

## LA TITANITE DE BASTOGNE (BELGIQUE) ET LES MINERAUX ASSOCIES

Frédéric HATERT, André-Mathieu FRANSOLET  
et Michel HOUSSA

### TITANITE FROM BASTOGNE (BELGIUM), AND ASSOCIATED MINERALS

#### Résumé

La titanite en cristaux centimétriques a été découverte à Bastogne, en association avec l'albite, la fluorapatite et la chlorite. Les cristaux montrent la combinaison de formes {001}, {102},  $\{\bar{1}12\}$ , {111}, {100} et {110}. L'analyse chimique à la microsonde électronique a notamment mis en évidence 3,79 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et 0,86 % F, conduisant à  $\text{Ca}_{1,00}(\text{Ti}_{0,83}\text{Al}_{0,15})(\text{O}_{0,84}\text{OH}_{0,06}\text{F}_{0,09})\text{Si}_{1,01}\text{O}_4$ . Les paramètres de la maille monoclinique sont :  $a = 7,058(2)\text{Å}$  ;  $b = 8,691(2)\text{Å}$  ;  $c = 6,547(2)\text{Å}$  ;  $\beta = 114,03(3)^\circ$ .

L'albite contient 8 % d'anorthite. Le spectre infrarouge et les paramètres de maille ( $a = 8,151(2)\text{Å}$  ;  $b = 12,812(3)\text{Å}$  ;  $c = 7,151(1)\text{Å}$  ;  $\alpha = 94,13(2)^\circ$  ;  $\beta = 116,54(2)^\circ$  ;  $\gamma = 88,26(2)^\circ$ ) indiquent une répartition très ordonnée de Si et Al tétraédriques.

La fluorapatite a été caractérisée par ses paramètres cristallographiques, un spectre infrarouge et une analyse chimique semi-quantitative. La chlorite, riche en fer, est une chamosite.

Cette association minéralogique se présente dans les lentilles de quartz entre les boudins caractéristiques de Siegenien inférieur de la région et rappelle le type de minéralisation des fentes alpines. Elle s'est formée à des pressions et températures inférieures à 3-4 kbar / 500°C.

**Mots clés :** Titanite, albite, fluorapatite, métamorphisme, Belgique.

#### Abstract

Centimeter-sized crystals of titanite have been discovered at Bastogne, associated with albite, fluorapatite and chlorite. The crystals exhibit the forms {001}, {102},

présenté par J. Godeaux le 23 mai 1996.

{112}, {111}, {100}, and {110}. The electron microprobe analysis gave 3.79 wt %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and 0.86 wt % F among others, leading to  $\text{Ca}_{1.00}(\text{Ti}_{0.83}\text{Al}_{0.15})(\text{O}_{0.84}\text{OH}_{0.06}\text{F}_{0.09})\text{Si}_{1.01}\text{O}_4$ . The calculated unit-cell dimensions are :  $a = 7.058(2)\text{\AA}$  ;  $b = 8.691(2)\text{\AA}$  ;  $c = 6.547(2)\text{\AA}$  ;  $\beta = 114.03(3)^\circ$ .

Albite contains 8 % anorthite. The infrared spectrum and the unit-cell parameters ( $a = 8.151(2)\text{\AA}$  ;  $b = 12.812(3)\text{\AA}$  ;  $c = 7.151(1)\text{\AA}$  ;  $\alpha = 94.13(2)^\circ$  ;  $\beta = 116.54(2)^\circ$  ;  $\gamma = 88.26(2)^\circ$ ) show a highly ordered distribution of Si and Al.

Fluorapatite is characterized by its unit-cell parameters, an infrared spectrum, and a semi-quantitative chemical analysis. Chlorite turns out to be a chamosite.

This mineralogical association occurs in the quartz veinlets between the boudins typical of the Lower Siegenian in this area, and is similar to a type of association described in the alpine fissures. The minerals were formed at pressure and temperature lower than 3-4 kbar, and 500°C, respectively.

**Key-words** : Titanite, albite, fluorapatite, metamorphism, Belgium.

## Introduction

Minéral accessoire des roches magmatiques et métamorphiques, la titanite (sphène),  $\text{CaTiOSiO}_4$ , ne figure pas dans la liste des minéraux recensés en Belgique par Mélon *et al.* (1976) ; jusqu'alors, elle n'avait été observée qu'en lame mince (Corin, 1965). Plus récemment, Schreyer & Abraham (1978) ont effectué des analyses chimiques à la microsonde électronique sur les titanites de la tonalite de la Helle et de la diabase de Challes. Ce minéral a également été reconnu dans les épidotites et amphibolites de la zone métamorphique de Libramont (de Béthune, 1977 et 1981) et son mode de formation dans les roches de la partie interne de la zone métamorphique de Bastogne a fait l'objet d'une courte discussion par Beugnies (1986).

