartz blanc, échantillon scié et poli. Collection et photos M. Blondieau.

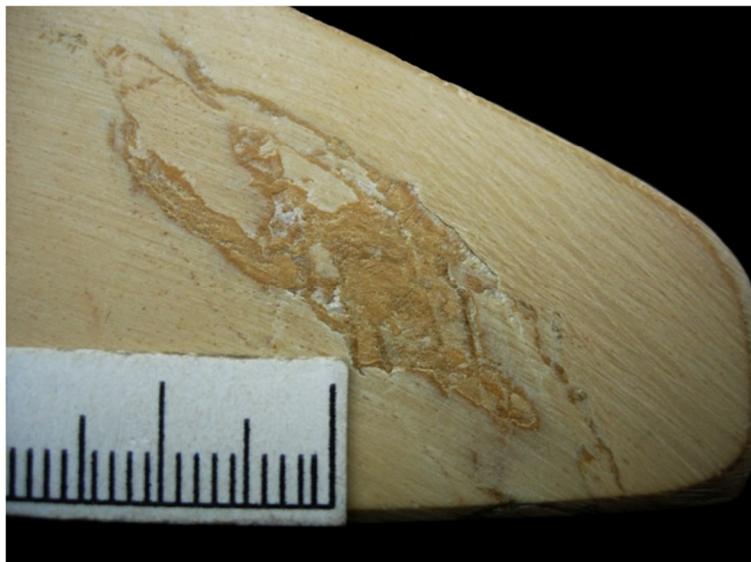


**Figure 30 :** Ardennite-(As) associée à de l'andalousite verte, carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. L=2,15 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet.



**Figure 31** : Ardennite-(As) du Thier del Preu à Grand-Sart. A. Association parallèle de cristaux. B. Gros plan sur la surface d'un cristal montrant une corrosion importante. A et B. Échantillon Sar01, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

Par ailleurs, des cristaux millimétriques oranges et arrondis, observés macroscopiquement et en lames minces dans le coticule, se sont avérés être de *l'ardennite*. L'identité du minéral a été confirmée par diffraction des rayons X et par fluorescence X, qui a mis en évidence la présence des éléments As et V (Hatert *et al.*, 2021; Samartzis, 2017; Gabelica, 2022). La présence d'ardennite dans le coticule avait déjà été suspectée mais non confirmée par Grogna (1984) : "*Dans certains échantillons, nous avons observé de petits cristaux prismatiques brunâtres qui pourraient correspondre à l'ardennite.*" Des plages d'ardennite de grande dimension y sont parfois observées (Figure 32).



**Figure 32** : *Ardennite* dans du coticule de la carrière du Thier del Preu de Grand-Sart. Collection et photo M. Blondieau.

Dans les déchets d'exploitation de coticule dans la partie sud du Thier du Mont (site n°7), des cristaux de couleur caramel, associés à de la spessartine, sont également identifiés comme de *ardennite* (Figure 33).



**Figure 33 :** *Ardennite* caramel sur spessartine jaune-verdâtre du Thier du Mont à Grand-Sart. L= 7,2 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

#### 4.5. Braunite, $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_6\text{O}_8(\text{SiO}_4)$

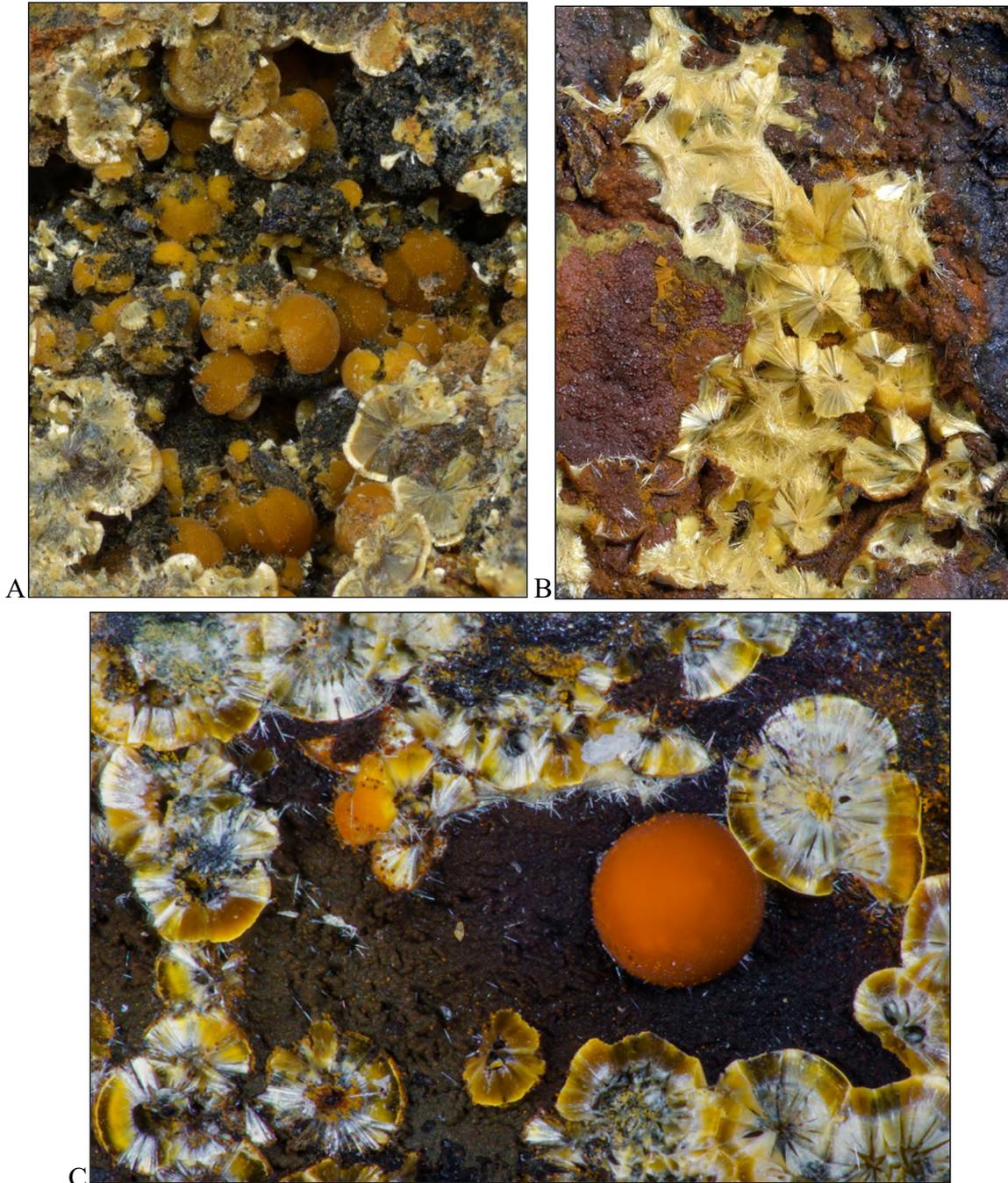
La braunite est déjà signalée dans la Formation d'Otré, notamment au Coreux (Salmchâteau) ainsi qu'à la carrière du TDP dans des veines de quartz recoupant les phyllades. Au Coreux, le minéral est associé à la kanonaïte et à un oxyde de manganèse de la série hollandite-strontiomélane (Hatert *et al.*, 2002

À Grand-Sart, nos observations ne nous ont pas permis de la retrouver dans la carrière. Par contre, nous avons pu l'identifier par diffraction des rayons X au flanc nord du Thier del Preu (site n°5, Arbrefontaine). Elle y est observée en petits cristaux noirs dans un mica rose constitué principalement de paragonite et de muscovite, ainsi qu'en petits globules noirs dans un échantillon de quartz avec ardennite-(V) et des fibres noires de rutile. Les analyses chimiques qualitatives par EDS indiquent la présence majoritaire des éléments O, Mn et Si, confirmant l'identification de la braunite.

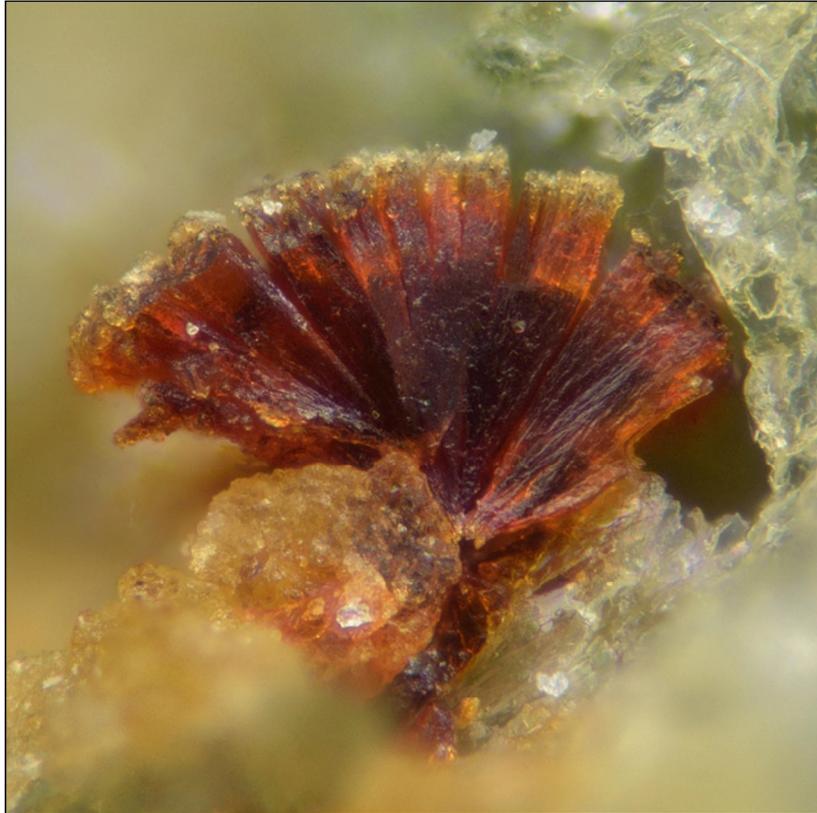
#### 4.6. Cacoixénite, $\text{Fe}^{3+}_{24}\text{AlO}_6(\text{PO}_4)_{17}(\text{OH})_{12}\cdot 7,5\text{H}_2\text{O}$

La cacoixénite est déjà signalée dans tous les membres de la Formation d'Otré, notamment dans le Membre de Meuville aux minières de Bihain, dans le Membre de Les Plattes à Regné, ainsi qu'au gisement de vantasselite de Bihain et dans le Membre de Colanhan à Vielsalm. Elle s'y présente en petites sphérules brunes à structure fibroradiée (Hatert *et al.*, 2002).

À Grand-Sart, la cacoxénite n'a été observée que dans le Membre de Meuville où elle forme également de minuscules boules jaunes à orange fragiles qui, sur cassure, montrent une structure fibroradiée. L'identification visuelle du minéral est confirmée par diffraction des rayons X. La cacoxénite est souvent associée à des oxydes de manganèse noirs comme la nsutite, notamment au site n°3b où de splendides échantillons ont pu être observés (Figure 34). Elle était également présente dans la fosse près de la carrière (site n°2), ainsi qu'au versant sud du Thier du Mont où elle montre des tons plus rouges (Figure 35).



**Figure 34 :** Cacoxénite du site n°3b de Grand-Sart. A. L = 2,5 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet. B. L = 3 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet. C. L = 5 mm, collection M. Blondieau, photo E. Van der Meersche.



**Figure 35** : Cacoxénite de Grand-Sart, versant sud du Thier du Mont.  
L= 0,45 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

#### 4.7. Groupe de la *chlorite*

**Clinochlore**,  $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$

**Sudoïte**,  $\text{Mg}_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

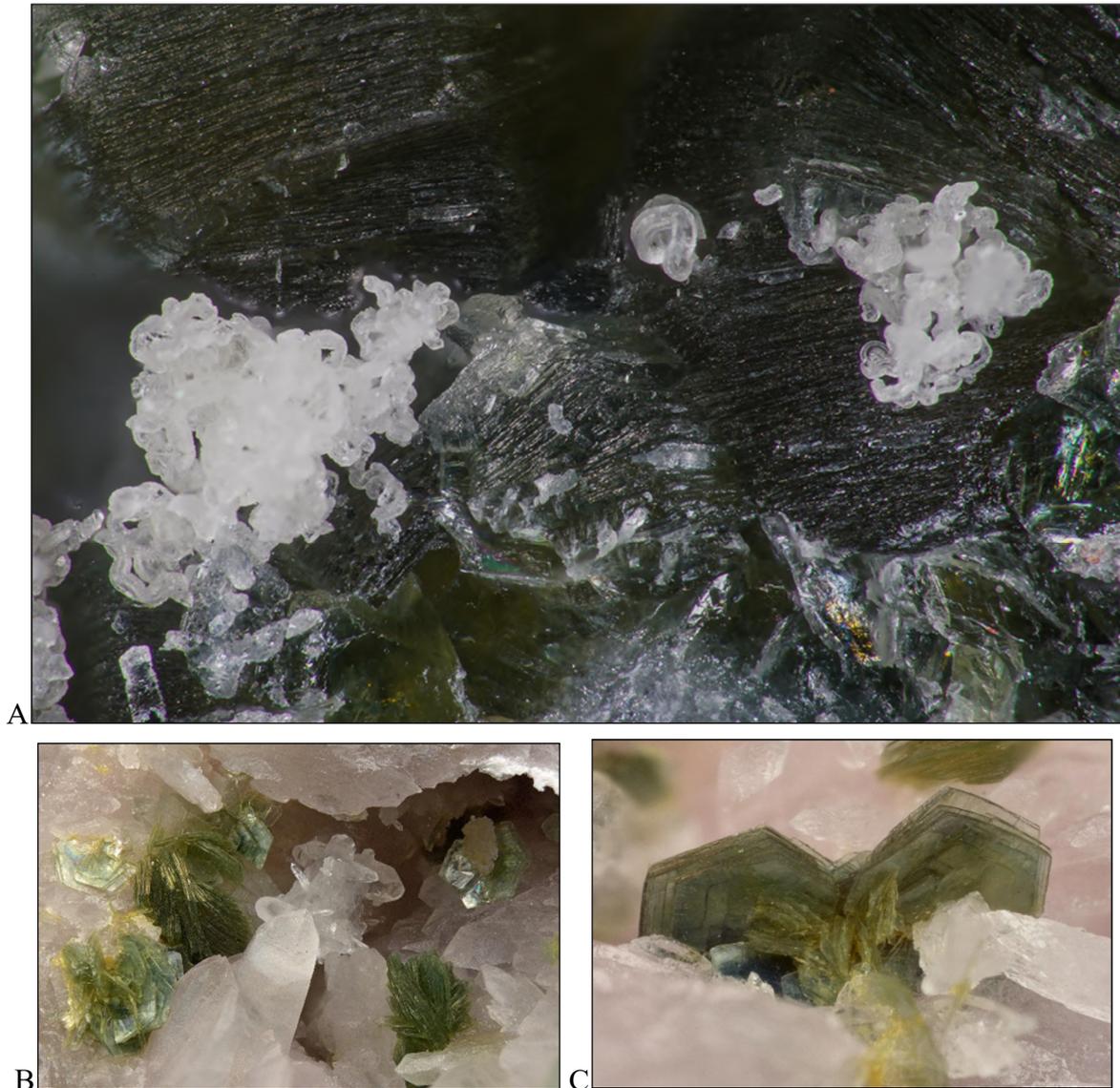
Les minéraux du groupe de la *chlorite* de la bordure sud du Massif de Stavelot sont généralement représentés par le clinochlore de teinte verte, montrant un léger enrichissement en manganèse. La sudoïte, de teinte plus blanche, a également été identifiée dans le filon de quartz d'Otré, dans les haldes de Regné ainsi qu'à Grand-Sart au Thier del Preu (Hatert *et al.*, 2002).

À Grand-Sart, des minéraux de ce groupe sont identifiés visuellement pratiquement partout dans les membres de Les Plattes et de Colanhan. Ils sont plus discrets dans le Membre de Meuville, où seuls quelques échantillons analysés par diffraction des rayons X en contiennent en proportions minimales.

- Dans le Membre de Les Plattes, les minéraux du groupe de la *chlorite* sont fréquents et sont bien observés notamment dans la carrière en activité (site n°1) où ils sont identifiés visuellement et par diffraction des rayons X. Ils présentent principalement une coloration verte (Figure 36B), correspondant au clinochlore, l'espèce de *chlorite* la plus fréquente dans la Formation d'Otré. Plus rarement, ils forment aussi de petits tortillons blancs à jaune pâle (Figure 37) dans les quartz contenant des veines rouges et de l'ardennite-(As), ainsi que dans les fissures de l'hématite au sein des quartz à gros noyaux d'andalousite verte. Pour ces

derniers échantillons, l'intensité de la raie  $d = 1,51 \text{ \AA}$  est nettement plus importante que celle de la raie  $d = 1,55 \text{ \AA}$ , ce qui pourrait suggérer qu'il s'agit de sudoïte et non de clinochlore. Des analyses EDS indiquent un rapport entre Al et Mg qui semble également correspondre à la sudoïte. Ces chlorites vertes et blanches sont parfois associées sur le même échantillon (Figure 36A).

- 
- Dans le Membre de Colanhan, une *chlorite* verte se présente en agrégats bien cristallisés de quelques millimètres avec turquoise, dans des cavités de quartz laiteux ainsi que dans les pseudocoticules. Il s'agit vraisemblablement de clinochlore.



**Figure 36 :** *Chlorite* verte (clinochlore probable) de la carrière du Thier del Preu, dans le Membre de Les Plattes de Grand-Sart. A. Association avec chlorite blanche et quartz. L = 6 mm, collection et photo n°23191, E. Van der Meersche. B. L=5,8 mm. C. L=2,7 mm. B et C, collection M. Blondieau, photos P. Chollet.



**Figure 37 :** Chlorite blanche (sudoïte probable) de la carrière du Thier del Preu dans le Membre de Les Plattes de Grand-Sart. A. L=2mm, collection et photo n°23193, E. Van Der Meersche. B. L=1,95 mm. C. L=2,95 mm. B et C, collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.8. Chloritoïde, $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$

Dans la région, le chloritoïde, terme ferreux du groupe des *chloritoïdes*, est observé comme constituant des roches dans les trois membres de la Formation d'Ottre. C'est cependant dans le Membre de Colanhan qu'il est le plus abondant. Les analyses chimiques réalisées sur de nombreux échantillons du Massif de Stavelot indiquent qu'il renferme toujours un peu de manganèse (Hatert *et al.*, 2002).

L'identification de ce minéral fréquent dans la région est le plus souvent effectuée visuellement. Le terme manganéux du groupe s'appelle l'ottrélite, mais la distinction entre le chloritoïde *sensu stricto* et l'ottrélite ne peut se faire que sur base d'analyses chimiques. L'ottrélite, dont Ottre est la localité-type, est un minéral très rare qui n'a pas été observé à Grand-Sart.

À Grand-Sart, le chloritoïde est observé dans les trois membres de la Formation d'Ottré.

- Dans le Membre de Meuville, le chloritoïde est signalé en gros cristaux dans un niveau schisto-gréseux vert clair non loin du contact avec le Membre de Lierneux de la Formation de Jalhay. Tout au nord de la colline du Thier del Preu, nous avons retrouvé un seul bloc volant pouvant correspondre à cette description et qui présente des cristaux noirs de plus d'un millimètre de longueur.
- Dans le Membre de Les Plattes, le chloritoïde ne s'observe que dans les couches les plus proches du Membre de Colanhan. Il a été identifié par diffraction des rayons X dans la carrière (site n°1) en cristaux vert kaki dans les dernières couches de coticule de ce membre, ainsi que dans celle appelée *La verte* qui a été définie par Gabelica (2022) comme le premier niveau du Membre de Colanhan (Figure 17B). Des échantillons de coticule avec des cristaux verts de chloritoïde ont également été collectés au site n°4. Dans des roches gris clair à andalousite séricitisée du site n°7 au sud du Thier du Mont, le chloritoïde est observé en petits cristaux verts dans des veinules de muscovite. Enfin, dans la carrière (site n°1), un seul gros bloc bréchique non en place, constitué d'éléments de roches rouges silicifiées cimentées par du quartz, de *chlorite* verte et de la spessartine majoritaire en petits cristaux bien formés, contenait également du chloritoïde en petites plages vert pistache assez pâle. Ce bloc provient très probablement des dernières couches du Membre de Les Plattes, à peu de distance du membre de Colanhan. Le chloritoïde de ce bloc a été identifié par diffraction des rayons X.
- 
- Dans le Membre de Colanhan, le chloritoïde est observé à Grand-Sart, comme partout dans le massif de Stavelot. Il forme de petits cristaux bruns marron d'un millimètre de diamètre environ, dispersés dans les phyllades. Ces cristaux sont de couleur similaire à celle de l'andalousite, mais ils s'en différencient visuellement par leur aspect très brillant. Dans les pseudocoticules, assez peu observables à Grand-Sart, le chloritoïde se montre sous une teinte vert kaki (Figure 21).

