

Données nouvelles sur quelques espèces minérales de Vielsalm et de Salmchâteau

(Province de Luxembourg, Belgique)

Manuscrit reçu le 21 janvier 2017 et accepté le 27 mars 2017

Michel BLONDIEAU¹, Stéphane PUCCIO², Philippe COMPERE³, Frédéric HATERT⁴

¹ Val des Cloches 131, B-6927 Tellin, Belgique

² Rue des Fontaines 156, B-4041 Vottem, Belgique

³ Université de Liège, Département de Biologie, Ecologie, Evolution, unité FOCUS, Cellule d'Appui à la Recherche et à l'Enseignement en Microscopie (CAREM-ULg), B6c, B-4000 Liège, Belgique

⁴ Université de Liège, Laboratoire de Minéralogie B18, B-4000 Liège, Belgique

Résumé

Cet article présente une description minéralogique d'échantillons de la région de Vielsalm-Salmchâteau, Massif de Stavelot, Belgique. Ces échantillons proviennent d'anciennes collections ou ont été récoltés récemment sur le terrain. Les analyses, réalisées par diffraction des rayons X et au microscope électronique à balayage (spectromètre EDS), ont permis de compléter l'inventaire minéralogique de la région, en y ajoutant une vingtaine d'espèces. Certains de ces minéraux sont nouveaux pour notre pays : l'arsenogoyazite, le diaspore, la malhmoodite, la montanite, la ténorite et la volborthite. La malhmoodite, $\text{FeZr}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, est une espèce très rare connue seulement dans deux autres localités à travers le monde.

Mots clés : Vielsalm, Salmchâteau, minéraux, malhmoodite, Belgique

Abstract

This paper concerns a mineralogical description of samples from the Vielsalm-Salmchâteau area, Stavelot Massif, Belgium. The samples were recently collected on the field, or discovered in old collections. Mineralogical analyses were performed by X-ray diffraction techniques, and by scanning electron microscopy (EDS spectrometry). Approximately 20 species were characterized, which were not previously reported in the area, while 6 minerals are new discoveries for Belgium: arsenogoyazite, diaspore, malhmoodite, montanite, tenorite, and volborthite. Malhmoodite, $\text{FeZr}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, is a rare zirconium phosphate only found in two other localities in the world.

Keywords : Vielsalm, Salmchâteau, mineralogy, malhmoodite, Belgium

1. Introduction

La formation d'Ottre du groupe de la Salm (Ordovicien), mieux connue sous son ancienne appellation, le « salmien moyen (Sm2) », est bien connue des minéralogistes belges pour les très nombreuses espèces minérales qui y ont été observées, notamment dans la région de Vielsalm.

Au village de Cahay, sur les hauteurs de Vielsalm, les minéralisations s'observent dans les anciennes ardoisières exploitées principalement aux 19^e et 20^e siècles, au lieu-dit « Thier des carrières ». À Salmchâteau, village de l'entité de Vielsalm, de nombreux endroits richement minéralisés sont connus depuis très longtemps ; Salmchâteau est d'ailleurs la localité-type de deux espèces minérales : l'ardennite-(As) (Von Lasaulx, 1872a, b ; Pisani, 1872) et la stavelotite-(La) (Bernhardt *et al.*, 2005). Cette dernière espèce a été observée au lieu-dit « Le Coreux », où affleurent des phyllades très oxydés renfermant aussi de la kanonaite, un membre rare du groupe de l'andalousite. Cette kanonaite du Coreux est d'ailleurs plus pure d'un point de vue chimique que celle de Kanona, la localité type en Zambie.

Afin de compléter l'inventaire minéralogique régional, nous avons effectué de nombreuses analyses sur du matériel récolté principalement il y a quelques décennies. Nous pouvons ainsi ajouter une vingtaine d'espèces qui sont nouvelles pour l'entité de Vielsalm, dont six qui le sont pour la Belgique. Ces espèces sont décrites succinctement dans cette note, où nous fournissons également de nouvelles données sur quelques espèces déjà recensées dans le livre « Les minéraux de Belgique » (Hatert *et al.*, 2002).

2. Contexte géologique

Situé dans la partie est de la Belgique, sur le flanc NE de l'Anticlinorium de l'Ardenne et dans la partie NW du Massif schisteux rhénan, le Massif de Stavelot s'étend sur une longueur de 84 km pour une largeur maximale de 30 km environ. Les roches de ce massif cambro-ordovicien sont divisées en trois formations, sur lesquelles repose le Dévonien discordant : le groupe de Deville (« Devillien ») généralement rattaché au Cambrien inférieur à moyen, le groupe de Revin (« Revinien ») appartenant au Cambrien moyen à supérieur, et le groupe de la Salm (« Salmien ») correspondant à l'Ordovicien inférieur à moyen (Geukens, 1999 ; Verniers *et al.*, 2001).

Le Massif de Stavelot a été successivement affecté par les orogènes calédonienne et hercynienne, séparant le massif en deux zones au comportement tectonique différent. Au nord, une direction NE-SW parallèle à la direction varisque est observée, tandis qu'au sud, c'est la direction E-W calédonienne qui prédomine (Geukens, 1986). Postérieurement, le

Graben de Malmedy s'est formé, recoupant le tout selon une direction NE-SW (Geukens, 1995).

Grâce aux mesures effectuées sur des inclusions fluides par Ferket *et al.* (1998) et par Schroyen & Muchez (2000), les conditions métamorphiques atteintes au cours de la phase calédonienne ont pu être estimées à 280°C/1,3 kbar dans le nord du massif et à 380°C/3 kbar dans le sud. En ce qui concerne le métamorphisme hercynien, la richesse en manganèse des sédiments du Salmien moyen a favorisé la formation d'assemblages minéralogiques caractéristiques de conditions P-T données. Ainsi, Kramm (1982) et Kramm *et al.* (1985) ont déterminé 360-420 °C/2 kbar dans la région de Recht-Ottre-Lierneux.

Les minéraux décrits dans le présent travail ont été récoltés dans le défilé de la Salm, entre Vielsalm et Salmchâteau, où affleurent des roches appartenant à l'entière du groupe de la Salm (Figure 1). Disposées en synclinal faillé à cœur de Sm3 (Formation de Bihain), ces roches sont visibles en de nombreux endroits étant donné leur exploitation intense au cours des siècles passés (ardoises, coticule, manganèse, ...).

La plupart des échantillons proviennent des haldes et des galeries des anciennes ardoisières de Cahay, sur les hauteurs de Vielsalm. Cet affleurement est bien connu des amateurs de minéraux, car il a fourni de bons échantillons de turquoise, d'hématite, de chlorite, de libéthénite, de malachite et de torbernite, notamment. Les roches sont principalement des phyllades du membre de Colanhan, parcourus de veines pluri-centimétriques de quartz laiteux. Dans la partie ouest du Thier des Carrières, à Vielsalm, la carrière de « Fosse-Roulette » comporte des veinettes de quartz recoupant les phyllades du membre de Colanhan, minéralisées en sulfures de cuivre et en tellures de bismuth. De l'autre côté de cette carrière, des veines de quartz contiennent la pyrite et la galène, associées à l'anglésite, à la plumbojarosite, et à l'hydroniumjarosite. Les sulfures de cuivre du Thier des carrières ont été étudiés en détail par Hatert (1996, 2003, 2005).

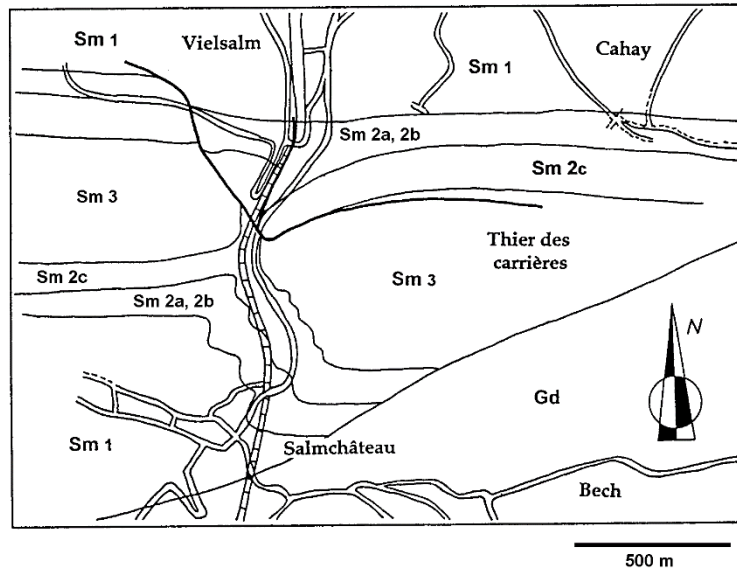


Figure 1 : Carte géologique du défilé de la Salm, entre Vielsalm et Salmchâteau. Sm1 = Formation de Jalhay, Sm2a = Membre de Meuville, Sm2b = Membre de Les Plattes, Sm2c = Membre de Colanhan, Sm3 = Formation de Bihain Gd = Dévonien inférieur discordant (« Gedinnien »). D’après Fourmarier (1944).

Trois affleurements ont été étudiés près du village de Salmchâteau. Le premier est une ancienne galerie dénommée « TCVS-1 » par Caubergs (1991), recoupant les quartzophyllades du membre de « Les Plattes ». Une zone faillée dans cette galerie montre une minéralisation particulièrement riche en terres rares, où la florencite-(Ce), le xénotime-(Y) et la monazite-(Ce) forment de petits cristaux localisés dans les fractures de la roche. Le second affleurement est localisé au lieu-dit « Le Coreux », où s’observent des phyllades rouges particulièrement oxydés, appartenant au membre de Meuville. Ces phyllades et les veines de quartz qui les parcourent contiennent des minéralisations particulièrement riches en manganèse (Bernhardt *et al.*, 2005). Le troisième affleurement est situé non loin d’une ancienne galerie juste au-dessus du viaduc et est connu pour la présence d’ardennite dans des quartz légèrement fumés.

3. Descriptions minéralogiques

Les minéraux ont été soumis à une analyse par diffraction des rayons X sur un diffractomètre de poudres PANALYTICAL PW-3710 utilisant la radiation FeK_α ($\lambda = 1,9373 \text{ \AA}$). Lorsque les quantités de matière étaient très faibles, un diffractomètre à 4 cercles Agilent Technologies Xcalibur, équipé d’un détecteur EOS et utilisant la radiation MoK_α ($\lambda = 0,7107 \text{ \AA}$), a été utilisé en mode « Debye-Scherrer ». La morphologie des 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.

Les descriptions suivantes concernent seulement les minéraux non signalés précédemment par Hatert *et al.* (2002), sauf lorsque des données nouvelles ont été récoltées. Les minéraux sont décrits par ordre alphabétique, et leurs formules chimiques idéales sont tirées de la liste officielle de la CNMNC-IMA (2016).

3.1. Albite, $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

L'espèce est signalée à Salmchâteau en plusieurs endroits, mais pas au lieu-dit « Coreux » où nous l'avons observée en grandes plages pluri-centimétriques blanches d'aspect grenu, dans certaines veines de quartz blanc. Son identification est confirmée par la diffraction des rayons X. La muscovite en petites lamelles roses et la braunite en petits cristaux noirs sont fréquemment inclus dans les masses d'albite.

3.2. Anglésite, $\text{Pb}(\text{SO}_4)$

Au fond de la carrière "Fosse-Roulette", des blocs de quartz montrent de rares pustules gris métallique identifiés comme galène. Autour de ces petites pustules, on peut observer avec une loupe binoculaire la présence de petits cristaux incolores à blancs (Figures 2 et 3). L'analyse par diffraction des rayons X indique qu'il s'agit d'anglésite, ce que conforte l'analyse chimique qualitative par spectroscopie EDS qui indique la seule présence des éléments plomb, soufre et oxygène. L'anglésite est un minéral connu pour se former précocement lors de l'altération de la galène, mais qui n'était pas encore recensé à Vielsalm où la galène n'est pas très abondante.

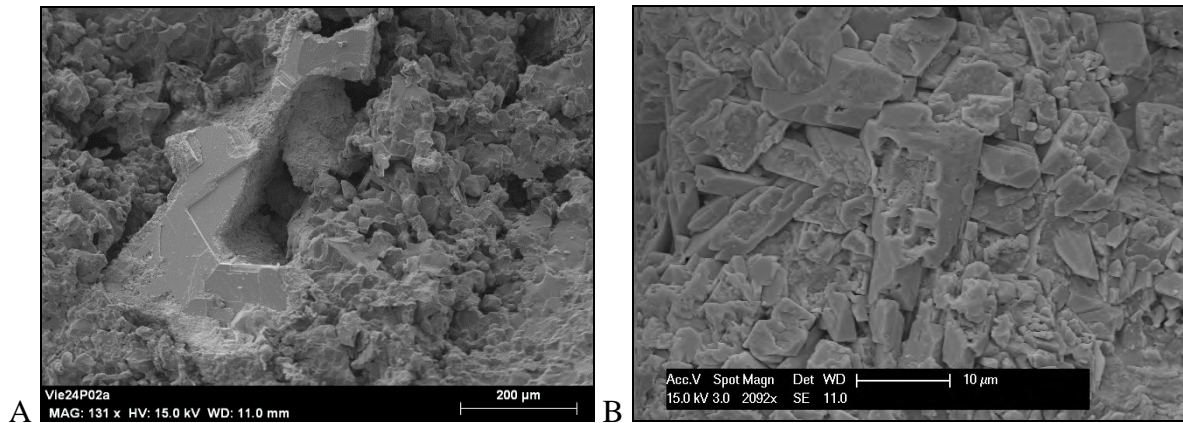


Figure 2 : Galène et anglésite de la Fosse-Roulette, Vielsalm (Echantillon VIE-24, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires). (A) La galène est bien reconnaissable avec son clivage à 90°. L'anglésite apparaît microgrenue au contact de la galène. Le spot le plus important, de forme ovoïde, se trouve dans la partie haute de la photo ; il est bordé en haut et à gauche par de la galène. (B) Cristaux d'anglésite sur galène.

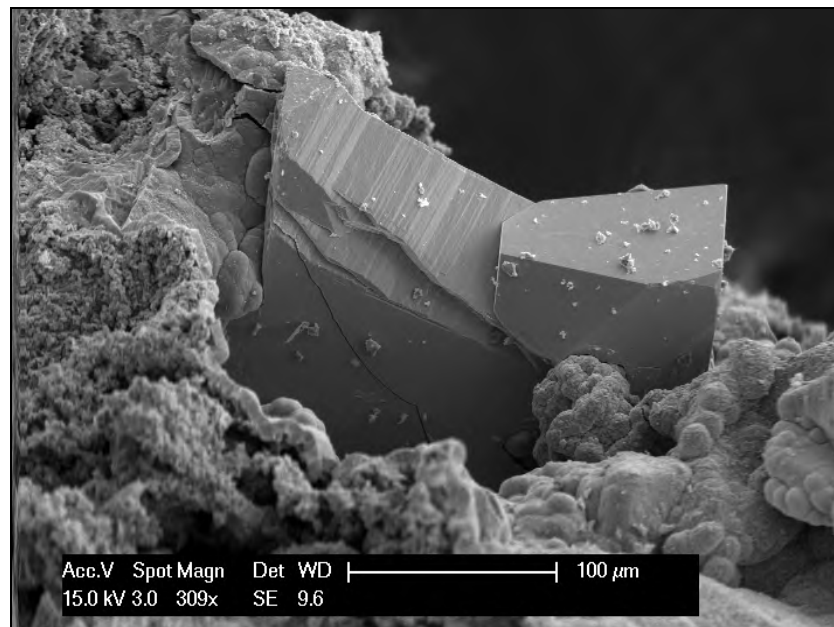


Figure 3 : Cristaux d'anglésite de Vielsalm (Échantillon VIE-9, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

3.3. Aragonite, CaCO₃

L'aragonite a été observée en petites aiguilles blanches sur un échantillon recueilli sur un terril de la partie ouest du Thier des carrières à Cahay (Figure 4). Elle est associée à de la sidérite, et son identification est confirmée par la diffraction des rayons X et par le spectre EDS qui montre la présence des éléments Ca, C et O. L'espèce n'était pas encore recensée à Vielsalm.



Figure 4 : Aragonite de Vielsalm

(Échantillon VIE-17, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

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

L'ardennite est connue depuis bien longtemps à Salmchâteau, qui est la localité-type de cette espèce (Von Lasaulx, 1872a, b ; Pisani, 1872). En 2007, l'espèce de Salmchâteau est requalifiée « ardennite-(As) » suite à la découverte de l'ardennite-(V) à Sparone, dans le Piémont italien (Barresi *et al.*, 2007). Nous avons observé l'ardennite-(As) au Coreux, en association avec des cristaux de braunite, ce qui n'avait jamais encore été signalé (Figure 5).

Par ailleurs, non loin du viaduc du chemin de fer, des cristaux d'ardennite-(As) de couleur rouge sont agglomérés dans une roche également de couleur rouge, formant des dalles épaisses de plus de 5 centimètres (Figure 6). Les analyses par diffraction des rayons X, réalisées, sur cette roche rouge, indiquent la présence d'ardennite en association avec l'hématite, le quartz, la muscovite et l'albite. Il s'agit sans doute des phyllades cristallins signalés par Corin (1928) au contact des veines de quartz à ardennite. Il écrit : "*La pâte de la roche ... est remplie de sections allongées de dewalquite¹ qui en forment ainsi la masse principale et lui donne sa cristallinité.*"

L'analyse chimique qualitative faite par EDS met en évidence les éléments O, Si, Mn, Al, As, Mg et Fe confirmant l'ardennite-(As)

¹ La "dewalquite" est un ancien nom de l'ardennite.

