

DONNÉES MINÉRALOGIQUES SUR LA SÉRIE AMBLYGONITE — MONTEBRASITE (*)

par J. DUBOIS, J. MARCHAND et P. BOURGUIGNON (**)

(9 figures dans le texte)

ABSTRACT

The first conclusion of the study is that natromontebasite is rare, amblygonite is almost equally so and montebrasite is by far the most common. A simple means of distinguishing between montebrasite and amblygonite is by the loss of weight between 600°C and 800°C : the former loses 5 to 6 %, the latter only 0-5 %. Study of the optical properties in the field Amb.₄₀ — Mont.₆₀₋₁₀₀ has provided information allowing us to modify somewhat the diagram published by WINCHELL.

The DTA peaks between 700 and 800°C correspond to the release of volatile elements (F, OH) and to the decomposition into Li_3PO_4 , AlPO_4 and Al_2O_3 . The peak between 800 and 830°C is that of fusion.

The chemical composition of 26 specimens is given and the relationship is established between the F content and the X-ray diffraction reflections corresponding to (120), (021), (121), (110), (101) and (131).

It is also suggested that the volume of the unit cell varies not only with F but also with the Na content.

RÉSUMÉ

La première conclusion de l'étude réside dans le fait que si la natromontebasite est rare, l'amblygonite l'est presque autant et la montebrasite est de très loin la plus fréquente. Un moyen simple de distinction entre montebrasite et amblygonite est donné par la perte de poids entre 600 et 800°C ; la première subit une perte de 5 à 6 %, la seconde de 0 à 5 %. Les propriétés optiques dans le domaine Amb.₄₀-Mont.₆₀ à Mont.₁₀₀ permettent d'aménager quelque peu le diagramme de WINCHELL.

Les pics ATD entre 700 et 800°C correspondent au départ des éléments volatils (F, OH) et à la décomposition en Li_3PO_4 , AlPO_4 et Al_2O_3 . Le pic entre 800 et 830°C correspond à la fusion.

La composition chimique de 26 échantillons est donnée et la corrélation entre la teneur en F et les raies de diffraction X (120), (021), (121), (110), (101) et (131) est établie. Il est d'autre part suggéré que le volume de la maille varie non seulement avec F mais avec la teneur en Na.

Si les informations précises au sujet de la genèse de la série amblygonite-montebrasite manquent, les données minéralogiques sont également relativement pauvres. Le but poursuivi par ce travail est d'étoffer les connaissances minéralogiques de cette série par des données roentgenographiques, optiques, thermiques et chimiques.

La corrélation des propriétés optiques et chimiques a été menée en vue d'une vérification du diagramme classique de WINCHELL (1926).

(*) Communication présentée le 3 mars 1970. Manuscrit déposé le 10 mars 1972.

(**) Institut de Minéralogie, Université de Liège, place du 20 août 9, Liège (Belg).

Les données roentgenographiques doivent permettre une distinction entre les divers termes de la série.

DONNÉES ACTUELLES

La formule générale de l'amblygonite est $(\text{Li}, \text{Na})\text{AlPO}_4(\text{F}, \text{OH})$ et les divers termes du groupe sont traditionnellement définis comme suit :

	OH < F	OH > F
Li > Na	amblygonite	montebrasite
Na > Li		natromontebrasite (frémontite)

Les minéraux de la série cristallisent dans le système triclinique; la structure a été établie par SIMONOV et BELOV (1958) et BAUR (1959).

MOSS, FEJER et EMBREY (1969) ont jeté les bases d'une différenciation par diffraction des rayons X et suggèrent une variation faible des paramètres réticulaires en fonction de la teneur en F.

Au point de vue optique, les indices de réfraction varient fortement d'un pôle à l'autre : amblygonite 1,573, montebrasite 1,633. Ils décroissent avec l'augmentation de la teneur en F et aussi en Na (DANA 1951, WINCHELL 1946).

Le signe du minéral qui est négatif pour les échantillons voisins du pôle amblygonite devient positif au voisinage du pôle montebrasite. Le diagramme récapitulatif de ces variations (WINCHELL 1946) n'est basé que sur une douzaine d'échantillons. La relation entre la valeur des indices de réfraction, de 2 V et la teneur en F est apparente.