#### 4.9. Crandallite, $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$

La crandallite est déjà signalée dans le Membre de Colanhan à Vielsalm, en petites pustules de couleur ivoire sur des lamelles de chlorite avec turquoise (Hatert *et al.*, 2002). A Grand-Sart, elle n'a pas été observée dans ce membre mais bien dans ceux de Meuville et de Les Plattes.

- Dans le Membre de Meuville, la crandallite est identifiée par diffraction des rayons X en plusieurs endroits. Elle est observée en association avec la variscite aux sites n°2 et n°3 (tranchée 2), où elle forme des croûtes microcristallines autour de boules de variscite blanche (sites n°2) (Figure 38). Sur le flanc sud du Thier del Preu, à l'ouest de la carrière et de la partie boisée qui sera mise en exploitation prochainement, elle a également été identifiée comme un matériel blanc terreux de remplissage d'une cavité de quartz à oxydes de manganèse, en association avec de la kaolinite et des cristaux de wavellite couverts de lithiophorite.

- Dans le Membre de Les Plattes, des croûtes microcristallines beiges dans le quartz à ardennite de la carrière du TDP (site n°1) ont été identifiées par diffraction des rayons X comme étant un minéral du groupe de la crandallite.



**Figure 38** : Crandallite de Grand-Sart, en croûte autour de boules de variscite blanche (site n°2). L= 2,65 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

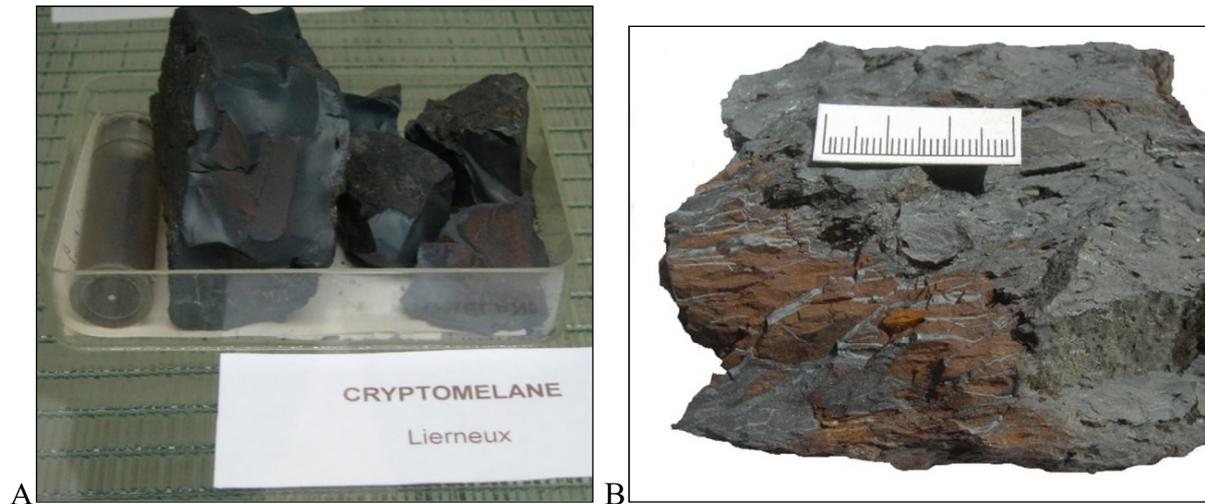
#### 4.10. Cryptomélane, $K(Mn^{4+}_7Mn^{3+})O_{16}$

Le cryptomélane est signalé dans de nombreuses localités où affleure la Formation d’Otré. Des accumulations de ce minéral, contenant aussi un peu de lithiophorite, y ont été exploitées au 19<sup>e</sup> siècle car, à cette époque, les procédés de fabrication de l’acier avaient besoin de ce minerai riche en manganèse. Dans la Haute-Lienne, six concessions avaient été instituées pour son exploitation, à savoir celles de Bihain, Arbrefontaine, Lierneux, Verleumont, Vielsalm et Malempré (Blondieau, 2019).

À Grand-Sart, le cryptomélane a été identifié par diffraction des rayons X à de nombreuses reprises dans tous les sites où affleure le Membre de Meuville (sites 1, 2, 3b et 5). Il est quasi absent dans les deux autres membres de la Formation d’Otré.

Sous sa forme la plus pure, il est gris acier, dense et ne montre jamais de cristaux. Il forme alors le plus souvent des sortes de belles veines épaisses dans le quartz bréchique veiné de noir par les oxydes de manganèse (Figure 39A). Très souvent aussi, il imprègne des phyllades dans lesquels il forme de nombreuses veinules ; ce sont les minerais en roche souvent très stratifiés (Figure 39B). Les analyses par diffraction des rayons X indiquent une association fréquente avec la lithiophorite minoritaire, et parfois aussi avec la nsutite très accessoire. Sous leur forme massive, ces trois espèces ne peuvent pas être différenciées visuellement. Toutefois, nous avons constaté que les blocs les plus volumineux étaient généralement constitués de cryptomélane assez pur. Les minerais exploités dans la concession

d'Arbrefontaine sur le versant nord du Thier del Preu (site n°5), parfois observés également dans la carrière en activité (site n°1), se présentent en concrétions de formes diverses (Figure 40). Ils sont identifiés par diffraction des rayons X comme étant constitués de cryptomélane et d'hématite.



**Figure 39** : Cryptomélane de la carrière du Thier del Preu, à Grand-Sart. A. Échantillon massif gris acier avec liseré brun de lithiophorite. L= 4 cm, échantillon ULG-1178, collection du Laboratoire de Minéralogie de l'ULiège. B. Minerai en roche stratifié, constitué de cryptomélane très pur. Collection et photo M. Blondieau.



**Figure 40** : Minerai de manganèse coralloïde de la carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. Il est constitué de cryptomélane et d'hématite. Collection et photo M. Blondieau.

### 4.11. Éosphorite, $MnAl(PO_4)(OH)_2 \cdot H_2O$

L'éosphorite est une espèce récemment observée en place au Thier del Preu, dans les roches rouges du Membre de Meuville affleurant dans la carrière ouverte pour l'empierrement du chemin en 2020 (site n°3b). Les cristaux, parfois visibles à l'œil nu, se présentent sous l'aspect de tablettes grossièrement carrées (Figure 41), qui ont dans un premier temps été confondus avec l'anatase. Leur teinte varie du brun clair au brun foncé et ils tapissent des diaclases des phyllades très rouges parcourus par des veinules d'oxydes de manganèse noirs. Les espèces associées sont la variscite et plus accessoirement la wavellite et la cacoxénite.

L'éosphorite du Thier del Preu a été identifiée d'abord par diffraction des rayons X sur poudres (méthode de Debye-Scherrer; Tableau 2), et ensuite par diffraction des rayons X sur monocristaux, ce qui a permis de montrer que la structure de ce minéral correspond en tout point avec celle déjà décrite dans la littérature. Les paramètres de maille de l'éosphorite du Thier del Preu sont  $a = 6,959(1)$ ,  $b = 10,486(2)$ , et  $c = 13,556(2)$  Å, en fort bon accord avec ceux de l'éosphorite de Newry, Maine, U.S.A. (Hurlbut, 1950).

**Tableau 2** : Dépouillement du radiogramme de poudres de l'éosphorite de Grand-Sart, comparé au diffractogramme de poudres de l'éosphorite de Hagendorf-Sud (Allemagne).

Eosphorite Grand-Sart	Eosphorite Allemagne	
$d$ (Å)	$d$ (Å)	$I/I_0$ (%)
6,732 (m)	6,75	25
-	5,307	11
5,248 (m)	<b>5,220</b>	<b>60</b>
4,884 (f)	4,870	30
4,371 (F)	4,384	35
4,174	<b>4,131</b>	<b>40</b>
-	3,548	20
-	3,461	10
<b>3,439 (F)</b>	3,410	30
-	3,375	13
3,088 (Tf)	3,079	9
-	2,914	10
<b>2,844 (TF)</b>	<b>2,822</b>	<b>100</b>
2,641 (f)	2,608	25

-	2,444	8
<b>2,430 (F)</b>	2,432	30
-	2,398	25
2,253 (f)	2,249	10
2,092 (m)	2,082	13
2,004 (m)	2,065	16
-	1,992	13
1,889 (m)	1,874	5
1,775 (Tf)	1,7736	4
1,740 (m)	1,7310	8
1,694 (f)	1,7036	5
-	1,5435	7
1,538 (F)	1,5290	17
1,474 (f)	1,4629	5
1,415 (m)	1,4104	3
1,310 (f)	1,3043	7

\* Fiche JCPDS 36-402 : Eosphorite de Hagendorf Sud, Allemagne  
(TF) : Très fort, (F) : fort, (m) : moyen, (f) : faible, (Tf) : très faible.



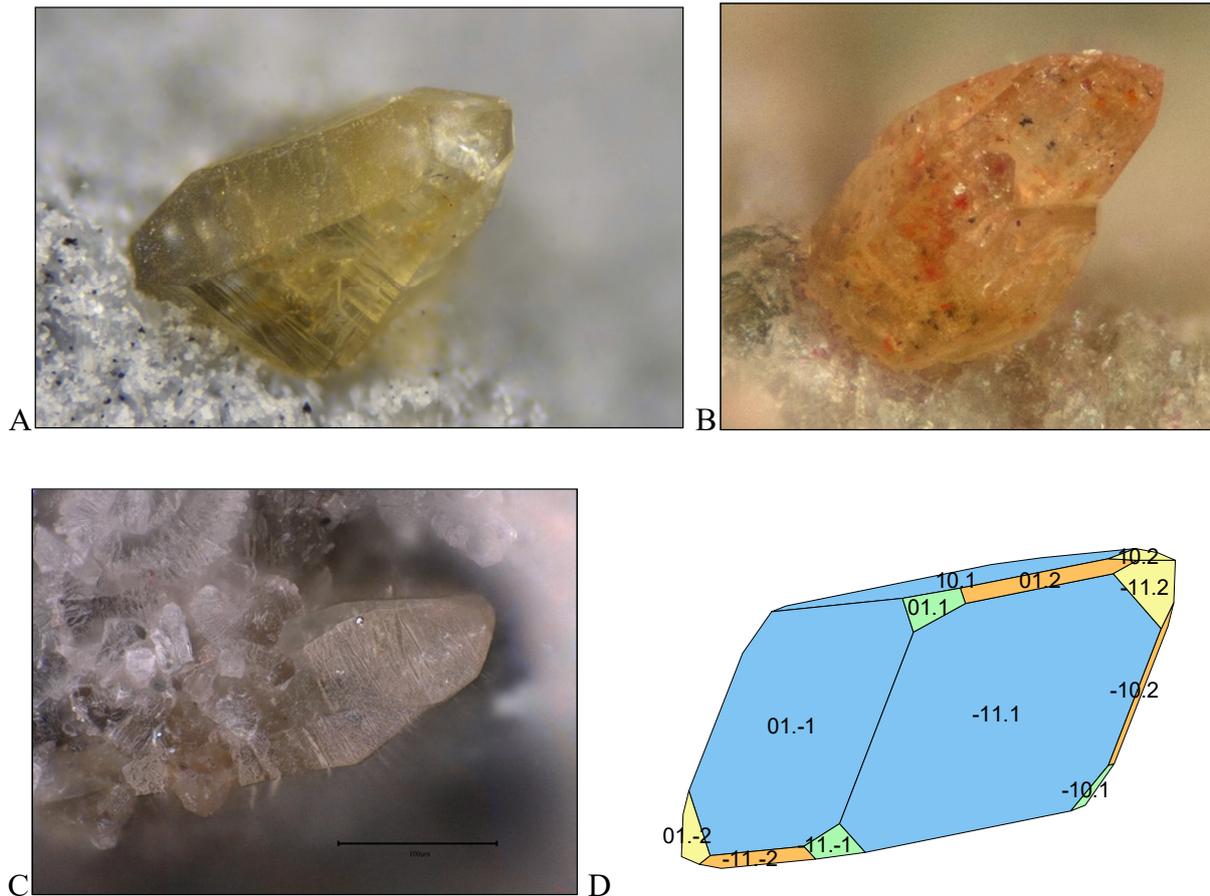
**Figure 41** : Eosphorite du site n° 3b de Grand-Sart. A. Cristaux avec variscite blanche, L = 3,2 mm. B. Cristal isolé, L = 0,27 mm. A et B, collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.12. Florencite-(Ce), $\text{CeAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$

La florencite-(Ce) est un phosphate de terres rares discret mais assez fréquemment observé dans la Formation d'Ottre. Dans le Membre de Colanhan, elle est signalée avec chlorite et ottrelite à Salmchâteau (gisement à florencite et galerie TCVS-1) (Hatert *et al.*, 2002). Elle a également été reconnue visuellement au gisement à wardite de Vielsalm, dans un pseudocoticule rosé de la galerie *Roqueyes* (Blondieau, 2006), ainsi qu'au gisement à ottrelite et davreuxite d'Ottre. Dans le Membre de Les Plattes, elle a été reconnue visuellement à Vielsalm avec andalousite, diaspore et davreuxite, dans la partie est du Thier des Carrières (Blondieau, 2006), ainsi qu'à Bihain au sud des minières à manganèse.

À Grand-Sart, la florencite-(Ce) n'a été observée que dans la carrière du Thier del Preu (site n°1). Elle y forme de petits cristaux jaunes parfois rougeâtres de combinaison  $\{10\bar{1}1\}\{1\bar{1}02\}\{10\bar{1}2\}\{1\bar{1}01\}$  (Figure 42), associés à un minéral gris clair du groupe de la *chlorite* déposé sur les joints d'une roche rougeâtre contenant de minuscules grenats rouges. Ce bloc très riche mais unique n'a malheureusement pas été trouvé en place, et pourrait provenir de certains niveaux du Membre de Les Plattes. L'identification de la florencite-(Ce) a été confirmée grâce une analyse par diffraction des rayons X sur monocristal, qui fournit les paramètres de maille  $a = 7,00(2)$  et  $c = 16,44(5)$  Å. Ces valeurs sont similaires à celles de la florencite-(Ce) du mont Mackenzie, Canada (Pouliot & Hofmann, 1981). Le spectre EDS indique les éléments Al, P, Ce, Nd et La (Ce dominant), avec de plus faibles teneurs en Ca, Pb, Fe, Mg et Si.

Quelques cristaux isolés de florencite-(Ce) ont également été identifiés visuellement dans le filon de quartz à ardennite de la carrière du Thier del Preu.



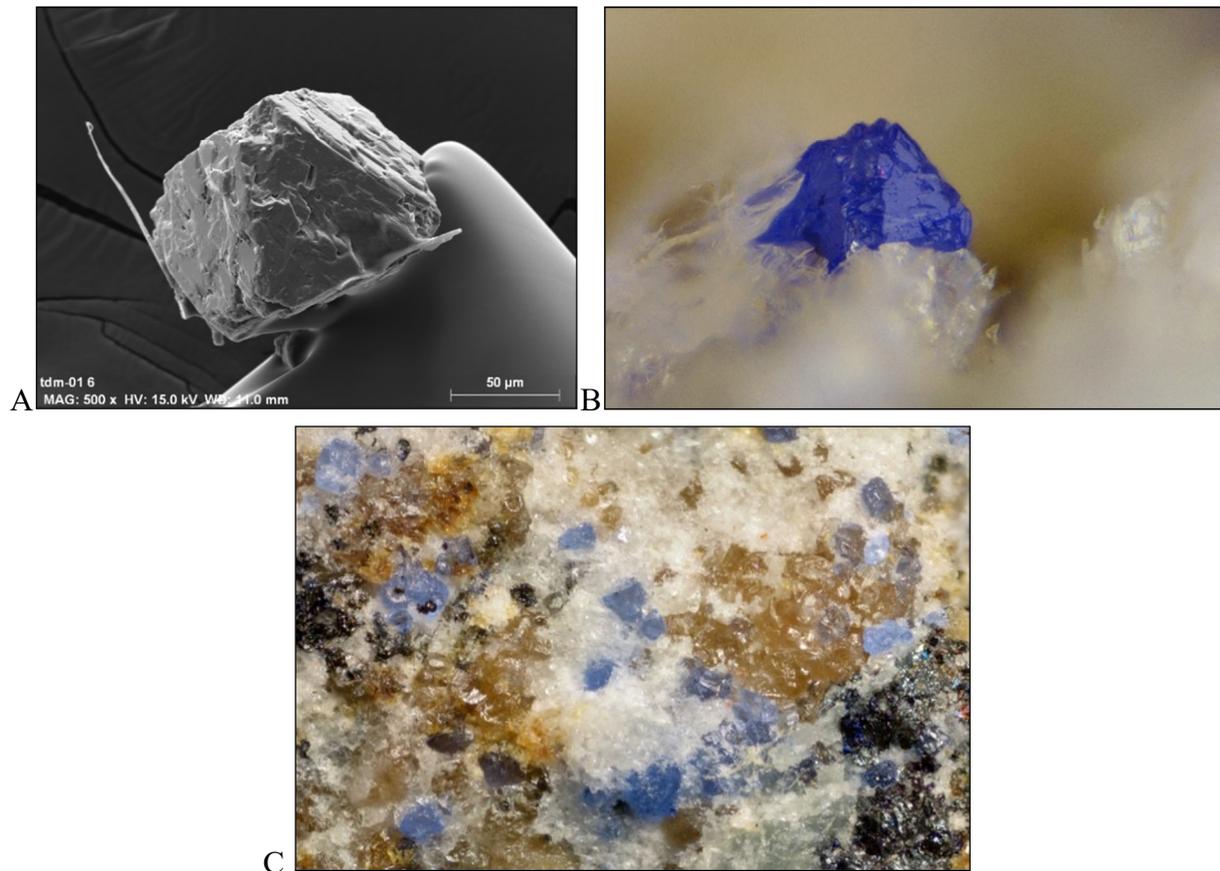
**Figure 42 :** Florencite-(Ce) de la carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. A. L=0,85 mm, collection M. Blondieau. B. L=0,45 mm, collection P. Chollet. C. L = 1 mm, collection M. Blondieau. D. Morphologie cristalline réalisée avec le programme Faces (Favreau, 2006). A et B, photos P. Chollet. C, photo S. Philippo MHNLuxembourg.