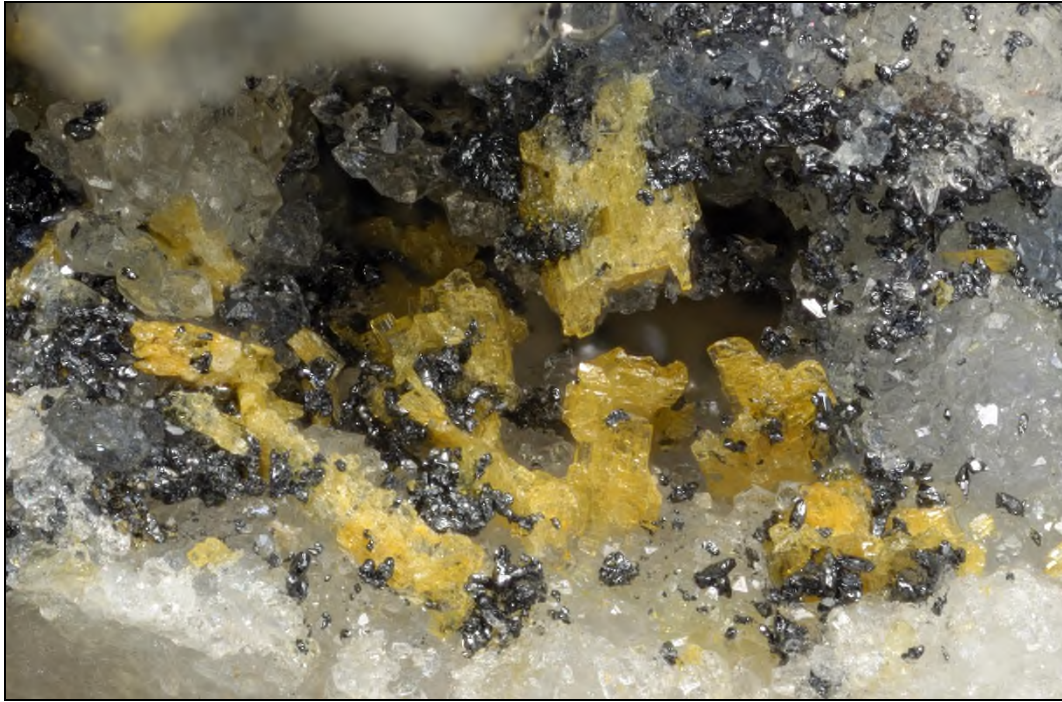


Figure 5 : Ardennite-(As) et braunite du Coreux
(L=2,55 mm, Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet).

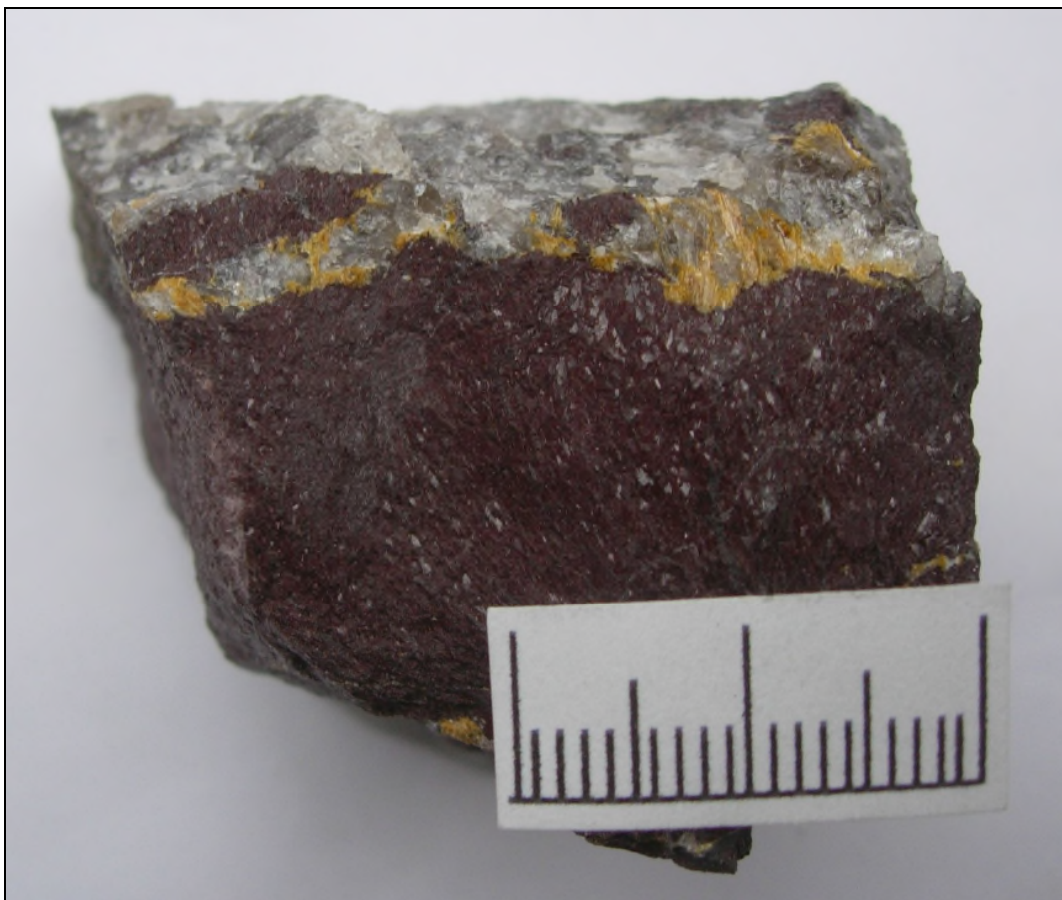


Figure 6 : Ardennite-(As) rouge, en roche de Salmchâteau
(Coll. M. Blondieau).

3.5. Arsénogoyazite, $\text{SrAl}_3(\text{AsO}_4)(\text{AsO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$

À Salmchâteau, au lieu-dit “Le Coreux”, une veine de quartz blanc de quelques centimètres d’épaisseur renfermait, dans de rares petites cavités, des cristaux millimétriques jaune pâle à orange, visuellement de forme cubique (Figure 7). L’analyse par diffraction des rayons X indique qu’il s’agit d’arsénogoyazite (Tableau 1) ; cette identification est confirmée par le spectre EDS qui indique la présence de As, Al et Sr comme éléments majeurs, associés à de plus faibles quantités de Ca, Fe et Mn (Figure 8). Les images au microscope électronique à balayage montrent des cristaux rhomboédriques aux faces corrodées (Figure 9). L’arsénogoyazite est une espèce nouvelle pour notre pays.



Figure 7 : Arsénogoyazite du Coreux
(L=0,52 mm, Coll. S. Puccio, Photo P. Chollet).

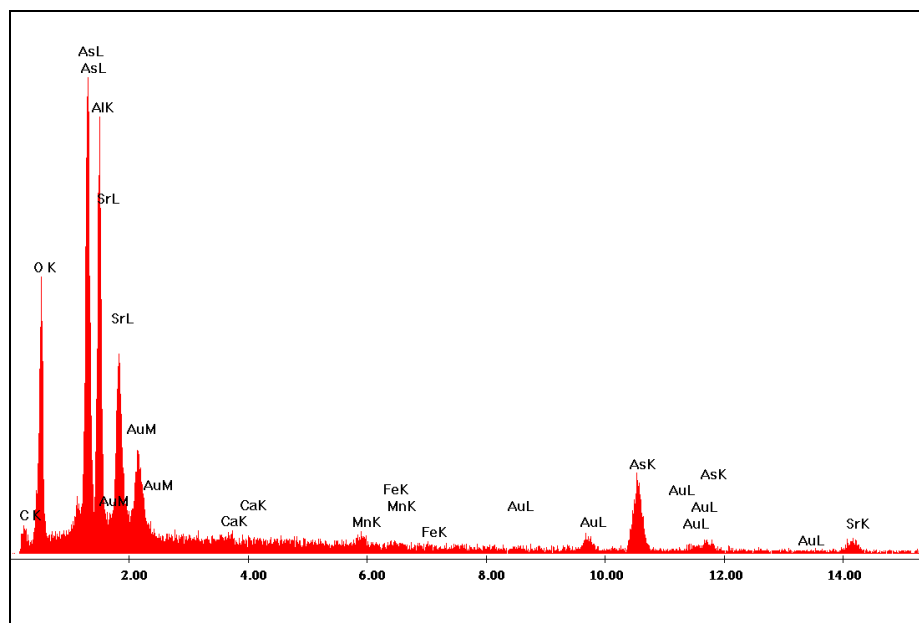


Figure 8 : Spectre EDS de l'arsénogoyazite du Coreux.
Les pics marqués « Au » sont liés à la métallisation à l'or.

Tableau 1 : Dépouillement du radiogramme de poudres de l'arsénogoyazite du Coreux (Caméra Debye-Scherrer, diamètre 114,6 mm, radiation $\text{CuK}\alpha$).

Arsénogoyazite Le Coreux		Arsénogoyazite* Mine Clara Oberwolfach, Allemagne	
d (Å)	I	d (Å)	I/I_0 (%)
5,81	(Tf)	5,84	70
5,63	(f)	-	-
5,54	(Tf)	-	-
5,00	(Tf)	5,03	20
4,93	(f)	-	-
4,13	(Tf)	-	-
3,53	(Tf)	-	-
3,49	(F)	3,56	80
2,955	(TF)	3,03	100
-	-	2,90	10
-	-	2,86	10
2,776	(f)	-	-
2,467	(f)	2,51	10
-	-	2,31	40
2,214	(F)	2,27	40
2,176	(f)	-	-
2,015	(f)	2,05	20
1,905	(F)	1,933	50
1,877	(f)	-	-
1,833	(Tf)	-	-
1,751	(F)	1,777	40

* ICDD 38-386

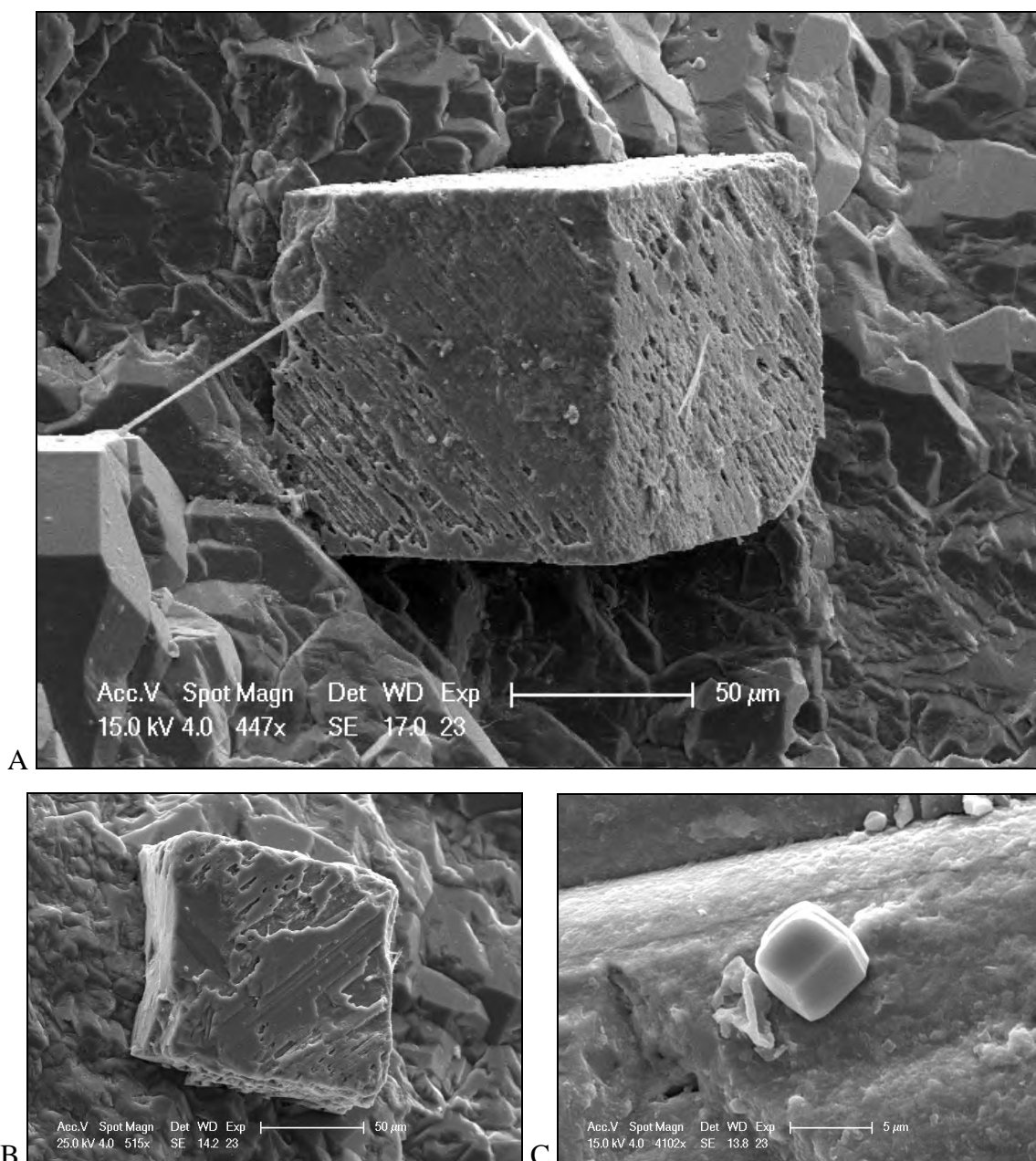


Figure 9 : Arsénogoyazite du Coreux.

(Photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

3.6. Barite, BaSO_4

Au Thier des carrières de Vielsalm, un échantillon unique de « cresse² », ramassé en surface sur les déblais des anciennes ardoisières (Pignon), montre des cristaux tabulaires rouges translucides de quelques millimètres de longueur (Figure 10). L'espèce est confirmée par son spectre EDS qui montre la présence des éléments Ba, S et O, avec Fe en moindres

² La « cresse » est le nom donné par les carriers aux veines de pseudocoticule qui se trouvaient à peu de distance des couches ardoisières exploitées.

proportions. La barite n'était pas encore recensée à Vielsalm mais était déjà connue dans les couches du salmien qui affleurent dans la vallée de la Lienne (Hatert *et al.*, 2014).

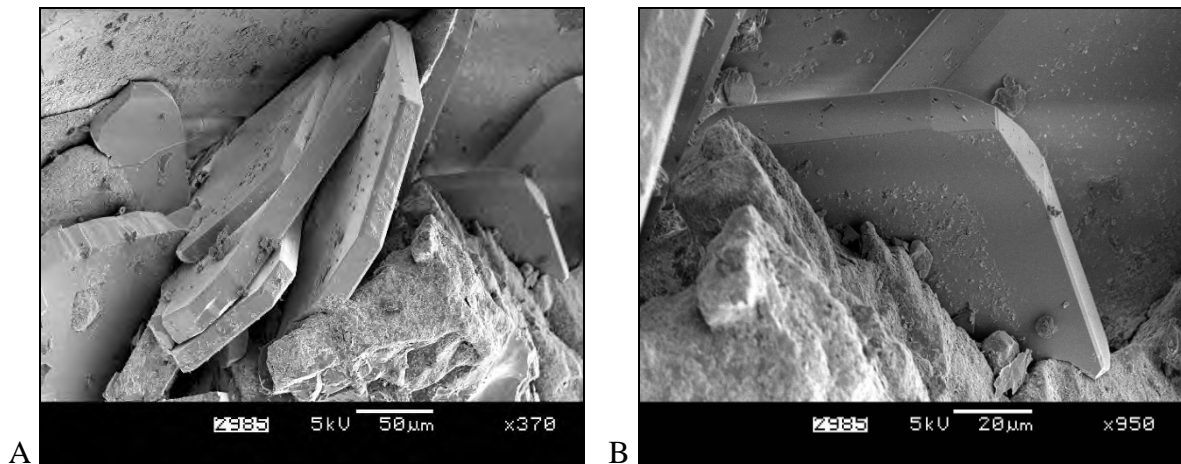


Figure 10 : Barite de Vielsalm
(Photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

3.7. Braunite, $Mn^{2+}Mn^{3+}_6O_8(SiO_4)$

Au Coreux, dans les phyllades à kanonaite, la braunite est signalée par Herbosch (1967) en plages xénomorphes de 30 micromètres de diamètre, dans la pâte de niveaux pélito-schisteux ou dans les cristaux phénoblastiques de kanonaite. Schreyer *et al.* (2001) la signalent également au Coreux, en cristaux grossiers inférieurs à 0,5 mm, associés aux fibres de hollandite-strontiomélane dans le quartz.

Dans le matériel nouvellement examiné, la braunite a été reconnue comme constituant essentiel de globules centimétriques à texture interne grenue, observés dans certains phyllades. Par contre, les globules à texture interne lisse, les plus abondants, se sont avérés être constitués de hollandite-strontiomélane. Ces identifications ont été réalisées par diffraction des RX.

Dans les phyllades, la braunite est souvent associée à de la muscovite rose ; elle se présente alors en cristaux d'apparence octaédrique, atteignant une longueur de 50 μm (Figure 11E). Dans le quartz, les cristaux de braunite sont plus grands (0,5 mm) et montrent un habitus plus allongé (Figure 11 F). Parfois, on observe également des cristaux maclés en croix à 90° (Figures 11C, D). Les analyses EDS réalisées sur les cristaux présentant ces deux habitus sont

comparables et montrent la présence des éléments Mn, Si et O, confirmant ainsi l'identification du minéral.