Sans citer sa source, DANA suggère une influence de Na mais n'en donne pas le sens. Il est donc souhaitable, comme le remarque QUENSEL (1962), d'étoffer ce diagramme.

Le *comportement thermique* du minéral a été peu étudié; les données connues sont reprises au tableau 1.

Une étude de phosphates brésiliens (BHASKARA, 1964) fournit la courbe d'une amblygonite de Patrimonio. Le premier pic est interprété comme correspondant au départ de OH et à la destruction de la structure, le second pic correspondant au départ de F.

Pour NEVES et NUNES (1968), le premier pic correspondrait au dégagement des matières volatiles, le second à la fusion.

Certains échantillons présentent une aire endothermique vers 630°C qui serait caractéristique de la montebrasite.

GINSBURG (1950) croit que la courbe d'une montebrasite diffère de celle d'une amblygonite par le fait qu'elle ne possède pas de pic endothermique à 740°C. Ce pic serait associé au départ du fluor de l'amblygonite. Le pic à 775°-780° serait dû au départ d'eau et la fusion se produirait vers 820-850°C.

TABLEAU 1

(pics ATD signalés (∨ : endothermiques, ∧ : exothermiques))

MANLY (1950)	740 ∨	760 ∧	780 ∨	800 ∧	850 ∨
HEYSTEK et SCHMIDT (1953)	695 ∨		790 ∨		830 ∨ — 870 ∨
BHASKARA (1964)			750 ∨		810 ∨
GINZBURG (1950)			775 ∨	805 ∧	820 ∨
NEVES et NUNES (1968)	630 ∨ ? parfois	755 ∨		795 ∨	

TABLEAU 2

 Données roentgenographiques (valeur de d ($Å$) et intensités relatives)

Auteur	Amblygonite	Montebrasite	Fremontite
Fischer (1958)	4.62(10); 3.15(9); 2.96(9)	2.97(10); 4.68(9); 3.22(6)	3.14(10); 4.62(9) 2.95(8)
Quensel		4.61(10); 3.18(10); 3.14(10) 2.94(10)	
Quensel		4.71(10); 3.20(10); 2.97(10) 3.19(10); 2.94(10)	
Quensel		4.64(10); 3.17(10); 2.96(10)	
ASTM Data	4.64(10); 3.15(10); 2.92(10)		
ASTM Data		2.97(10); 4.68(9); 3.22(6)	
Ingre X. Rays labor.	2.97(10); 3.15(8); 1.57(5)		

STRUNZ (1939) étudie un échantillon d'amblygonite (Varuträsk, Suède) et un échantillon de fremontite (Fremont County, U.S.A.), il ne constate aucune différence d'intensité ni de position dans les raies et en tire la conclusion que les composés sont isomorphes.

FISCHER (1958) remarque des différences d'intensité qui permettent de distinguer amblygonite, montebrasite et fremontite. Cette opération est délicate dans la pra-

tique car un même gisement peut présenter des mélanges dont la composition varie fortement entre les termes extrêmes.

Afin de rendre compte des variations de composition chimique des différents minéraux, nous avons transformé toutes les analyses connues jusqu'à présent ⁽¹⁾ en calculant pour chacune d'elles respectivement les rapports atomiques Na/Li et OH/F ⁽²⁾.

Ce mode de représentation (fig. 1) nous a paru le plus adéquat puisque la nomenclature de la série repose précisément sur ces rapports. D'après ce diagramme, les montebrasites sont de loin les plus nombreuses, les amblygonites sont rares et les natromontebrasites extrêmement rares.

