

## **L'ARSENOPYRITE DU MASSIF DE STAVELOT, BELGIQUE**

**Frédéric HATERT**

### **ARSENOPYRITE FROM THE STAVELOT MASSIF, BELGIUM**

#### **Résumé**

De nouvelles occurrences d'arsénopyrite ont été découvertes dans la Vallée de la Liègne (Villette et Floret) et dans le sondage de Grand-Halleux.

Les analyses chimiques à la microsonde électronique, réalisées sur ces arsénopyrites et sur celle déjà connue de Ternell (Vallée de la Helle), ont mis en évidence un excès en S par rapport à la composition stoechiométrique FeAsS. A Grand-Halleux (2850 m), l'arsénopyrite est particulièrement riche en Co (5,54 %). Seule l'arsénopyrite de Vielsalm s'est révélée être proche de la stoechiométrie.

Les paramètres cristallographiques ont été calculés pour les arsénopyrites des Villette :  $a = 5,747(1)$  ;  $b = 5,676(1)$  ;  $c = 5,773(1)$  Å ;  $\beta = 112,01(2)^\circ$  et de Vielsalm :  $a = 5,746(1)$  ;  $b = 5,682(1)$  ;  $c = 5,772(1)$  Å ;  $\beta = 112,07(2)^\circ$ .

Les arsénopyrites du Massif de Stavelot, d'origine diagenétique, se rencontrent principalement en disséminations dans les quartzites et phyllades foncés du Revinien moyen (Ternell, Villette, Floret, Grand-Halleux), mais également dans les phyllades de la base du Salmien moyen (Vielsalm).

#### **Abstract**

New arsenopyrite occurrences have been discovered in the Liègne Valley, and in the Grand-Halleux borehole.

The electron microprobe analyses, performed on these samples and on the well known arsenopyrite from Ternell (Helle Valley), show a sulfur enrichment with regard to the stoichiometric composition FeAsS. In Grand-Halleux (2850 m), arsenopyrite is particularly enriched in Co (5.54 wt. %). Arsenopyrite from Vielsalm is only very close to stoichiometry.

*reçu le 23 juin 1997*

*accepté le 18 septembre 1997*

Crystallographic parameters have been calculated for the arsenopyrite from Villettes :  $a = 5.747(1)$  ;  $b = 5.676(1)$  ;  $c = 5.773(1)$  Å ;  $\beta = 112.01(2)^\circ$  and Vielsalm :  $a = 5.746(1)$  ;  $b = 5.682(1)$  ;  $c = 5.772(1)$  Å ;  $\beta = 112.07(2)^\circ$ .

Diagenetic arsenopyrites from Stavelot Massif are mainly disseminated in Middle Revinian dark quartzites and schists (Ternell, Villettes, Floret, Grand-Halleux), but also in the Middle Salmian schists (Vielsalm).

**Mots clés** : arsénopyrite, cristallographie, Cambro-ordovicien, Belgique.

**Key-words** : arsenopyrite, crystal-chemistry, Cambro-Ordovician, Belgium.

## Introduction

Dans le Massif de Stavelot, d'âge cambro-ordovicien, l'arsénopyrite a été signalée pour la première fois par Fourmarier (1908) dans les roches reviniennes de la Vallée de la Helle, non loin de Ternell. Buttgenbach (1921) a ensuite décrit la morphologie des cristaux provenant des phyllades salmiens de Vielsalm. Plus récemment, Fransolet & Mélon (1975) ont apporté quelques précisions morphologiques et cristallographiques sur l'arsénopyrite de Ternell et Fransolet (1977) en a fourni une analyse chimique permettant de la comparer aux arsénopyrites du Massif de Brabant, décrites par Van Tassel (1954).

Au cours d'une excursion organisée par le Professeur F. Geukens dans le Massif de Stavelot, deux nouvelles occurrences d'arsénopyrite ont été découvertes à Villettes et à Floret, entre Bra et Lierneux, dans la Vallée de la Liègne. L'arsénopyrite a également été décelée, pour la première fois, dans les quartzites et phyllades reviniens du sondage de Grand-Halleux, en association avec la pyrite et la pyrrotite.