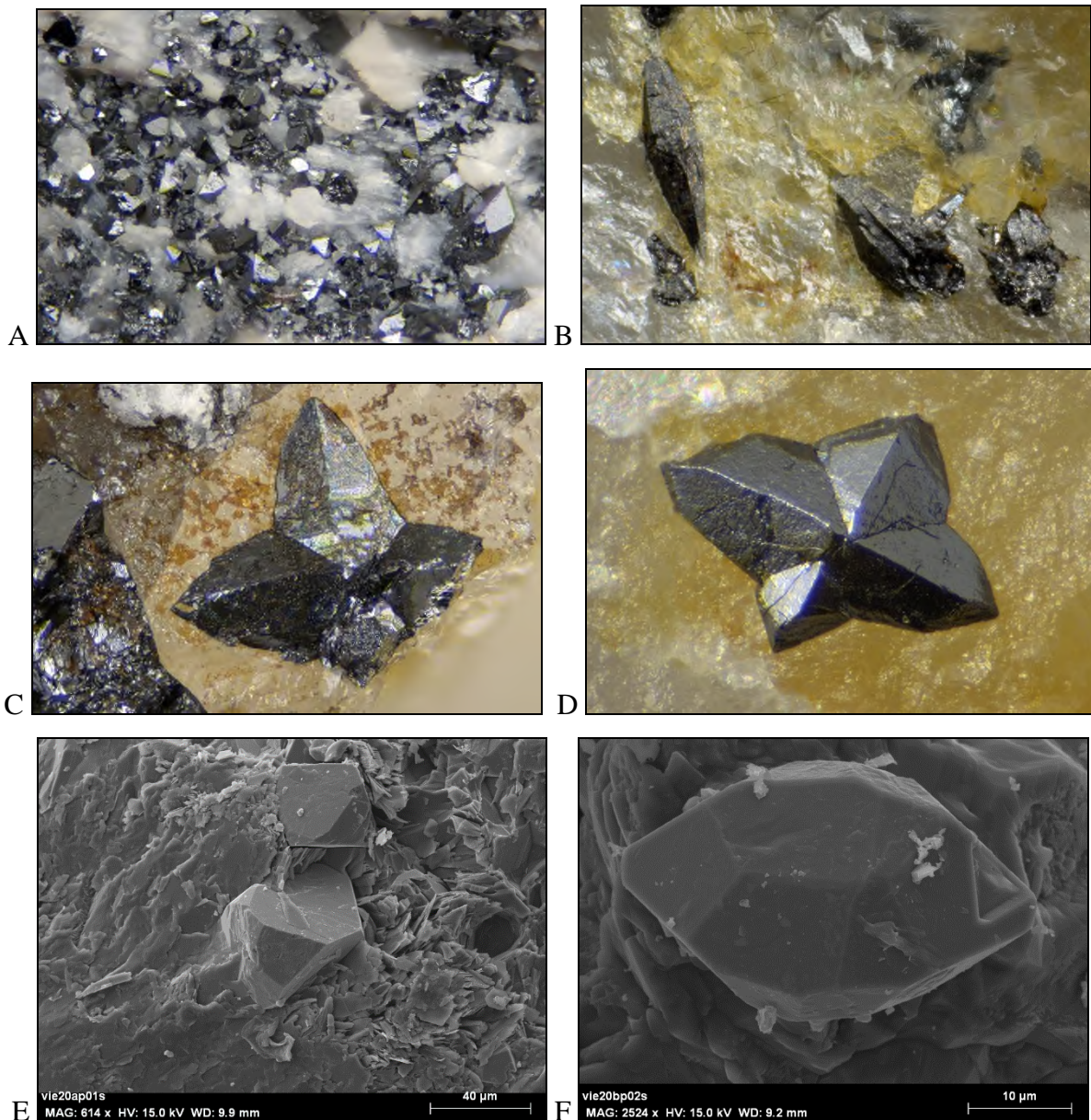


Figure 11 : Braunite du Coreux.

(A) Cristaux octaédriques dans muscovite (L = 1 mm).

(B) Cristal très allongé (L = 1,1 mm).

(C) et (D) Cristaux maclés. (L = 0,9 (C) et 0,27 (D) mm).

(E) et (F) Échantillon VIE-20 (photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

(A), (B) et (C) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, (D) Coll. S. Puccio, Photo P. Chollet.

3.8. Chalcoalumite, $\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

La chalcoalumite est un minéral déjà signalé au filon de cuivre de Salmchâteau (du Ry *et al.*, 1976). Lors de nos analyses, nous l'avons également identifiée à Vielsalm dans la « cresse » de la galerie TCVN-6. Le minéral est identifié par diffraction des rayons X et par

spectroscopie EDS qui indique la présence des éléments O, Al, Cu et S. La chalcoalumite se présente en petites fibres blanches, associées à la malachite et à la delafossite (Figure 12). Des échantillons comparables ont également été observés dans les veines de quartz à sulfures de cuivre de la carrière "Fosse-Roulette" ; leur identification a été confirmée par diffraction des rayons X.

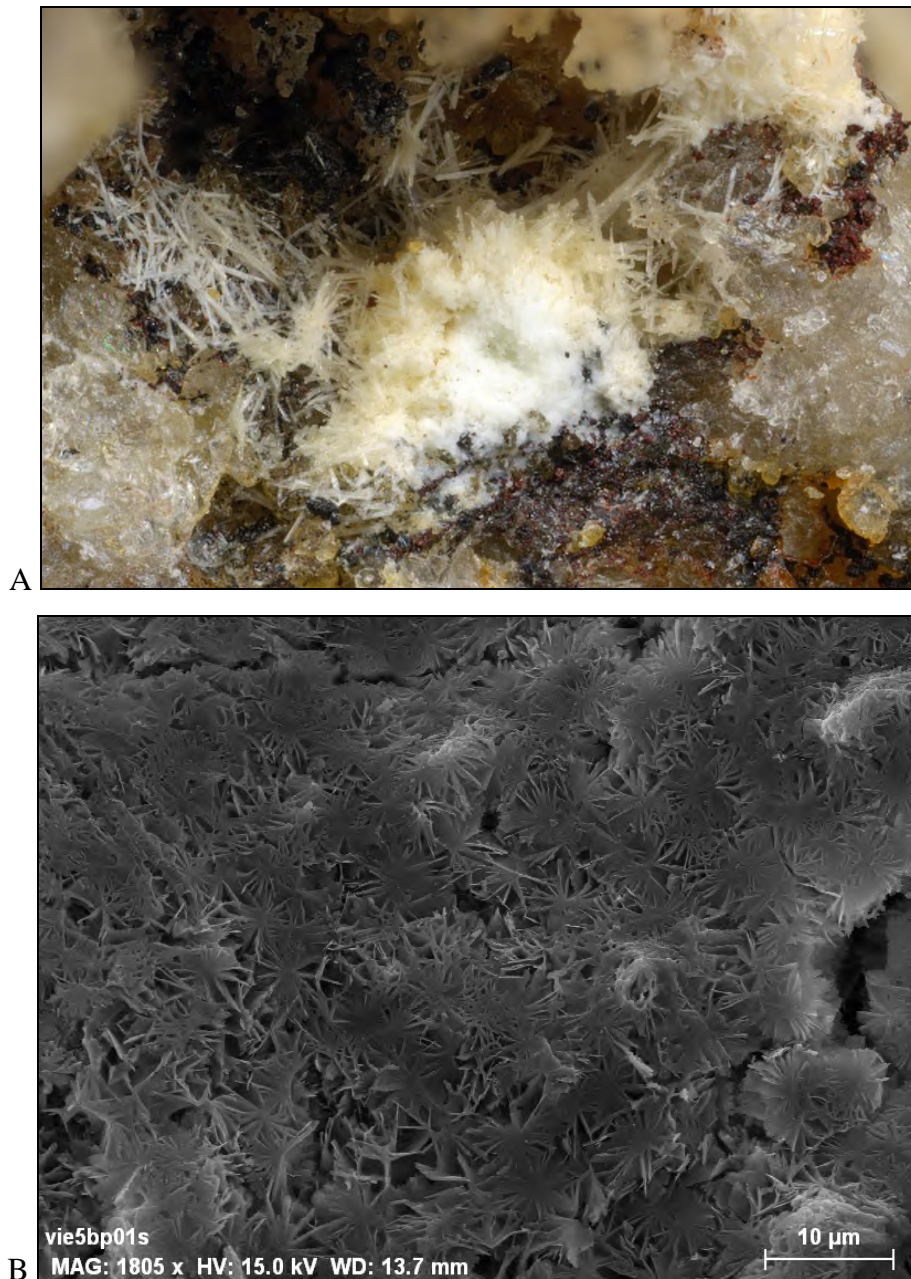


Figure 12 : Chalcoalumite de la galerie TCVN-6 de Vielsalm.

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L = 1,9 mm.

(B) Échantillon VIE-5 (photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

3.9. Cookéite, $(Al,Li)_3Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$

Dans la galerie TCVS-1³ à Salmchâteau, sur les lèvres d'une petite faille, les phyllades à chloritoïde sont couverts de dickite, de turquoise microgrenue bleue à verte avec cristaux de divers phosphates de terre rare (florencite-(Ce), monazite-(Ce), xenotime-(Y)), et de boules d'un minéral d'aspect micacé (Figure 13). L'analyse par diffraction des rayons X de ce dernier minéral montre qu'il s'agit d'une chlorite, sans doute de la cookéite. L'analyse par spectroscopie EDS indique la présence des seuls éléments Si, Al et O, ainsi que Fe très minoritaire. Cette composition chimique exclut les chlorites communes du Massif de Stavelot telles que clinochlore, chamosite et sudoite qui, toutes, renferment du magnésium, lequel est absent de l'analyse.

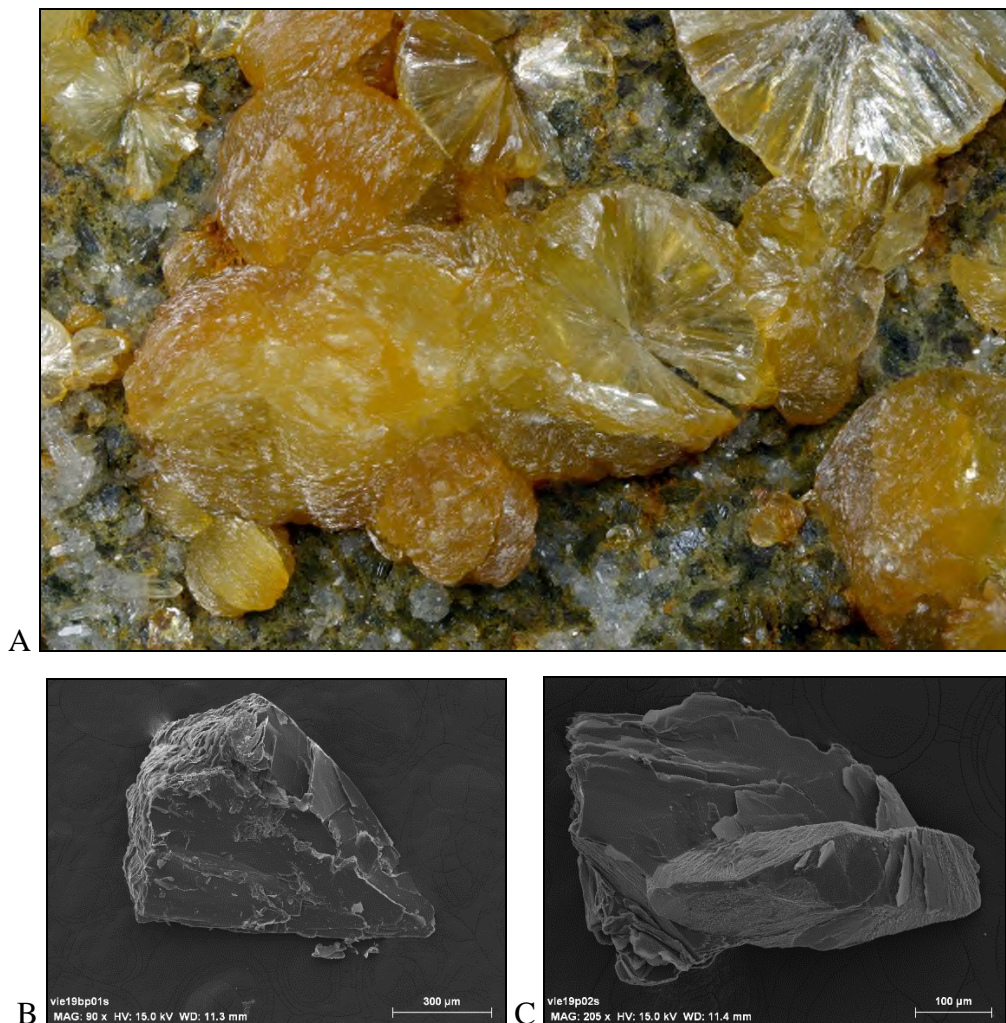


Figure 13 : Cookéite de Salmchâteau

(A, B) et cristal de florencite-(Ce) sur cookéite (C).

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L = 5,7 mm.

(B) et (C) Échantillon VIE-19 (photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

³ D'après Caubergs (1991), « TCVS-1 » est la première galerie se trouvant au Thier des carrières sur le versant sud.

3.10. Diaspore, AlO(OH)

À Vielsalm, dans la partie est du Thier des carrières, un terril proche de l'ancienne exploitation souterraine « Jean Mathieu » a fourni de nombreux blocs riches en andalousite verte très séricitisée, hématite et davreuxite très fraîche. Sur quelques échantillons, on observe un minéral formant des cristaux vitreux, incolores à blancs, assez allongés et striés (Figure 14). Le radiogramme de poudres de rayons X de ce minéral (Tableau 2) indique qu'il s'agit de diaspore. Cette identification est confirmée par le spectre EDS, qui montre Al dominant, avec de plus faibles quantités de Fe. Le diaspore est une espèce nouvelle pour la Belgique.

Tableau 2 : Dépouillement du radiogramme de poudres du diaspore de Vielsalm (Caméra Debye-Scherrer, diamètre 114,6 mm, radiation FeK α).

Diaspore Vielsalm		Diaspore* Springfield, Massachusetts, USA	
<i>d</i> (Å)	I	<i>d</i> (Å)	I/I ₀ (%)
7,18	(Tf)	-	-
4,66	(f)	4,71	13
3,97	(TTF)	3,99	100
3,57	(f)	-	-
3,20	(f)	3,214	10
2,545	(F)	2,558	30
-	-	2,434	3
-	-	2,386	5
2,347	(f)	2,356	8
2,303	(F)	2,317	56
2,116	(F)	2,131	52
2,063	(TF)	2,077	49
1,902	(Tf)	1,901	3
1,809	(f)	1,815	8
1,727	(Tf)	1,733	3
1,705	(f)	1,712	15
1,668	(Tf)	1,678	3
1,629	(F)	1,633	43
1,600	(f)	1,608	12
1,565	(f)	1,570	4
1,519	(f)	1,522	6
1,477	(F)	1,480	20

* ICDD 5-355

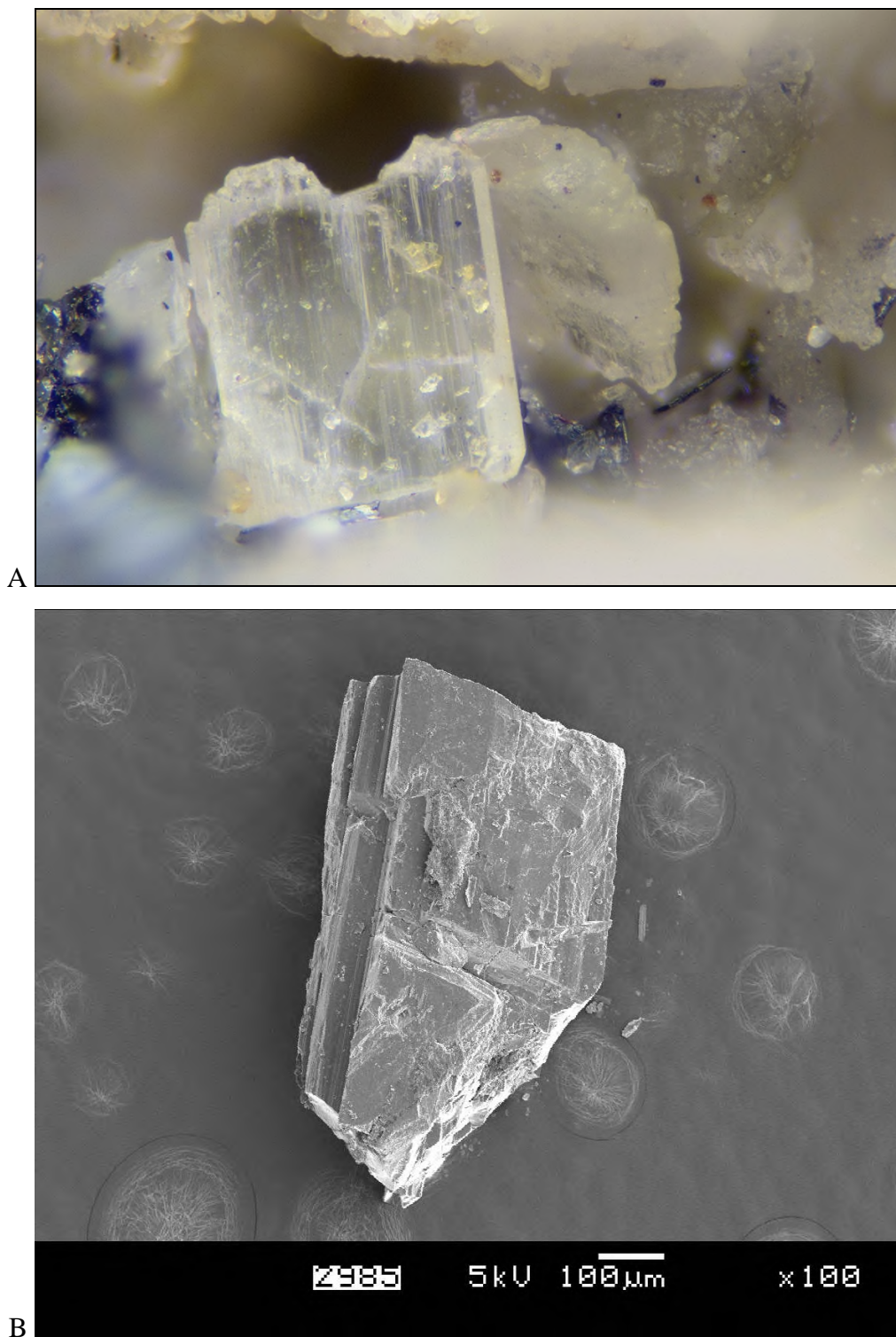


Figure 14 : Diaspore de Vielsalm.