Pour la première fois, la titanite, individualisée en cristaux automorphes centimétriques, a été découverte à Bastogne où elle est accompagnée d'albite, de fluorapatite et de chamosite. Le but de cette note est de décrire ces minéraux, en précisant leur composition chimique et leurs paramètres cristallographiques. Des relations sont ensuite établies entre les caractéristiques cristallographiques et les conditions de formation de ces minéraux.

## Contexte géologique

La région de Bastogne, au cœur de l'Anticlinorium de l'Ardenne, est constituée de roches terrigènes du Dévonien inférieur. Les grès, les quartzites gris à bleus et les phyllades rencontrés aux alentours de cette localité appartiennent à la base du Siegenien inférieur (Lambert & Bellière, 1976). Ces roches furent soumises à plusieurs événements tectoniques. En effet, d'après Lambert & Bellière (1976) et Jongmans & Cosgrove (1993), une phase d'extension NO-SE, contemporaine du métamorphisme et à l'origine du boudinage, fut relayée par un épisode compressif correspondant à l'orogénèse hercynienne et responsable du plissement.

Pour Beugnies température de 400°C « schistes verts ». Su estiment néanmoins Libramont, avec une t

Au cours de la boudins se sont rem comme minéraux p marcasite, galène, c minéraux accessoires

## Méthodes anal

L'identification d'une caméra Debye équipé d'un monochromateur (1991) a permis le calcul des corrections avec le nitro

Les analyses Camebax SX-50 de Toulouse, en utilisant (andradite), P et M (orthose), F (topaze)

Les spectres in dans le domaine de mm, contenant 2,5 m

## Descriptions n

### La titanite

La titanite a été Bastogne à Clervaux lentilles de quartz cavités du quartz. constituent des proc en cristaux cassant Comme certains cr Bastogne sont apla également par la co 1 et Planche 1.1). Q

Le dépouille des paramètres de

Pour Beugnies (1986), les paragenèses de ces roches, engendrées sous une température de 400°C et une pression de 2 kbar, sont caractéristiques du faciès « schistes verts ». Sur la base de nouvelles observations, Theye et Fransolet (1993) estiment néanmoins que le faciès « amphibolites » serait atteint dans la région de Libramont, avec une température de 500°C et une pression de 3 à 4 kbar.

Au cours de la phase métamorphique hercynienne, les vides apparus entre les boudins se sont remplis de quartz, albite, chlorite et biotite (Darimont *et al.*, 1988) comme minéraux principaux et de muscovite, rutile, anatase, ilménite, pyrite, marcasite, galène, césurite, chalcopyrite, malachite, titanite et fluorapatite comme minéraux accessoires.

## Méthodes analytiques

L'identification des minéraux par diffraction des rayons X a été effectuée à l'aide d'une caméra Debye-Scherrer (d'un diamètre de 114,6 mm) ou d'un diffractomètre équipé d'un monochromateur au graphite et utilisant la radiation  $FeK_{\alpha}$  (dont  $\lambda = 1,9373$  Å). Le programme d'affinement par moindres carrés LCLSQ version 8.4 (Burnham, 1991) a permis le calcul des paramètres cristallographiques sur la base des valeurs de  $d$  corrigées avec le nitrate de plomb comme étalon interne.

Les analyses chimiques ont été réalisées avec la microsonde électronique Camebax SX-50 du Laboratoire de Minéralogie de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, en utilisant les étalons suivants : Si et Ca (wollastonite), Al ( $Al_2O_3$ ), Fe (andradite), P et Mn (grastonite), Mg (MgO), Ti (titanite MAC), Na (albite), K (orthose), F (topaze), Zr ( $ZrO_2$ ), Sn (cassitérite), Th, Ce et Sm (verre à terres rares).

Les spectres infrarouges ont été enregistrés avec un spectromètre Beckman 4250, dans le domaine de 4000 à 300  $cm^{-1}$  et sur des pastilles de KBr d'un diamètre de 20 mm, contenant 2,5 mg d'échantillon pour 800 mg de KBr.