Ces nouvelles occurrences, ainsi que l'examen de nouveaux échantillons récoltés à Vielsalm, nous ont permis d'entreprendre une étude minéralogique détaillée des arsénopyrites du Massif de Stavelot, conduisant à une discussion cristallographique et à une comparaison avec les données fournies par Van Tassel (1954) pour les arsénopyrites du Massif de Brabant.

## Méthodes analytiques

Les descriptions morphologiques ont été réalisées en considérant l'orientation de Morimoto & Clark (1961).

L'identification des minéraux par diffraction des rayons X a été effectuée à l'aide d'un diffractomètre équipé d'un monochromateur au graphite et utilisant la radiation  $\text{FeK}_\alpha$  ( $\lambda = 1,9373$  Å). Les paramètres cristallographiques furent calculés avec le programme d'affinement par moindres carrés LCLSQ version 8.4 (Burnham, 1991), sur la base des valeurs de  $d$ , corrigées avec le nitrate de plomb comme étalon interne et indexées dans le groupe spatial  $P2_1c$  (Morimoto & Clark, 1961).

Les analyses chimiques ont été effectuées avec la microsonde électronique Camebax SX50 du Laboratoire de Géologie de l'Université Catholique de Louvain. Seize éléments furent dosés, sous une tension d'accélération de 15 kV et un courant de faisceau de 20 nA. Les temps de comptage ont été choisis selon les éléments : 20'' pour As, Zn et Se, 16''

pour S, Fe, Co, Ni, Cu, Pb, Cd, Sb, Ag, Au, Te, Bi et Mn. Les standards utilisés pour le dosage de As, Co, Ni, Cu, Zn, Sb, Ag, Au, Te, Bi, Se et Mn sont les métaux purs. L'étalonnage de Fe et S a été effectué sur FeS<sub>2</sub> et celui de Pb et Cd sur PbS et CdS, respectivement. Les compositions chimiques des arsénopyrites ont été calculées sur la base de (As+S) = 2.

## **Cristallochimie des arsénopyrites**

### *Vallée de la Lienne*

A environ 1 km au nord-ouest du hameau des Villettes, près de Bra, l'arsénopyrite, associée à la pyrite, se rencontre disséminée dans plusieurs affleurements de quartzite gris foncé à bleu, appartenant à la partie supérieure du Revinien moyen (Geukens, 1986).

Le minéral s'observe en cristaux gris métallique automorphes, pouvant atteindre 5 mm. D'habitus prismatique à aciculaire, ils présentent systématiquement les formes {100}, {001} et {010}. La macle (111) en croix de S<sup>1</sup>-André est fréquemment observée. L'examen en lumière réfléchie révèle des cristaux craquelés à section rhombique, blancs crème et au pouvoir réflecteur très élevé ; entre nicols croisés, les teintes d'anisotropie mauves à verdâtres caractéristiques apparaissent.

Les paramètres de la maille monoclinique (Tableau 1), calculés à partir de 25 raies, sont semblables à ceux de l'arsénopyrite de Ternell (Fransolet, 1977).

L'analyse chimique à la microsonde électronique (Tableau 2) conduit à Fe<sub>1,00</sub>As<sub>0,95</sub>S<sub>1,05</sub>, avec de très faibles teneurs en Ni (0,03 %) et Co (0,01 %).

Arsénopyrite et pyrite se rencontrent également, disséminées au sein de la roche magmatique affleurant à 1 km au sud des Villettes, au lieu-dit « Floret ». L'arsénopyrite se présente en petits cristaux métalliques automorphes, de taille inférieure à 2 mm. Aucune macle n'a été observée, même en section polie où les grains montrent des contours irréguliers.

L'analyse chimique (Tableau 2) conduit également à Fe<sub>1,00</sub>As<sub>0,95</sub>S<sub>1,05</sub>, avec de faibles quantités de Co (0,11 %). La composition chimique de cette arsénopyrite est donc semblable à celle de l'arsénopyrite des Villettes.