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L=0,6 mm.

(B) Photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.11. Dickite, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

À Salmchâteau, au gisement de florencite et dans la galerie TCVS-1, des encroûtements blanc à beige, souvent sur turquoise, sont déterminés par diffraction des rayons X comme étant de la dickite (Figure 15). Le minéral est pulvérulent ou plus compact, formant fréquemment des croûtes de plusieurs millimètres d'épaisseur. À Vielsalm, tout à l'est du Thier des carrières, la dickite a été observée avec hématite ; son identification est confirmée par diffraction des rayons X. La dickite n'était pas encore pas encore signalée ni à Salmchâteau, ni à Vielsalm.



Figure 15 : Dickite de Salmchâteau avec boules de turquoise dans une géode de quartz.
(L=4,6 mm, coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet).

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

Des cristaux de torbernite de Vielsalm (galerie « Les Roqueyes ») montrent régulièrement une partie interne colorée en brun (Figure 16). L'analyse par diffraction des rayons X de ce matériel a montré qu'il s'agissait de goethite assez mal cristallisée. À Vielsalm, la goethite n'est pas rare mais assez discrète. Signalons notamment son occurrence en petites « houppettes » de fibres brunes dans les « cresses » (= pseudocoticules ; Baijot *et al.*, 2011), souvent avec des boules brun rouge d'hématite, ainsi qu'en petites croûtes mamelonnées noires avec lépidocrocite dans la galerie "Joannesses"



Figure 16 : Torbernite de la galerie Roqueyes de Vielsalm avec fantôme brun-orangé de goethite.

(A) L=3,9 mm

(B) L = 2,85 mm

(C) L=2,1 mm

(D) L = 1,6 mm

(E) L=1,7 mm.

Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet.

3.13. Gypse, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Le gypse est reconnu visuellement en efflorescence sur les parois de galeries (Figure 17). C'est le cas à Salmchâteau (TCVS-1) et à Vielsalm (Les Continars). On l'observe également dans les quartzophyllades pyriteux de la carrière Georges Jacques (Blondieau, 2006). Le minéral est confirmé par diffraction des rayons X et l'analyse EDS montre bien la présence des éléments Ca, S et O, confirmant ainsi l'espèce. Le gypse n'était pas encore signalé à Vielsalm par Hatert *et al.* (2002), mais bien par Van Der Meersche (2000).

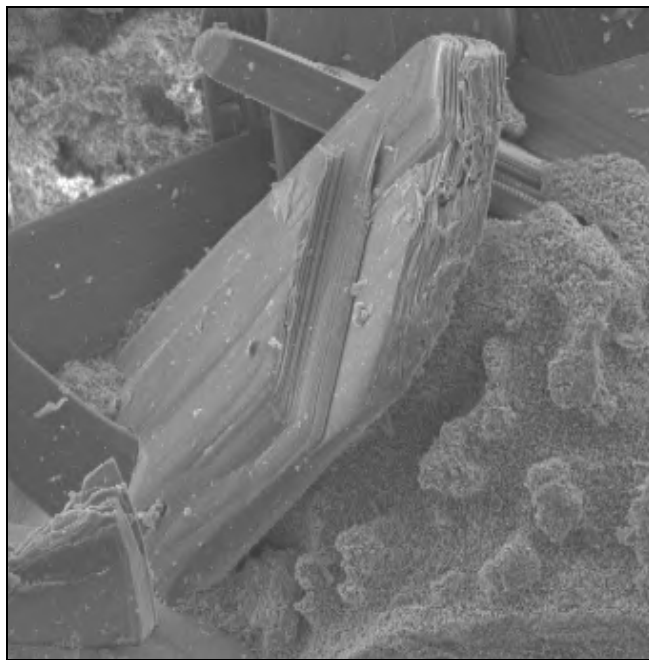


Figure 17 : Gypse sur hydroniumjarosite de Vielsalm.

Échantillon VIE-1, collection J. Graulich, ULg n° 20899 (photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

3.14. Hollandite-Strontiomélane, $\text{Ba}(\text{Mn}^{4+}_6\text{Mn}^{3+}_2)\text{O}_{16}$ - $\text{Sr}(\text{Mn}^{4+}_6\text{Mn}^{3+}_2)\text{O}_{16}$

Schreyer *et al.* (2001) rapportent que le minéral en petites aiguilles noires, observé dans certaines veines de quartz associées à la kanonaite du Coreux, est une hollandite dans laquelle Ba est partiellement remplacé par Sr. Les analyses à la microsonde électronique de certaines aiguilles montrent jusqu'à 60% molaires de Sr, indiquant ainsi qu'il s'agit plutôt de strontiomélane. Ces minéraux de la série hollandite-strontiomélane sont très rares ; Salmchâteau est d'ailleurs la seconde occurrence connue du strontiomélane. Dans le matériel que nous avons étudié, outre les petites aiguilles noires dans le quartz massif, nous avons pu observer la hollandite-strontiomélane formant de beaux cristaux dans une petite géode (Figure 18). Le minéral forme également des globules centimétriques dans le phyllade (Figure 19).



Figure 18 : Hollandite-strontiomélane du Coreux
(L=1,8 mm), coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet.



Figure 19 : Globules noirs alignés sur une couche de phyllade.
Sur la tranche, à l'avant-plan, on peut observer un joint micacé avec des cristaux de kanonaite. Le Coreux,
Salmchâteau.
Échantillon ULg 20886 des collections du Laboratoire de minéralogie.

3.15. Hydroniumjarosite, $(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

Un minéral jarositique est observé dans les veines de quartz minéralisées en pyrite, dans la partie haute de la carrière dite "Fosse-Roulette". Il se présente en enduits microcristallins sur phyllade ou en petits amas cristallins de couleur orange, dans des petites cavités du phyllade ou du quartz (Figure 20A). L'analyse chimique qualitative réalisée sur ces cristaux par

spectroscopie EDS indique la présence des éléments O, Fe et S sans plomb, alors qu'à cet endroit, la plumbojarosite a été observée au contact immédiat de pustules de galène. L'absence de potassium indique qu'il ne s'agit pas d'une jarosite *sensu stricto*. L'analyse par diffraction des rayons X indique qu'il s'agit d'hydroniumjarosite, espèce anciennement appelée "carphosidérite".

Un échantillon récolté par feu le docteur J. Graulich sur les haldes de Vielsalm montre un minéral jarositique associé à du gypse. L'analyse chimique qualitative par spectroscopie EDS fournit des résultats identiques à ceux du minéral de "Fosse-Roulette". Seuls sont présents les éléments Fe, S et O. Les photos MEB montrent la présence d'un essaim de petits rhomboèdres $\{10\bar{1}2\}$ bien formés, avec la base $\{0001\}$ et assez comparables à ceux de "Fosse-Roulette" (Figures 20B à E), indiquant qu'il s'agit également d'hydroniumjarosite.

3.16. Lépido-crocite, $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$

La lépido-crocite est reconnue en petits cristaux brun en forme de fuseau arrondi (Figure 21). Elle est associée à la goethite brun noir et au clinochlore. L'échantillon a été recueilli à Vielsalm dans la galerie "Joannesses". L'identification est confirmée par diffraction des rayons X et par l'analyse chimique qualitative EDS qui montre la présence des éléments Fe et O majoritaires, avec de plus petites quantités d'aluminium dont la présence résulte sans doute d'une contamination de surface par du clinochlore. La lépido-crocite n'était pas encore recensée à Vielsalm.

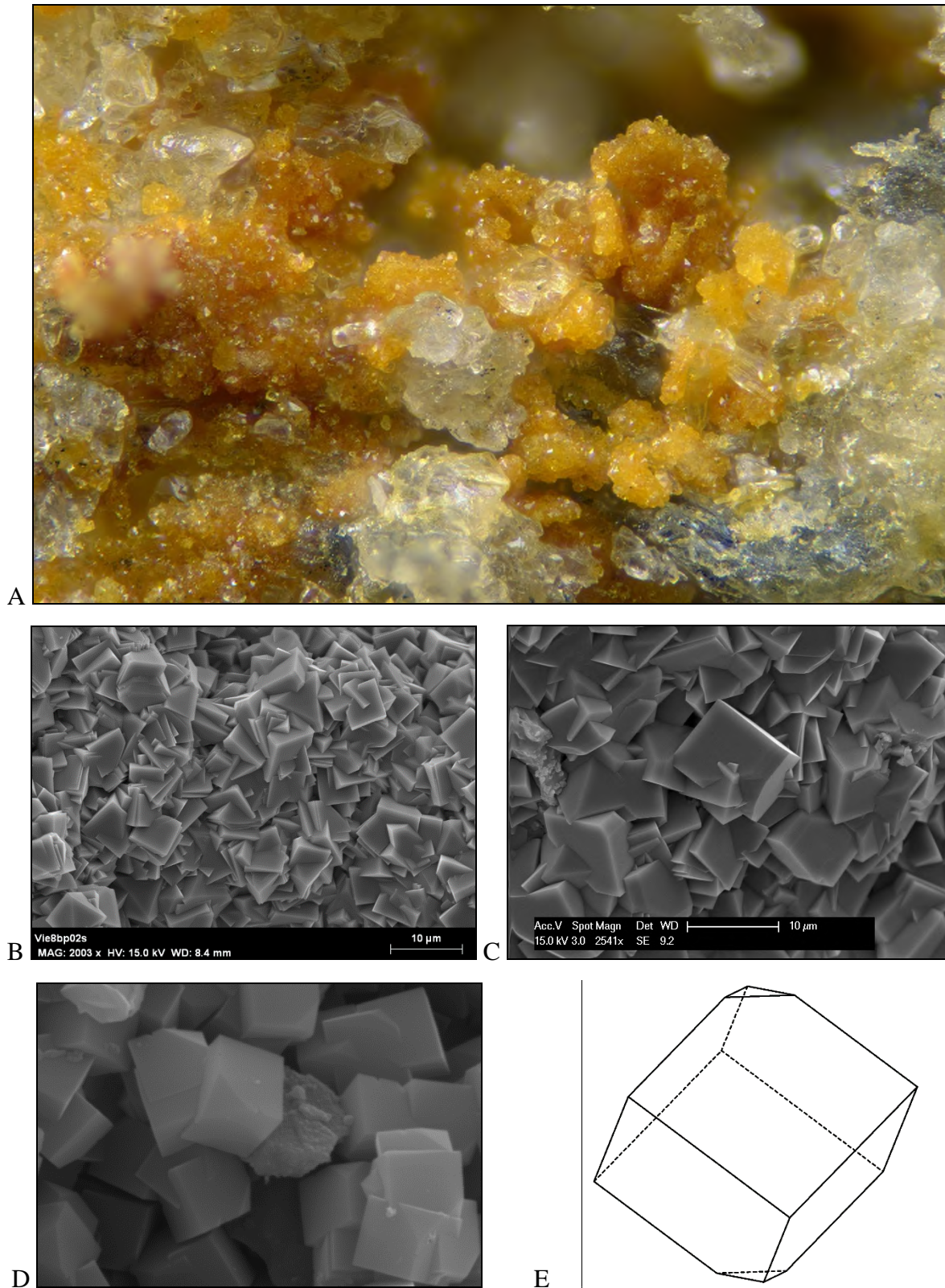


Figure 20 : Hydroniumjarosite de Vielsalm.

(A), (B) et (C) : Hydroniumjarosite de « Fosse-Roulette ».

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L = 0,85 mm.

(B) et (C) Échantillon VIE-8. (D) Échantillon VIE-1 de l'ancienne collection Graulich, n° ULG 20901.

(B), (C) et (D) photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

(E) Morphologie de l'hydroniumjarosite de Vielsalm, montrant la combinaison $\{10\bar{1}2\}\{0001\}$.

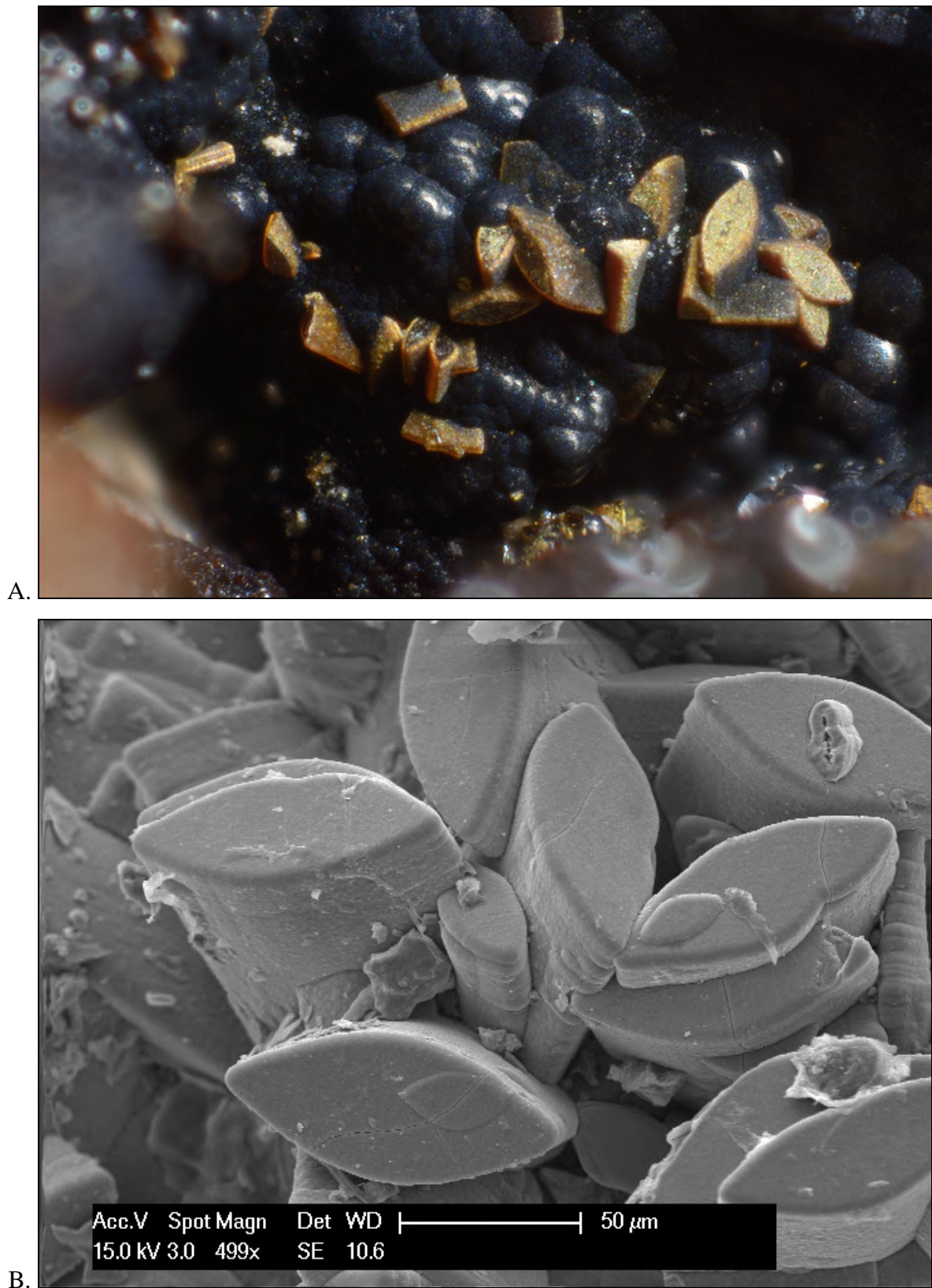


Figure 21 : Lépidocrocite sur goethite de la galerie "Joannesses" de Vielsalm.
(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L= 1,15 mm
(B) Échantillon VIE-16, photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.17. Lithiophorite, $(\text{Al,Li})(\text{Mn}^{4+},\text{Mn}^{3+})_2\text{O}_2(\text{OH})_2$

La lithiophorite est un oxyde de manganèse fréquemment rencontré dans le massif de Stavelot mais qui n'a été renseigné qu'en masses ou encroûtement noirs. Dans la galerie "Roqueyes" de Vielsalm, au Thier des carrières, la lithiophorite forme des veines d'épaisseur centimétrique dans des bancs de phyllades. Sur ces échantillons, on devine l'existence de petits cristaux dans de minuscules géodes, ce qui n'avait jamais été signalé dans la région.

Le minéral est confirmé par diffraction des rayons X. Les parties massives internes et les parties fibreuses et micro-cristallisées externes ont toutes deux été diffractées et correspondent à la même espèce minérale (Figure 22A). L'analyse chimique qualitative réalisée par spectroscopie EDS met en évidence les seuls éléments manganèse, aluminium et oxygène, ce qui correspond bien à la composition chimique de la lithiophorite. Le lithium, un élément léger, n'est pas détecté par cette technique d'analyse. Le microscope électronique à balayage permet de visualiser des cristaux de quelques dizaines de microns, d'aspect extrêmement ruiniforme (Figure 22B). Dans la carrière "Meyer" de Vielsalm, la lithiophorite est également observée en recouvrement de cristaux de wavellite dont il ne reste plus que quelques reliques (Figures 22C, D). L'association de lithiophorite et de wavellite avait déjà été signalée à Salmchâteau (Fransolet & Mélon, 1975).