#### 4.13. Gahnite, $ZnAl_2O_4$

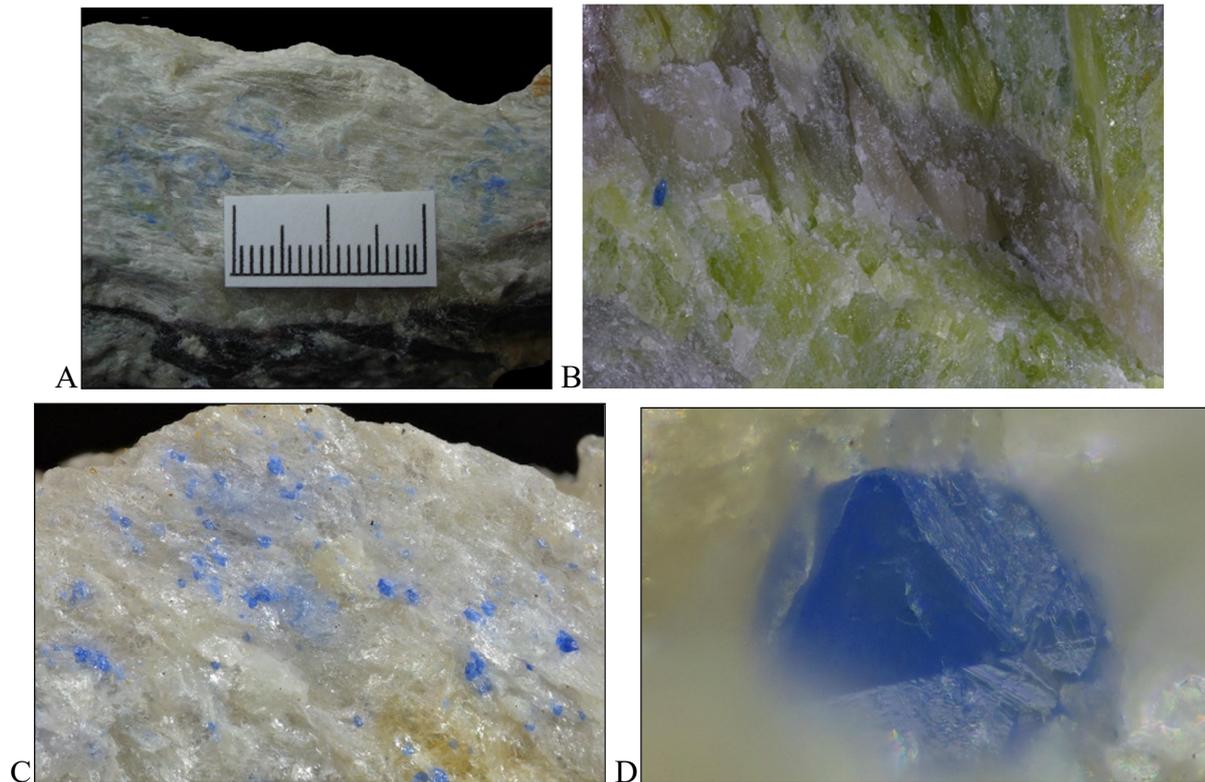
La gahnite est un spinelle zincifère déjà recensé au Coreux (Salmchâteau) où elle forme de minuscules cristaux d'une dizaine de microns uniquement visibles sur sections polies (Hatert *et al.*, 2002). Nous l'avons également observée en différents endroits du Massif de Stavelot, en cristaux bleus d'une centaine de microns, notamment dans le Membre de Meuville aux minières de Bihain. La gahnite semble être une espèce discrète mais assez répandue dans la Formation d'Ottre du Massif de Stavelot.

À Grand-Sart, elle a été observée en plusieurs endroits mais uniquement dans le Membre de Les Plattes. Au sud du Thier du Mont (site n°7), elle se présente en petits cristaux bleu pâle à bleu intense dans une roche grise constituée d'un mélange grenu d'andalousite rétrotransformée, de spessartine et d'hématite (Figures 43B, C). L'identification visuelle du minéral est confirmée par diffraction des rayons X sur monocristal, ainsi que par des analyses chimiques qualitatives qui indiquent la présence des éléments majoritaires O, Al et Zn, ainsi que Fe, Co et Mn très minoritaires. Sous le microscope électronique à balayage, les cristaux octaédriques montrent des faces très corrodées (Figure 43A).

La gahnite a encore été identifiée dans la carrière en activité du TDP (site n°1), en grandes plages microcristallines bleu amidon associées à l'andalousite verte récoltée à proximité de la veine de quartz à ardennite-(As) (Figures 44A, B, C). Sous un fort grossissement, ces plages montrent une juxtaposition de très nombreux mais minuscules cristaux présentant l'habitus cristallin octaédrique typique des spinelles (Figure 44D). L'identification de ces cristaux bleus de la carrière est également confirmée par diffraction des rayons X.



**Figure 43** : Gahnite du versant sud du Thier du Mont (site n°7). A. Echantillon TDM-01, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires. B. Cristal de gahnite, L= 0,30 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet. C. Gahnite avec spessartine et hématite, L=1,95 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet.



**Figure 44** : Gahnite de la carrière du Thier del Preu (site n°1), Grand-Sart. A Echantillon avec plage microcristalline de gahnite sur *séricite*, recouvrant un nodule d'andalousite. Collection et photo M. Blondieau. B Cristal de gahnite avec andalousite et quartz, collection et photo n°23168, E. Van der Meersche. C. L=5,1 mm. D. L=0,19 mm. C et D, collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.14. Goethite, $\text{FeO}(\text{OH})$

La goethite est un minéral d'altération fréquent à Grand-Sart, observée partout en enduits bruns. Au versant sud du Thier du Mont (site n°6), elle peut former des croûtes pouvant atteindre un centimètre d'épaisseur, en remplissage de diaclases des roches du Membre de Colanhan. Elle présente alors une structure collomorphe, montre une couleur brun marron à noire, et est associée à la lithiophorite ainsi qu'à des petits cristaux de turquoise (Figure 45).



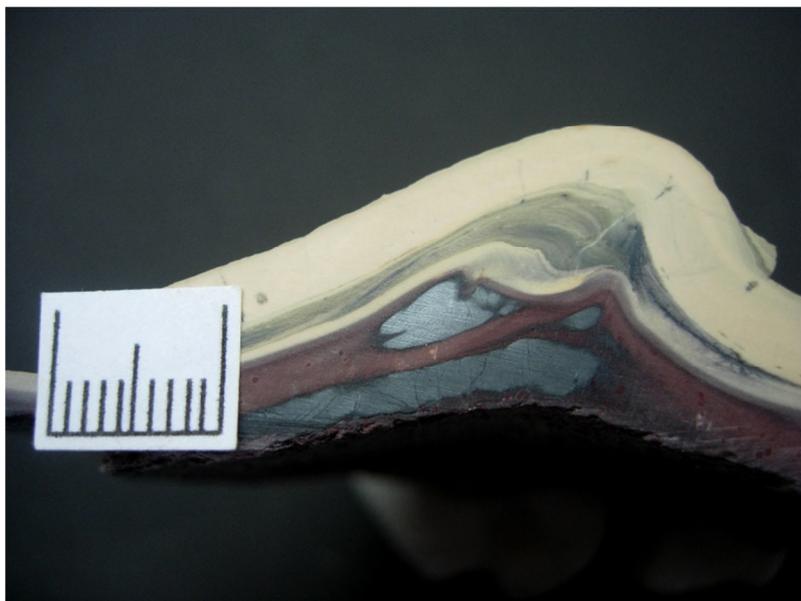
**Figure 45** : Goethite et turquoise de Grand-Sart (site n°6), L = 4 cm, collection et photo M. Blondieau.

#### 4.15. Hématite, $\text{Fe}_2\text{O}_3$

L'hématite est observée partout où la Formation d'Otré affleure ; elle est responsable de la couleur rouge à violacée des phyllades.

À Grand-Sart, elle est observée dans les trois membres de la Formation d'Otré.

- Dans le Membre de Meuville, l'hématite est responsable de la couleur rouge des roches mais ne s'exprime pas macroscopiquement. Elle est identifiée par diffraction des rayons X en association avec le cryptomélane dans le minerai de manganèse concrétionné d'Arbrefontaine (site n°5), ainsi qu'à la carrière du Thier del Preu (site n°1)
- 
- Dans le Membre de Les Plattes, elle est identifiée visuellement à la carrière du TDP (site n°1) où elle forme des noyaux lamellaires pouvant atteindre plus d'un  $\text{dm}^3$  de volume, dans des veines de quartz renfermant également des noyaux d'andalousite verte. Cette hématite, qui se clive facilement selon (0001) en grandes lamelles métalliques, montre aussi de nombreuses fractures perpendiculaires au clivage, dans lesquelles des recristallisations d'hématite et de sudoïte sont parfois observées. Signalons également l'identification de l'hématite par diffraction des rayons X en petits nodules noirs dans des replis de certaines couches de coticule de la carrière du TDP (Figure 46). Sur le versant sud du Thier du Mont (site N°7), l'hématite se rencontre dans de minces niveaux au sein d'une roche grise à andalousite séricitisée, où elle forme des grains métalliques noirs qui semblent s'altérer en rouge brique à certains endroits. Assez curieusement, elle est attirée par des aimants forts au néodyme. L'identification de cette hématite a été confirmée par diffraction des rayons X.



**Figure 46 :** Noyaux d'hématite développés dans la couche de phyllade en-dessous d'une couche de coticule. Carrière du Thier del Preu, collection et photo M. Blondieau.

- Dans le Membre de Colanhan, l'hématite est identifiée visuellement dans des veines de quartz laiteux, où elle forme, comme dans les ardoisières de Vielsalm, de grandes lamelles associées à des petits cristaux de turquoise et de clinocllore (Figure 47).



**Figure 47 :** Grande lamelle d'hématite sur quartz laiteux du Membre de Colanhan, récoltée à proximité de la roche volcanique du site n°4. Collection et photo M. Blondieau.

#### 4.16. Kaolinite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

La kaolinite est un minéral d'altération blanc à texture argileuse, déjà signalé en divers endroits du Massif de Stavelot, notamment comme produit d'altération de la davreuxite d'Otré (Fransolet & Bourguignon, 1978), en association avec des minerais noirs de manganèse à Bihain (Gustine, 2002) et aussi comme produit d'altération à l'interface entre l'andalousite et la pyrophyllite ou comme produit de transformation de la davreuxite à Regné (Hanson, 1983).

À Grand-Sart, nous avons pu l'identifier par diffraction des rayons X en de nombreux endroits:

- Dans le membre de Meuville, elle est présente dans des veinules blanches associées au minéral de manganèse d'Arbrefontaine.
- 
- Dans le membre de Les Plattes, elle est identifiée par diffraction des rayons X dans la carrière du Thier del Preu (site n°1), en association avec l'ardennite-(As). De même, des échantillons observés au versant sud du Thier du Mont (site n°7) et visuellement identifiés comme davreuxite (Figure 48) ne sont plus constitués que de kaolinite. Pourtant, vu l'aspect du

minéral, il devait très certainement s'agir initialement de davreuxite ; nous avons donc affaire à une épigénie de davreuxite en kaolinite.

- 
- Dans le membre de Colanhan, elle est associée à des boules de turquoise sur des diaclases de phyllades à chloritoïde de la partie ouest de la carrière du Thier del Preu.



**Figure 48** : Epigénie de davreuxite en kaolinite, Grand-Sart. Collection et photo M. Blondieau.

#### 4.17. Kolbeckite, $\text{Sc}(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La kolbeckite n'est pas une espèce signalée dans la Formation d'Otré mais elle est recensée en Belgique dans le gite d'Altenberg (mine de calamine de Moresnet) en association avec l'hémimorphite (Hatert *et al.*, 2002). Cette identification fort ancienne (1879) n'a cependant jamais été confirmée.

À Grand-Sart, de petits amas cristallins beiges et parfois rougeâtres d'une centaine de microns de diamètre ont été observés dans la paragenèse des roches rouges silicifiées à ardennite-(As), en deux endroits du membre de Les Plattes dans la carrière du Thier del Preu (Figure 49A). Les analyses par diffraction des rayons X indiquent qu'il s'agit d'un minéral proche de la metavariscite ou de la phosphosidérite. Les analyses chimiques qualitatives EDS d'un échantillon (Figure 49B) mettent en évidence la présence des éléments majoritaires O, Sc et P, ainsi que Al, Si et Fe minoritaires. Ce phosphate de scandium à la structure proche de celle de la phosphosidérite est identifié comme étant de la kolbeckite, ce qui est conforté par les raies du diffractogramme de poudres de rayons X (Tableau 3a) ainsi que par les paramètres de mailles du minéral (Tableau 3b) en très bon accord avec ceux de la kolbeckite de Gleichenberg, Autriche (JCPDS 38-431). Un échantillon unique a montré un cristal de couleur bleue visuellement identifié comme kolbeckite (Figure 49C).

#### 4.18. Lépido-crocite, Fe<sup>3+</sup>O(OH)

Dans le Massif de Stavelot, la lépido-crocite a déjà été signalée à Vielsalm dans une galerie en travers-banc recoupant le membre de Meuville (Blondieau *et al.*, 2017).

À Grand-Sart, la lépido-crocite est observée avec de la lithiophorite et de la goethite sur un bloc volant trouvé dans la carrière du Thier del Preu. Elle est identifiée par diffraction des rayons X.

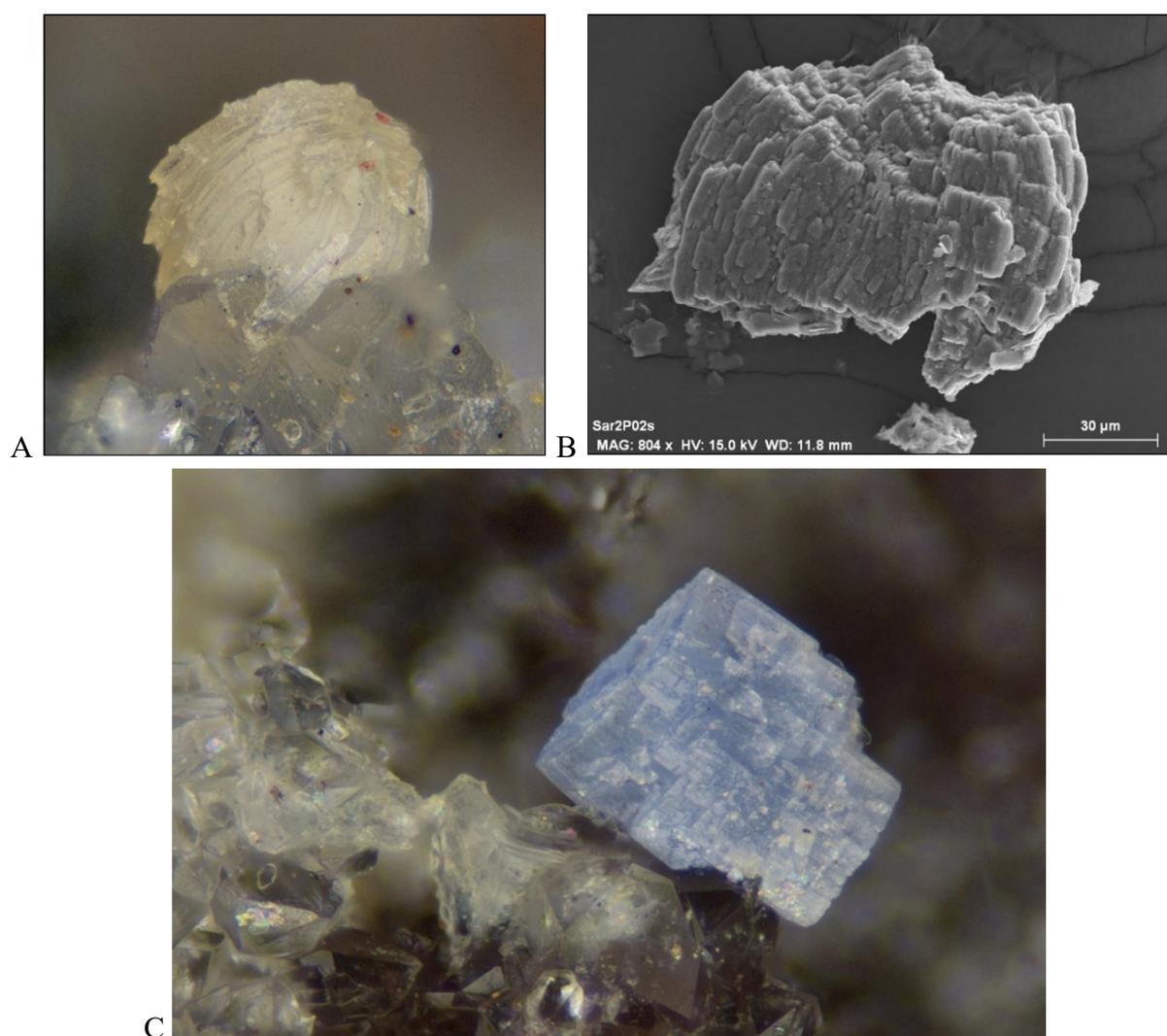
**Tableau 3a** : Radiogramme de poudres de la kolbeckite de Grand-Sart, comparé à celui de la kolbeckite de Gleichenberg, Autriche (JCPDS 38-431).  
Diffractomètre à 4 cercles Rigaku Xcalibur, détecteur EOS, radiation MoK $\alpha$ .

Kolbeckite Grand-Sart		Kolbeckite * Autriche JCPDS 38-431	
<i>d</i> (Å)	<i>I</i> / <i>I</i> <sub>0</sub>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i> / <i>I</i> <sub>0</sub> (%)
6,662	m	6,7	15
5,041	tf	5,1	30
<b>4,710</b>	<b>F</b>	<b>4,78</b>	<b>100</b>
-	-	4,66	20
<b>4,420</b>	<b>TF</b>	<b>4,44</b>	<b>100</b>
-	-	4,19	10
3,684	F	3,708	40
3,375	tf	3,421	5
-	-	3,272	< 5
<b>2,847</b>	<b>TF</b>	<b>2,878</b>	<b>70</b>
-	-	2,849	50
-	-	2,709	10
2,605	m	2,614	60
-	-	2,508	< 5
2,409	f	2,414	10
-	-	2,322	5
2,292	f	2,301	15
2,215	f	2,224	10
-	-	2,171	< 5
-	-	2,113	< 5
2,048	m	2,058	15
1,841	f	1,852	5
-	-	1,811	< 5
-	-	1,748	5
1,733	f	1,732	5
1,687	m	1,698	25
1,583	m	-	-
1,516	f	-	-
1,468	tf	-	-
1,412	m	-	-
1,333	f	-	-
1,194	f	-	-

\* Fiche JCPDS 38-431 – Kolbeckite de la carrière Klause, Gleichenberg, Styrie, Autriche  
(TF) : Très fort, (F) : fort, (m) : moyen, (f) : faible, (Tf) : très faible.

**Tableau 3b** : Comparaison des paramètres de maille de la kolbeckite de Grand-Sart et de celle de Gleichenberg (Autriche).

	<b>Grand-Sart</b>	<b>Gleichenberg (Autriche)</b>
<b>Référence</b>	Ce travail	Fiche JCPDS 38-431
<b><i>a</i> (Å)</b>	5,388 (5)	5,418
<b><i>b</i> (Å)</b>	10,120 (6)	10,193
<b><i>c</i> (Å)</b>	8,88 (1)	8,893
<b><math>\beta</math> (°)</b>	90,5 (1)	90,8

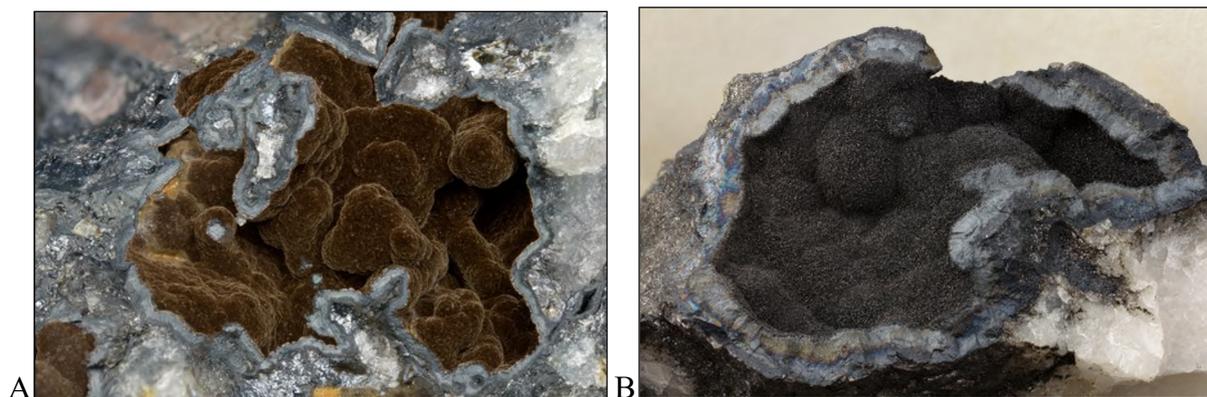


**Figure 49** : Kolbeckite de Grand-Sart. A. L=0,45 mm, collection S. Puccio, Photo P. Chollet.  
 B. Échantillon Sart-2, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires. C. L = 0,58 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet.