### *Grand-Halleux*

Dans les descriptions du sondage de Grand-Halleux, Franssen & Michot (1969) et Graulich (1980) relèvent la présence de quelques sulfures : pyrite, pyrrhotite, galène, chalcopyrite, sphalérite, marcasite. Un nouvel échantillonnage a permis d'identifier, pour la première fois, l'arsénopyrite dans les roches de ce sondage, préservé au Service géologique de Belgique. Selon la stratigraphie établie par Vanguetaine (1977), les échantillons, prélevés à des profondeurs de 2850 et 2886 m, appartiennent à la partie inférieure du Revinien moyen.

Un cristal d'arsénopyrite, d'une taille approximative de 175 µm, a été observé dans les phyllades noirs présentant une schistosité très marquée, rencontrés à 2850 m. L'inclusion du cristal dans une lentille de pyrrhotite, et l'absence de structure réactionnelle, indiquent que ces minéraux sont en équilibre. Les formes {100} et {001}

ont été suspectées à partir de la section rhombique. L'analyse chimique à la microsonde électronique (Tableau 2) conduit à  $(\text{Fe}_{0,84}\text{Co}_{0,16}\text{Ni}_{0,01})\text{As}_{0,98}\text{S}_{1,02}$ . Ces résultats nous amènent donc à considérer ici une arsénopyrite cobaltifère.

L'arsénopyrite, prélevée à 2886 m dans des quartzites gris à noirs, est associée à la pyrite et à la pyrrhotite. Cependant, aucun point de contact entre ces minéraux et l'arsénopyrite n'a été remarqué. La macle (111) en croix de S<sup>t</sup>-André a été observée en section polie. L'analyse chimique à la microsonde électronique (Tableau 2) conduit à  $\text{Fe}_{0,99}\text{As}_{0,95}\text{S}_{1,05}$ , avec de faibles teneurs en Co (0,13 %) et en Cu (0,02 %).

### *Vielsalm*

L'arsénopyrite de Vielsalm a été retrouvée sur les haldes du Thier des Carrières, à Cahay, dans des blocs isolés de phyllades riches en rhodochrosite. La nature de la roche encaissante et la localisation du lieu de prélèvement suggèrent que l'arsénopyrite provienne des niveaux de schistes et quartzophyllades violacés à noyaux carbonatés, rapportés à la partie inférieure de Salmien moyen (Sm2a) par Geukens (1986).

Le minéral forme des cristaux à éclat métallique pouvant atteindre 1 cm et s'altérant en masses ou enduits jaunâtres, verdâtres ou brunâtres dont l'identification est en cours. Des mesures goniométriques, réalisées sur de plus gros cristaux que ceux dont disposait Buttgenbach (1921), ont mis en évidence la combinaison des formes {100}, {001}, {111},  $\{\bar{1}11\}$  et  $\{\bar{1}21\}$ . L'alternance de fines facettes  $\{\bar{1}11\}$  et  $\{\bar{1}21\}$  donne un aspect strié aux faces en zone avec [101]. Les cristaux se présentent soit sous un faciès tabulaire, avec les formes {100} et {001} dominantes, soit sous un faciès prismatique, avec les formes  $\{\bar{1}11\}$  et  $\{\bar{1}21\}$  beaucoup mieux développées. Dans le second cas, les cristaux sont allongés selon [101] alors qu'à Ternell et aux Villettes, ils sont étirés selon [010] (Figure 1). La macle (111) est également fréquente.

L'examen en lumière réfléchie révèle des individus automorphes gris d'argent et au pouvoir réflecteur très élevé, associés principalement aux sulfures de cuivre, bornite et chalcocite (Hatert, 1996).

Les paramètres de la maille monoclinique (Tableau 1) ont été calculés sur la base de 29 réflexions. L'analyse chimique à la microsonde électronique (Tableau 2) aboutit à  $\text{Fe}_{0,99}\text{As}_{1,00}\text{S}_{1,00}$  et met en évidence des teneurs en Co (0,12 %), en Cu (0,10 %) et en Ni (0,05 %).

### *Ternell (Vallée de la Helle)*

L'arsénopyrite de Ternell se rencontre dans l'affleurement de quartzites foncés alternant avec des phyllades noirs, signalé le long de la Helle par Fourmarier (1908). Selon la stratigraphie établie par Geukens (1986), ces roches appartiennent à la partie supérieure du Revinien moyen.