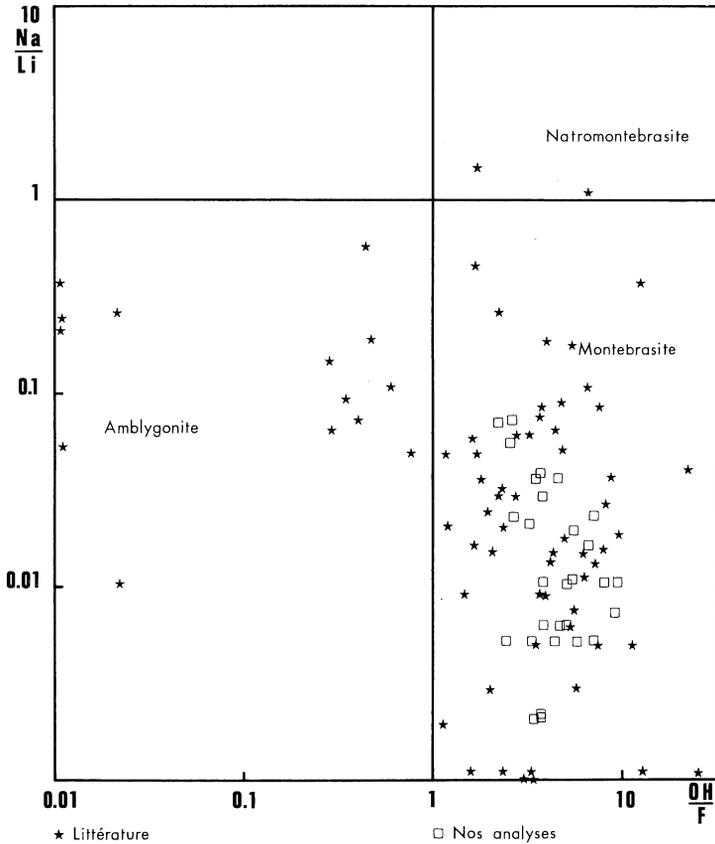


Fig. 1. — Diagramme de composition (échelles logarithmiques).

(1) Analyses fournies par BACKLUND, DANA, DOELTER, GALLAGHER, HEINRICH, MURDOCH, NEL, PALACHE, POLINARD, QUENSEL, ROBERTS, SCHROEDER, SHALLER, STANEK, TYNDALE, WEIBEL, MOSS et al., NEVES et al., HAAPALA.

(2) Exemple de transformation :

Composition	Nombre de mol.	Nombre atomes	Rapport
Na ₂ O = 0.66 %	107	214	$\frac{214}{4.914} = 0.043$
Li ₂ O = 7.37 %	2.457	4.914	
H ₂ O = 4.50 %	2.500	5.000	$\frac{5.000}{2.895} = 1.73$
F = 5.50 %	2.895	2.895	

TECHNIQUES ET MATÉRIEL ÉTUDIÉ

L'étude optique s'est attachée à l'examen :

- de lames minces pour vérification de l'homogénéité des échantillons et identification des minéraux accompagnateurs;
- de préparations de poudres pour la mesure de l'angle $2V$ et la détermination du signe;
- de surfaces polies destinées à l'examen au réfractomètre à réflexion totale d'ABBE pour la mesure des indices de réfraction et le calcul de l'angle des axes optiques.

Un certain nombre d'échantillons n'ont pas donné des résultats satisfaisants au réfractomètre. La cause première relève de la mauvaise qualité des réflexions observées, dues probablement à la présence de nombreuses macles.

La voie optique a aussi été utilisée pour l'identification des produits de décomposition des amblygonites lors des études thermiques.

L'étude thermopondérale (1) a été menée sur la plupart des échantillons.

L'étude thermique a été principalement menée par *analyse thermique différentielle* (ATD) (2).

Tous les échantillons ont été examinés par *diffraction de rayons X* (3) avant et après chauffage à diverses températures.

Divers *tests chimiques* ont été effectués :

- détection du fluor pendant la montée en température. L'analyse en continu a été faite par la méthode de DEICHA (4).
- détection du fluor après fusion au carbonate sodicopotassique et décoloration de l'alizarine de Zr par la solution sur les échantillons à diverses températures en dessous et au-dessus des pics ATD (BERTHELAY 1964).

Les analyses chimiques de 25 échantillons ont été menées par activation nucléaire (GUILLAUME et WEBER 1969) et par ionométrie (GUTH et WEY 1969).

La provenance des échantillons (5) étudiés est reprise en annexe I.

(1) Thermobalance ADAMEL, régime de montée : $150^\circ/\text{h}$; t° max. : 900°C , atm. : air; poids d'échantillon : 250 mgr.

(2) Volume de substance : $100\text{-}200 \text{ mm}^3$; vitesse de chauff. : $10^\circ/\text{min}$.; t° max. : 1.000°C ; thermocouple : chromel/chromel-alumel et situé au fond de la cellule dans l'échantillon, cavités en acier réfractaire Cr-Ni — atmosphère : air.