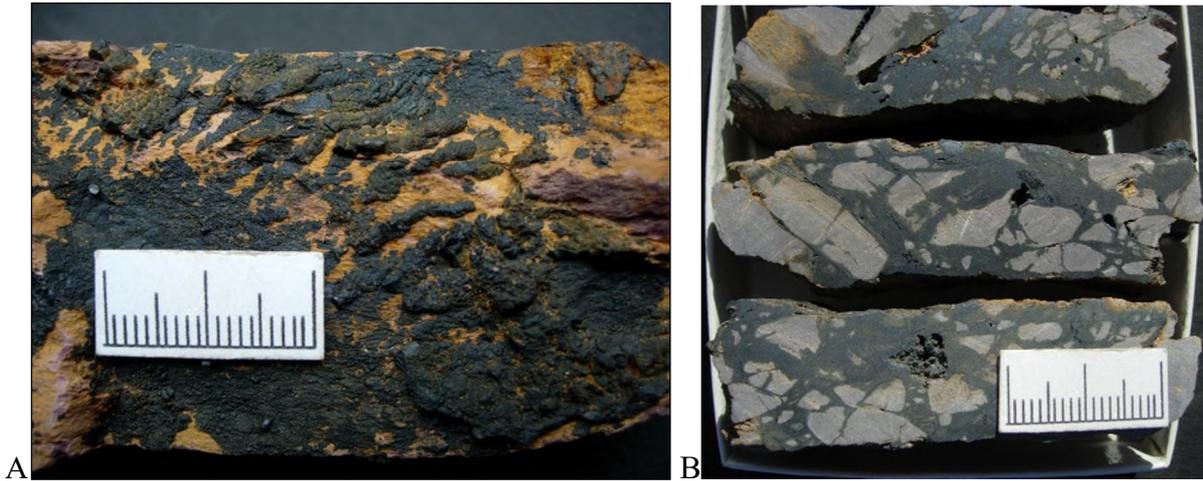
#### 4.19. Lithiophorite, $(Al, Li)(Mn^{4+}, Mn^{3+})O_2(OH)_2$

La lithiophorite, très fréquente dans le massif de Stavelot, a été reconnue partout où affleure la Formation d'Ottré. Elle recouvre fréquemment le cryptomélane ou la wavellite. Lorsqu'elle est massive, elle peut visuellement être confondue avec le cryptomélane ou avec la nsutite avec lesquels elle est très souvent associée. Son identification ne peut alors s'effectuer que par diffraction des rayons X. À Grand-Sart, la lithiophorite est observée dans les trois Membres de la Formation d'Ottré, où elle a été identifiée à de très nombreuses reprises par diffraction des rayons X.

- Dans le Membre de Meuville, la lithiophorite est très abondante dans des veines de quartz à oxydes de manganèse, où elle forme de petits amas veloutés de couleur brun-marron très caractéristique (Figure 50A). Avec le temps, cette teinte semble évoluer vers le brun-noir (Figure 50B). Au site n°3b, le minéral cimente des fragments de phyllade broyés (Figure 51B). La lithiophorite est également identifiée, de manière minoritaire, dans le minerai de manganèse très dense constitué majoritairement de cryptomélane. Les petites concrétions réniformes, les dendrites sur phyllades ou dans le minerai stratifié sont généralement constituées de lithiophorite très pure (Figure 51A). Le minéral est encore associé à la wavellite, sur laquelle il s'est déposé (sites n°2, 3 et 3b). Cette assemblage est typique du Membre de Meuville et avait déjà été décrit à Salmchâteau (Fransolet & Mélon, 1975), Bihain (Gustine, 2002) et Vielsalm (Blondieau *et al.*, 2017).
- 
- Dans le Membre de Les Plattes, la lithiophorite est moins fréquente que dans le Membre de Meuville, mais elle est identifiée dans la carrière du Thier del Preu en petites taches noires dans des roches rouges silicifées, associées à de minuscules globules de rhodochrosite.
- 
- Dans le Membre de Colanhan, le minéral est identifié sur de la goethite et des boules de turquoise au versant nord du Thier du Mont (site n°6).



**Figure 50** : Lithiophorite de Grand-Sart observée dans les blocs de quartz à manganèse du membre de Meuville. A. L = 5,0 mm. B. L = 14,5 mm. Collection M. Blondieau, photos P. Chollet.



**Figure 51** : Lithiophorite de Grand-Sart sur et dans le phyllade altéré du Membre de Meuville. A. En globules et concrétions dans la partie ouest de la carrière. B. En ciment d’une brèche dans le site n°3b, versant sud du Thier del Preu. Collection et photos M. Blondieau.

**4.20. Malhmoodite,  $Fe^{2+}Zr(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$**

La malhmoodite est une espèce déjà signalée dans le Membre de Colanhan à Vielsalm (Blondieau *et al.*, 2017). A Grand-Sart, de petites boules vert pâle, très semblables à celles de Vielsalm, sont visuellement identifiées dans le Membre de Colanhan au flanc nord du Thier du Mont (site n°6) comme étant de la malhmoodite (Figure 52). Les raies de diffraction des rayons X sur poudres, obtenues sur ce matériel, sont en excellent accord avec celles de la malhmoodite de Vielsalm, confirmant ainsi l’identification de l’espèce. Les paramètres de maille des échantillons de Grand-Sart et de Vielsalm (Tableau 4) sont en très bon accord avec ceux de la malhmoodite de Wilson Springs, Arkansas, U.S.A. (Milton *et al.*, 1993).

**Tableau 4** : Comparaison des paramètres de maille de la malhmoodite de Grand-Sart, de Vielsalm et de Wilson Springs (Arkansas, USA).

	Malhmoodite	Malhmoodite	Malhmoodite
	Grand-Sart	Vielsalm*	Arkansas, USA
<b>Référence</b>	Ce travail	Ce travail	**
<b>a (Å)</b>	9,07(1)	9,139(8)	9,12(2)
<b>b (Å)</b>	5,504(4)	5,505(3)	5,42(1)
<b>c (Å)</b>	18,99(1)	18,96(1)	19,17(2)
<b>β (°)</b>	94,44(9)	94,25(9)	94,81(1)

\* Échantillon n°1, Blondieau *et al.*, 2017.

\*\*Mine Wilson Springs, Arkansas, USA (Milton *et al.*, 1993)



**Figure 52 :** Malhmoodite de Grand-Sart. L=0,42 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

#### 4.21. Groupe des *micas*

**Muscovite,  $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$**

**Paragonite,  $NaAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$**

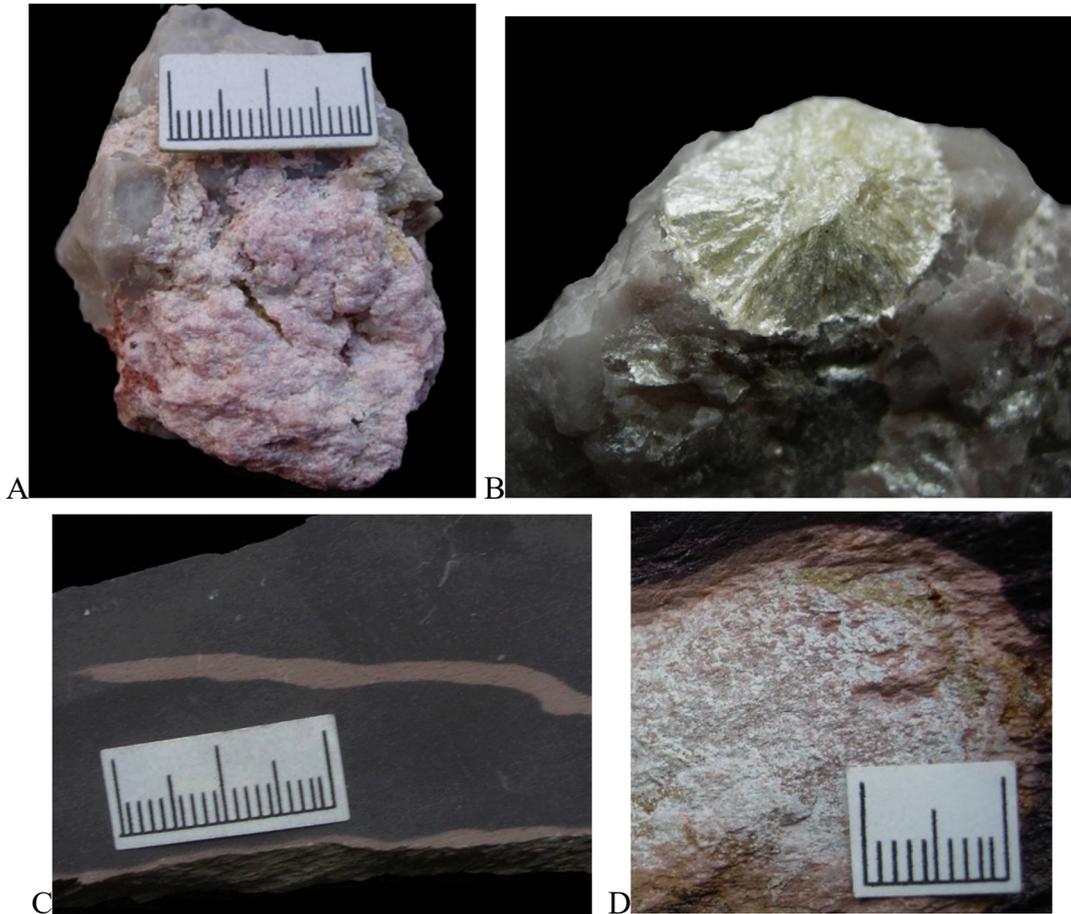
Dans le Massif de Stavelot, la littérature indique la présence de divers micas dont la muscovite, la paragonite, mais aussi des termes intermédiaires comme l'illite ou la phengite. La paragonite est un mica typique des roches ayant subi un métamorphisme faible à modéré. Ces micas sont des minéraux constitutifs abondants des roches de la Formation d'Ottre, mais ils ne s'y présentent généralement qu'en petites paillettes et sous cette forme, leur différenciation visuelle n'est pas possible. Dans le Membre de Meuville aux minières de Bihain, et aussi au Coreux à Salmchâteau, on observe des micas roses associés à la braunite et la kanonaïte. Les analyses de ces micas indiquent la présence de muscovite et de paragonite.

À Grand-Sart, la muscovite est présente dans tous les Membres de la Formation d'Ottre et nous ne signalons ci-dessous que les occurrences les plus remarquables.

Dans le Membre de Meuville, des roches micacées de couleur rose comparables à celles de Bihain et du Coreux sont observées sur le site d'Arbrefontaine (site n°5), en association avec braunite, rutile et andalousite manganésifère (Figure 53A). L'analyse par diffraction des rayons X de ce matériel indique la présence très importante de paragonite en association avec de la muscovite.

Dans le Membre de Les Plattes, la muscovite est identifiée visuellement dans la grosse veine de quartz de la carrière du Thier del Preu où étaient présents des échantillons d'ardennite-(As). Elle y forme des rosaces blanc nacré atteignant un diamètre de deux centimètres (Figure 53B). Des petites rosaces observées dans une ancienne fosse au versant sud du Thier del Preu, identifiées visuellement comme vantasselite, sont confirmées par diffractions des rayons X comme muscovite. La variété « illite » a été détectée par diffraction des rayons X dans des joints traversant le phyllade (Figure 53C et 53D).

Dans le Membre de Colanhan, de petites rosaces nacrées, pouvant être confondues visuellement avec de la vantasselite, sont observées sur du phyllade à chloritoïde au flanc sud du Thier del Preu, à l'ouest de la carrière.



**Figure 53 :** Muscovite de Grand-Sart. A. Association de muscovite et de paragonite rose, ancienne mine d'Arbrefontaine, versant nord du Thier del Preu. B. Muscovite en rosace, diamètre de 1 centimètre. C et D. Joint rosé dans le phyllade tapissé par de l' « illite ». Collection et photos M. Blondieau.

#### 4.22. Nsutite, $Mn^{2+}_xMn^{4+}_{1-x}O_{2-2x}(OH)_{2x}$

La nsutite est une espèce déjà signalée dans la Formation d'Ottré à Salmchateau, Bihain et dans la vallée de la Lienne (Hatert *et al.*, 2002). Nous l'avons également identifiée par diffraction des rayons X à Dochamp ainsi qu'à Malempré où elle forme des masses assez grandes en association avec du cryptomélane minoritaire. La nsutite constitue, avec le cryptomélane et la lithiophorite, la famille des trois oxydes/hydroxydes noirs de manganèse présents dans la formation d'Ottré. Elle est cependant nettement moins abondante que les deux autres minéraux et ne peut être généralement identifiée que par diffraction des rayons X, sauf quand elle se présente sous l'aspect d'un matériel très noir et craquelé. Dans ce cas, la nsutite peut alors être soupçonnée.

À Grand-Sart, nous ne l'avons reconnue que dans le Membre de Meuville, dans la partie nord de la deuxième tranchée du site n°3b, où elle est observée dans des joints de phyllades juste au contact avec la cacoxénite (Figure 54). La nsutite est également identifiée en petites concrétions vernissées noires à la base d'un liseré de goethite mal organisée, dans de gros blocs de minerai de manganèse « stratifié » constitués principalement de cryptomélane et observés dans la carrière du Thier del Preu. Enfin, les veinules parcourant certains phyllades du site n° 3b (Figure 16) sont identifiées par diffraction des rayons X comme étant formées de nsutite très majoritaire et de cryptomélane.

La nsutite est un oxyde/hydroxyde de manganèse souvent associé à la rhodochrosite en voie d'altération (Zwicker *et al.*, 1962), ce que Gustine (2002) a d'ailleurs confirmé sur des échantillons de minerai de manganèse exploité dans la Basse-Lienne. Cette autrice a établi les séquences de transformation suivantes : Rhodochrosite → Manganite → Nsutite → Pyrolusite. À Grand-Sart, nous n'avons cependant pas pu identifier la nsutite dans les altérations noires formées sur la rhodochrosite, dans lesquelles nous n'avons observé que du cryptomélane. Par contre, au même endroit, de fines plaquettes de 1 à 2 mm d'épaisseur sont constituées d'un mélange de nsutite et de cryptomélane. Leurs dimensions correspondent bien aux veinules de rhodochrosite observées dans les parties moins altérées de l'encaissant.



**Figure 54** : Nsutite de Grand-Sart en veine noire craquelée, bordée de cacoxénite. Site n°3b, Thier del Preu, L = 7,2 mm. Collection M. Blondieau, photo P. Chollet.

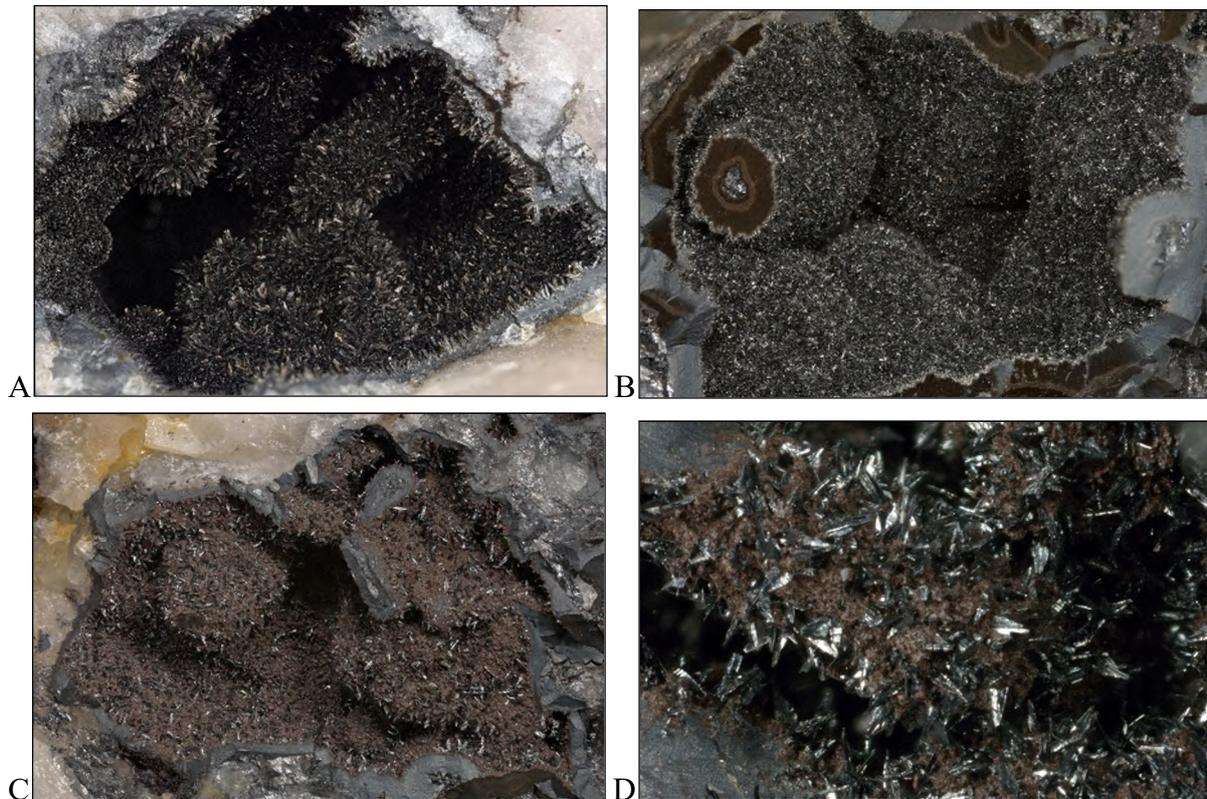
#### 4.23. Pyrolusite, $MnO_2$

La pyrolusite est déjà signalée dans la Formation d'Otré, notamment dans le Membre de Meuville à Fraiture, au Coreux (Salmchâteau) et dans la vallée de la Lienne (Hatert *et al.*, 2002). Elle est également observée à Vielsalm, dans un quartz à oxydes de manganèse de la carrière « Meyer » (actuellement reprise par la société Nelles-frères), ainsi que dans les

pyllades pyriteux de la carrière Georges Jacques tout à l'ouest du Thier des carrières (Blondieau, 2006).

À Grand-Sart, la pyrolusite est peu fréquente et n'a été observée que dans du quartz à oxydes de manganèse du Membre de Meuville (Figure 55). Elle est identifiée par diffraction des rayons X dans la carrière du Thier del Preu où elle forme de jolis petits cristaux millimétriques posés sur un mince liseré de lithiophorite veloutée couvrant du cryptomélane très pur.

Gustine (2002) précise que la pyrolusite est le terme final d'une série d'oxydation affectant la rhodochrosite.

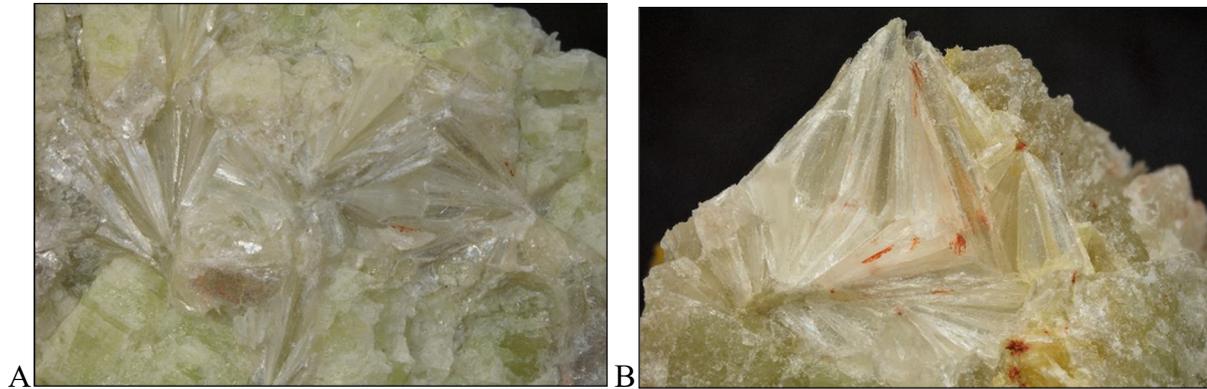


**Figure 55 :** Pyrolusite de Grand-Sart. A. L=7,5 mm. B. L=7 mm. C. L= 10,5 mm. D. L= 1,65 mm. Collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.24. Pyrophyllite, $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

La pyrophyllite est signalée en de nombreux endroits de la Formation d'Otré, dont notamment à Otré, Recht, Salmchâteau et Vielsalm (Hatert *et al.*, 2002). Ce phyllosilicate se forme par transformation de l'andalousite et, avec la « séricite », elle constitue des couronnes de réaction blanches autour des nodules et cristaux d'andalousite. La pyrophyllite s'exprime parfois en belles lamelles blanches ou jaunâtres nacrées, disposées en rosaces pouvant atteindre un diamètre de plusieurs centimètres.