Les données antérieures sur les propriétés cristallographiques (Tableau 1) et chimiques (Fransolet & Mélon, 1975 ; Fransolet, 1977) sont très semblables à celles obtenues ici pour l'arsénopyrite des Villettes.

Les résultats de l'analyse chimique à la microsonde électronique (Tableau 2), assez semblable à celle par voie humide présentée par Fransolet (1977), conduisent à

$\text{Fe}_{0,98}\text{As}_{0,94}\text{S}_{1,06}$ . De faibles teneurs en Ni (0,02 %), Co et Au (0,01 %) ont également été détectées, alors que Fransolet (1977) renseigne plutôt la présence de Cu et Ni.

	Villettes	Vielsalm	Ternell (Fransolet, 1977)
$a$ (Å)	5,747(1)	5,746(1)	5,747(3)
$b$ (Å)	5,676(1)	5,682(1)	5,674(3)
$c$ (Å)	5,773(1)	5,772(1)	5,777(3)
$\beta$ (°)	112,01(2)	112,07(2)	112,03(2)
$d_{(131)}$ (Å)	1,631	1,632	1,631

Tableau 1.- Paramètres cristallographiques des arsénopyrites du Massif de Stavelot.

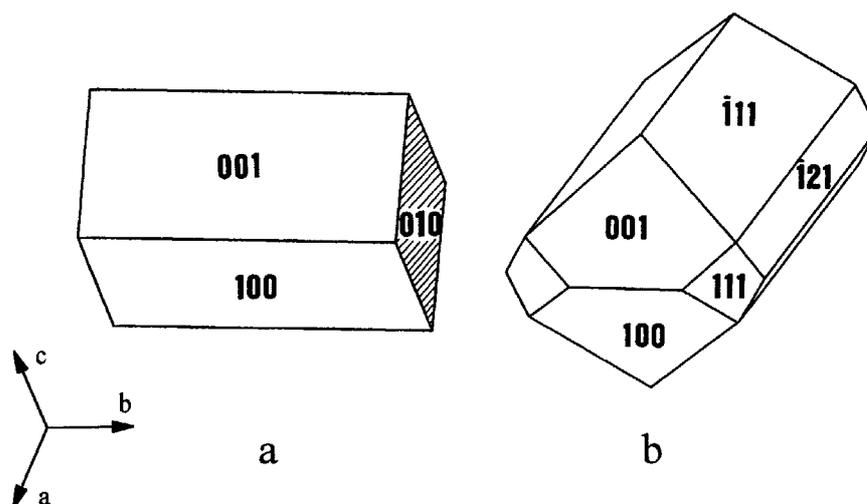


Figure 1.- Morphologie de l'arsénopyrite des Villettes, de Ternell (a) et de Vielsalm (b). Le dessin a été réalisé à l'aide du programme SHAPE (Dowty, 1994).

Villettes (9)		Floret (6)		Grand-Halleux, 2850 m (3)	
% en poids	Composition	% en poids	Composition	% en poids	Composition
S	20,80	20,77	1,05	19,79	1,02
Fe	34,44	34,33	1,00	28,48	0,84
As	43,61	43,67	0,95	44,52	0,98
Co	0,01	0,11	tr.	5,54	0,16
Ni	0,03	-	-	0,38	0,01
<b>Total</b>	98,89	98,88		98,71	
Grand-Halleux, 2886 m (6)		Vielsalm (6)		Ternell (21)	
% en poids	Composition	% en poids	Composition	% en poids	Composition
S	20,74	19,50	1,00	20,89	1,06
Fe	34,10	33,49	0,99	33,80	0,98
As	43,72	45,46	1,00	43,72	0,94
Co	0,13	0,12	tr.	0,01	tr.
Ni	-	0,05	tr.	0,02	-
Cu	0,02	0,10	tr.	-	tr.
Au	-	-	-	0,01	-
<b>Total</b>	98,71	98,72		98,45	

Analyste : J. Wauthier.

Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre d'analyses ponctuelles effectuées.