Suite à la fusion de l'échantillon vers 850°C , l'intérieur de la cellule a été garni d'une bague de porcelaine et le fond tapissé de poudre réfractaire de façon à ne pas endommager les thermocouples. Certains échantillons ont en outre séjourné 4 heures dans un four à des températures légèrement supérieures à celles des pics donnés par ATD de manière à compléter les réactions.

(3) Diffractomètre Philips PW 1050.

CuK α /Ni, 38 kV, 18 mA.

Vitesse de balayage : $1^\circ 28/\text{min}$.

(4) L'échantillon est placé dans une nacelle, introduite dans un tube de quartz. Le tout est chauffé au four sous courant d'argon qui entraîne les vapeurs produites par l'échauffement. L'argon et les vapeurs entraînées passent dans un vase contenant un mélange d'alizarine de Zr en solution acide (HCl). Le complexe initialement rouge se colore en jaune en présence d'ions F $^-$.

(5) Nous remercions vivement M^{lle} S. CAILLÈRE du laboratoire de Minéralogie du Museum de Paris, M. le Professeur EVRARD de l'U.Lg, M. R. MULLIGAN du Geological

TABLEAU 3 : Résultats d'analyse chimique

N°	Na ₂ O	Li ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	F _{AN}	F _{E.F}	OH théor.	TOTAL — 0 excédent	0 excédent
1380	0,1	9,5	—	34,7	48,0	—	3,8	4,3	8,0	101,0	3,4
4545	0,12	10,0	tr	34,6	48,2	—	4,4	4,4	7,7	102,4	3,7
5439	0,2	10,0	—	35,0	47,4	—	3,4	3,9	8,3	100,3	3,1
5461	0,12	8,24	0,9	34,9	47,4	—	2,7	2,0	9,5	101,7	2,0
6272	0,4	8,99	tr	35,0	47,4	—	2,9	2,7	9,1	102,0	2,4
7836	2,8	6,3	—	34,9	47,6	—	5,5	6,0	7,0	99,4	4,7
7837	0,1	7,45	0,6	34,5	47,0	2,5	3,3	3,2	8,7	102,2	2,7
7838	0,2	10,1	—	34,7	48,0	—	2,5	2,0	9,6	101,2	1,9
7850	0,3	8,5	—	35,1	47,2	—	3,6	3,3	8,5	101,1	2,9
7973	0,03	9,6	—	35,0	47,4	—	4,2	4,4	7,7	100,8	3,6
8920	0,12	9,82	—	34,9	47,6	—	3,3	3,8	8,4	101,1	3,0
9264	0,6	8,9	—	34,8	47,7	—	4,4	5,0	7,4	100,6	4,0
9271	1,0	9,0	—	34,9	47,6	—	5,4	5,7	6,5	99,1	4,7
9505	0,5	8,5	—	34,7	48,0	—	4,3	4,8	7,5	100,7	3,8
10247	0,1	9,9	—	34,9	47,5	—	4,8	5,0	7,2	100,8	4,1
10675	0,04	9,9	tr	34,6	48,3	—	4,3	4,6	7,6	100,7	3,7
16111	0,1	9,6	0,2	34,7	47,9	—	2,9	2,9	9,0	101,8	2,4
16445	0,3	9,4	0,3	35,0	47,3	—	3,0	3,0	8,9	101,7	2,5
16446	0,6	9,0	—	34,8	47,8	—	4,2	4,0	7,9	100,7	3,5
16447	0,2	10	0,4	34,9	47,6	0,3	3,0	2,3	9,3	102,0	2,2
16448	0,4	9,7	tr	34,9	47,6	—	4,8	5,1	7,2	101,2	4,2
16570				34,7	47,8		4,7		7,4		4,0
17168	0,2	10,1	—	34,8	47,8	—	3,8	3,5	8,3	101,7	3,1
128227	0,1	10,1	—	34,7	48,0	—	5,9	5,7	6,4	100,2	4,9
138192	0,1	9,7	—	34,6	48,1	—	3,3	3,3	8,6	101,6	2,8
154195	0,2	10,0	—	34,7	47,9	—	4,5		7,5	101,0	3,8

DONNÉES NOUVELLES

Analyse chimique

Les analyses ont porté sur Na, Li, Al, P et F. 25 échantillons ont été analysés pour fluor par activation nucléaire et par ionométrie. Les résultats sont repris au tableau 3.