## Descriptions minéralogiques

### La titanite

La titanite a été découverte dans la Carrière des Roches, le long de la route reliant Bastogne à Clervaux. Elle est associée à l'albite, la fluorapatite et la chlorite, dans les lentilles de quartz entre les boudins, près du contact avec les phyllades ou dans les cavités du quartz. Parmi les minéraux accompagnateurs, le rutile et l'anatase, qui constituent des produits d'altération, ont également été identifiés. La titanite se présente en cristaux cassants, orange à brun caramel, pouvant atteindre 1 cm de longueur. Comme certains cristaux de Tavetsch (Grisons, Suisse) (Stalder *et al.*, 1973), ceux de Bastogne sont aplatis suivant (001) et parfois maclés selon (100). Ils se caractérisent également par la combinaison de formes {001}, {102},  $\{\bar{1}12\}$ , {111} et {100} (Figure 1 et Planche 1.1). Quelques cristaux révèlent en plus la forme {110} peu développée.

Le dépouillement du diffractogramme de poudre (Tableau 1) a permis le calcul des paramètres de la maille monoclinique sur la base de 37 raies, indexées dans le

groupe spatial  $P2_1a$ . Dans le Tableau 2, les valeurs obtenues sont comparées aux paramètres d'une titanite synthétique (Takenouchi, 1971) et d'une titanite aluminifère (Černý & Riva di Sanseverino, 1972).

L'analyse chimique (Tableau 3) appelle quelques commentaires sur l'interprétation des données. La teneur en  $H_2O$  a été recalculée en supposant l'introduction de groupes OH suivant la substitution  $Ti^{4+} + O^{2-} \rightarrow (Al^{3+}, Fe^{3+}) + (OH^-, F^-)$ , fréquemment observée dans les titanites (Higgins & Ribbe, 1976). Par conséquent, la quantité d'OH peut s'exprimer sous la forme :  $OH^- = (Al^{3+} + Fe^{3+}) - F^-$  (Frantz & Spear, 1985). Ensuite le fer, en faible quantité, est considéré comme  $Fe^{3+}$ , majoritaire dans les titanites (Holényi & Annersten, 1987). Sur la base de 3 cations par unité formulaire, le calcul conduit à  $Ca_{1.00}(Ti_{0.83}Al_{0.15})(O_{0.84}OH_{0.06}F_{0.09})Si_{1.01}O_4$  avec, en plus, de très faibles teneurs en Na, K, Ce, Sm, Nb, Sn, Zr et Th. Dès lors, la titanite de Bastogne apparaît relativement riche en aluminium. Il faut toutefois rappeler que des teneurs sensiblement plus élevées ont été mesurées par Schreyer & Abraham (1978) pour la titanite de la Helle (5,38 %  $Al_2O_3$ , soit 0,21 atomes Al par unité formulaire), alors que dans la diabase de Challes, cette teneur n'atteint que 2,43 % (soit 0,09 atomes Al par unité formulaire).

Puisque le rayon ionique de  $Al^{6+}$  est inférieur à celui de  $Ti^{6+}$ , le remplacement de Ti par Al implique un rétrécissement du site octaédrique et, par conséquent, des paramètres de maille (Černý & Riva di Sanseverino, 1972; Higgins & Ribbe, 1976). Une quantification de la variation du volume de la maille en fonction de la proportion d'aluminium en site octaédrique a été proposée par Oberti *et al.* (1991). Le report de nos mesures sur la droite de régression obtenue par ces auteurs montre un bon accord entre les données cristallographiques et chimiques (Figure 2).

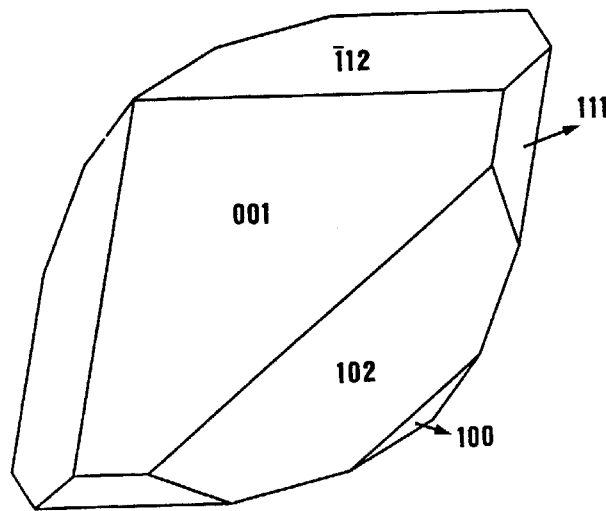


Figure 1 : Morphologie de la titanite de Bastogne. Le dessin a été réalisé à l'aide du programme SHAPE (Dowty, 1994).