**Tableau 2.** - Analyses chimiques des arsénopyrites du Massif de Stavelot.

## Discussion

La composition chimique des arsénopyrites ne correspond pas toujours au terme stoechiométrique  $\text{FeAsS}$ , mais peut varier entre  $\text{FeAs}_{0,9}\text{S}_{1,1}$  et  $\text{FeAs}_{1,1}\text{S}_{0,9}$  (Morimoto & Clark, 1961). Puisque le rayon ionique de l'arsenic est plus grand que celui du soufre, l'augmentation du rapport As/S entraîne un accroissement général des paramètres de maille, quantifié pour la première fois par Morimoto & Clark (1961) à partir de 6 échantillons. En se basant sur la variation de  $d_{(131)}$ , ces auteurs ont également élaboré une méthode diffractométrique semi-quantitative permettant d'évaluer, à 1 % près, le pourcentage atomique de As présent dans les arsénopyrites. Cette méthode a été revue par Kretschmar & Scott (1976) qui ont finalement proposé l'équation : % atomique As =  $866,67 \times d_{(131)} - 1381,12$ . Récemment, et en partant de 17 échantillons d'arsénopyrite, Tyukova & Makhorkina (1990) ont recalculé et modifié les relations entre le contenu en As et les paramètres cristallographiques, proposées par Morimoto & Clark (1961).

Avec un contenu en éléments mineurs inférieur à 1 %, les arsénopyrites de Ternell, des Villettes et de Vielsalm se trouvent dans les limites d'application de la relation publiée par Kretschmar & Scott (1976). En considérant les valeurs mesurées de  $d_{(131)}$ , soit 1,631 Å, 1,631 Å et 1,632 Å pour Ternell, Villettes et Vielsalm respectivement (Tableau 1), nous avons calculé les pourcentages atomiques en As de 32,4 %, 32,4 % et 33,10 %, en bon accord avec les valeurs 31,74 %, 31,49 % et 33,44 %, obtenues à partir des analyses à la microsonde électronique (Tableau 2).

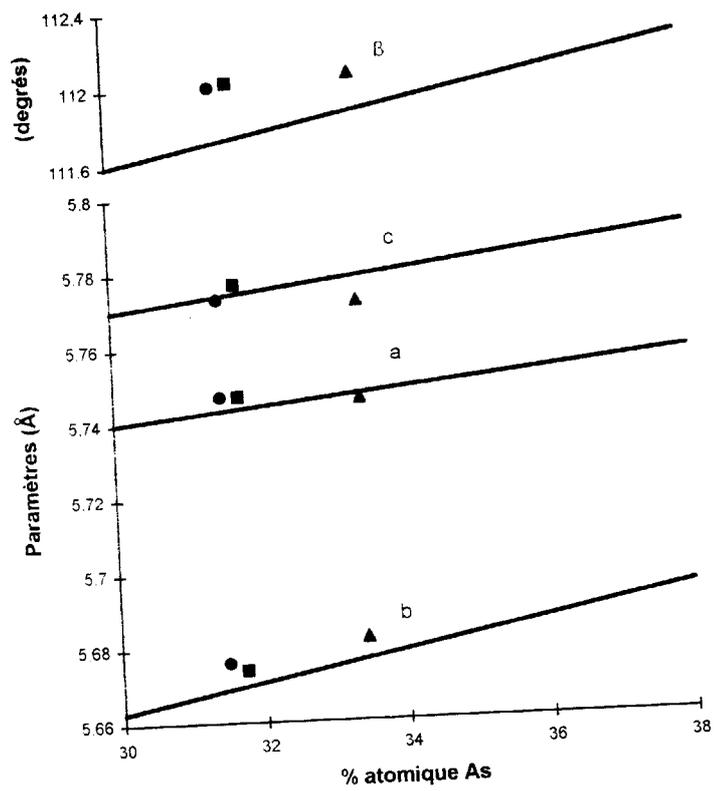
Le positionnement excellent des arsénopyrites du Massif de Stavelot dans le diagramme de Tyukova & Makhorkina (1990), mettant en relation la variation des paramètres de la maille monoclinique avec le pourcentage atomique en As (Figure 2), indique une meilleure précision des droites de régression calculées par ces auteurs, par rapport à celles de Morimoto & Clark (1961).

## Conclusions

A ce stade des recherches, l'étude minéralogique de l'arsénopyrite du Massif de Stavelot permet déjà certaines conclusions.