Les dosages de Na et Li ont été effectués par spectrométrie d'absorption atomique ⁽¹⁾ sur des solutions réalisées à l'acide fluorhydrique.

Après évaporation, le résidu est repris par l'eau à chaud. Ceci est possible malgré la faible solubilité de LiF dans l'eau car la dilution doit être poussée (Li \simeq 10 % dans l'échantillon).

Al et P ont été dosés par fluorescence X. ⁽²⁾ en couche mince (DUBOIS 1966). Le Si a aussi été suivi car le principal minéral associé est le quartz.

TABLEAU 4

Caractéristiques optiques des amblygonites

Les échantillons marqués d'une croix ont été analysés chimiquement les autres ont été analysés par diffraction de R.X. (variation de $d_{(131)}$ en fonction de F).

Éch. n°	Ng	Nm	Np	signe 2 V
× 5.439	1.6177	1.6033	1.5966	— 80°
× 8.920	1.6221	1.6132	1.6024	— 84°
× 9.264	1.6253	1.6146	1.6012	+ 84°
× 9.505	1.6218	1.6120	1.6018	89°
9.506	1.6162	1.6099	1.5979	— 72°
9.898	1.6165	1.6138	1.5960	— 83°
× 10.247	1.6223	1.6150	1.5997	— 84°
10.632	1.6312	1.6156	1.6069	90°
× 16.446	1.6256	1.6145	1.6072	+ 78°
× 16.570	1.6203	1.6063	1.5988	+ 74°
× 128.227	1.6159	1.6085	1.5963	— 75°
× 138.192	1.6274	1.6144	1.6057	+ 79°
× HAAPALA	1.6243	1.6129	1.6021	81°

Étude optique

L'analyse des lames minces montre en général des échantillons bien homogènes, sauf présence accidentelle de cristaux de quartz et de wavellite. Les macles polysynthétiques apparaissent assez fréquemment.

Certaines lames bien orientées nous ont fourni le signe et l'angle des axes optiques du minéral; dans le cas contraire, des poudres ont été étudiées en immersion.

Certaines préparations présentent des îlots d'amblygonite entamés et corrodés par une autre amblygonite ainsi qu'un grand nombre d'inclusions fluides.

Survey of Canada, M. J. LEPERSONNE du Musée royal d'Afrique centrale, pour l'amabilité avec laquelle ils nous ont fourni des échantillons complémentaires aux collections de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Liège.

⁽¹⁾ Perkin Elmer modèle 290 obtenu grâce à un crédit du F.N.R.S. Lampes à cathode creuse Na et Li, raies Na : 5.890 Å — Li : 6.708 Å. Conditions standards.

⁽²⁾ Spectromètre de fluorescence X Philips, cristal E.D.D.T., collimateur large, vide, F.C. : 1.700 V, anticathode : Au 48 kV, 18 mA, échantillon tournant, discrim. sur Al, P, Si et K (raies $K\alpha$).