$I/I_0$	$d_{obs.} (\text{Å})$	$d_{calc.}$
50	4,922	4,92
5	4,357	4,34
15	3,520	3,51
85	3,242	3,24
100	2,993	2,99
20	2,842	2,84
85	2,605	2,60
40	2,589	2,59
5	2,465	2,46
5	2,379	2,38
10	2,359	2,36
70	2,279	2,28
15	2,270	2,27
10	2,230	2,23
5	2,172	2,17
15	2,105	2,10
10	2,080	2,08
15	2,061	2,06
5	1,981	1,98

Tab

Bas

$a (\text{Å})$	7,0
$b (\text{Å})$	8,6
$c (\text{Å})$	6,5
$\beta (^{\circ})$	114
$V (\text{Å}^3)$	360

Tab

comparées aux  
aluminifère

taires sur  
n supposant  
) + (OH, F  
conséquent, la  
ntz & Spear,  
aire dans les  
ormulaire, le  
e très faibles  
gne apparaît  
ensiblement  
itanite de la  
e), alors que  
omes Al par  
placement de  
séquent, des  
ibbe, 1976).  
a proportion  
Le report de  
bon accord

$I / I_0$	$d_{obs.} (\text{Å})$	$d_{calc.} (\text{Å})$	hkl	$I / I_0$	$d_{obs.} (\text{Å})$	$d_{calc.} (\text{Å})$	hkl
50	4,922	4,926	0 1 1	5	1,942	1,943	0 1 3
5	4,357	4,345	0 2 0	5	1,872	1,871	2 3 1
15	3,520	3,515	0 2 1	5	1,850	1,849	2 0 2
85	3,242	3,241	$\bar{2}$ 1 1	15	1,801	1,802	2 4 0
100	2,993	2,990	0 0 2	5	1,765	1,765	3 1 1
20	2,842	2,844	$\bar{2}$ 0 2	5	1,745	1,746	$\bar{4}$ 0 2
85	2,605	2,607	0 3 1	5	1,736	1,737	$\bar{1}$ 3 3
40	2,589	2,589	2 2 0	10	1,725	1,726	3 3 0
5	2,465	2,463	0 2 2	5	1,712	1,712	$\bar{4}$ 1 2
5	2,379	2,380	$\bar{2}$ 2 2	10	1,701	1,701	2 2 2
10	2,359	2,359	2 1 1	1	1,680	1,678	1 5 0
70	2,279	2,280	1 3 1	5	1,667	1,669	0 5 1
15	2,270	2,268	$\bar{3}$ 1 1	25	1,642	1,642	0 3 3
10	2,230	2,230	$\bar{2}$ 3 1	1	1,623	1,620	$\bar{4}$ 2 2
5	2,172	2,173	0 4 0	5	1,610	1,612	4 0 0
15	2,105	2,105	$\bar{1}$ 1 3	10	1,556	1,556	$\bar{2}$ 5 1
10	2,080	2,080	1 2 2	10	1,529	1,529	$\bar{2}$ 2 4
15	2,061	2,059	1 4 0	5	1,527	1,528	3 4 0
5	1,981	1,982	$\bar{3}$ 2 2				

Tableau 1 : Diffractogramme de poudre de la titanite de Bastogne.

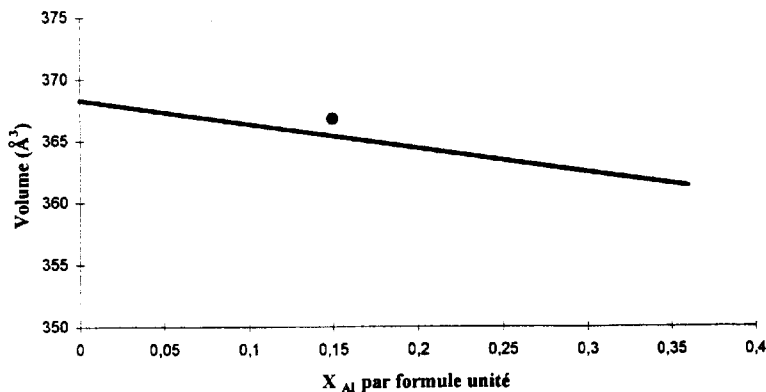
	Bastogne	Synthétique (Takenouchi, 1971)	Černý & Riva di Sanseverino (1972)
$a (\text{Å})$	7,058(2)	7,066	7,059
$b (\text{Å})$	8,691(2)	8,705	8,692
$c (\text{Å})$	6,547(2)	6,561	6,547
$\beta (^\circ)$	114,03(3)	113,93	114,02
$V (\text{Å}^3)$	366,8(1)	368,9	366,86

Tableau 2 : Paramètres cristallographiques de la titanite de Bastogne.