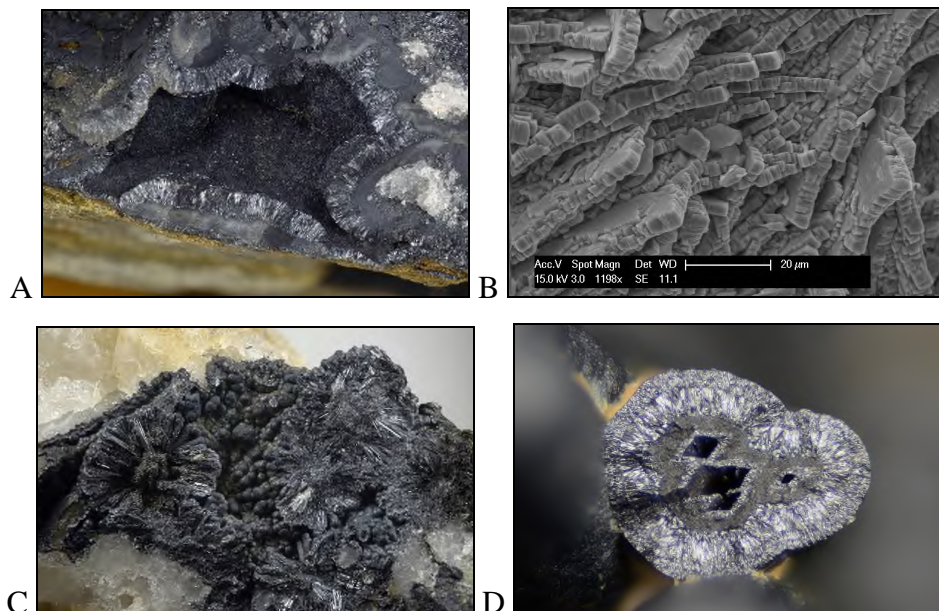


Figure 22 : Lithiophorite de Vielsalm.

(A) Surface hérissée de cristaux, galerie "Roqueyes" (L = 6,45 mm).

(B) Échantillon VIE-14 de la galerie "Roqueyes" (photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires).

(C) Lithiophorite sur wavellite (L = 10,5mm), terril Meyer.

(D) Lithiophorite sur cristal de wavellite en relique, vue en coupe (L = 0,8 mm). Terril Meyer.

(A), (C) et (D) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet.

3.18. Malhmoodite, $\text{FeZr}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

À Vielsalm, on observe assez fréquemment un minéral se présentant en minuscules boules isolées diversement colorées du blanc au brun en passant par le jaune safran. Leur taille est toujours bien inférieure au millimètre, de l'ordre de 0,2 à 0,3 mm pour les plus grosses. Ce minéral semble présent dans toutes les paragenèses de Vielsalm, dont notamment celle des quartz à sulfures de cuivre (bornite, chalcocite ; Hatert, 1996, 2003, 2005) mais aussi celle des quartz à phosphates tels que la turquoise.

Un examen minutieux de ces petites boules montre la présence d'au moins deux populations. Certaines boules ont un aspect hétérogène et correspondent à un mélange de clinochlore et de malhmoodite (Figures 23A, B, 24A, B). D'autres boules, visuellement reconnues avec une surface plus régulière d'aspect velouté, montrent en microscopie électronique une surface homogène sans chlorite, et toute couverte de cristaux dont la dimension n'est que de quelques microns seulement (Figures 23 C à E et 24 C à E).

Les analyses chimiques qualitatives en spectroscopie EDS indiquent la présence majoritaire des éléments Zr, P, O et Fe. Un seul minéral répond à cette composition chimique : la malhmoodite initialement écrite "mahlmoodite". Les descriptions des échantillons signalées dans la littérature sont tout à fait semblables au minéral de Vielsalm. Les échantillons de la mine "Union Carbide" à Wilson Springs (Arkansas) montrent des boules blanches fort rares d'un diamètre inférieur à 0,5 mm (Milton *et al.*, 1993), tandis que les échantillons de Kerriack Cove (Cornouailles, Angleterre) ne dépassent pas un diamètre de 0,15 mm (Elton *et al.*, 1995).

Nous avons diffracté, avec le diffractomètre à 4 cercles (mode Debye-Sherrer), deux échantillons de Vielsalm. Le premier échantillon, constitué d'une dizaine de petites boules qui étaient posées sur du clinochlore et présentaient l'aspect habituel du minéral recueilli à Vielsalm (petites boules d'aspect velouté), a été collecté dans une ardoisière souterraine (les Continars). Le deuxième échantillon a été trouvé sur un terril en association avec arsénopyrite. Son aspect est visuellement différent : on voit une boule d'un millimètre environ, translucide en surface, avec un noyau blanchâtre. Les deux diffractogrammes de poudres obtenus (Tableau 3) sont semblables, et indiquent qu'il s'agit de la même espèce minérale. Les valeurs de d des raies de diffraction sont en relativement bon accord avec celles de la malhmoodite de l'Arkansas (Milton *et al.*, 1993).

Tableau 3 : Diffractogrammes de poudres de rayons X des échantillons de Vielsalm (Diffractomètre à 4 cercles Rigaku Xcalibur, détecteur EOS, radiation MoK α), par comparaison avec la malhmoodite de la mine Wilson Springs, Arkansas, USA.

Échantillon 1*	Échantillon2**	Malhmoodite***	
Vielsalm	Vielsalm	Arkansas, USA	
<i>d</i> (Å)	<i>d</i> (Å)	<i>d</i> (Å)	I/I ₀ (%)
9,282	9,596	9,58	75
7,137	7,015	-	-
-	5,902	-	-
4,447	4,412	4,563	65
		4,384	80
4,114	4,098	4,090	60
3,602	3,587	3,974	40
		3,582	40
3,176	3,185	3,266	20
2,867	2,820	3,160	100
		-	-
2,660	2,661	2,661	20
-	-	2,640	70
-	-	2,574	15
2,191	2,192	2,046	15
2,014	2,008	-	-
1,886	1,886	1,999	20
1,781	1,788	1,990	25
-		1,783	20
1,703	1,702	1,738	15
1,667	-	1,706	20
1,541	1,546	1,663	10
1,488	1,453	1,580	15
1,332	1,331	1,523	20
1,278	1,272	-	-
1,236	1,237	-	-

* Échantillon de la galerie "Les Continars" du Thier des carrières de Vielsalm.

** Échantillon avec arsénopyrite recueilli sur un terril du Thier des carrières de Vielsalm

*** Malhmoodite de la mine Wilson Springs, Arkansas, USA (Milton *et al.*, 1993).

La malhmoodite est un minéral très rare, qui n'a été jusqu'à présent décrit qu'en Arkansas et aux Cornouailles (Elton *et al.*, 1995). Vielsalm semble donc être la troisième occurrence mondiale de cette espèce. La malhmoodite a été observée également en petites boules vertes au Thier du Mont à Sart (Lierneux). Le diffractogramme de poudres obtenu est tout à fait comparable à ceux de la malhmoodite de Vielsalm. La malhmoodite est une nouvelle espèce pour la Belgique.

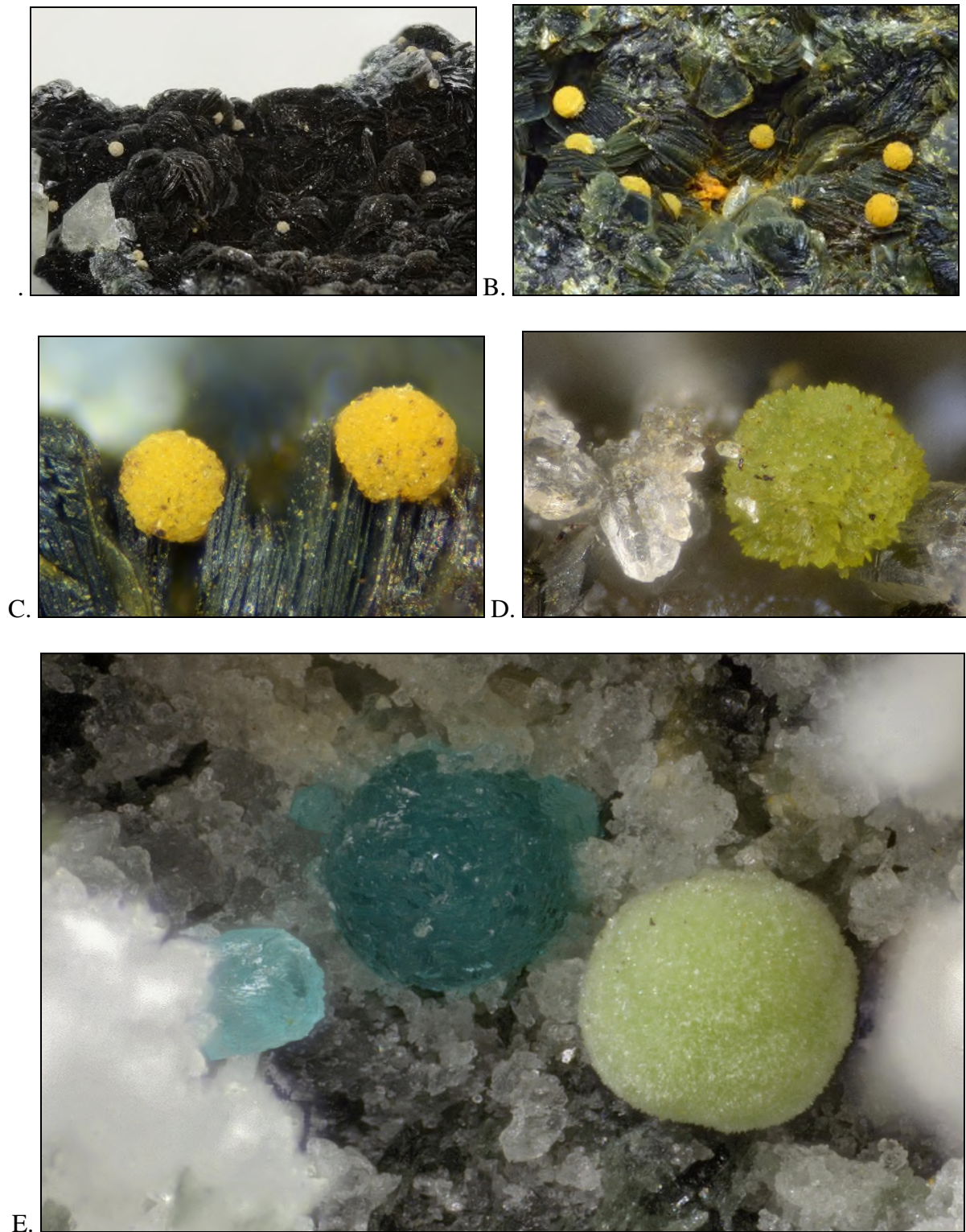


Figure 23 : Malhmoodite de Vielsalm.

(A), (B) et (C) Malhmoodite sur chlorite

(A) (L = 4,2 mm)

(B) (L = 1,8 mm),

(C) (L = 0,5 mm)

(D) Malhmoodite et quartz (L = 0,55 mm),

(E) Malhmoodite et turquoise (L = 1,25 mm).

(A), (D) et (E) Coll. M. Blondieau, Photo : P. Chollet. (B) et (C) Coll. S. Puccio, Photo P. Chollet.

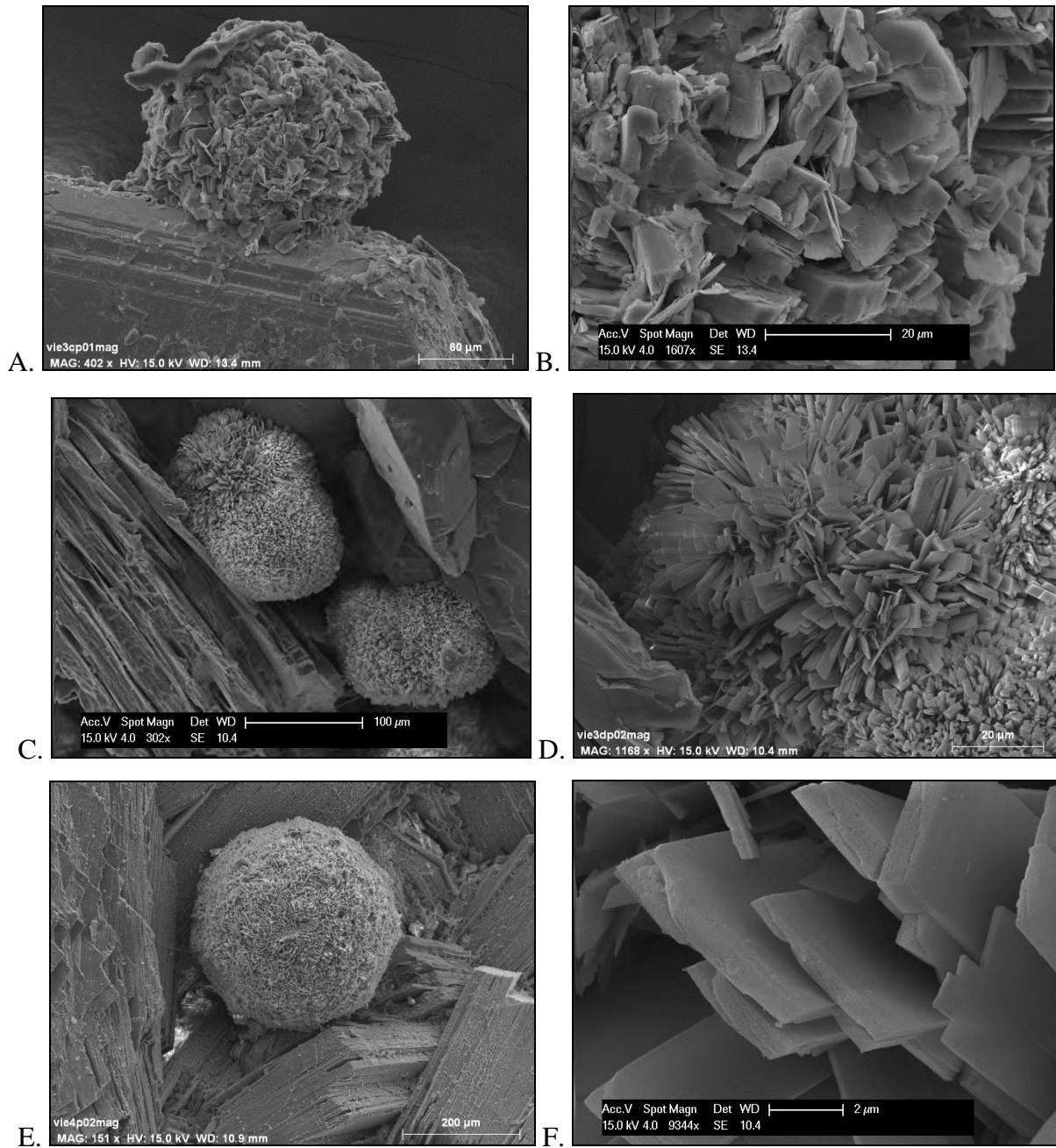


Figure 24 : Malhmoodite de Vielsalm.

Photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

(A) et (B) Échantillon VIE-3b.

(A) Association hétérogène de malhmoodite et de clinocllore sur hématite.

(B) Gros plan sur cette structure.

(C) et (D). Échantillon VIE-3d.

(C) Plusieurs boules de malhmoodite sur clinocllore (à gauche) et sur quartz (à droite).

(D) Gros plan sur cette structure.

(E) et (F) Échantillon VIE-4.

(E) boule de malhmoodite bien cristallisée sur clinocllore.

(F) Détail des cristaux.

3.19. Monazite-(Ce), Ce(PO₄)

À Salmchâteau, dans la galerie TCVS-1, des cristaux de monazite-Ce sont observés avec turquoise, dickite, florencite-(Ce), xénotime-(Y) et cookéite. Le minéral forme de petits cristaux atteignant 200 µm de longueur, de morphologie caractéristique (Figure 25). L'identification est confirmée par le spectre EDS qui montre les éléments Ce, Nd, La et P, avec de plus faibles quantités de Ca et Fe.

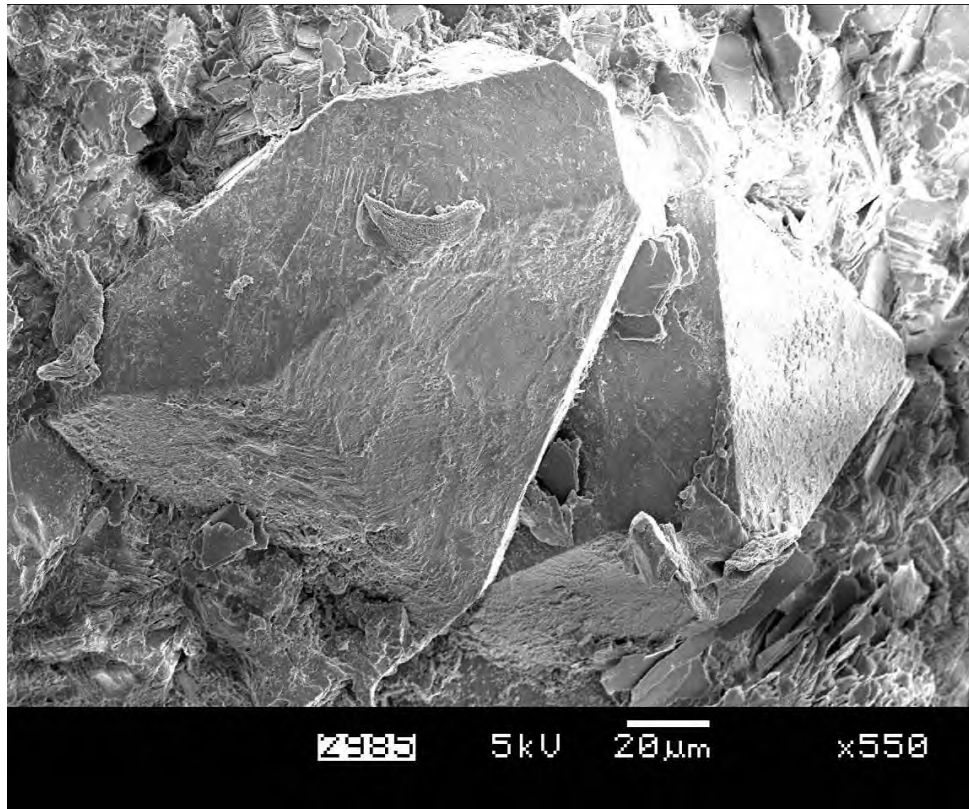


Figure 25 : Monazite de Salmchâteau.