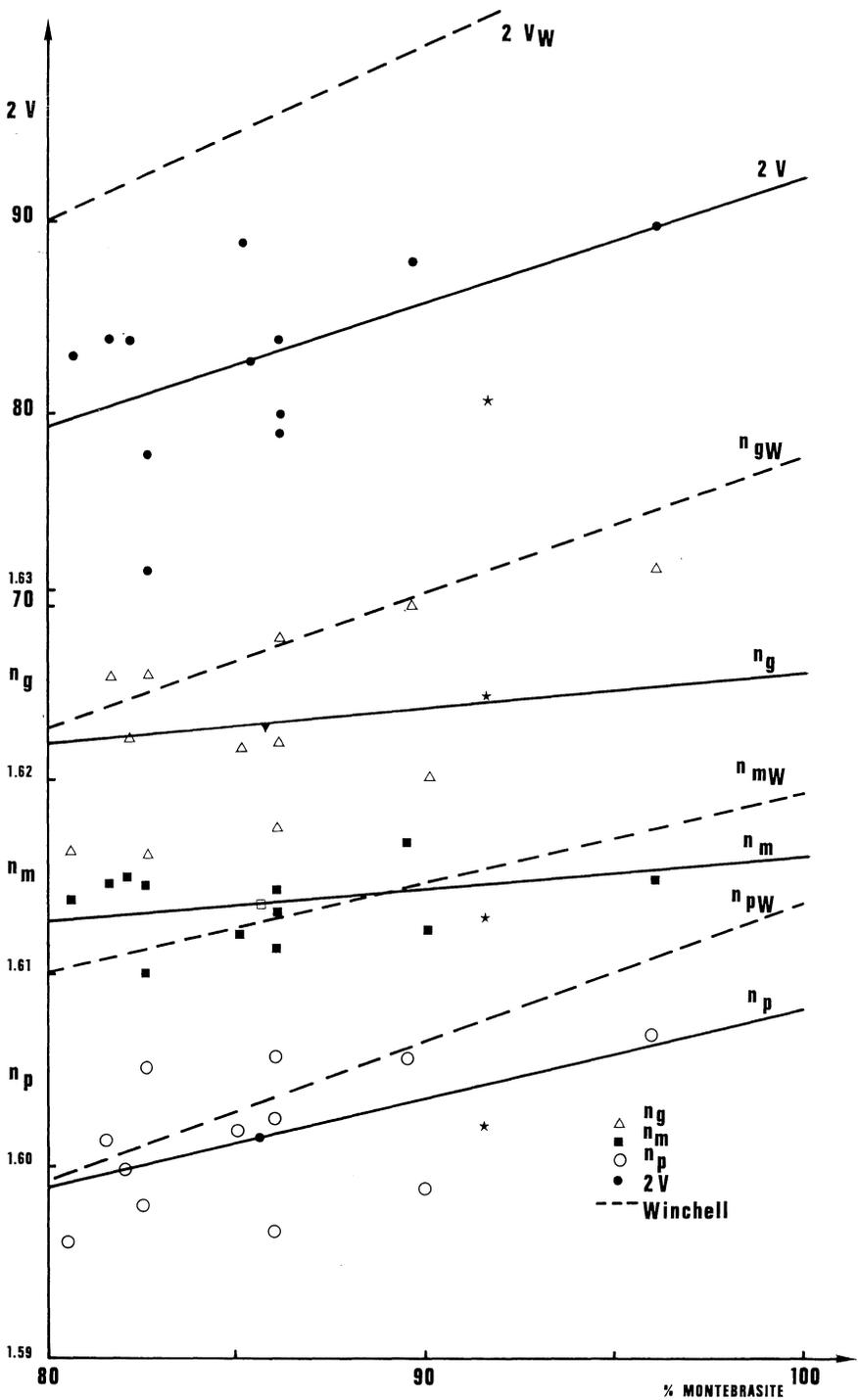


Fig. 2. — Variation de N_g , N_m , N_p et $2V$ en fonction du pourcentage de montebasite.

Le tableau 4 rassemble les résultats obtenus par l'étude microscopique et réfractométrique.

La figure 2 reprend les valeurs de N_g , N_m , N_p et $2V$ en fonction de la composition chimique transformée en teneur montebrasite.

Les droites N_g , N_m , N_p et $2V$ sont celles données par les relations de moindres carrés. Les valeurs données par HAAPALA (1966) ont été représentées par un astérisque. On constatera que les directions des droites sont assez nettement différentes de celles de WINCHELL en se maintenant en dessous (sauf N_m).

D'autre part, la biréfringence paraît plus faible avec une légère diminution vers le pôle montebrasite.

Nous n'avons pas reproduit le domaine amblygonite car les échantillons analysés ne fournissent des renseignements que dans le domaine de la montebrasite.

Examen aux rayons X

L'examen des poudres par diffraction X avait comme but premier de s'assurer de la physionomie correcte des échantillons qui fournissent des radiogrammes assez semblables en général.

Il n'est pas possible de tirer des conclusions relatives aux différences entre le diagramme amblygonite et montebrasite.