À Grand-Sart, la pyrophyllite est observée dans le Membre de Les Plattes en association avec l'andalousite verte de la carrière du Thier del Preu (site n°1, Figure 56), ainsi qu'au versant sud du Thier du Mont (site n°7) où elle développe de grandes plages nacrées sur les diaclases d'une roche grise à andalousite séricitisée et dans des cavités d'un quartz rosé. Son identification visuelle est confirmée par diffraction des rayons X.



**Figure 56** : Pyrophyllite de la carrière du Thier del Preu de Grand-Sart. A. L=17 mm. B. L=11 mm. Collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.25. Quartz, SiO<sub>2</sub>

Le quartz laiteux est abondant dans la Formation d'Otré mais il ne s'y présente généralement qu'en veines massives d'une puissance variant de quelques millimètres à plus d'un mètre. Les cristaux sont rares et généralement de petite taille ; les plus grands ne mesurent que quelques centimètres. Certains quartz blancs des membres de Meuville et de Les Plattes montrent parfois des veines rouges assez curieuses, qui avaient déjà été signalés à Salmchâteau et à Regné (Corin, 1928, 1929).

Dans le Membre de Meuville, certaines veines de quartz montrent un aspect bréchi que et sont parcourues par des veinules d'oxydes de manganèse noirâtres qui peuvent s'élargir et fournir de belles veines de cryptomélane. Les quartz broyés sont généralement cimentés par de la lithiophorite (Figure 15).

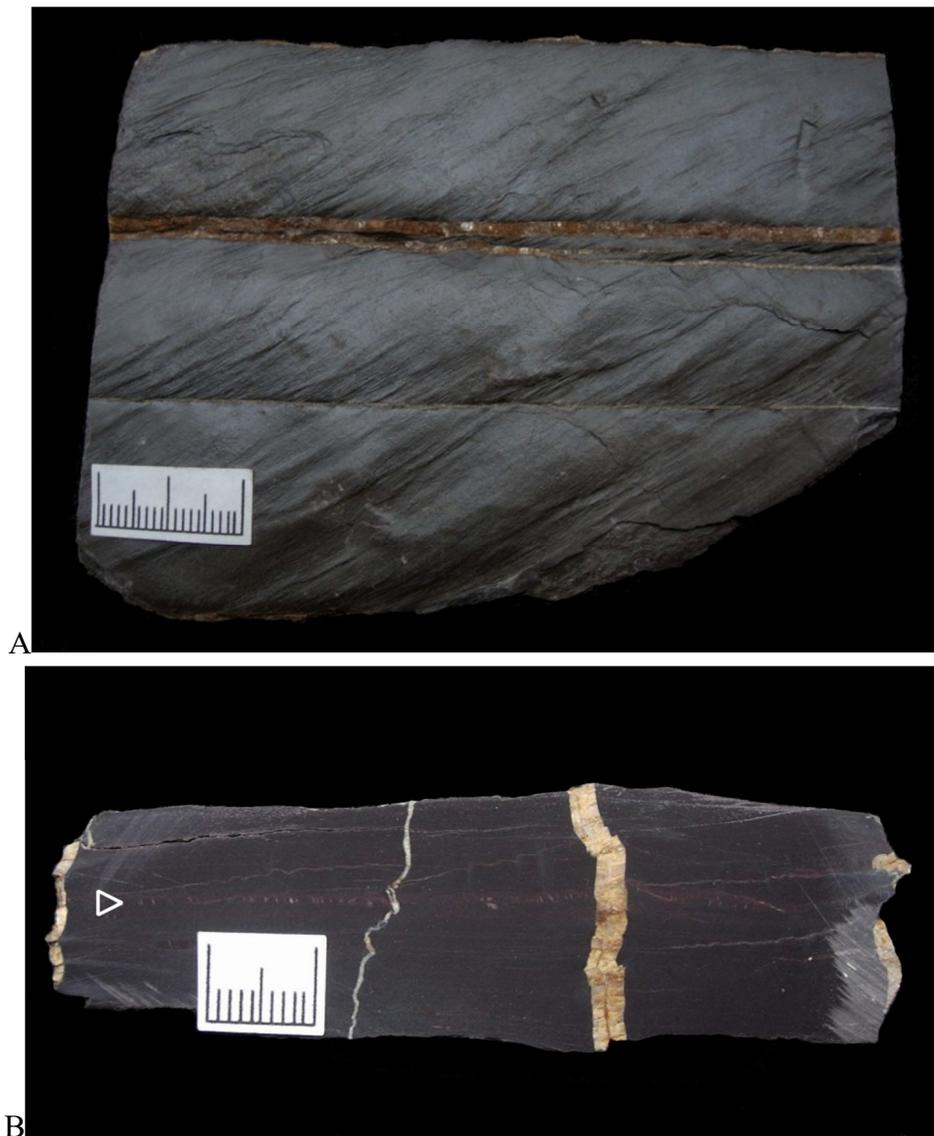
Dans le Membre de Les Plattes, les veines de quartz sont généralement stériles mais peuvent localement renfermer des noyaux d'andalousite verte et parfois aussi de l'ardennite-(As). Ces veines de quartz à ardennite-(As) montrent parfois des passées rouges (Figure 29A).

Dans le Membre de Colanhan, les veines de quartz laiteux se présentent très fréquemment avec des cavités tapissées de chlorite verte (clinocllore), généralement en boules cristallisées et fréquemment saupoudrées de globules ou de petits cristaux de turquoise. Ces quartz sont très typiques de ce membre. On les a observés en abondance dans les ardoisières de Vielsalm à Cahay. Comme le Membre de Colanhan n'a pas été exploité à Grand-Sart, ces échantillons de quartz se retrouvent généralement en blocs volants.

#### 4.26. Rhodochrosite, $MnCO_3$

La rhodochrosite est signalée dans le Membre de Meuville de la vallée de la Lienne, ainsi qu'à Salmchâteau et à Vielsalm dans les galeries en travers-banc conduisant aux chambres d'exploitation de l'ardoise de Cahay (Theunissen, 1971). Ce minéral est également décrit dans le Membre de Les Plattes à Walque et dans le Membre de Colanhan à Vielsalm, notamment dans les pseudocoticules rosés (Blondieau, 2006). La rhodochrosite est considérée comme le minéral à l'origine de la formation des oxydes de manganèse de la région.

À Grand-Sart, la rhodochrosite a été identifiée par diffraction des rayons X au Thier del Preu.



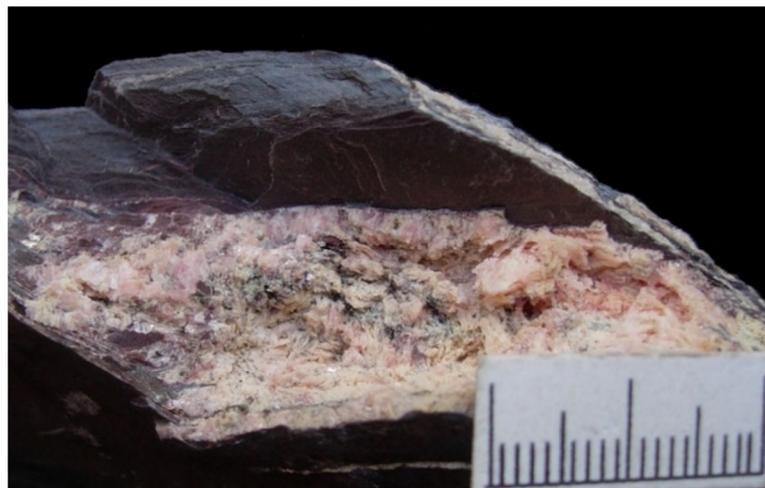
**Figure 57:** Phyllades à rhodochrosite de Grand-Sart. A. Veinules millimétriques. B. Coupe mettant en évidence les plus grosses veinules de rhodochrosite perpendiculaires à la schistosité, mais également quelques petits lits qui y sont parallèles (flèche blanche). Collection et photos M. Blondieau.



**Figure 58** : Rhodochrosite de Grand-Sart formant un joint altéré. Collection et photo M. Blondieau.



A



B

**Figure 59** : Rhodochrosite de Grand-Sart, Membre de Meuville. A. Veine rose dans le phyllade, échantillon scié et poli. B. Cavité avec des cristaux mal formés. Collection et photos M. Blondieau.

#### 4.27. Rutile, TiO<sub>2</sub>

Le rutile est un minéral accessoire discret de la Formation d'Ottré. Dans le Membre de Les Plattes, il est signalé dans le coticule où il forme de très fines aiguilles (Grogna, 1984). Dans le Membre de Colanhan, il a décrit à Bihain, Ottré, Vielsalm et Salmchâteau (Blondieau, 2006).

Dans la carrière du Thier del Preu, le rutile a été identifié par diffraction des rayons X dans le Membre de Meuville, où il forme de minuscules cristaux brun-orange associés à la vantasselite. Dans le Membre de Les Plattes, il a été observé en minuscules cristaux orange d'une centaine de microns dans une roche rouge silicifiée, ainsi qu'en cristaux millimétriques en épitaxie sur des plages d'hématite associée à l'ardennite-(As).

À Arbrefontaine, le rutile forme de fines fibres dans le quartz, en association avec la braunite, l'andalousite manganésifère et la muscovite/paragonite rose. Cette identification a été confirmée par un spectre EDS qui montre le titane dominant.

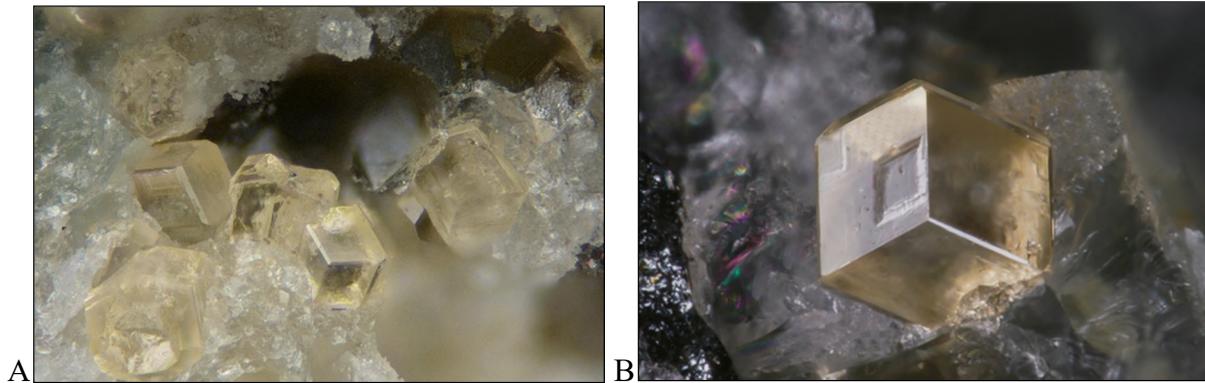
#### 4.28. Spessartine, Mn<sup>2+</sup><sub>3</sub>Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

Le grenat spessartine est très abondant dans tous les membres de la Formation d'Ottré. Dans le Membre de Meuville, il est signalé dans la vallée de la Lienne avec la carpholite et la rhodochrosite. Dans le Membre de Les Plattes, il se présente en minuscules cristaux dans le coticule. Enfin, dans le Membre de Colanhan, il est parfois observé en cristaux plus gros comme au filon de cuivre de Salmchâteau, ainsi qu'à Vielsalm dans les pseudocoticules rosés.

Grand-Sart, la spessartine est également observée dans tous les membres de la Formation d'Ottré.

- Dans le Membre de Meuville, la spessartine forme de minuscules cristaux que l'on voit scintiller au soleil dans les roches fragiles exploitées comme « argile » au site n°1. L'identification du minéral est confirmée par diffraction des rayons X. On l'observe également en accumulation de petits cristaux rouges dans certains phyllades du site n°5.
- 
- Dans le Membre de Les Plattes, la spessartine est extrêmement abondante mais presque toujours en cristaux minuscules d'une dizaine de microns de diamètre, comme dans le coticule qui doit d'ailleurs ses propriétés abrasives exceptionnelles à ce minéral. Dans un bloc de quartz bréchiq ue trouvé au niveau technique de la carrière du Thier del Preu, nous avons pu observer la spessartine en cristaux rhombododécaédriques isolés et parfois gemmes atteignant 200 µm de diamètre, inclus dans le clinochlore (Figure 60). Dans ce bloc, le minéral forme aussi des plages jaune pâle atteignant de plusieurs cm<sup>2</sup> de surface. La présence minimale de chloritoïde vert indique que l'origine de ce bloc se trouve probablement dans les couches terminales du Membre de Les Plattes, non loin des premières couches du Membre de Colanhan.
-

- Dans le membre de Colanhan, des cristaux de spessartine souvent déformés peuvent être observés visuellement dans des pseudocoticules rosés, notamment dans la partie ouest de la carrière (site N°1) sur des blocs volants (Figure 21).



**Figure 60** : Grenat spessartine de Grand-Sart. A. L= 0,79 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet. B. L= 0,5 mm, collection et photo n° 23152, E. Van der Meersche.

**4.29. Todorokite,  $(\text{Na,Ca,K,Ba,Sr})_{1-x}(\text{Mn,Mg,Al})_6\text{O}_{12}\cdot 3-4\text{H}_2\text{O}$**  La todorokite est une espèce déjà signalée à Ottré, en enduits mamelonnés sur le coticule (Hatert *et al.*, 2002).

À Grand-Sart, de rares échantillons ont montré un minéral violacé fragile d'aspect spongieux, visuellement identifié comme todorokite (Figure 61). Le minéral diffracte mal mais des analyses ont malgré tout confirmé l'espèce en association avec de la goethite et de la lithiophorite dans la carrière du Thier del Preu, sur des blocs volants du Membre de Meuville. La todorokite a également été identifiée par diffraction des rayons X au site n°6 dans le Membre de Colanhan.



**Figure 61** : Todorokite de Grand-Sart. L=4,8 mm, collection M. Blondieau, photo P. Chollet.

**4.30. Groupe de la *tourmaline*****Schorl,  $\text{NaFe}^{2+}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$** **Dravite,  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$** 

La *tourmaline* est signalée comme minéral accessoire dans le coticule par Grogna (1984) ; elle est, selon cet auteur, reconnaissable à son pléochroïsme. La *tourmaline* est un groupe contenant de nombreuses espèces, dont la plus courante est le schorl. Nos recherches sur le terrain ne nous ont cependant pas permis d'observer de minéraux de ce groupe à Grand-Sart. Signalons toutefois que la *tourmaline* détritique est un minéral accessoire fréquent dans les conglomérats et arkoses du Lochkovien de la Formation de Marteau, affleurant sur le pourtour du Massif de Stavelot (Van den Bleeken *et al.*, 2007).

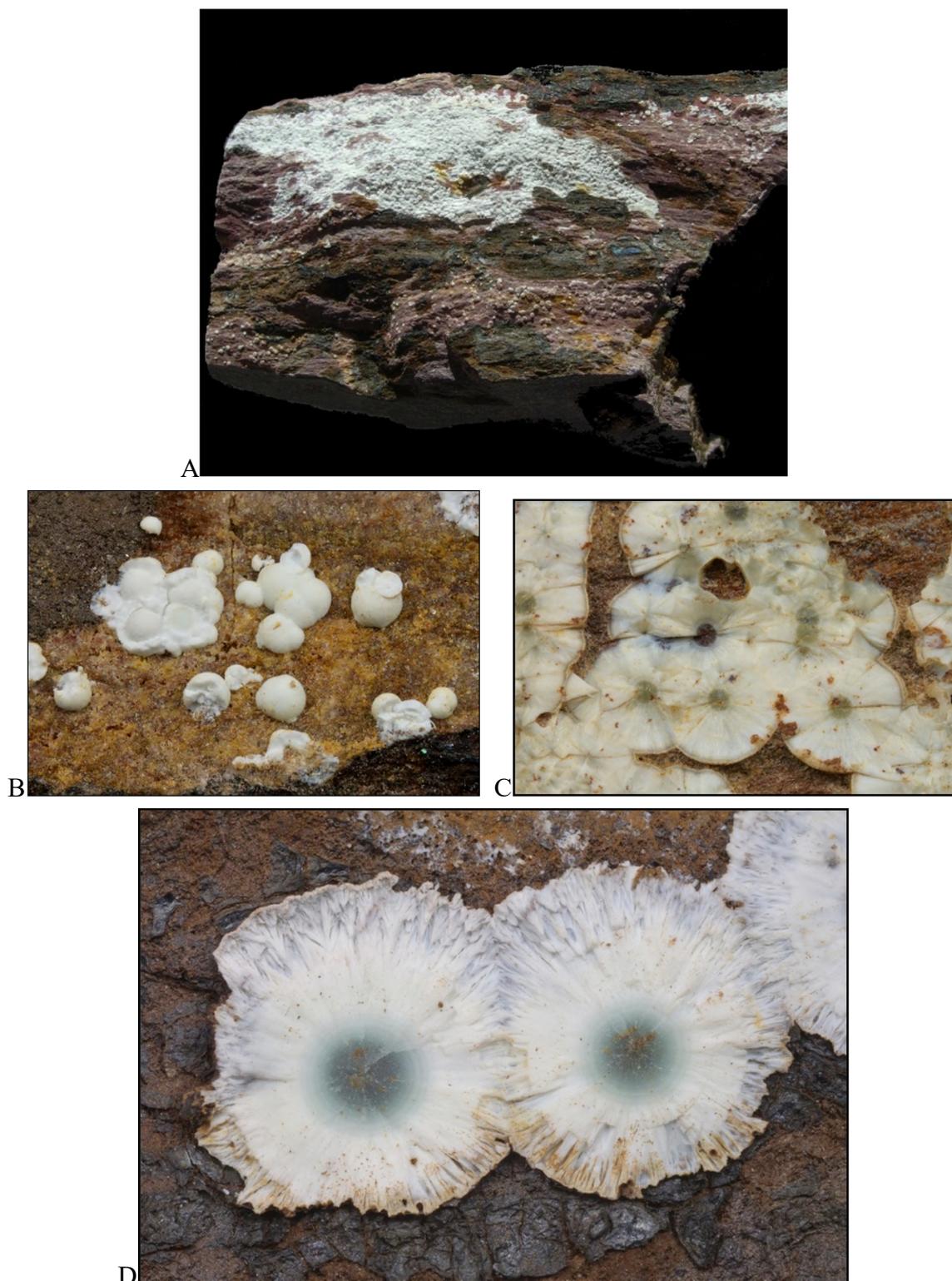
**4.31. Groupe de la *turquoise*****Aheylite,  $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$** **Faustite,  $\text{ZnAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$** **Turquoise,  $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$** 

La turquoise est une espèce déjà signalée en de nombreux endroits du Massif de Stavelot. Dans le Membre de Les Plattes, elle a été identifiée à Bihain ainsi que sur des phyllades associés au coticule du Thier del Preu ; dans le Membre de Colanhan, elle a été reconnue à Ottré et à Vielsalm (Hatert *et al.*, 2002). Dans ce dernier membre, elle est également observée à Salmchâteau au gisement dit de « florencite » et dans la galerie TCVS-1 (Blondieau, 2006). Plus récemment, la turquoise a été identifiée par diffraction des rayons X sur du coticule à Regné (Membre de Les Plattes).

Lors de nos recherches à Grand-Sart, nous avons pu observer visuellement la turquoise sur les deux collines du Thier del Preu et du Thier du Mont, dans tous les membres de la Formation d'Ottré. Les analyses par diffraction des rayons X ont confirmé l'appartenance de ces minéraux au groupe de la turquoise. Visuellement, les échantillons analysés présentent des teintes très variables allant du blanc neige au vert prairie, en passant par le bleu ciel.