	1	2
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,004
K <sub>2</sub> O	0,03	0,001
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,79	0,149
CaO	27,93	0,996
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,003
TiO <sub>2</sub>	33,17	0,830
SiO <sub>2</sub>	30,29	1,008
ZrO <sub>2</sub>	0,11	0,002
SnO <sub>2</sub>	0,05	0,001
ThO <sub>2</sub>	0,10	0,001
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	0,001
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30	0,003
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,002
F	0,86	0,091
H <sub>2</sub> O	(0,27)	0,060
O=F	-0,36	
Total	96,93	3,000

1. Moyenne de 3 analyses à la microsonde électronique. La valeur entre parenthèses a été calculée. Analyste : F. Fontan.
2. Nombres de cations calculés sur la base de 3 cations par formule unité.

**Tableau 3 : Analyse chimique de la titanite de Bastogne.**



**Figure 2 : Variation du volume de la maille, en fonction du contenu en Al des titanites naturelles (d'après Oberti *et al.*, 1991). La titanite de Bastogne est représentée par un point.**

### L'albite

En cristaux blanchâtres fréquemment dans les cavités blanchâtres incluses dans les roches.

L'analyse chimique donne des oxygènes : (Na<sub>0,92</sub>Ca<sub>0,08</sub>)O<sub>2</sub> approximativement 8 % d'oxygène.

Les paramètres de la maille en poudre, sont notamment ceux de la albite située à Schyn-Schlucht, dans la région d'ordre/désordre dans la maille. Le canevas réalisé par Thonon, dans l'albite de Bastogne est très différent des bandes d'absorption du spectre.

### La fluorapatite

Déposée sur les cristaux de quartz, présente en petits cristaux atteignant occasionnellement des dimensions extrêmement complexes, (Planche 1 :2). Cette morphologie est très différente de celle de Fibbia (Massif du Gothard).

Le diffractogramme est caractéristique de la fluorapatite hexagonale (Tableau 5) et se distingue d'ailleurs de ceux de la chlorite.

Une analyse chimique donne du fluor (environ 3 % F), et est susceptible de se substituer à l'hydroxyle. L'absorption aux alentours de 2,5 Å est antisymétrique du groupe P, et de faible intensité, liée à la présence d'oxygène. Elle est approximativement 747 cm<sup>-1</sup> pour la population atomique des sites.

### La chamosite

La chlorite se présente en cristaux de quartz ou recouvre les cristaux de quartz.

L'analyse chimique donne des charges positives, (Fe<sub>2,59</sub>Mg<sub>2,04</sub>Mn<sub>0,04</sub>Al<sub>1,35</sub>)<sup>+</sup> peut être identifiée à une chlorite.

### *L'albite*

En cristaux blanchâtres à translucides pouvant atteindre 1 cm, l'albite se rencontre fréquemment dans les cavités des lentilles de quartz. Elle forme également des masses blanchâtres incluses dans le quartz massif.

L'analyse chimique (Tableau 4) permet de calculer la formule sur la base de 8 oxygènes :  $(\text{Na}_{0,92}\text{Ca}_{0,08})[\text{Al}_{1,09}\text{Si}_{2,91}\text{O}_8]$ . Il s'agit donc d'une albite contenant approximativement 8 % d'anorthite.

Les paramètres de la maille triclinique, calculés à partir du diffractogramme de poudre, sont notamment très proches de ceux d'une albite provenant d'une fente alpine située à Schyn-Schlucht, Suisse (Grundy & Brown, 1969) (Tableau 5). Le degré d'ordre/désordre dans la répartition de Si et Al tétraédriques a pu être évalué grâce au canevas réalisé par Thompson *et al.* (1972). Le report de nos mesures montre que l'albite de Bastogne est très ordonnée, ce qui est d'ailleurs confirmé par la finesse des bandes d'absorption du spectre infrarouge.

### *La fluorapatite*

Déposée sur les cristaux de quartz ou sur le tapis de chlorite, la fluorapatite se présente en petits cristaux globulaires, incolores ou blanchâtres, de moins d'1 mm mais atteignant occasionnellement 3 mm. Ils montrent une combinaison de formes extrêmement complexe, où seule la base {0001} a pu être facilement identifiée (Planche 1 :2). Cette morphologie fait penser, par exemple, à celle des cristaux de la Fibbia (Massif du Gothard, Suisse), illustrée par Stalder *et al.* (1973).

Le diffractogramme de poudre et, en particulier, les paramètres de la maille hexagonale (Tableau 5) sont caractéristiques de la fluorapatite. Ces paramètres sont d'ailleurs proches de ceux de la fluorapatite de Salmchâteau (Hanson, 1983).