Le caractère disséminé de l'arsénopyrite (Ternell, Villettes) et les auréoles de déformation qui entourent ses cristaux (Vielsalm) constituent des arguments en faveur d'une origine diagénétique. Même à Floret où l'arsénopyrite est incluse dans la roche magmatique, le contour irrégulier des grains permet de penser que ce minéral, d'origine diagénétique, se trouvait dans des enclaves de l'encaissant, plus ou moins assimilées lors de la mise en place de cette roche. La composition chimique, identique à celle de l'arsénopyrite des Villettes, vient également à l'appui de cette hypothèse.

Il est assez difficile de comparer les arsénopyrites diagénétiques du Massif de Stavelot aux occurrences décrites dans la littérature. La majorité des auteurs s'intéressent en effet aux arsénopyrites d'origine hydrothermale (Sharp *et al.*, 1985 ; Pal'yanova & Kolonin, 1992). Ramdohr (1969) précise toutefois que l'arsénopyrite peut cristalliser au sein de dépôts sédimentaires particulièrement pauvres en oxygène, et cite pour exemple les schistes bitumineux à arsénopyrite de Goldlauter, près de Suhl, Thüringer Wald, Allemagne.



**Figure 2.-** Variation des paramètres cristallographiques des arsénopyrites en fonction du pourcentage atomique en As (d'après Tyukova & Makhorkina, 1990). Le point noir représente l'arsénopyrite des Villettes, le triangle celle de Vielsalm et le carré celle de Ternell (Fransolet, 1977).

Contrairement aux résultats d'analyses chimiques publiées par Van Tassel (1954) pour les arsénopyrites de Court-S<sup>t</sup>-Etienne et de Nil-S<sup>t</sup>-Vincent, Massif de Brabant, les analyses à la microsonde électronique d'échantillons du Massif de Stavelot mettent en évidence des variations appréciables du rapport As/S, par rapport à la composition stoechiométrique FeAsS. Pour des températures peu élevées, Kretschmar & Scott (1976) ont montré que la composition chimique des arsénopyrites pouvait être corrélée avec les minéraux du système Fe-As-S présents dans la paragenèse. Associée à la pyrite, l'arsénopyrite des Villetes, de Ternell, de Floret et de Grand-Halleux (2886 m) est fortement excédentaire en S (35,10 à 35,38 % atomiques). Celle de Grand-Halleux (2850 m), en équilibre avec la pyrrhotite, est beaucoup moins riche en S (33,92 % atomiques), alors qu'à Vielsalm, l'arsénopyrite, proche de la stoechiométrie (33,50 % atomiques S et 33,44 % atomiques As), ne montre aucune association évidente avec des minéraux de ce système.

Il serait donc possible d'envisager deux groupes d'arsénopyrites dans le Massif de Stavelot.

Le premier groupe comprend les arsénopyrites de Ternell, de la Vallée de la Lienne et de Grand-Halleux. Caractéristiques des roches du Revinien moyen, ces arsénopyrites présentent une morphologie simple, caractérisée par les formes {100}, {001} et {010}. Tout comme dans le cas des arsénopyrites du Massif de Brabant (Van Tassel, 1954), leurs compositions chimiques présentent un excès de S, avec de très faibles teneurs en éléments mineurs tels que Co, Ni. L'arsénopyrite de Grand-Halleux (2850 m), intimement associée aux lentilles de pyrrhotite enchâssées dans les phyllades noirs du Revinien moyen, se distingue par sa richesse en Co.

Dans le second groupe figure uniquement l'arsénopyrite de Vielsalm, dispersée dans les roches du Salmien moyen (Sm2a) et associée aux sulfures de cuivre (Hatert, 1996). Elle présente une morphologie beaucoup plus compliquée que celle des arsénopyrites reviniennes et sa composition chimique est très proche de la stoechiométrie.

Enfin, la découverte de nouvelles occurrences d'arsénopyrite laisse à penser que ce minéral serait assez fréquent dans les quartzites gris foncé du Revinien moyen. La présence de cristaux d'arsénopyrite avec la combinaison {100}, {001} et {010}, dans un quartzite, pourrait éventuellement servir de critère lithostratigraphique simple, permettant d'attribuer rapidement cette roche au Revinien moyen, dans l'échelle stratigraphique de Geukens (1986).