Les analyses chimiques qualitatives EDS montrent que les échantillons les plus colorés sont les plus enrichis en cuivre, indiquant qu'il s'agit de turquoise *sensu stricto*. Par contre, les échantillons moins colorés, observés principalement dans le Membre de Meuville, sont enrichis en fer et pourraient dès lors correspondre à l'aheylite. Enfin, une seconde génération de turquoise développée sur de la turquoise verte s'est avérée être riche en zinc, et pourrait alors correspondre à la faustite. La confirmation de ces espèces ne pourra cependant s'effectuer que par des analyses chimiques à la microsonde électronique.

- Dans le Membre de Meuville, la turquoise tapisse des diaclases de roches fragiles aux sites n°2 et n°3, où elle forme le plus souvent des agrégats fragiles de couleur blanche, assez ternes (Figures 62A et B), avec parfois, au centre, des parties légèrement verdâtres (Figures 62C et D). La turquoise peu colorée se présente également en globules ou en bâtonnets blancs presque incolores (Figure 63) ou en globules vert pale microcristallins (Figure 64)



**Figure 62** : Turquoise de teinte blanchâtre du Membre de Meuville, site n°2 au Thier del Preu, Grand-Sart. A. L = 5 cm. B. L = 40 mm. C. L = 4,1 mm. D. L = 3,9 mm. Collection M. Blondieau, photos M. Blondieau (A) et P. Chollet (B à D).



**Figure 63 :** Turquoise en globules et bâtonnets incolores à blanchâtres du Membre de Meuville, site n°2 du Thier del Preu, Grand-Sart. L=1,55mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.



**Figure 64 :** Turquoise en globules microcristallins vert pâles, site n°3B du Thier del Preu. L = 2 mm, photo P. Chollet.

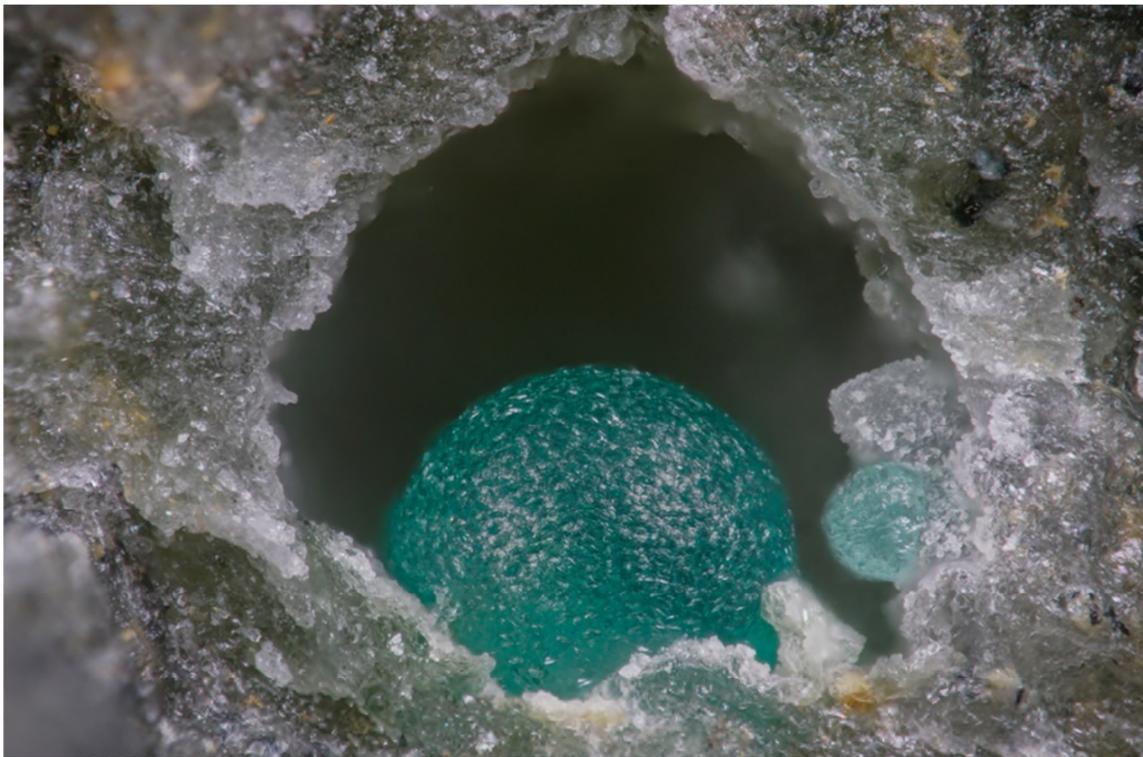
- Au site n°5 (Arbrefontaine), la turquoise est observée en croûte bleu pâle à la surface de quelques gros blocs de quartz laiteux (Figure 65). Ces derniers avaient déjà été remarqués par Dumont (1847) qui indiquait : « *J'ai trouvé dans ce minerais [d'Arbrefontaine] ... des filons de quartz présentant des enduits de cuivre silicaté [Il s'agit en fait de turquoise et non de chrysocolle ; l'identification de la turquoise n'a été faite qu'au milieu du 20<sup>e</sup> siècle]* ». L'observation attentive de ces enduits permet de distinguer au moins deux générations de turquoise qui se sont superposées. La première est presque blanche et la seconde plus verte.

Des analyses EDS montrent bien la prédominance du fer sur le cuivre dans les parties les plus blanches, et l'inverse dans les parties plus vertes.



**Figure 65 :** Croûte de turquoise sur quartz laiteux du Membre de Meuville, ancienne mine de manganèse d'Arbrefontaine, versant nord du Thier del Preu, Grand-Sart. Collection et photos M. Blondieau.

- Dans le Membre de Les Plattes, la turquoise forme, comme dans le Membre de Meuville, de petits globules très pâles sur les diaclases de roches grises à andalousite séricitisée, ou sur les quartz rosés qui leur sont associés (site n°7). On l'a également observée en placages bleu-verts sur le coticule, ou en petits globules cristallins verts dans des vacuoles de la roche volcanique au site n°4 (Figure 66).



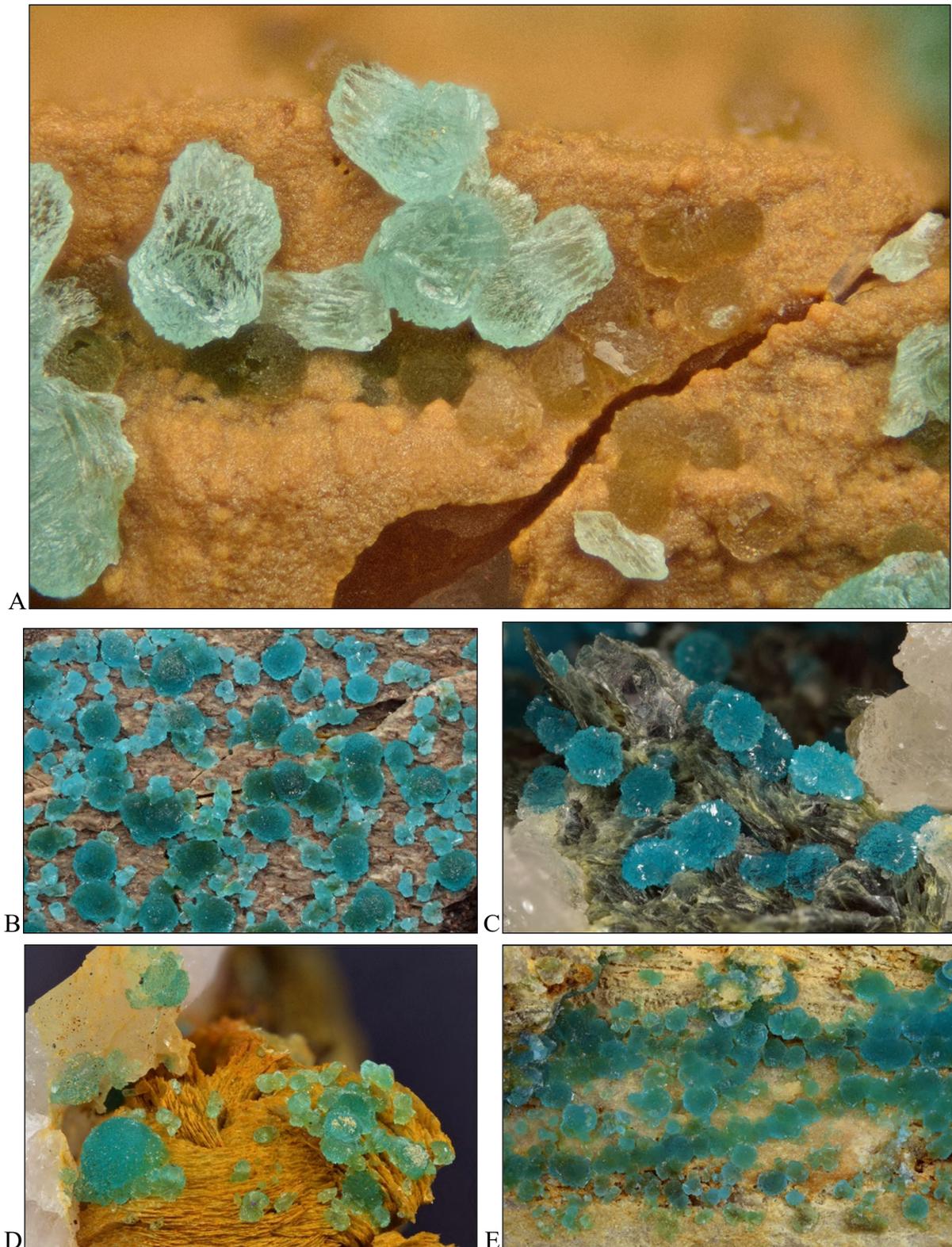
**Figure 66 :** Turquoise dans une vacuole de la roche volcanique associée au coticule du Membre de Les Plattes, site n° 4, Thier del Preu. L = 1,55 mm, collection et photo n°23185, E. Van der Meersche.

- Dans le Membre de Colanhan, la turquoise est très abondante et se présente sur des diaclases de phyllades à chloritoïde, dans des cavités de quartz laiteux avec chlorite verte (clinocllore), et dans les pseudocoticules rosés typiques de ce membre. On l’a principalement observée tout au nord de la partie ouest de la carrière du Thier del Preu (site n°1), ainsi que sur le versant nord du Thier du Mont (site n°6). Au site n°1, la turquoise est abondante et forme des placages de petits globules bleu-vert sur les diaclases des phyllades à chloritoïde de la paroi nord. Quelques rares fragments de quartz, provenant de veines qui ne sont plus observables, l’ont également montrée en jolis agrégats de cristaux bleu verdâtres sur clinocllore et parfois wavellite. Au site n°6, elle est très abondante et bien exprimée (Figure 67). On l’a observée dans des quartz laiteux, sur des pseudocoticules rosés, sur des phyllades à chloritoïdes du Membre de Colanhan, ainsi qu’avec de la goethite et de la lithiophorite dans des veines colmatant des diaclases. Les petits cristaux souvent bien formés se présentent parfois isolés, en agrégats globulaires, ou encore en assemblages ressemblant à de petits «*fagots*». Les analyses EDS réalisées sur la turquoise de ce site suggèrent deux générations ; la première en beaux cristaux est riche en cuivre et la seconde, mal développée, l’est en zinc (Figure 68).

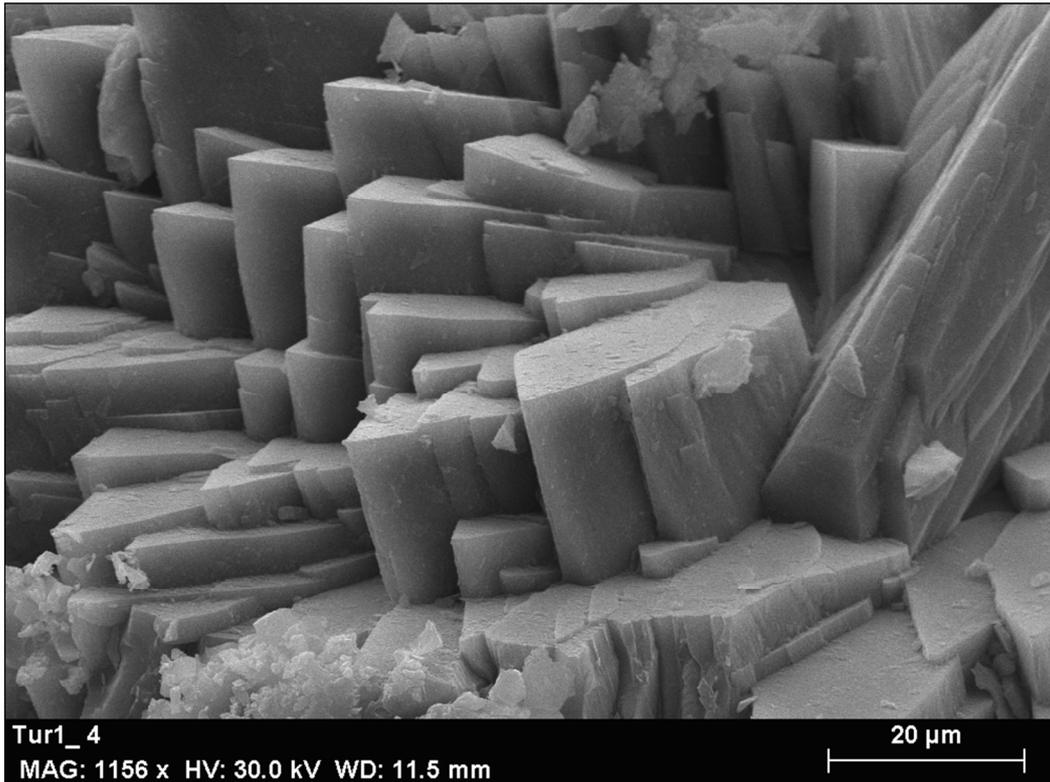
#### 4.32. Vantasselite, $\text{Al}_4(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

La vantasselite est une espèce minérale dont la localité-type se trouve à Bihain, où elle a été décrite par Fransolet (1987). Avant son identification, le minéral était appelé «*mica carré*» (Van der Meersche *et al.*, 2010). Hatert *et al.* (2002) décrivent le minéral : «*Elle se présente habituellement en rosettes de fines lamelles atteignant 8 mm de diamètre qui tapissent les diaclases et les plans de schistosité des phyllades et du coticule. La vantasselite forme également des agrégats sphériques crêtés (2 à 3 mm), constituées d’un empilement de lamelles en éventail.*». Dans sa localité-type, elle a été observée dans une ancienne exploitation de coticule (Membre de Les Plattes)

À Grand-Sart, la vantasselite était déjà connue sur un échantillon ancien conservé dans les collections du Laboratoire de Minéralogie de l’Université de Liège et provenant, sans aucune précision, de la colline du Thier del Preu. Elle y est associée à de la variscite et de la wavellite (Blondieau, 2006). Lors de nos recherches sur le terrain, nous avons pu la retrouver en 2020 et 2021 dans le Membre de Meuville, au site n° 3B, dans la grande excavation réalisée pour l’empierrement du chemin d’accès à la carrière du Thier del Preu (Figure 69A), ainsi qu’à l’ouest de la carrière dans les roches enlevées pour accéder aux couches de coticule (Figures 69B à D). Le minéral identifié visuellement est confirmé par diffraction des rayons X.



**Figure 67 :** Turquoise du Membre de Colanhan, site n°6, Grand-Sart (Thier du Mont, versant Nord). A. Turquoise en fagot vert d'eau et turquoise en globules brun verts et wardite, L= 1,15 mm. B. Turquoise en globules verts sur phyllade à chloritoïde, L=8,5 mm. C. Turquoise en globules verts sur chlorite, L=4,8 mm. D. Turquoise dans une géode de quartz, en globules sur chlorite recouverte d'un film d'oxyde de fer brun, L=4,4 mm. E. Turquoise en globules sur pseudocotile rosé typique de ce membre, L= 9,3 mm. Collections M. Blondieau (A à D) et S. Puccio (E), photos P. Chollet.



**Figure 68 :** Turquoise du site n°7, Grand-Sart (Thier du Mont, versant nord). Photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires (Y. Bruni). Les beaux cristaux sont à cuivre dominant, tandis que les plus petits, de seconde génération et assez mal développés, montrent le zinc dominant.

#### 4.33. Variscite, $\text{Al}(\text{PO}_4)\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La variscite est déjà signalée dans le Membre de Les Plattes de la Formation d'Ottré, au gisement à vantasselite de Bihain, où elle est associée à la wavellite, la cacoxénite et la vantasselite (Hatert *et al.*, 2002).

À Grand-Sart, ce minéral n'a été observé que dans le Membre de Meuville, dans lequel il a été identifié à de nombreuses reprises par diffraction des rayons X.

Au site n°2, en face de la carrière du Thier del Preu, la variscite a été reconnue en écailles blanches légèrement nacrées, à l'intérieur de boules couvertes d'une pellicule de crandallite (Figure 70A). Aux sites n°3et 3B, elle est observée en pastilles ou en veinules blanc nacré, ainsi qu'en amas de cristaux millimétriques incolores (Figures 70B et C). Les cristaux de variscite n'avaient pas encore été signalés en Belgique, bien qu'ils aient récemment été observés sur des échantillons anciens du gisement à vantasselite de Bihain. La variscite est encore fréquemment observée avec la wavellite dans certains joints de phyllade (Figure 70D).

Visuellement, la variscite peut parfois être confondue avec des échantillons de turquoise blanche. Toutefois, elle est plus nacrée que la turquoise de teinte blanchâtre et ne présente pas de nuance colorée, ce qui est souvent le cas pour la turquoise. Ces deux espèces sont

cependant parfois associées. C'est le cas au site n°1, tout à l'ouest de la carrière du Thier del Preu, où de petites boules de variscite parfois bleutées en surface sont observées avec la vantasselite dans des cavités de certains phyllades. Les analyses par diffraction des rayons X de ces boules indiquent qu'il s'agit de variscite couverte d'un film bleuté de turquoise (Figure 71). L'identification visuelle est donc parfois délicate.

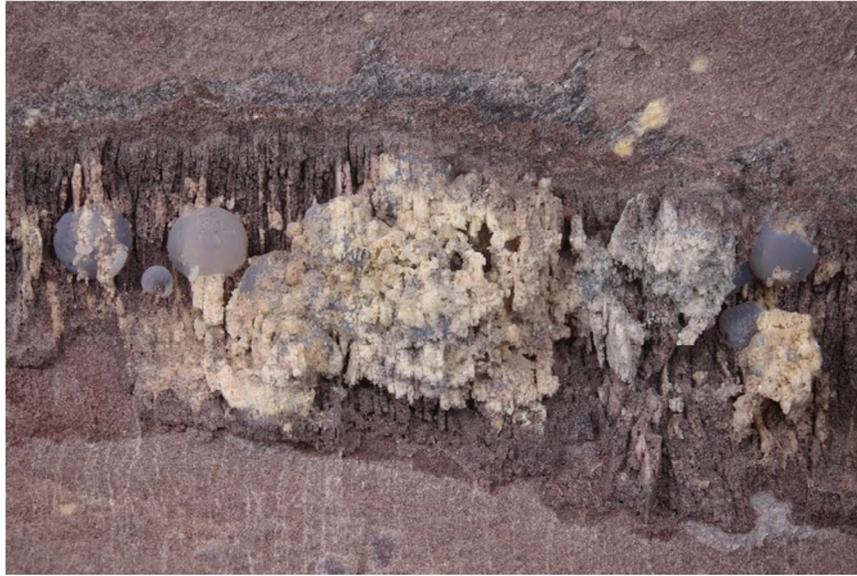


**Figure 69** : Vantasselite de la partie ouest de la carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. A. Aspect typique du minéral sur phyllade, collection et photo M. Blondieau. B. Sur lithiophorite, collection et photo n°23177, E. Van der Meersche. C. L = 2,6 mm. D. L = 6,9 mm. C et D, collection M. Blondieau, photos P. Chollet.