3.20. Montanite, Bi³⁺₂Te⁶⁺O₆.2H₂O

Un minéral vert pomme, associé à la tellurobismuthite de la carrière "Fosse-Roulette" de Vielsalm, a été décrit par Hatert (1996) dans son mémoire de fin de licence. Il indique une analyse chimique qualitative à L'EDS qui met en évidence Bi, Te, Cu, Fe et O. L'étude de ce minéral par diffraction des rayons X montre quelques raies très larges, suggérant un mauvais état de cristallisation : 3,61 (TF); 2,564 (F); 7,05 (f); 1,895 (f); 1,670 (f); 5,05 (tf); et 1,983 (tf) Å. Selon Hatert (1996), ces raies ne correspondent à aucun composé connu.

Un nouvel échantillon a été étudié au diffractomètre à 4 cercles. En mode « monocristaux », on n'observe qu'un brouillard de taches de diffraction, indiquant que l'échantillon analysé est polycristallin. Le mode de mesures sur « poudres » (Debye-Scherrer) a fourni un

diffractogramme de bonne qualité, dont les raies semblent proches de celles de la montanite, un minéral toutefois mal défini (Tableau 4).

Tableau 4 : Diffractogramme de poudres de rayons X de la montanite de Vielsalm. (Diffractomètre à 4 cercles Rigaku Xcalibur, détecteur EOS, radiation MoK α), comparé à ceux de la montanite de Russie et du Montana.

Vielsalm	Montanite*		Montanite**	
	Russie		Montana	(USA)
<i>d</i> (Å)	<i>d</i> (Å)	I/I ₀ (%)	<i>d</i> (Å)	I/I ₀ (%)
7,510	-	-	-	-
6,532	-	-	-	-
5,847	-	-	-	-
5,066	-	-	-	-
4,164	-	-	-	-
3,320 (TF)	3,54	100	3,49	100
	3,223	50		
3,049 (TF)	2,950	30	3,187	40
2,533 (F)	2,600	90	2,576	75
2,050 (F)	2,041	25	2,027	40
1,906 (F)	1,892	80	1,896	100
1,772 (F)	1,708	55	1,709	30
1,656 (F)	1,635	15	1,629	20
1,523 (F)	1,504	30	1,503	50
1,445	-	-	1,434	20
1,387	1,358	10	1,357	15
1,292	-	-	1,292	30
1,255	1,249	15	1,255	35
1,224	-	-	1,230	20
1,193	-	-	1,198	15
1,099	-	-	1,093	30

* Fiche ICDD 38-417 : Montanite de Novo Boevsk, Oural, Russie.

** Fiche ICDD 38-418 : Montanite du Montana (USA).

Un échantillon, examiné en microscopie électronique à balayage, montre des petites sphérules de quelques 50 μm de diamètre (Figure 26). L'analyse chimique qualitative par spectroscopie EDS de ces boules met en évidence la présence des éléments majoritaires Bi, S, Te et O, ainsi que la présence minoritaire de Cu et Fe. Le soufre et le tellure semblent en proportions comparables. Aucune espèce minérale n'est actuellement connue pour renfermer les quatre éléments principaux Bi, S, Te et O ; il pourrait donc s'agir d'une nouvelle espèce apparentée à la montanite.

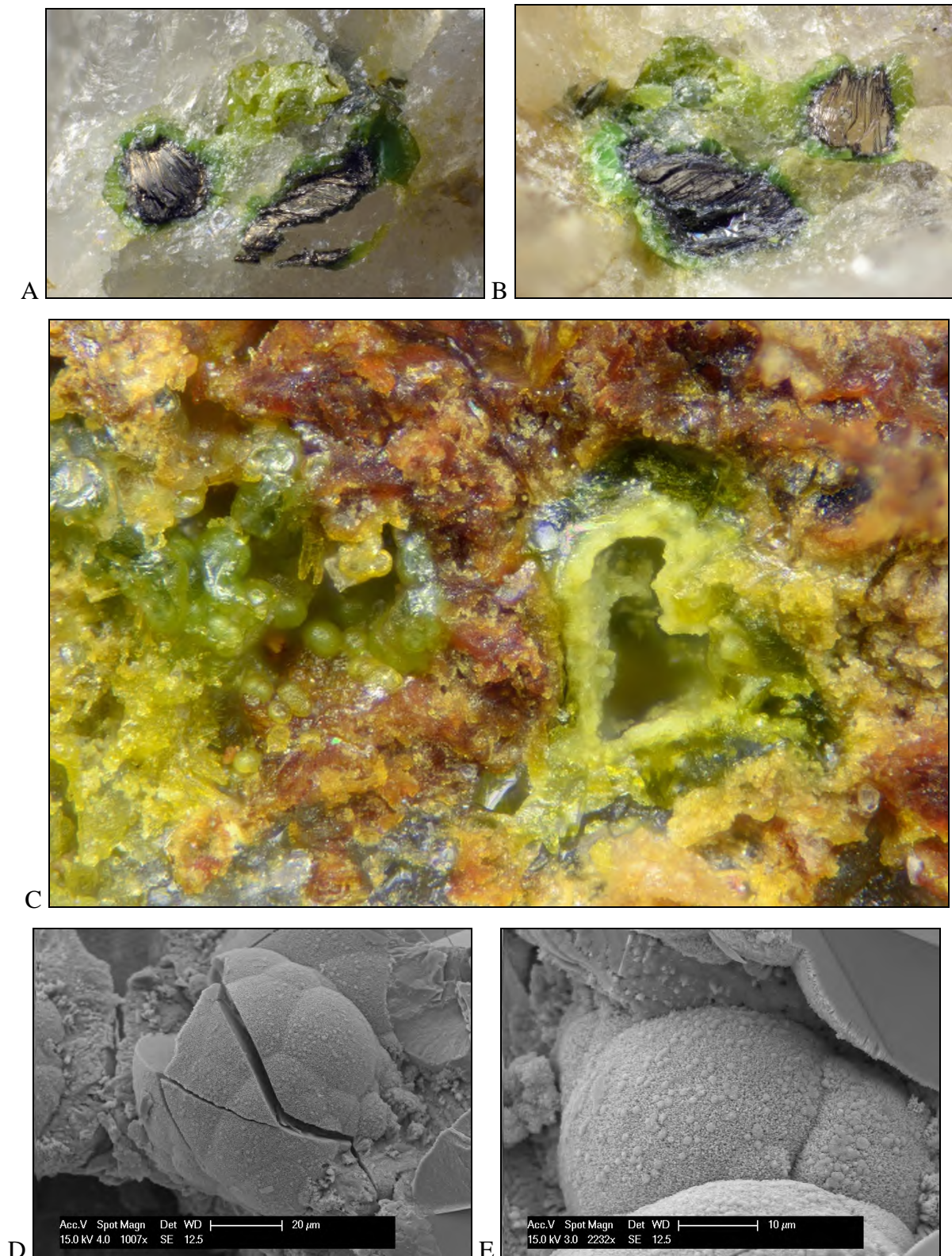


Figure 26 : (A) et (B) Montanite autour de tellurobismuthite de « Fosse-Roulette » à Vielsalm.

(A) (L = 1,2 mm).

(B) (L = 1,1 mm), Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet.

(C) Montanite en petites boules de la Fosse-Roulette à Vielsalm. L = 0,85 mm, Coll. M. Blondieau, Photo : P. Chollet.

(D) et (E) Échantillon VIE-23, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.21. Montmorillonite, $(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Au Coreux, on observe parfois, dans des cavités fermées à l'intérieur de quartz blanc, un minéral de texture argileuse et de couleur rose. L'analyse par diffraction des rayons X de ce matériel montre un pic intense à 15,22 Å, suggérant une montmorillonite ou une nontronite. Une analyse chimique qualitative par EDS indique la présence des éléments majoritaires Si, Al et O, ainsi que K, Mg et Ca. L'absence de Fe, un élément principal de la nontronite, exclut donc ce minéral. La formule idéale de la montmorillonite renferme un peu de sodium, ce qui n'est pas observé sur le matériel du Coreux qui, par contre, renferme du potassium. Le diffractogramme de poudre est en bon accord avec celui de la montmorillonite-15Å de Skyrvedalen, en Norvège (Fiche ICDD 13-135).

3.22. Muscovite, $\text{KAl}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2$

Au Coreux, on observe la présence d'un minéral micacé rose souvent associé aux phyllades à kanonaite (Figure 27), mais également présent dans le quartz blanc ainsi qu'en petites lamelles dans les plages d'albite. Les analyses par diffraction des rayons X indiquent qu'il s'agit d'un mélange de muscovite et de chlorite. À Salmchâteau, non loin du viaduc, on peut observer un minéral micacé vert dans le quartz à ardennite (Figure 28). L'analyse par diffraction des rayons X indique qu'il s'agit également de muscovite. La muscovite verte est également observée au Sart Close, de l'autre côté de la Salm. Ces variétés pourraient correspondre à l'« alurgite » (rose) et à la « fuchsité » (verte), mais la présence des éléments chromophores Cr et Mn n'a pas été confirmée. La variété « fuchsité » avait été signalée précédemment par Klement (1888) et Buttgenbach (1918).

3.23. Plumbojarosite, $\text{Pb}_{0,5}\text{Fe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

Au Thier des carrières, tout au fond de la carrière Georges Jacques dite "Fosse-Roulette", des plages ocre autour de galène ont été signalées comme plumbojarosite vraisemblable (Blondieau, 2005, 2006). Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé un nouvel échantillon par diffraction des rayons X et par spectroscopie EDS. On constate la présence des seuls éléments Fe, S, O et Pb, confirmant ainsi l'espèce. Ce minéral jarositique se présente en minuscules cristaux de forme lenticulaire, agglomérés en amas (Figure 29).



Figure 27 : Muscovite rose associée à la kanonaite, Le Coreux, Salmchâteau.
Coll. M. Blondieau.



Figure 28 : Muscovite verte sur quartz, Salmchâteau.
Les plages jaunes sont constituées d'ardennite-(As).
Coll. M. Blondieau, photo P. Chollet, L = 7,95 mm.

En Belgique, la plumbojarosite est déjà recensée à La Roche-en-Ardenne (Blondieau & Hatert, 2009), à Bure près de Tellin (Blondieau, 2011), ainsi qu'à Rabotrath (Blondieau *et al.*, 2016) où le minéral renfermait aussi un peu de potassium minoritaire, indiquant qu'il s'agissait là d'une solution solide entre la jarosite et la plumbojarosite. Vielsalm est donc la quatrième occurrence belge recensée pour ce minéral, qui doit être vraisemblablement présent en de nombreuses localités belges.

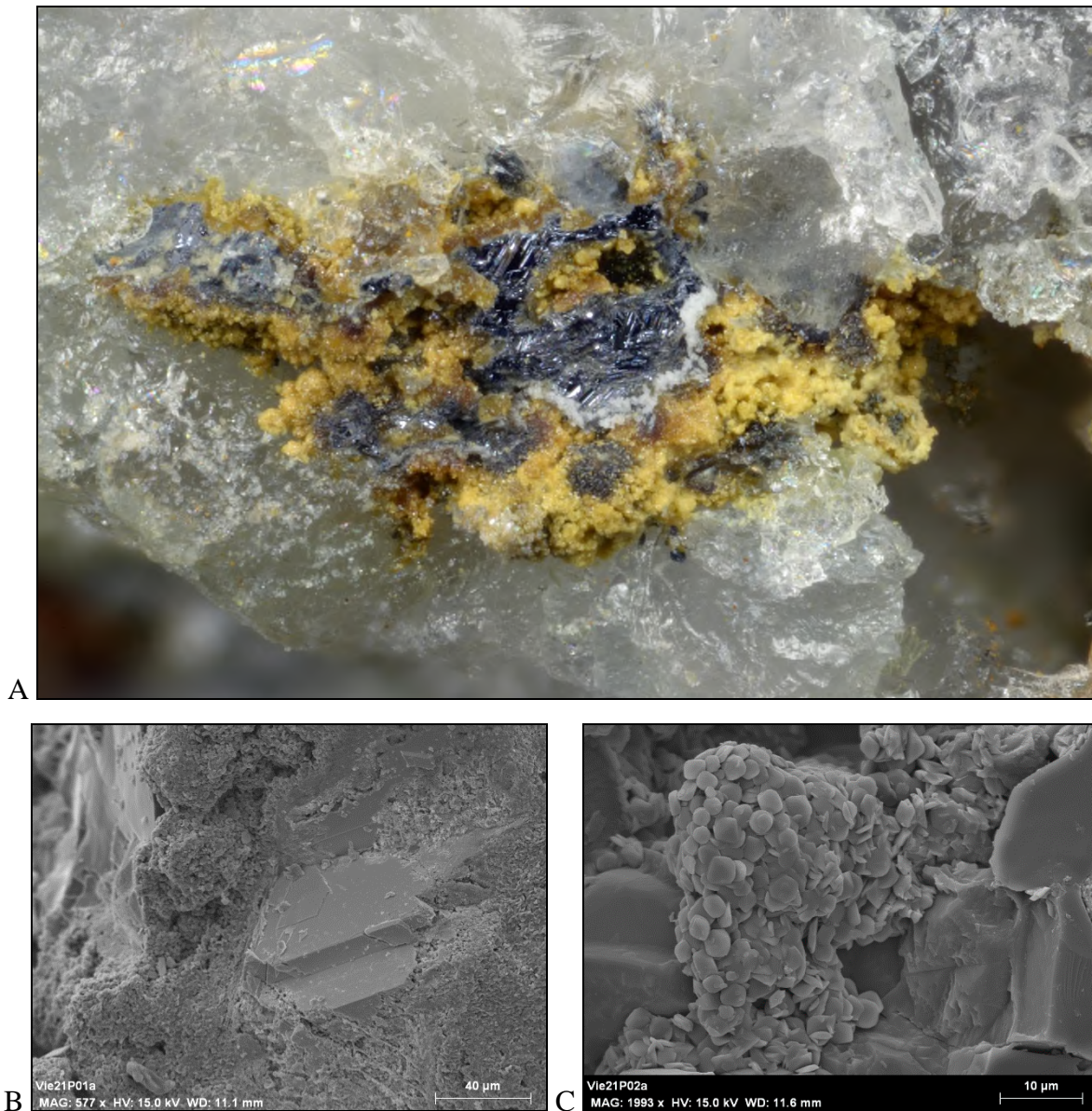


Figure 29 : Galène et plumbojarosite de « Fosse-Roulette » à Vielsalm.

(A) Coll. M. Blondieau, Photo : P. Chollet, L = 1,8 mm.

(B) et (C) Échantillon VIE-21, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.24. Pyrolusite, MnO_2

Des petits cristaux métalliques noirs de pyrolusite sont confirmés par diffraction des rayons X au Coreux. Visuellement, ces cristaux n'ont cependant pas la morphologie du système quadratique et sont donc le résultat d'une pseudomorphose de manganite (monoclinique) en pyrolusite, comme c'est souvent le cas pour ce minéral (Figure 30). La pyrolusite, bien qu'abondante au Coreux, n'y était pas encore signalée.

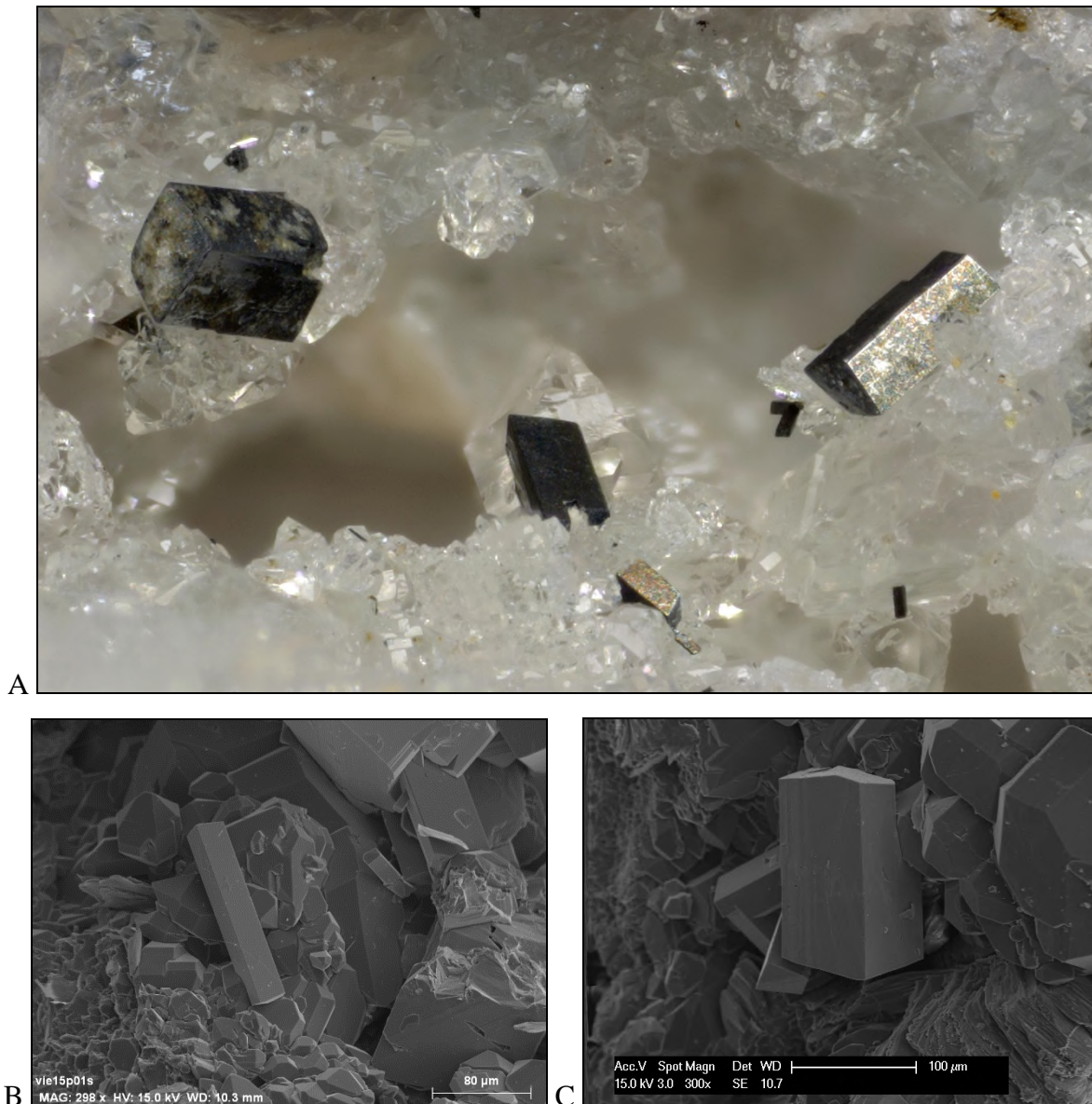


Figure 30 : Pyrolusite du Coreux.