Une analyse chimique semi-quantitative a mis en évidence, outre la présence de fluor (environ 3 % F), de faibles quantités de manganèse (moins de 0,05 % MnO) susceptible de se substituer au calcium. Le spectre infrarouge ne présente pas de bande d'absorption aux alentours de  $1455\text{ cm}^{-1}$ , caractéristique des vibrations de valence antisymétriques du groupement  $\text{CO}_3^{2-}$  (Elliott, 1994). Par la présence d'une bande de faible intensité, liée à la vibration de déformation du groupement OH et localisée à approximativement  $747\text{ cm}^{-1}$ , la teneur en OH pourrait être estimée à moins de 5% de la population atomique des sites propres au fluor (Freund & Knobel, 1977).

### *La chamosite*

La chlorite se présente en petits vermicules verdâtres à brunâtres, inclus dans les cristaux de quartz ou recouvrant leurs faces.

L'analyse chimique est fournie au Tableau 4 et la teneur en  $\text{H}_2\text{O}$  mentionnée a été recalculée en considérant 8 OH dans la formule structurale du minéral. Sur la base de 28 charges positives, cette dernière peut s'exprimer sous la forme :  $(\text{Fe}_{2,59}\text{Mg}_{2,04}\text{Mn}_{0,04}\text{Al}_{1,35})[\text{Si}_{2,62}\text{Al}_{1,38}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ . Par conséquent, la chlorite de Bastogne peut être identifiée à une chamosite riche en magnésium.

	Albite		Chamosite	
	1	2	3	4
Na <sub>2</sub> O	10,82	0,924		
K <sub>2</sub> O	0,05	0,003		
CaO	1,69	0,080		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,90	1,085	21,31	2,725
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,001		
SiO <sub>2</sub>	66,14	2,914	24,19	2,624
FeO			28,57	2,592
MgO			12,59	2,036
MnO			0,40	0,037
H <sub>2</sub> O			(11,06)	8,000
Total	99,64	5,007	98,12	18,014

1. Moyenne de 5 analyses à la microsonde électronique. Analyste : F. Fontan.
2. Nombres de cations calculés sur la base de 8 oxygènes par formule unité.
3. Moyenne de 4 analyses à la microsonde électronique. La valeur entre parenthèses a été calculée. Analyste : F. Fontan.
4. Nombres de cations calculés sur la base de 28 charges positives par formule unité.

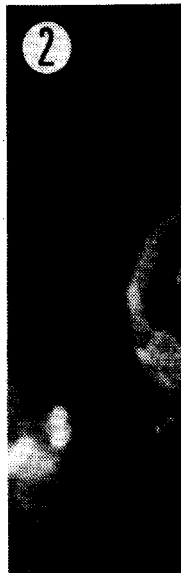
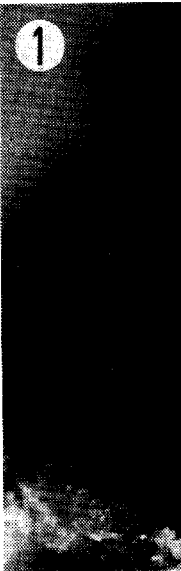
**Tableau 4 :** Analyses chimiques de l'albite et de la chamosite de Bastogne.

Fluorapatite	Bastogne	Salmchâteau (Hanson, 1983)	Synthétique (Elliott, 1994)
<i>a</i> (Å)	9,375(1)	9,374(2)	9,367
<i>c</i> (Å)	6,885(2)	6,888(2)	6,884
<i>V</i> (Å <sup>3</sup> )	524,0(1)	-	-