**Figure 70 :** Variscite du Thier del Preu, Grand-Sart. A. Variscite blanche entourée d'une croûte de crandallite, site n°2, L=2,15 mm. B et C. Globules de variscite cristallisée, site

n°3B, L = 4,9 mm (B) et 2mm (C). D. Variscite associée à la wavellite dans les joints du phyllade, site n°3B, L = 4,2 mm. Collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

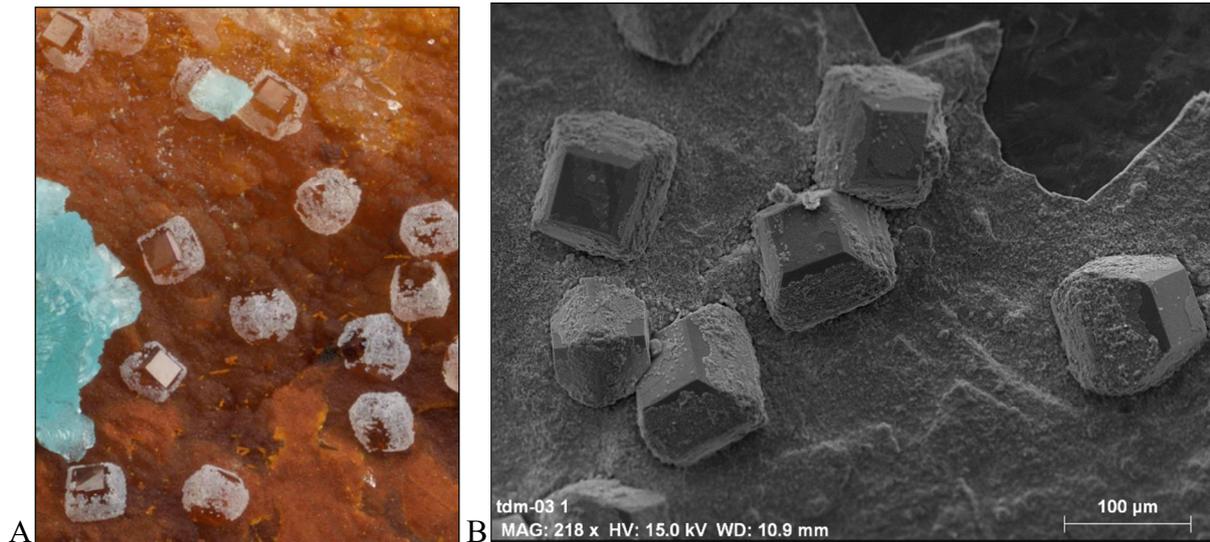


**Figure 71 :** Variscite en globules avec couche superficielle gris-bleutée de turquoise, extension ouest de la carrière du Thier del Preu, L = 11 mm. Collection M. Blondieau, photo P. Chollet.

#### 4.34. Wardite, $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La wardite a déjà été décrite à Vielsalm, sur du quartz et des phyllades à chloritoïde du Membre de Colanhan (Hatert *et al.*, 2002). Elle a également été identifiée par diffraction des rayons X dans le Membre de Les Plattes de la même localité. Ce membre est difficilement observable dans cette zone mais il a été recoupé par la galerie en travers-banc « Roqueyes ». La wardite forme alors des croûtes jaunâtres sur du quartz, à proximité de roches rouges contenant de minuscules grenats.

À Grand-Sart, la wardite est très rare et n'a été observée que dans le Membre de Colanhan, au versant nord du Thier du Mont (site n°6), où elle se rencontre avec de la turquoise sur des veines de quartz. Les petits cristaux d'une centaine de microns de diamètre montrent une morphologie en pyramides tronquées très comparable à celle des cristaux de Vielsalm. L'identification visuelle du minéral est confirmée par des analyses chimiques qualitatives EDS qui mettent en évidence la présence des éléments majoritaires O, Al, P et Na, ainsi que Ca minoritaire qui, comme à Vielsalm, remplace partiellement Na. Les cristaux de wardite de Grand-Sart sont encroûtés par de la turquoise (Figure 72A) ou par des oxydes de fer (Figure 72B)



**Figure 72 :** Wardite du versant nord du Thier du Mont, Grand-Sart (site n°6). A. Cristaux sur quartz avec turquoise, L= 0,90 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet. B. Cristaux partiellement encroûtés par un enduit d'oxyde de fer, échantillon TDM-03, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

#### 4.35. Wavellite, $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

La wavellite est l'un des phosphates les plus fréquents de la Formation d'Ottre, signalée en de nombreux endroits notamment dans le Membre de Meuville à Bihain et Arbrefontaine, ainsi que dans le Membre de Colanhan à Ottre, Vielsalm, Salmchâteau et Colanhan (Hatert *et al.*, 2002).

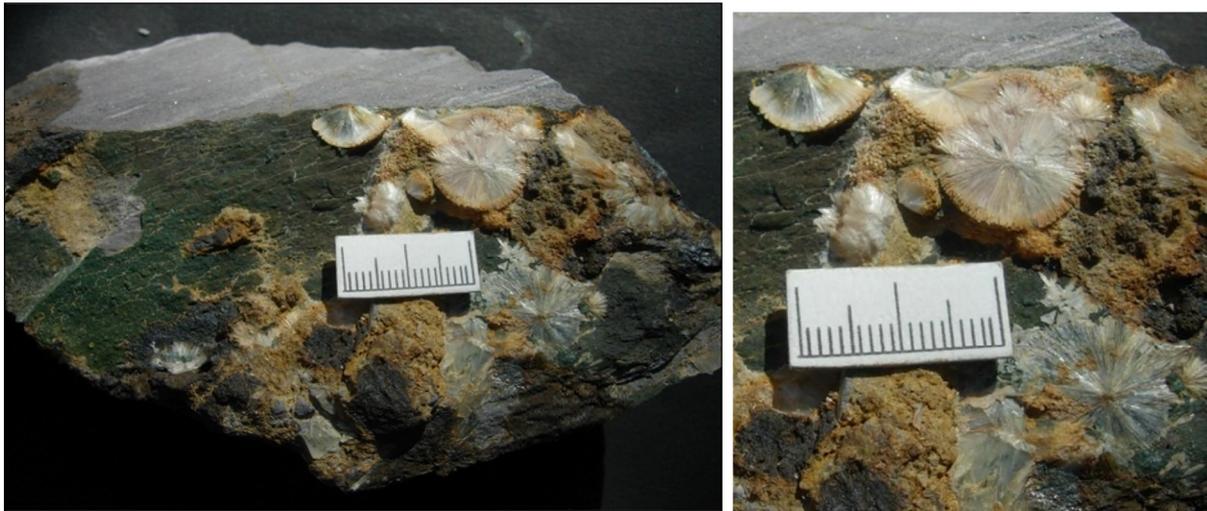
À Grand-Sart, la wavellite a été identifiée par diffraction des rayons X dans les trois membres de la Formation d'Ottre.

- Dans le Membre de Meuville, la wavellite d'Arbrefontaine (site n°5) avait été signalée en très beaux échantillons par Dumont (1847) : « *J'ai trouvé dans ce minéral [d'Arbrefontaine] et dans le phyllade qui en forme la gangue, de superbes échantillons de wavellite aciculaire radiée.* ». A cet endroit, au versant nord du Thier del Preu, nous ne l'avons plus retrouvée aujourd'hui qu'en petits échantillons assez médiocres dans des quartz à oxydes de manganèse. Par contre, au versant sud du Thier del Preu (site n°3B), des échantillons assez spectaculaires ont pu être localement observés (Figure 73). Parfois, la wavellite est associée à de la turquoise (Figure 74). Au site n°2, mais aussi dans les travaux préparatoires avant l'exploitation de la partie ouest de la carrière (site n°1), la wavellite forme des petites rosettes d'un diamètre de quelques millimètres à plusieurs centimètres. Les cristaux incolores sont parfois bien observables (Figure 75). Le minéral forme encore des couches de cristaux complètement englobés dans la lithiophorite au site 3b, et aussi à l'ouest de la carrière, avec de la crandallite de texture terreuse dans du quartz à oxydes de manganèse. La lithiophorite, recouvrant des cristaux de wavellite, est typique du Membre de Meuville, et cette association a déjà été signalée aux minières de Bihain (Gustine, 2002) et très localement à Vielsalm (Blondieau, 2006).

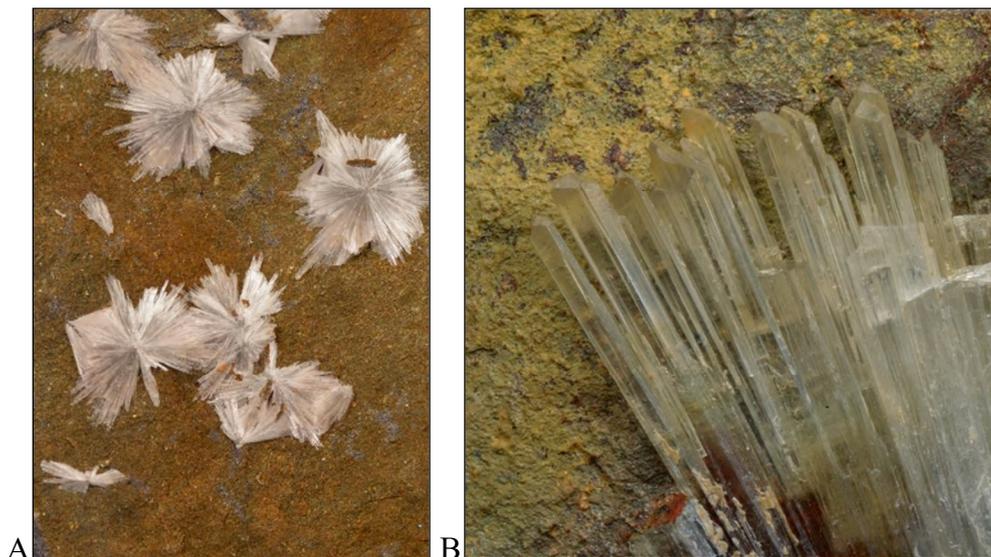
- Dans le Membre de Les Plattes, la wavellite est moins fréquente mais a été observée avec de la turquoise et de la lithiophorite au versant sud du Thier du Mont, sur un phyllade à andalousite séricitisée. On l'a également identifiée au Thier del Preu, avec de la turquoise sur du coticule de la zone n°4.
- 
- Dans le Membre de Colanhan, au site n°1, la wavellite est associée à la turquoise sur les diaclases des phyllades à chloritoïdes, ou dans des blocs de quartz laiteux à clinochlore. Ces derniers blocs de quartz sont très caractéristiques du Membre de Colanhan, et sont bien connus notamment dans les ardoisières de Vielsalm.



**Figure 73** : Wavellite et lithiophorite sur phyllade du Membre de Meuville, Grand-Sart, site n°3b à l'ouest de la carrière du Thier del Preu. A. L= 12 cm. B. L = 10cm. Collection et photos M. Blondieau.



**Figure 74 :** Wavellite, turquoise et lithiophorite sur phyllade du Membre de Meuville, Grand-Sart, site n°3b à l'ouest de la carrière du Thier del Preu. Collection et photos M. Blondieau.



**Figure 75 :** Wavellite de Grand-Sart, site n°2. A. Rosettes sur phyllade, L = 13 mm. B. Cristaux, L = 3 mm. Collection M. Blondieau, photos P. Chollet.

#### 4.36. Xénotime-(Y), Y(PO<sub>4</sub>)

Le xénotime-(Y) est un minéral déjà signalé dans le Membre de Colanhan, notamment au Thier des Carrières de Vielsalm, ainsi qu'à Salmchâteau dans la galerie TCVS-1, où il est associé avec la cookéite et la florencite-(Ce) (Blondieau *et al.*, 2017).

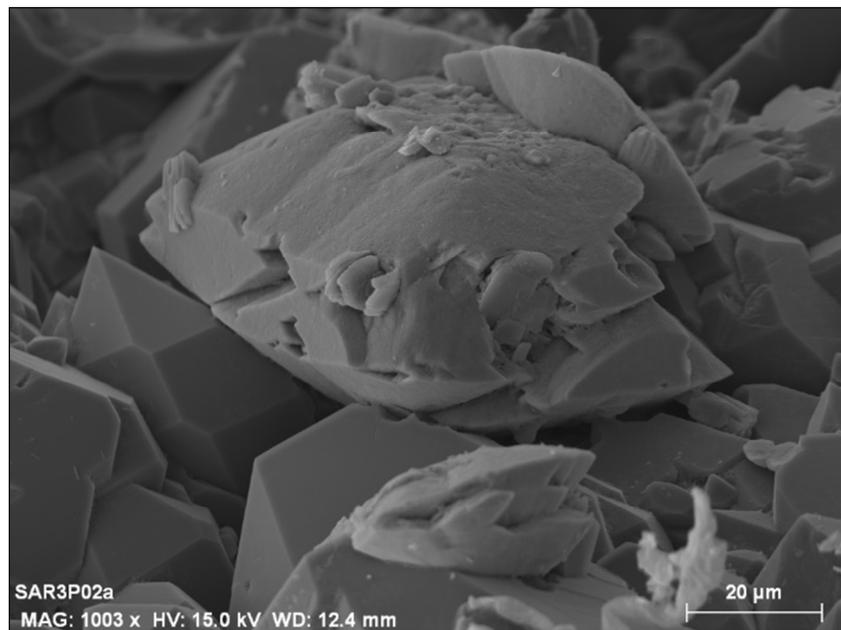
À Grand-Sart, le xénotime-(Y) a été reconnu dans les membres de Les Plattes et de Colanhan.

Dans le Membre de Les Plattes, le xénotime-(Y) forme de petits cristaux beige à orange avec du quartz, dans la roche rouge silicifiée de la partie est de la carrière du Thier del Preu (site n°1), et parfois aussi en association avec de l'ardennite-(As). Son identification est confirmée

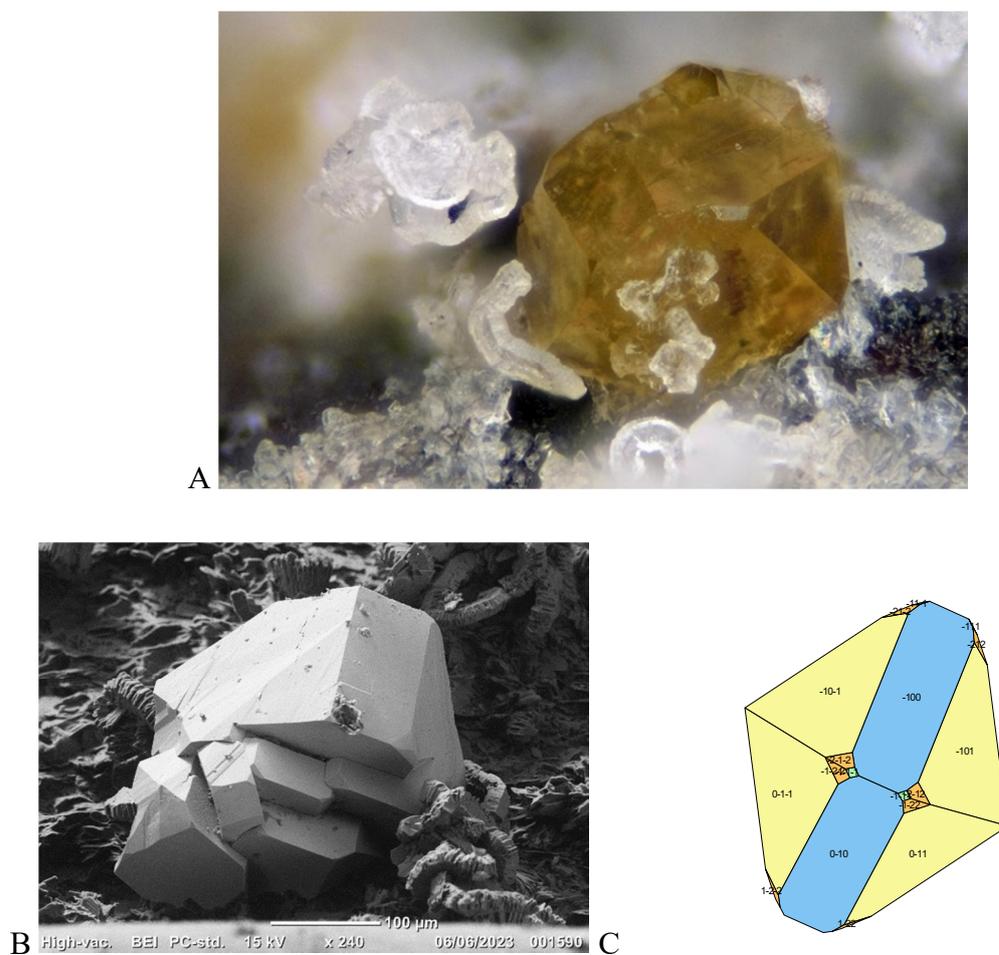
par diffraction des rayons X, ainsi que par des analyses chimiques qualitatives EDS qui mettent en évidence les éléments majeurs O, P et Y, ainsi que Dy, Ca, Yb, Er, Gd, Fe, Sc et Sm mineurs. Les photos au microscope électronique à balayage montrent le minéral en curieux agrégats de cristaux associés au quartz (Figure 76). Le xénotime-(Y) est également reconnu visuellement dans la veine de quartz à ardennite-(As) de la carrière du Thier del Preu.

Un bloc volant du Membre de Les Plattes provenant de la carrière du Thier del Preu, contenant florencite-(Ce) et sudoïte, montre de petits cristaux jaune brun très lumineux, identifiés visuellement comme monazite-(Ce) (Figure 77A). Une analyse EDS a cependant montré les éléments Y, P et O dominants, indiquant qu'il s'agit certainement de xénotime-(Y). Les photographies au microscope électronique à balayage ont permis de caractériser la morphologie de ces cristaux inhabituels, de combinaison  $\{101\}\{100\}\{111\}\{122\}$  (Figures 77B et C).

Dans le Membre de Colanhan, le xénotime-(Y) est identifié visuellement en petits cristaux prismatiques bruns (Figure 78), avec de la turquoise et de la wardite dans une veine de quartz au versant nord du Thier du Mont (site n°6). Les analyses chimiques qualitatives EDS indiquent la présence des éléments majoritaires Y, O et P, avec As, Dy et Gd mineurs.



**Figure 76 :** Xénotime-(Y) avec quartz, carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. Échantillon SAR-3, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.



**Figure 77 :** Xénotime-(Y) et sudoïte de la carrière du Thier del Preu, Grand-Sart. A. L=0,66 mm, photo P. Chollet. B. Photographie au microscope électronique à balayage en mode électron rétrodiffusés, S. Philippo. C. Morphologie réalisée à l'aide du programme Faces (Favreau, 2006). Collection M. Blondieau.



**Figure 78 :** Xénotime-(Y) du versant nord du Thier du Mont, Grand-Sart. L = 1,6 mm, collection S. Puccio, photo P. Chollet.

## 5. Conclusions

Les espèces minérales observées à Grand-Sart (Tableau 5) peuvent être réparties en au moins deux groupes : les espèces formées par métamorphisme et les espèces secondaires issues de l'altération sous climats chauds et humides durant certaines périodes du Cénozoïque.

Dans le premier groupe, on trouve notamment l'andalousite, les *chlorites*, la spessartine, le chloritoïde, l'hématite et le quartz, ainsi que quelques espèces moins fréquentes comme la braunite, l'ardennite-(As) et l'ardennite-(V).

Dans le deuxième groupe, on retrouve les oxydes/hydroxydes noirs de manganèse exploités anciennement comme minerais (principalement le cryptomélane et la lithiophorite), tous les phosphates excepté l'apatite (une dizaine d'espèces), et quelques silicates d'altération comme la kaolinite et la *séricite*.

### 5.1. Localisation des espèces minérales intéressantes

Les roches des membres de Meuville et de Les Plattes, exploitées dans la carrière du Thier del Preu, ne livrent généralement que peu de minéralisations intéressantes, sauf dans quelques zones dérangées qui n'intéressent pas l'exploitant et qui sont rapidement remblayées. Il s'agit essentiellement de veines de quartz qui recoupent les phyllades et parfois aussi les couches de coticule. Par ailleurs, on remarque que la plupart des minéralisations intéressantes observées dans les collines du Thier del Preu (sites 1 à 5) et du Thier du Mont (sites 6 et 7) sont situées dans des zones de contact entre les différents membres de la Formation d'Otré (Figure 14). Il s'agit d'une part du contact entre le Membre de Les Plattes et celui de Colanhan pour les sites 4, 6 et 7, et d'autre part du contact entre le Membre de Les Plattes et le Membre de Meuville pour les sites 1 ouest, 2, 3, 3B. C'est très certainement le cas aussi pour la partie nord du site 5, bien que la carte géologique ne l'indique pas, car nous y avons observé de l'andalousite verte, de la muscovite/paragonite rose, de la braunite et de l'ardennite-(V), minéralisation ressemblant fortement à celle du Coreux à Salmchâteau.