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L = 1,7 mm.

(B) et (C) Échantillon VIE-15, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.25. Scorodite, $\text{Fe}^{3+}(\text{AsO}_4)\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

La scorodite est observée sur des blocs riches en gros cristaux pluri-millimétriques d'arsénopyrite de la partie est du Thier des carrières, en association avec galène, chalcopyrite, wulfénite et pharmacosidérite. Elle est confirmée par diffraction des rayons X, ainsi que par son spectre EDS qui indique la présence des éléments O, Fe et As, ainsi que Cu minoritaire. Les images réalisées au microscope électronique à balayage montrent la scorodite de Vielsalm en cristaux trapus d'une vingtaine de microns de diamètre, ou en boules de 150 microns de diamètre, toutes hérissées de minuscules cristaux ne mesurant que quelques microns. Dans le massif de Stavelot, la scorodite est connue à Hourt (Lefèvre & Hatert, 2003) mais n'avait, jusqu'à présent, encore jamais été observée à Vielsalm.

3.26. Sphalérite, ZnS

Au Thier des carrières de Vielsalm, tout au fond de la carrière Georges Jacques dite "Fosse-Roulette", la sphalérite brune est reconnue visuellement en association avec la galène dans des petits joints de quartzophyllades pyriteux (Blondieau, 2006). Elle se présente le plus souvent en mouchetures fort corrodées avec soufre natif, mais des petits cristaux tétraédriques infra-millimétriques sont parfois observables (Figure 32). Le minéral est confirmé par diffraction des rayons X et par son spectre EDS qui montre bien la présence majoritaire des éléments Zn et S, avec Fe minoritaire. La sphalérite n'était pas encore recensée à Vielsalm.

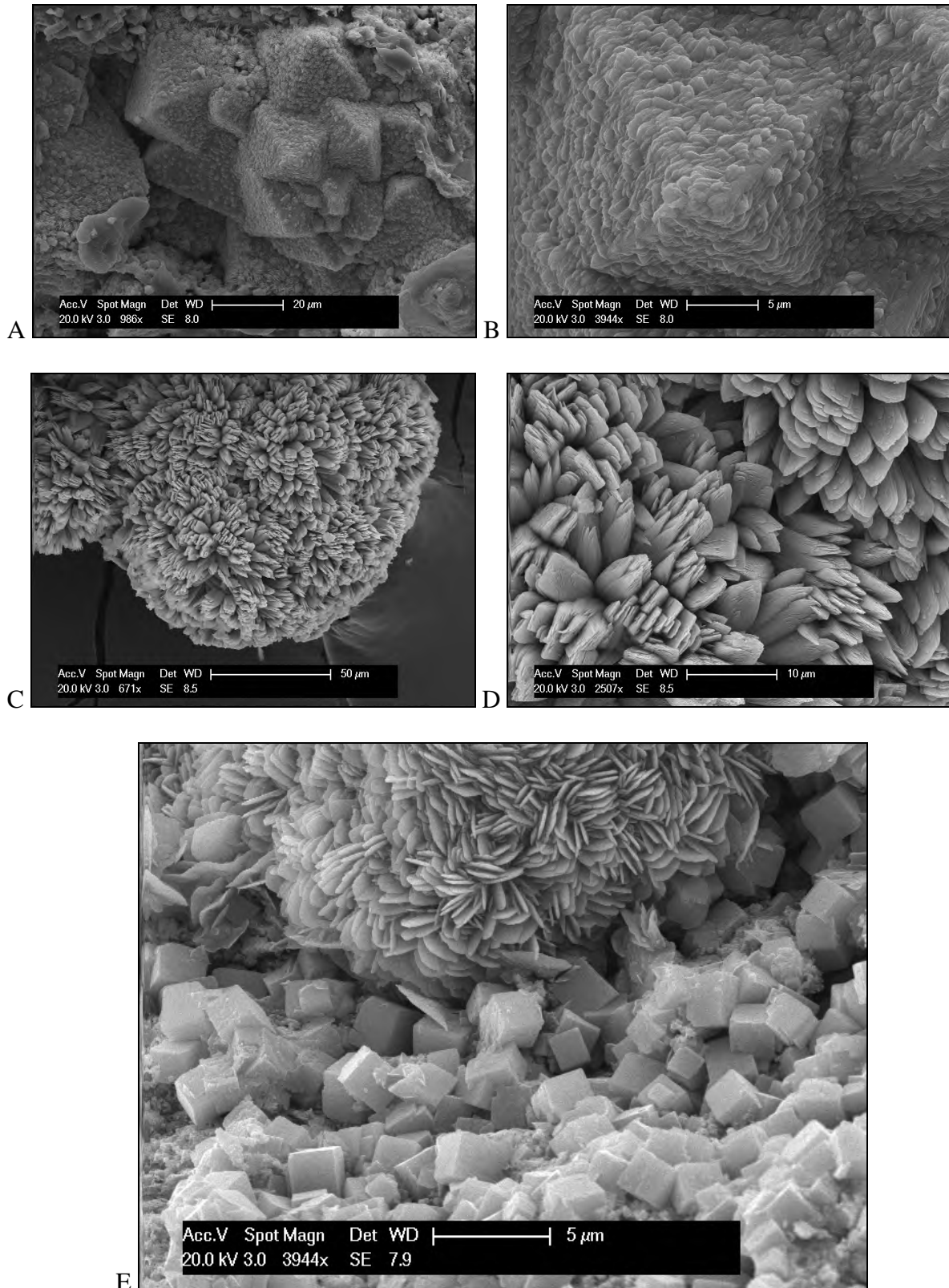


Figure 31 : Scorodite de Vielsalm, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

(A) et (B) Échantillon VIE-29. Cristaux trapus couverts d'une seconde génération de scorodite.

(C) et (D) Échantillon VIE-30. Boule toute hérissée de cristaux.

(E) Échantillon VIE-29. Boule hérissée de cristaux de scorodite et cristaux de pharmacosidérite à l'avant-plan.

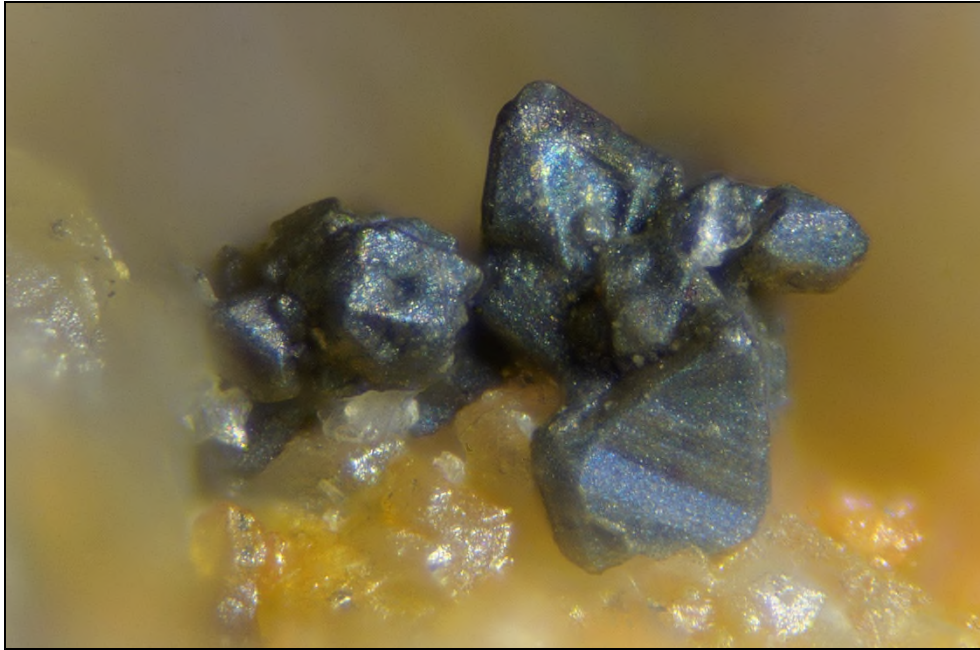


Figure 32 : Cristaux de sphalérite sur quartz de Vielsalm (L = 0,50 mm).
Coll. M. Blondieau, Photo : P. Chollet.

3.27. Ténorite, CuO

La ténorite est une espèce minérale signalée à Vielsalm par Malaise (1913) mais, d'abord réputée douteuse dans la première édition des minéraux de Belgique (Mélou *et al.*, 1976), elle n'est plus reprise dans la deuxième édition de cet ouvrage (Hatert *et al.*, 2002). Un échantillon recueilli dans les haldes situées à l'extrême ouest de la zone d'entrepôt de l'entrepreneur Pignon (Thier des carrières, Vielsalm), présente des fibres noires se terminant souvent en rouge et associées à de minuscules arborescences de cuivre natif (Figure 33A). Visuellement, cette association a immédiatement fait penser à de la cuprite et à de la ténorite. L'identification de la ténorite a été confirmée par diffraction des rayons X. L'analyse chimique qualitative par EDS met en évidence les éléments Cu et O. L'observation à fort grossissement des cristaux (Figures 33B, C) montrent qu'ils sont d'un aspect fort spongieux, indiquant qu'ils sont déjà fortement altérés en surface, avec formation possible d'un peu de malachite qui n'est cependant reconnue ni visuellement ni par diffraction des rayons X.

La ténorite de Vielsalm a été observée sur un quartz blanc parsemé de mouchetures de chlorite verte et lui-même posé sur une croûte de chlorite verte massive, dans laquelle sont aussi observés de nombreux petits cristaux arrondis de fluorapatite incolore à blanche. La ténorite est donc une espèce que l'on peut réinscrire dans la liste des espèces minérales présentes dans le sous-sol de notre pays.

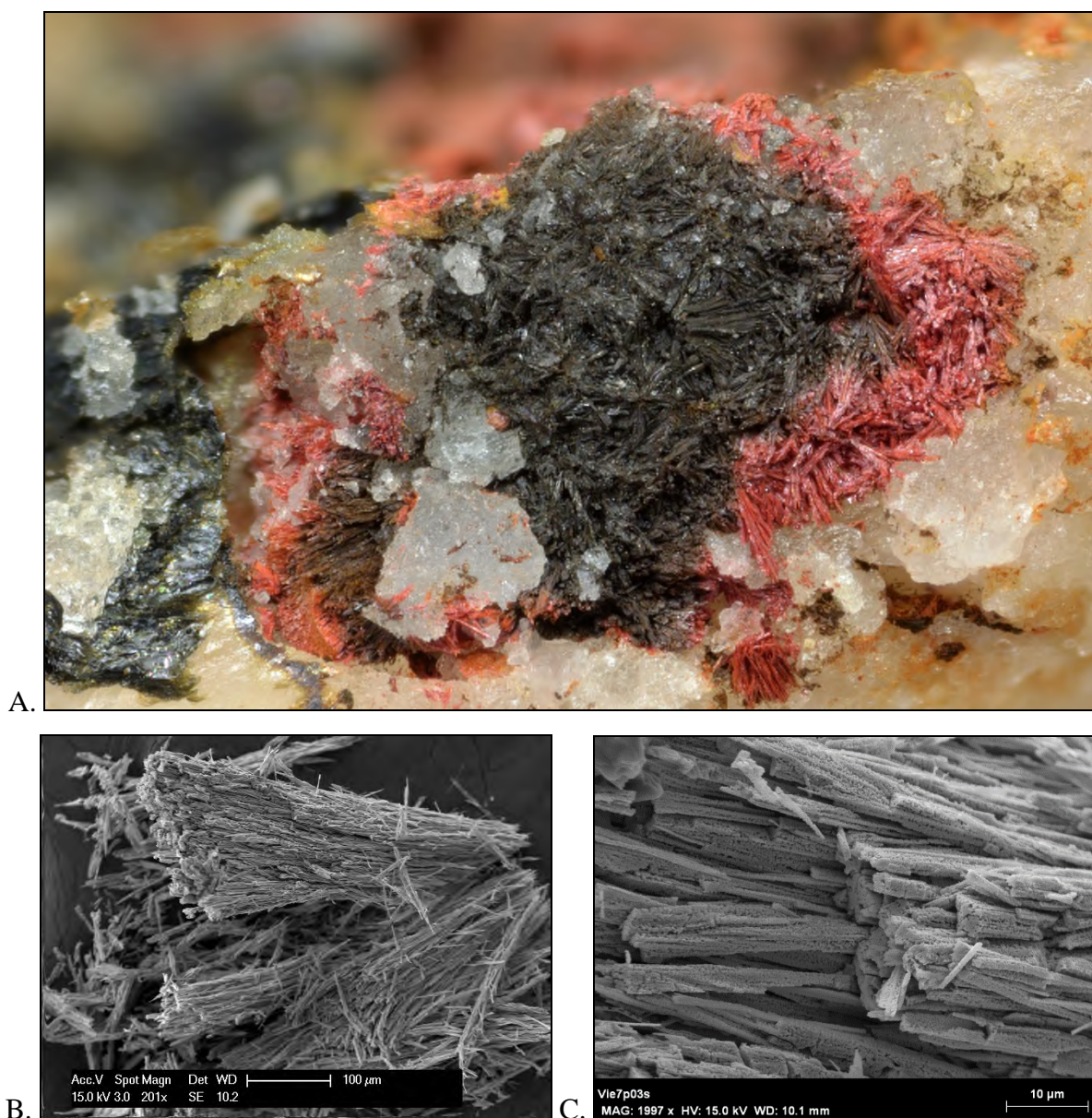


Figure 33 : Ténorite (noire) et cuprite (rouge) de Vielsalm.

(A) Coll. S. Puccio, Photo P. Chollet, L = 2,15 mm.

(B) et (C) Ténorite, échantillon VIE-7, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.28. Volborthite, $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Visuellement, des plages millimétriques d'un minéral jaune citron (Figure 34) ont été observées sur des échantillons provenant de la collection du docteur J. Graulich et collectés à Vielsalm, vraisemblablement sur les terrils de la partie ouest du Thier des carrières. La roche contenant ce minéral est une "cresse" (= pseudocoticule) bien minéralisée en chalcocite sur laquelle se sont développés des cristaux de langite, brochantite et connellite. L'hématite grenue brun-rouge y est abondante et confère un aspect brunâtre aux échantillons.

L'analyse chimique qualitative montre la présence du cuivre, du vanadium et de l'oxygène comme éléments majoritaires. On note aussi la présence très minoritaire de silicium, arsenic et fer. Le minéral est constitué de feuillets inclus dans une chlorite, vraisemblablement de la chamosite puisqu'elle renferme du fer et du magnésium en plus du silicium, de l'aluminium et de l'oxygène. La volborthite est une espèce nouvelle pour la Belgique.

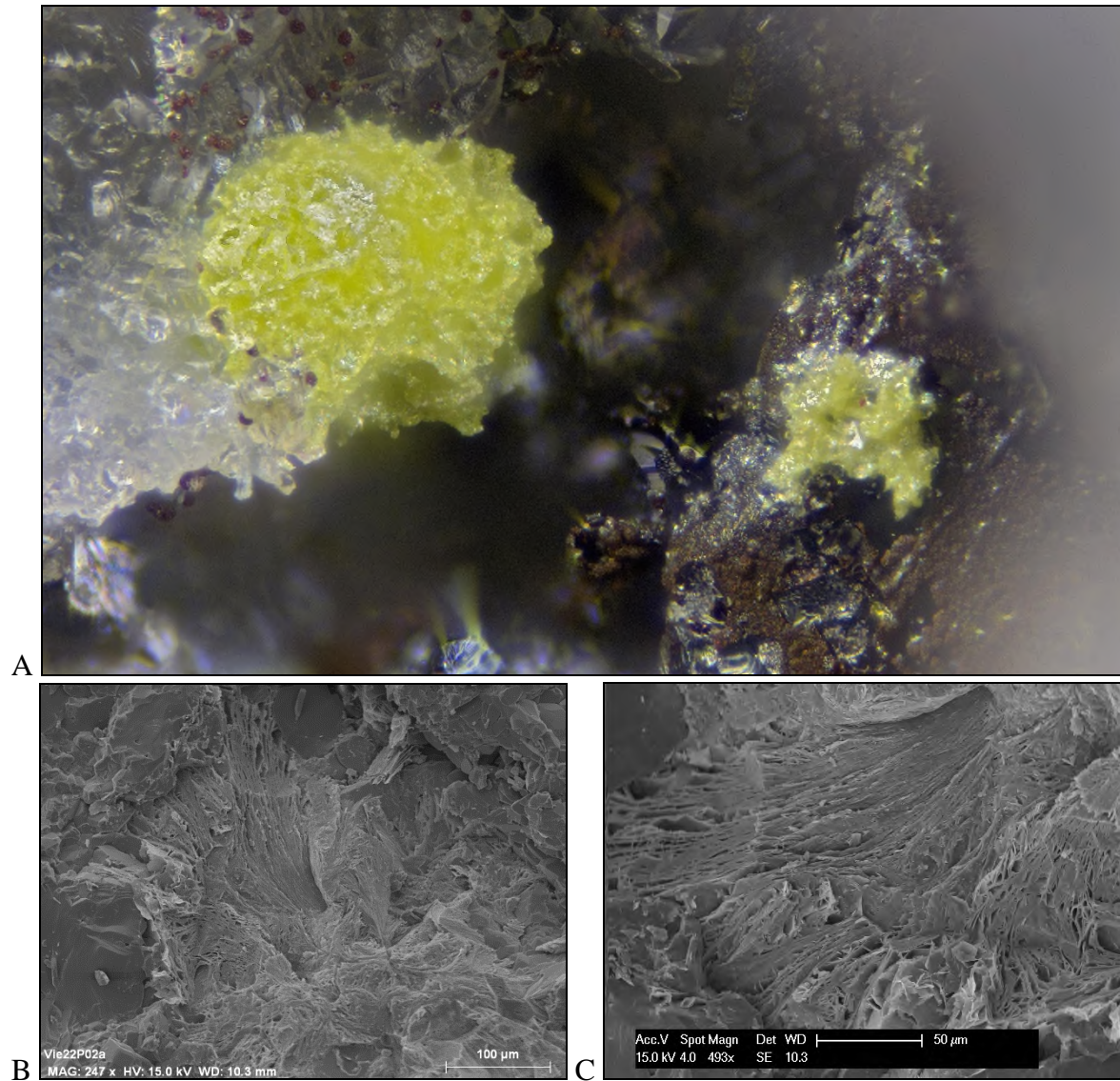


Figure 34 : Volborthite de Vielsalm.