## REMERCIEMENTS

Nos plus vifs remerciements s'adressent au Professeur F. Dimanche, qui a aimablement mis à notre disposition les microscopes à réflexion, à J. Wauthier pour avoir réalisé les analyses chimiques à la microsonde électronique, au D<sup>r</sup> F. Boulvain qui nous a laissé accéder au sondage de Grand-Halleux et au Professeur F. Geukens pour ses nombreux et judicieux conseils.

Nous tenons également à remercier M. Blondieau et J. Dehove, pour avoir patiemment récolté les échantillons d'arsénopyrite de Vielsalm.

Toute notre gratitude s'adresse enfin au Professeur A.-M. Fransolet et au D<sup>r</sup> Y. Moëlo, qui ont accepté de relire et de critiquer le manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

- BURNHAM, C. W., 1991. *LCLSQ version 8.4, last-squares refinement of crystallographic lattice parameters*. Dept. of Earth & Planetary Sciences, Harvard University.
- BUTTGENBACH, H., 1921. Description des éléments, des sulfures, chlorures, fluorures et des oxydes des métaux du sol belge. *Mém. Acad. roy. Belgique, Cl. Sci., In 8°, 2<sup>e</sup> série*, **6**, 67 p.
- DOWTY, E., 1994. *Shape for Windows, version 5.0. A computer program for displaying crystal morphology*. Shape Software, Kingsport, TN.
- FOURMARIER, P., 1908. Compte rendu de la session extraordinaire de la Société géologique de Belgique. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **35**, B 351-B 414.
- FRANSOLET, A.M., 1977. L'arsenopyrite de Ternell (Eupen, Belgique). *Bull. Soc. roy. Sci. Liège*, **46**, 384-391.
- FRANSOLET, A.M. & MELON, J., 1975. Données nouvelles sur des minéraux de Belgique. *Bull. Soc. roy. Sci. Liège*, **44**, 157-160.
- FRANSSEN, L. & MICHOT, J., 1969. Etude pétrographique du sondage de Grand-Halleux, conclusions préliminaires. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **92**, 229-240.
- GEUKENS, F., 1986. Commentaire à la carte géologique du Massif de Stavelot. *Aardkundige Mededelingen*, **3**, 15-30.
- GRAULICH, J. M., 1980. Le sondage de Grand Halleux. *Prof. Paper. Serv. géol. Belgique*, **175**, 78 p.
- HATERT, F., 1996. *Etude minéralogique préliminaire de quelques sulfures du Massif de Stavelot*. Mémoire de Licence, ULg (inédit), 48 p.
- KRETSCHMAR, U. & SCOTT, S. D., 1976. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their applications. *Can. Mineral.*, **14**, 364-386.
- MORIMOTO, N. & CLARK, L. A., 1961. Arsenopyrite crystal-chemical relations. *Am. Mineral.*, **46**, 1448-1469.
- PAL'YANOVA, G. A. & KOLONIN, G. R., 1992. Arsenopyrite-bearing mineral assemblages as indicators of conditions of hydrothermal mineralization. *Geochemistry International*, **29**, 120-131.
- RAMDOHR, P., 1969. *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press, London, 1174 p.
- SHARP, Z. D., ESSENE, E. J. & KELLY, W. C., 1985. A re-examination of the arsenopyrite geothermometer : pressure considerations and applications to natural assemblages. *Can. Mineral.*, **23**, 517-534.
- TYUKOVA, E. E. & MAKHORKINA, T. I., 1990. [Arsenopyrite : the relation of unit cell parameters to the composition. ] (Article en Russe). *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, **119(1)**, 93-97.
- VANGUESTAINE, M., 1977. Critères palynostratigraphiques conduisant à la reconnaissance d'un pli couché revinien dans le sondage de Grand-Halleux. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **100**, 249-277.
- VAN TASSEL, R., 1954. Le mispickel du Brabant. *Volume jubilaire Van Straelen*, **1**, 95-113, Bruxelles.

---

Frédéric HATERT, Laboratoire de Minéralogie, Université de Liège - Sart-Tilman, Bâtiment B.18, B-4000 Liège, Belgique.