### 5.2. Répartition des minéralisations dans les trois membres de la Formation d'Otré

L'observation attentive de la minéralogie de Grand-Sart indique des particularités propres à chaque membre de la Formation d'Otré, essentiellement au niveau des minéraux métamorphiques mais aussi parfois au niveau de quelques espèces secondaires. De plus, elle met en évidence une grande similitude avec ce qui est observé dans les autres localités où cette formation affleure. Les espèces des membres de Meuville et de Les Plattes sont très comparables à celles observées aux Thiers de Regné et de Bihain, alors que les espèces du Membre de Colanhan se rapprochent davantage de celles observées dans les ardoisières de Vielsalm où ce membre a été largement exploité. Les associations minéralogiques observées dans la Formation d'Otré semblent donc étroitement liées à la géochimie initiale de chacun des membres.

#### 5.2.1. Minéralisations dans le Membre de Meuville

Les roches de ce membre sont les plus oxydées, constituées de phyllades rouges très altérées dans lesquelles se rencontrent localement des quartz bréchiques et des accumulations de nodules noirs riches en oxydes de manganèse. Ces minerais ont été exploités anciennement au nord du Thier del Preu (concession d'Arbrefontaine, site n°5) mais aussi à Bihain au lieu-dit Les Minières. Le cryptomélane et la lithiophorite sont les deux espèces d'oxyde/hydroxyde de manganèse les plus abondantes ; la nsutite est plus rare. Ces minéraux ne présentant pas de cristaux restent cependant assez difficilement identifiables visuellement.

L'observation de grands joints de rhodochrosite dans les dernières couches du Membre de Meuville, peu avant le contact avec le Membre de Les Plattes (site n°1), est une observation récente. A cet endroit, la rhodochrosite, précurseur probable des oxydes/hydroxydes noirs de manganèse, forme des joints d'épaisseur millimétrique à centimétrique dans des phyllades très compacts et peu altérés, ce qui est peu fréquent dans ce membre. On ne manquera pas de corréler ces dernières couches du Membre de Meuville avec celles dites à « *rhodochrosite* » de Vielsalm (Theunissen, 1971), qui ont été recoupées par des galeries en travers-banc tracées en direction des bancs d'ardoise du Membre de Colanhan.

Ce membre renferme également des minéraux métamorphiques comme la braunite, l'andalousite manganésifère et l'ardennite-(V). Ces espèces sont rarement observables mais ont tout de même été identifiées au nord de la zone n°5 (Arbrefontaine), qui a été exploitée pour le manganèse. Ces minéraux sont contenus dans des veines de quartz proches du contact entre le Membre de Meuville et celui de Les Plattes. Cette association est également connue au Coreux à Salmchâteau, ainsi qu'aux minières de Bihain.

L'ardennite-(As), pourtant décrite dans ce membre à Salmchâteau, n'a pas été observée à Grand-Sart ; les rares échantillons récoltés correspondent à l'ardennite-(V). Localement, ce membre renferme aussi quelques phosphates très intéressants comme l'éosphorite [nouvelle espèce pour la Belgique], la cacoxénite et des espèces pauvres en cuivre du groupe de la turquoise (aheylite probable). On y a observé de bons échantillons de wavellite, de variscite et de vantasselite.

### 5.2.2. Minéralisations dans le Membre de Les Plattes

Ce membre est le seul à contenir des couches de coticule et il renferme aussi en abondance de l'andalousite qui a formé par altération (ou métamorphisme rétrograde) la pyrophyllite. Ces deux espèces minérales semblent d'ailleurs absentes des deux autres membres de la Formation d'Otré à Grand-Sart. Le Membre de Les Plattes renferme également des silicates peu communs comme l'ardennite-(As), ainsi que la kolbeckite, un phosphate de scandium relativement rare.

### 5.2.3. Minéralisations dans le Membre de Colanhan.

Le Membre de Colanhan renferme en abondance le chloritoïde. Etant le plus riche en cuivre, c'est aussi dans ce membre que se trouvent les plus beaux échantillons de turquoise bien colorée en bleu ou en vert. On y rencontre parfois aussi des phosphates plus rares comme la malhmoodite et la wardite, deux espèces déjà identifiées à Vielsalm. Cependant, nous n'y

avons jamais observé de silicates de manganèse rares qui ont fait la renommée minéralogique de la région.

#### 5.2.4. Remarques générales concernant les minéralisations de la Formation d’Otré.

A Grand-Sart, la répartition des espèces dans les trois membres est donc relativement similaire à ce qui est observé ailleurs dans la Formation d’Otré, notamment à Bihain et à Vielsalm.

Le gisement à otrérite et davreuxite d’Otré est cependant plus singulier. On y trouve une association d’espèces typiques du Membre de Les Plattes (andalousite [bleue], pyrophyllite, davreuxite, ...), ainsi que d’autres espèces plus typiques du Membre de Colanhan comme l’otrérite, un minéral du groupe des chloritoïdes. La grosse veine de quartz du gisement d’Otré cicatrice une faille se trouvant entre les Membres de Les Plattes et de Colanhan, menant à un héritage géochimique complexe comme en témoignent les associations minéralogiques qui y sont observées.

Enfin, en ce qui concerne les membres de Meuville et de Les Plattes des deux gisements de coticule [Bihain/Regné et Thier del Preu, Thier du Mont/Salmchâteau], on notera l’absence apparente de minéraux du groupe des sulfures. Le groupe des carbonates est également très peu représenté puisqu’on n’y a identifié que de la rhodochrosite. Cette dernière devait d’ailleurs être initialement bien plus abondante dans ces roches, comme c’est le cas encore aujourd’hui dans la vallée de la Lienne. Soulignons que des conditions métamorphiques plus intenses ont prévalu dans la région qui nous occupe, et qu’elles ont provoqué la disparition de rhodochrosite presque partout. On considère en effet que la spessartine, si abondante ici, a été formée à partir de la rhodochrosite. De même, des conditions d’altérations météoriques plus sévères ont sans doute facilité la formation des oxydes/hydroxydes de manganèse.

**Tableau 5 :** Espèces minérales observées à Grand-Sart, dans les différents membres de la Formation d’Otré. Les espèces en gras sont nouvelles pour la Belgique.

Minéral	Formule chimique idéale	MEUPLACOL		
Anatase	TiO <sub>2</sub>	-	+	+
Andalousite	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	-	++	-
Apatite	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (Cl,F,OH)	+	+	+
Ardennite	Mn <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> (AlMg)(As,V)O <sub>4</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>6</sub>	+	+	-
Braunite	Mn <sup>2+</sup> Mn <sup>3+</sup> <sub>6</sub> O <sub>8</sub> (SiO <sub>4</sub> )	+	-	-
Cacoxénite	Fe <sup>3+</sup> <sub>24</sub> AlO <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>17</sub> (OH) <sub>12</sub> .75H <sub>2</sub> O	+	<b>-s</b>	-
<i>Chlorite</i>				
- Clinocllore	Mg <sub>5</sub> Al(AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub>	?	+	+
- Sudoïte	Mg <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	-	+	-
Chloritoïde	Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> O(SiO <sub>4</sub> )(OH) <sub>2</sub>	+	+	++
Crandallite	CaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> )(PO <sub>3</sub> OH)(OH) <sub>6</sub>	+	+	<b>-s</b>
Cryptomélane	K(Mn <sup>4+</sup> <sub>7</sub> Mn <sup>3+</sup> )O <sub>16</sub>	++	?	?
<b>Eosphorite</b>	MnAl(PO <sub>4</sub> )(OH) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	+	-	-
Florencite-(Ce)	CeAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	-	+	<b>-s</b>
Gahnite	ZnAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	<b>-s</b>	+	-
Goethite	FeO(OH)	+	+	+

Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+	++	++
Kaolinite	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	+	+	+
Kolbeckite	Sc(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	+	-
Lepidocrocite	Fe <sup>3+</sup> O(OH)	+	-	-
Lithiophorite	(Al,Li)(Mn <sup>4+</sup> ,Mn <sup>3+</sup> )O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	++	+	+
Malmoodite	Fe <sup>2+</sup> Zr(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	-	-	+
<i>Micas</i>				
- Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	+	+	+
- Paragonite	NaAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	+	+	+
Nsutite	Mn <sup>2+</sup> <sub>x</sub> Mn <sup>4+</sup> <sub>1-x</sub> O <sub>2-2x</sub> (OH) <sub>2x</sub>	+	-	-
Pyrolusite	MnO <sub>2</sub>	+	-	-
Pyrophyllite	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-	+	-
Quartz	SiO <sub>2</sub>	++	++	++
Rhodochrosite	MnCO <sub>3</sub>	+	+	-
Rutile	TiO <sub>2</sub>	+	+	-s
Spessartine	Mn <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	+	++	+
Todorokite	(Na,Ca,K,Ba,Sr) <sub>1-x</sub> (Mn,Mg,Al) <sub>6</sub> O <sub>12</sub> .3-4H <sub>2</sub> O	+	-s	+
<i>Tourmaline</i>				
<i>Turquoise</i>				
- <b>Aheylite</b>	Fe <sup>2+</sup> Al <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O	+	-	-
- Faustite	ZnAl <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O	-	-	+
- Turquoise	CuAl <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> .4H <sub>2</sub> O	+	+	++
Vantasselite	Al <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O	+	-s	-
Variscite	Al(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	+	-s	-
Wardite	NaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	-s	+
Wavellite	Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	++	+	+
Xénotime-(Y)	Y(PO <sub>4</sub> )	-	+	+

« ++ » : Localement très abondant, « + » : observé, « - » : pas observé,  
« -s » : pas observé à Grand-Sart mais signalé ailleurs dans la Formation d'Ottré.

Les sulfures de cuivre, surtout présents dans la partie supérieure du membre de Colanhan, ont pu être observés dans les ardoisières qui ont largement travaillé ce membre (Hatert, 1996, 2003, 2005). C'est notamment le cas à Vielsalm et à Lierneux, au lieu-dit Colanhan. A Grand-Sart, le Membre de Colanhan n'a pas été exploité et seules quelques couches très proches du membre de Les Plattes ont parfois été enlevées. Elles n'ont cependant pas permis d'observer des sulfures ni même des indices de leur présence, comme par exemple la malachite, un minéral secondaire fréquent des minéralisations en sulfures de cuivre.

## Remerciements :

Nous souhaitons remercier chaleureusement Maurice Célis, directeur de la société Ardennes-Coticule, ainsi que son fils Rob Célis, qui nous ont toujours accordé l'autorisation pour pouvoir visiter les chantiers au Thier del Preu.

Nos remerciements vont aussi à Pascal Chollet qui a réalisé un très grand nombre de photos de nos très petits minéraux. Ces photos sont, comme d'habitude, d'une qualité exceptionnelle. Nous remercions également Eddy Van der Meersche qui nous a également fourni quelques belles photos de minéraux de Grand-Sart.

Nous souhaitons remercier aussi Philippe Compère pour son aide lors de l'utilisation du microscope électronique à balayage, Alain Bouvy pour nous avoir prêté main forte sur le terrain, Maxime Bajot pour une diffraction DRX d'un monocristal de gahnite, Yannick

Bruni et Simon Phillipou pour certaines photos au microscope électronique à balayage, ainsi que Marie Meunier pour les photos du site n°6.

## Références

- Abs Wurnbach, I., Langer, K., Seifert, F. & Tillmanns, E. (1981). The crystal chemistry of (Mn<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>)-substituted andalusites (viridines and kanonaite), (Al<sub>1-x-y</sub>Mn<sub>x</sub><sup>3+</sup>Fe<sub>y</sub><sup>3+</sup>)<sub>2</sub>(O|SiO<sub>4</sub>): crystal structure refinements, Mössbauer, and polarized optical absorption spectra. *Zeitschrift für Kristallographie*, **155**, 81-114.
- Anten, J., (1923). Le salmien métamorphique du sud du Massif de Stavelot. *Mémoires in-4°*, *Académie Royale de Belgique*, 2e série, **5**, 3-34.
- Baijot, M. (2007). *Étude minéralogique et géochimique des pseudocoticules de la vallée de la Salm et des coticules de la vallée de la Liègne*. Mémoire de Licence, Université de Liège, 72 p.
- Baijot, M, Hatert, F & Fransolet, A.-M. (2011). Mineralogical and geochemical study of pseudocoticule from the Stavelot Massif, Ardenne (Belgium), and redefinition of coticule. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 633-644.
- Barresi, A., Orlandi, P. & Pasero M. (2007). History of ardennite and the new mineral ardennite-(V). *European Journal of Mineralogy*, **19**, 581-587.
- Blondieau, M. (2006) *Description des espèces minérales présentes dans les gisements salmiens du Massif de Stavelot*. Edition M. Blondieau, 148 p.
- Blondieau, M., Puccio, S., Compère, P., Hatert, F. (2017). Données nouvelles sur quelques espèces minérales de Vielsalm et de Salmchâteau. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, **86**, 1-48.
- Blondieau, M. (2019). *Le manganèse en Ardenne*. Edition du Stâve dès boûs, 81 pages.
- Burnham, C.W. (1991). *LCLSQ version 8.4., least-squares refinement of crystallographic lattice parameters*. Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, 24 p.
- Corin, F. (1928). Le quartz rouge de Salm-Château. *Annales de la Société géologique de Belgique*, **51**, B166-169.
- Corin, F. (1929). Un nouveau filon d'andalousite à Regné. *Annales de la Société géologique de Belgique*, **53**, B16-B18.
- Depret, M., Hatert, F., Dal Bo, F., Blondieau, M. & Puccio, S (2023). Crystal chemistry of Belgian ardennites. *European Journal of Mineralogy*, *in press*.
- Dumont A. (1847-1848). Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan de l'Ardenne, du Rhin, du Brabant et du Condros. *Mémoire de l'Académie royale de Bruxelles. Mémoire couronné* in 4°, 20 et 22.
- Favreau, G. (2006). *FACES Version 4.4. Logiciel interactif de tracé de cristaux*. Éditions Georges Favreau.
- Fielitz W. & Mansy J-L. (1999). Pre- and synorogenic burial metamorphism in the Ardenne and neighbouring areas (Rhenohercynian zone, central European Variscides). *Tectonophysics*, **309**, 227–256.
- Fransolet, A.-M. & Mélon, J. (1975). Données nouvelles sur des minéraux de Belgique. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, **44**, 157-160.

- Fransolet, A.-M. & Bourguignon, P. (1978). Pyrophyllite, dickite et kaolinite dans les filons de quartz du massif de Stavelot. *Bulletin de la Société royale des Sciences de Liège*, **47**, 213.
- Fransolet, A.-M. (1987). La vantasselite,  $Al_4(PO_4)_3(OH)_3 \cdot 9H_2O$ , une nouvelle espèce minérale du Massif de Stavelot, Belgique. *Bulletin de Minéralogie*, **110**, 647-656.
- Gabelica, D. (2022). Étude minéralogique, pétrographie et géochimique de la Formation d'Otré, Massif de Stavelot. *Mémoire de Master, Université de Liège*, 78 p.
- Geukens F. (1986). Commentaire à la carte géologique du Massif de Stavelot. *Aardkundige Mededelingen*, **3**, 15–30.
- Geukens, F. (2008). *Carte géologique de Wallonie 1/25000, planchette 55/3-4 Bra-Lierneux*. Service Public de Wallonie, Namur.
- Grogna, J. (1984). Les roches salmiennes à coticule dans la région de Salmchâteau. *Professional Paper du Service Géologique de Belgique*, **206**, 133 p.
- Gustine, C. (2002). Les associations d'oxydes et d'hydroxydes de manganèse dans le Massif de Stavelot. Mémoire de licence, Université de Liège, 43 pp.
- Hanson, A. (1983). Étude minéralogique de filons de la bordure méridionale du massif de Stavelot. Mémoire de licence, université de Liège, 84 pp.
- Hatert, F. (1996). Etude minéralogique préliminaire de quelques sulfures du Massif de Stavelot. Mémoire de licence, Université de Liège, inédit.
- Hatert, F. (2003). Occurrence of sulphides on the bornite-idaite join from Vielsalm, Stavelot Massif, Belgium. *European Journal of Mineralogy*, **15**, 1063-1068.
- Hatert, F. (2005). Transformation sequences of the copper sulfides from Vielsalm, Stavelot Massif, Belgium. *Canadian Mineralogist*, **43**, 623-635.
- Hatert, F., Deliens, M., Fransolet, A.-M. & Van Der Meersche, E. (2002). *Les minéraux de Belgique*, deuxième édition, 304 p.
- Hatert, F., Morelle, C., Ludovicy, O. & Depret, M. (2021). Caractérisation des veines de coticule du Thier del Preu (Sart, Belgique). *Rapport d'analyse pour la société Ardennes Coticule*, 239 p.
- Hurlbut, C.S. (1950). Childrenite-eosphorite series. *American Mineralogist*, **35**, 793-805.
- Lamens, J. & Geukens, F. (1984). Volcanic activity in the lower Ordovician of the Stavelot Massif, Belgium. *Med. Kon. Acad. Wet. Brussels*, **46**, 1-13.
- Lessuisse, A. (1980). *Le coticule – Situation géographique et géologique des gisements. Exploitation et préparation des pierres abrasives. Valorisation des déchets d'exploitation*. Institut national des industries extractives, département mines et carrières, Liège.
- Pouliot, G. & Hofmann, H.J. (1981). Florencite: A first occurrence in Canada. *Canadian Mineralogist*, **19**, 535-540.
- Remacle, G. (1982). Sur l'industrie de la pierre à rasoir. *Pour servir à l'histoire de la pierre à rasoir, Musée du coticule à Salmchâteau*, **5**, 3-10.
- Samartzis, P. (2017). Étude minéralogique et géochimique des coticules, pseudocoticules et veines de quartz du Massif de Stavelot, Belgique. *Mémoire de Master, Université de Liège*, 73 p.
- Schreyer, W.V., Fransolet, A.-M. & Bernhardt, H.-J. (2001). Hollandite–strontiomelane solid solutions coexisting with kanonaite and braunite in late quartz veins of the Stavelot

- Massif, Ardennes, Belgium. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **141**, 560-571.
- Theunissen, K. (1971). Carte géologique de la région de Vielsalm-Salmchâteau, Verband tussen de tectonische vervorming en de metamorphe rekristallisatie in het doorbraakdal van de Salm te Salmchâteau. Thèse de doctorat, K.U.L., inédit.
- Van den Bleeken, G., Corteel, C. & Van den Haute, P. (2007). Epigenic to low-grade tourmaline in the Gdumont metaconglomerates (Belgium): A sensitive probe of its chemical environment of formation. *Lithos*, **95**, 165-176.
- Van Der Meersche, E., De Paepe, P. & Stoops, G. (2010). *Minerals with Belgian Roots. From Hopeite (1824) to tazieffite (2009)*. Academia press, Gent. 231 p.
- Verniers J., Herbosch A., Vanguestaine M., Geukens F., Delcambre B., Pingot J-L., Belanger I., Hennebert M, Debaker T., Sintubin M. & De Vos W. (2001). Cambrian-Ordovician-Silurian lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, **4**, 39–69.
- Vrána, S, Rieder, M, & Podlaha, J. (1978). Kanonaite,  $(\text{Mn}^{3+}_{0.76}\text{Al}_{0.23}\text{Fe}^{3+}_{0.02})^{[6]}\text{Al}^{[5]}\text{[O]SiO}_4$ , a new mineral isotypic with andalusite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **66**, 325-332.
- Zwicker, W.-K., Groeneveld Meijer, W.-O.-J., & Jaffe, H.-W (1962). Nsutite, a widespread manganese oxide mineral. *American Mineralogist*, **47**, 246-266.