(A) Échantillon n° 20900 des collections du Laboratoire de Minéralogie, Photo P. Chollet, L = 0,75 mm.

(B) et (C) Échantillon VIE-22, photographies au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

3.29. Xénotime-(Y), YPO_4

Le xénotime-(Y) a été observé au Thier des carrières de Vielsalm, ainsi que dans la galerie TCVS-1 à Salmchâteau, sur des joints tapissés de cookéite dans lesquels se rencontrent également la florencite-(Ce), la monazite-(Ce), la dickite abondante, la wavellite et la

turquoise. Un cristal de Vielsalm, de 200 microns environ et d'allure quadratique, a été visuellement identifié comme xénotime-(Y) (Figure 35). L'analyse par spectroscopie EDS indique la présence de l'yttrium, du phosphore et de l'oxygène majoritaires, mais également de zirconium, silicium, dysprosium, gadolinium, calcium et arsenic minoritaires.

À Salmchâteau, dans la galerie TCVS-1, des cristaux prismatiques de section carrée accompagnent la florencite-(Ce) (Figure 36). Leur longueur n'est que de quelques millimètres et leur couleur est plutôt jaune pâle. Une analyse par diffraction des rayons X antérieure montre bien qu'il s'agit de xénotime-(Y) (Blondieau, 2006).

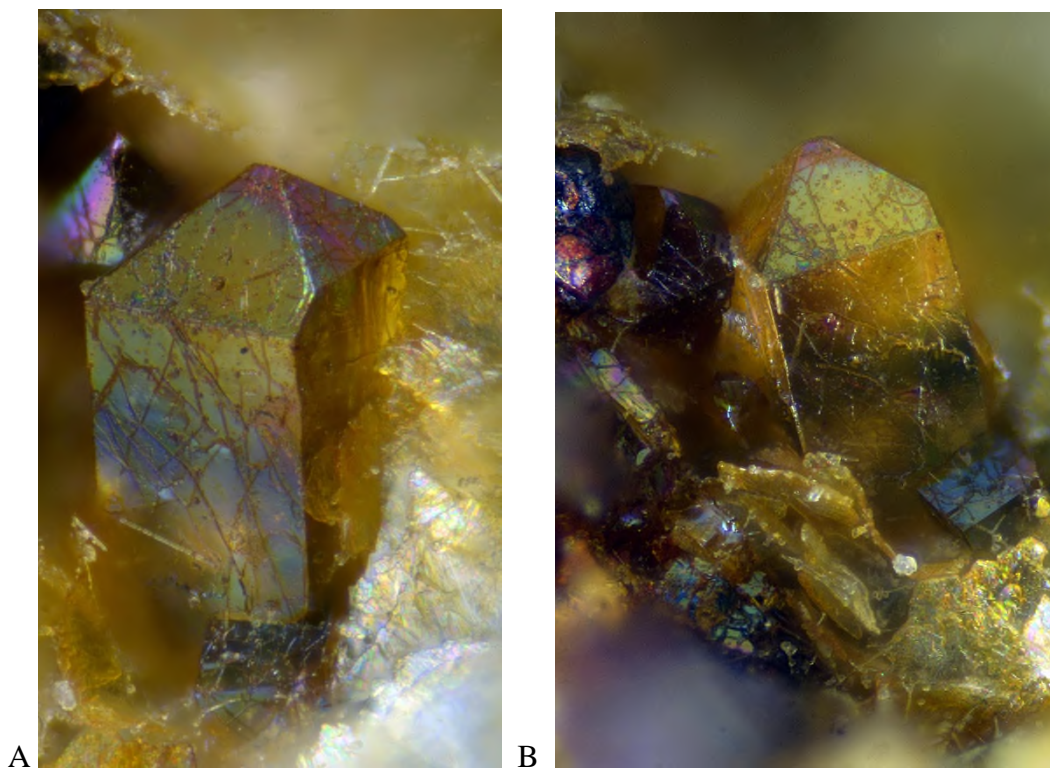


Figure 35 : Xénotime-(Y) de Vielsalm.

(A) H = 0,33mm.

(B) H = 0,44m), Coll. S. Puccio, Photo P. Chollet.



Figure 36 : Xénotime-(Y) de Salmchâteau.

(A) Coll. M. Blondieau, Photo P. Chollet, L = 1,05 mm.

(B) Photographie au microscope électronique à balayage, mode électrons secondaires.

4. Conclusions

Les localités de Vielsalm et Salmchâteau sont les deux localités les plus riches de Belgique, point-de-vue minéralogique. Hatert *et al.* (2002) recensent en effet pas moins de 53 espèces à Salmchâteau et 69 à Vielsalm. La présente étude a permis de compléter l'inventaire minéralogique de la région, en ajoutant une vingtaine d'espèces à cette liste. Parmi ces espèces, l'arsenogoyazite, le diaspore, la malhmoodite, la montanite, la ténorite et la volborthite sont nouvelles pour notre pays (Tableau 5). Soulignons l'importance de cette étude, qui a permis de caractériser les agrégats de malhmoodite, minéral très rare qui n'est connu que dans deux autres localités au monde.

Point-de-vue génétique, plusieurs espèces sont à souligner, comme le diaspore, susceptible de fournir des informations sur les températures atteintes au cours du métamorphisme varisque. La géochimie exceptionnelle de la région est bien confirmée, par les phosphates de terres rares comme le xénotime-(Y) et la monazite-(Ce), la volborthite (V), la sphalérite (Zn), la malhmoodite (Zr), l'anglésite (Pb) et l'arsenogoyazite (Sr). Les éléments chimiques présents dans ces minéraux sont rares dans le Massif de Stavelot ; les autres espèces qui les contiennent sont notamment la florencite-(Ce), la graulichite-(Ce), l'ardennite (V), la gahnite (Zn), la galène, la wulfénite et l'altaïte (Pb), et le strontiomélane (Sr).

Cet inventaire n'est certainement pas terminé, et d'autres découvertes sont à prévoir, notamment sur les filons à tellure de Salmchâteau et « Fosse-Roulette ». Le chrysocolle, souvent soupçonné sur certains échantillons, n'a pas encore été confirmé.

Remerciements :

Nous souhaitons remercier Fabrice Dal Bo et Maxime Baijot pour l'aide importante apportée lors de l'utilisation des diffractomètres au laboratoire, ainsi que Pascal Chollet qui nous a permis d'utiliser les magnifiques photos qu'il a réalisées de nos petits échantillons. Merci à Anne-Christine Da Silva, pour avoir légué au Laboratoire de Minéralogie les échantillons de la collection de feu le Dr J. Graulich

Tableau 5 : Espèces minérales de Vielsalm et de Salmchâteau décrites dans cet article. Les espèces soulignées sont nouvelles pour ces localités et celles mises en « gras » sont nouvelles pour la Belgique.

Minéral	Formule chimique idéale
Albite	Na(AlSi ₃ O ₈)
<u>Anglésite</u>	PbSO ₄
<u>Aragonite</u>	CaCO ₃
Ardennite-(As)	Mn ²⁺ ₄ Al ₄ (Al,Mg)(AsO ₄)(SiO ₄) ₂ (Si ₃ O ₁₀)(OH) ₆
<u>Arsenogoyazite</u>	SrAl ₃ (AsO ₄)(AsO ₃ OH)(OH) ₆
<u>Barite</u>	BaSO ₄
Braunite	Mn ²⁺ Mn ³⁺ ₆ O ₈ (SiO ₄)
Chalcoalumite	CuAl ₄ (SO ₄)(OH) ₁₂ .3H ₂ O
<u>Cookéite</u>	(Al,Li) ₃ Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH)
<u>Diaspore</u>	AlO(OH)
<u>Dickite</u>	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Goethite	FeO(OH)
<u>Gypse</u>	CaSO ₄ .2H ₂ O
Hollandite-strontiomélane	Ba(Mn ⁴⁺ ₆ Mn ³⁺ ₂)O ₁₆ - Sr(Mn ⁴⁺ ₆ Mn ³⁺ ₂)O ₁₆
<u>Hydroniumjarosite</u>	(H ₃ O)Fe ³⁺ ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆
<u>Lépidocrocite</u>	Fe ³⁺ O(OH)
Lithiophorite	(Al,Li)(Mn ⁴⁺ ,Mn ³⁺) ₂ O ₂ (OH) ₂
<u>Malhmoodite</u>	FeZr(PO ₄) ₂ .4H ₂ O
<u>Monazite-(Ce)</u>	Ce(PO ₄)
<u>Montanite</u>	Bi ³⁺ ₂ Te ⁶⁺ O ₆ .2H ₂ O
<u>Montmorillonite-15A</u>	(Na,Ca) _{0,3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ •nH ₂ O
Muscovite	KAl ₂ [Si ₃ AlO ₁₀](OH) ₂
<u>Plumbojarosite</u>	Pb _{0,5} Fe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆
Pyrolusite	MnO ₂
<u>Scorodite</u>	Fe ³⁺ (AsO ₄).2H ₂ O
<u>Sphalérite</u>	ZnS
<u>Ténorite</u>	CuO
<u>Volborthite</u>	Cu ₃ V ₂ O ₇ (OH) ₂ .2H ₂ O
<u>Xénotime-(Y)</u>	YPO ₄

Références

- Baijot, M., Hatert, F. & Fransolet, A.-M. (2011). Mineralogical and geochemical study of pseudocoticule from the Stavelot Massif, Ardennes (Belgium), and redefinition of coticule. *European Journal of Mineralogy*, **23**, 633-644.
- Barresi A.A., Orlandi P. & Pasero M. (2007). History of ardennite and the new mineral ardennite-(V). *European Journal of Mineralogy*, **19**, 581-587.
- Bernhardt H.J., Armbruster T., Fransolet A.-M. & Schreyer W. (2005). Stavelotite-(La), a new lanthanum-manganese sorocilicate mineral from the Stavelot Massif, Belgium. *European Journal of Mineralogy*, **17**, 703-714.

- Blondieau M. & Hatert F. (2009). Minéralogie de l'ancienne mine de plomb de La Roche-en-Ardenne (Belgique). *Le Règne Minéral*, **88**, 5-20.
- Blondieau M. (2005). *Les gisements minéraux du Salmien dans le massif de Stavelot*. Edition de l'auteur, 90 pages.
- Blondieau M. (2006). *Description des espèces minérales présentes dans les gisements salmiens du Massif de Stavelot*. Édition de l'auteur, 148 pages.
- Blondieau M. (2011). Anciens travaux de recherches pour plomb à Bure : Historique, localisation et minéralogie. *De la Meuse à l'Ardenne*, **43**, 61-93.
- Blondieau M., Puccio S., Compère P. & Hatert F. (2016). Minéralogie de l'ancienne mine plomb-zinc de Rabotrath (Lontzen, Belgique). *Bulletin de la société Royale des Sciences de Liège*, **85**, 30-55.
- Buttgenbach H. (1918). Contributions à l'étude des minéraux belges. *Annales de la Société géologique de Belgique*, **42**, M93.
- Caubergs M. (1991). Inventaire de quelques anciennes mines et carrières souterraines de wallonie Essai d'archéologie minière, *édition d'auteur*. 313 pages.
- CNMNC-IMA (2016). The new IMA list of minerals. Update July 2016. <http://nrmima.nrm.se/>
- Corin F. (1928). Contribution à l'étude de la Dewalquite (Ardennite). *Annales de la Société géologique de Belgique*, **LI**, B.140-144.
- du Ry P., Fouassin M., Jedwab J. & Van Tassel R. (1976). Occurrence de chalcoalumite, de minéraux de tellure (téinéite et paratellurite) et de béryl à Salmchâteau, Ardennes belges. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **99**, 47.
- Elton N.J. & Hooper J.J. (1995). A second occurrence of mahlmoodite, from Cornwall, England. *Mineralogical Magazine*, **59**, 166–168.
- Ferket H., Muchez P., Schroyen K. & Sintubin M. (1998). Metamorphism in the Stavelot-Venn Massif: a study of quartz veins in the basal Devonian conglomerates (Lochkovian). *Aardkundige Mededelingen*, **9**, 7-16.
- Fourmarier P. (1944). L'allure du Salmien entre Vielsalm et Salm-château. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **67**, B42-B55.
- Fransolet A.-M. & Mélon J. (1975). Données nouvelles sur des minéraux de Belgique. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, **44**, 157.
- Geukens F. (1986). Commentaire à la carte géologique du Massif de Stavelot. *Aardkundige Mededelingen*, **3**, 15-30.

- Geukens F. (1995). Strike slip deformation des deux côtés du Graben de Malmedy. *Annales de la Société géologique de Belgique*, **118**, 139-146.
- Geukens F. (1999). Notes accompagnant une révision de la carte structurale du Massif de Stavelot. *Aardkundige Mededelingen*, **9**, 183-190.
- Hatert, F., Deliëns, M., Fransolet, A.-M. & Van Der Meersche, E., 2002. *Les minéraux de Belgique*, deuxième édition, 304 p.
- Hatert F. (1996). Étude minéralogique préliminaire de quelques sulfures du Massif de Stavelot. *Mémoire de licence, Université de Liège*, 48 p.
- 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 copper sulfides at Vielsalm, Stavelot Massif, Belgium. *Canadian Mineralogist*, **43**, 623-635.
- Hatert F., Deliëns M., Fransolet A.-M. & Van Der Meersche E. (2002). Les minéraux de Belgique, deuxième édition. 304 pages.
- Hatert F., Blondieau M, Puccio S., Baijot M. & Gustine C. (2014). Le gisement de manganèse de la vallée de la Lienne. *Le Règne Minéral*, **117**, 5-24.
- Herbosch A. (1967). La viridine et la braunite de Salmchâteau. *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, **76**, 183-201.
- Klement C. (1888). Analyse chimique de quelques minéraux et roches de Belgique et de l'Ardenne française. *Bulletin du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, **5**, 159.
- Kramm U. (1982). Die Metamorphose des Venn-Stavelot-Massivs, nordwestliches Rheinisches Schiefergebirge: grad, Alter und Ursache. *Decheniana (Bonn)*, **135**, 121-178.
- Kramm U., Spaeth G. & Wolf M. (1985). Variscan metamorphism in the NE Stavelot-Venn Massif, Ardennes : a new approach to the question of regional dynamothermal or contact metamorphism. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, **171**, 311-327.
- Lefèvre P. & Hatert F. (2003). Or natif, arsénopyrite et minéraux secondaires dans les quartzites devilliens de Hourt, Massif de Stavelot, Belgique. *Geologica Belgica*, **6**, 193-200.
- Malaise C. (1913). *Manuel de Minéralogie pratique*, 4^e éd., Bruxelles.
- Mélon J., Bourguignon P & Fransolet A.M. (1976). *Les minéraux de Belgique*. Éditions G. Lelotte, Dison, 283 pages.
- Milton C., McGee J.J., & Evans H.T.Jr. (1993). Mahlmoodite, FeZr(PO₄)₂•4H₂O, a new iron zirconium phosphate mineral from Wilson Springs, Arkansas. *American Mineralogist*, **78**, 437-440.

Pisani F. (1872). Sur un nouveau silico-aluminate de manganese vanadifère trouvé à Salm-château, en Belgique. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **75**, 1542.

Schreyer W., 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.

Schroyen K. & Muchez P. (2000). Evolution of metamorphic fluids at the Variscan fold-and-thrust belt in Eastern Belgium. *Sedimentary Geology*, **131(3-4)**, 163-180.

Van Der Meersche, E. (2000). Gypsum, Cahay, Vielsalm. *Mineralcolor*, **2000**, 43-44.

Verniers J., Herbosch A., Vanguetaine M., Geukens F., Delcambre B., Pingot J.L., Belanger I., Hennebert M., Debacker T., Sintubin M. & De Vos W. (2001). Cambrian-Ordovician-Silurian lithostratigraphic units (Belgium). *Geologica Belgica*, **4(1-2)**, 5-38.

Von Lasaulx A. (1872a). Vorläufige Mitteilung über ein neues Mineral. *Verh. naturh. Ver. preuss. Rheinl. Westph.*, **29**, 174.

Von Lasaulx A. (1872b). Über ein neues Mineral aus des Gegend von Ottrez. Vorläufige Mitteilung über ein neues Mineral. *Verh. naturh. Ver. preuss. Rheinl. Westph.*, **29**, 189.