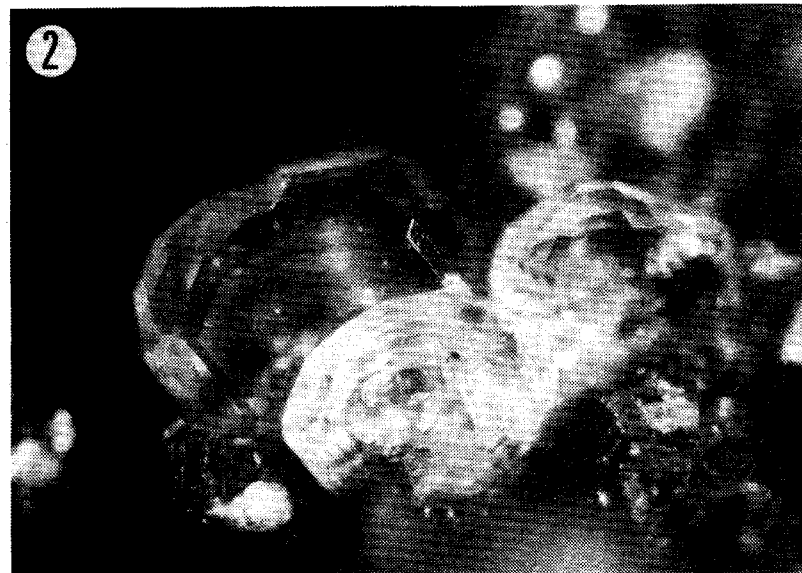
Albite	Bastogne	Synthétique (Grundy & Brown, 1969)	Naturelle
<i>a</i> (Å)	8,151(2)	8,160	8,134
<i>b</i> (Å)	12,812(3)	12,810	12,800
<i>c</i> (Å)	7,151(1)	7,152	7,153
$\alpha$ (°)	94,13(2)°	93,95°	94,26°
$\beta$ (°)	116,54(2)°	116,48°	116,56°
$\gamma$ (°)	88,26(2)°	88,60°	87,93°
<i>V</i> (Å <sup>3</sup> )	666,4(2)	-	-

**Tableau 5 :** Paramètres cristallographiques de la fluorapatite et de l'albite de Bastogne.



**Planche 1 :** 1. Cris  
Fig  
Mec  
2. Cris  
gros





**Planche 1 : 1.** Cristal de titanite montrant les formes  $\{001\}$ ,  $\{102\}$  et  $\{\bar{1}12\}$  (Cfr. Figure 1). Bastogne, grossissement  $20 \times$  (cliché : E. Van Der Meersche).

**2.** Cristaux de fluorapatite aux nombreuses facettes. Bastogne, grossissement  $40 \times$  (cliché : E. Van Der Meersche).

## Conclusions

Les lentilles de quartz séparant les boudins de la Carrière des Roches à Bastogne abritent une association minéralogique semblable à celle des fentes alpines. En effet, la présence d'albite, de chlorite, de titanite et de fluorapatite, associées à des géodes de quartz, est caractéristique de ce type de minéralisation (Stalder *et al.*, 1973).

La mise en place de ces lentilles s'est effectuée entre la phase extensive, responsable du boudinage et contemporaine du métamorphisme, et la phase de compression (Jongmans & Cosgrove, 1993). Ceci signifie que les associations minérales des lentilles de quartz se sont formées à des températures et des pressions inférieures à 500°C et 3-4 kbar, qui correspondent aux conditions extrêmes du métamorphisme (Theye & Fransolet, 1993).

Comme l'ont signalé Oberti *et al.* (1991), les titanites alumineuses se rencontrent toujours en absence de plagioclase riche en anorthite. Cette observation se trouve confirmée ici par l'association titanite-albite.

L'ordre élevé dans la répartition de Si et Al tétraédriques de l'albite constitue un argument confirmant, comme dans les cas envisagés par Poty *et al.* (1974), une cristallisation ou un rééquilibrage à basse température.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement F. Fontan (Toulouse) pour la réalisation des analyses chimiques à la microsonde électronique, ainsi que A. Rulmont pour l'enregistrement des spectres infrarouges.

Notre gratitude s'adresse encore à E. Van Der Meersche qui a réalisé les photographies.

## BIBLIOGRAPHIE

- BEUGNIES, A., 1986. Le métamorphisme de l'aire anticlinale de l'Ardenne. *Hercynia*, **II**, 1, 17-33.
- BURNHAM, C. W., 1991. *LCLSQ version 8.4, last-squares refinement of crystallographic lattice parameters*. Dept. of Earth & Planetary Sciences, Harvard University.
- ČERNÝ, P. & RIVA DI SANSEVERINO, L., 1972. Comments on crystal chemistry of titanite. *N. Jb. Miner. Mh.*, 1972, 97-103.
- CORIN, F., 1965. Atlas des roches éruptives de Belgique. *Mém. Serv. géol. Belgique*, **4**, 148 p.
- DARIMONT, A., BURKE, E. & TOURET, J., 1988. Nitrogen-rich metamorphic fluids in Devonian metasediments from Bastogne, Belgium. *Bull. Minéral.*, **111**, 321-330.
- DE BETHUNE, S., 1977. Les minéraux de la zone métamorphique de Libramont. *Prof. Paper Serv. Géol. Belgique*, 1977.5, n°142, 42 p.
- DE BETHUNE, S., 1981. Les épidotites de Libramont. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **104**, 75-89.

DOWTY, E., 1  
displaying  
ELLIOTT, J. C  
orthophosp  
FRANTZ, G. &  
zone, Sout  
FREUND, F. &  
studied by  
11. 1136-  
GRUNDY, H.  
equilibriu  
HANSON, A.,  
Massif de  
HIGGINS, J. I  
natural ar  
HOLENYL, K.  
study. C  
JONGMANS,  
de Basto  
LAMBERT, A  
environs  
MELON, J.,  
Belgiqu  
OBERTI, R.,  
high-alu  
POTY, B. P.,  
quartz  
Mitt., 5  
SCHREYER  
bearing  
Challes  
STALDER,  
Minera  
TAKENOU  
malaya  
THEYE, T.  
Rhen  
Gesell  
THOMPSON  
prope  
W. S.  
Frédéric H  
Unive  
Michel HO

- DOWTY, E., 1994. *Shape for Windows, version 5.0. A computer program for displaying crystal morphology*. Shape Software, Kingsport, TN.
- ELLIOTT, J. C., 1994. *Structure and chemistry of the apatites and other calcium orthophosphates*. Elsevier, 389 p.
- FRANTZ, G. & SPEAR, F. S., 1985. Aluminous titanite (sphene) from the eclogite zone, South-Central Tauern Window, Austria. *Chemical Geol.*, **50**, 33-46.
- FREUND, F. & KNOBEL, R. M., 1977. Distribution of fluorine in hydroxyapatite studied by infrared spectroscopy. *Journ. Chemical Society, Dalton Transactions*, **11**, 1136-1140.
- GRUNDY, H. D. & BROWN, L., 1969. A high-temperature X-ray study of the equilibrium forms of albite. *Mineral. Mag.*, **37**, 156-172.
- HANSON, A., 1983. *Etude minéralogique de filons de la bordure méridionale du Massif de Stavelot*. Mémoire de licence, Ulg (inédit), 85 p.
- HIGGINS, J. B. & RIBBE, P. H., 1976. The crystal chemistry and space groups of natural and synthetic titanites. *Amer. Mineral.*, **61**, 878-888.
- HOLENYI, K. & ANNERSTEN, H., 1987. Iron in titanite : a Mössbauer-spectroscopy study. *Canadian Mineral.*, **25**, 429-433.
- JONGMANS, D. & COSGROVE, J. W., 1993. Observations structurales dans la région de Bastogne. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **116**, 129-136.
- LAMBERT, A. & BELLIERE, J., 1976. Caractères structuraux de l'Eodévonien aux environs de Bastogne. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **99**, 83-297.
- MELON, J., BOURGUIGNON, P. & FRANSOLET, A. M., 1976. *Les minéraux de Belgique*. Ed. G. Lelotte, Dison (Belgique), 283 p.
- OBERTI, R., SMITH, D. C., ROSSI, G. & CAUCIA, F., 1991. The crystal-chemistry of high-aluminium titanites. *Eur. J. Mineral.*, **3**, 777-792.
- POTY, B. P., STALDER, H. A. & WEISBROD, A. M., 1974. Fluid inclusions studies in quartz from fissures of Western and Central Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mit.*, **54**, 717-752.
- SCHREYER, W. & ABRAHAM, K., 1978. Prehnite/chlorite and actinolite/epidote bearing mineral assemblages in the metamorphic igneous rocks of la Helle and Challes, Venn-Stavelot-Massif, Belgium. *Ann. Soc. géol. Belgique*, **101**, 227-241.
- STALDER, H. A., DE QUEVRAIN, F., NIGGLI, E. & GRAESER, S., 1973. *Die Mineralfunde der Schweiz*. Wepf & Co., Basel, 433 p.
- TAKENOUCHE, S., 1971. Hydrothermal synthesis and consideration of the genesis of malayaite. *Min. Deposita*, **6**, 335-347.
- THEYE, T. & FRANSOLET, A. M., 1993. Amphibolitfazielle Metamorphite im Rhenohertzynikum der Ardennen. *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Beih. Z. Eur. J. Mineral.*, **5**, 255.
- THOMPSON, J. B., WALDBAUM, D. R. & HOVIS, G. L., 1972. Thermodynamic properties related to ordering in end-member alkali feldspars. In : ed. Mac Kenzie W. S. & Zussman J., *The feldspars*. Manchester University Press, 717 p.
- Frédéric HATERT & André-Mathieu FRANSOLET, Laboratoire de Minéralogie, Université de Liège - Sart-Tilman, Bâtiment B.18, B-4000 Liège, Belgique.
- Michel HOUSSA, Avenue des Marteleurs, 21, B-4100 Seraing, Belgique.