Cependant, MOSS et FEJER, 1969, proposent une variation des paramètres en

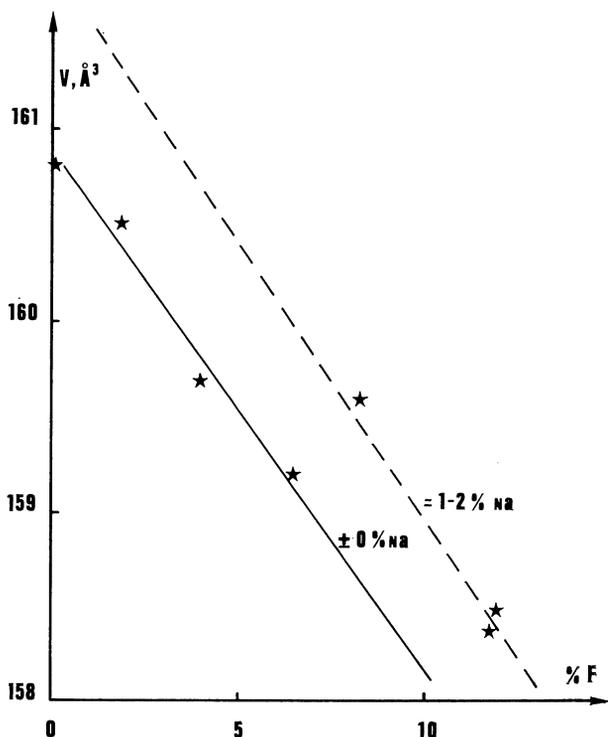


Fig. 3. — Variation du volume de la maille en fonction de F et Na.

fonction de la teneur en fluor et ne notent pas d'effet notable du Na : il faut remarquer que les teneurs en Na sont de 1.2 % maximum.

Si on considère le volume de la maille donné par MOSS et FEJER (1969), HAAPALA (1966) et PALACHE, RICHMOND et WOLF (1943) en fonction de F (fig.3), on remarque une certaine dispersion qui indiquerait une indépendance vis-à-vis de Na (en dessous de 1 %). Au-delà de 1 % Na, l'influence reste inconnue.

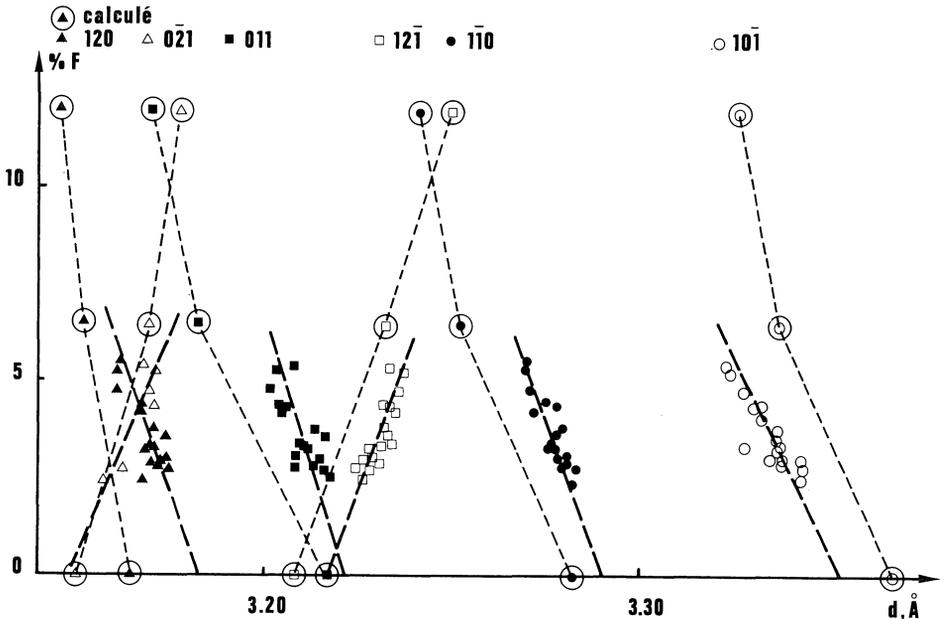


Fig. 4. — Variations calculées et mesurées de différents d en fonction de F.

Si on s'en réfère à la structure de l'amblygonite, on remarquera que le Li (ou Na) est entouré de 4 Oxygène et un (F, OH) en dipyramide trigonale déformée.

Les longueurs des liaisons Li-O sont en moyenne de 2.08 Å alors que dans Li_2O , elle est de 2.00 Å. Par comparaison, la longueur de la liaison dans Na_2O est 2.40 Å, soit un accroissement de 20 %.

Il est donc évident que si les polyèdres de coordinence autour de Li ou Na restent semblables, une dilatation se répercutera sur l'ensemble de la maille en entraînant une augmentation du volume.

Donc, outre l'effet d'augmentation du volume due à l'accroissement de F, il existe parallèlement une augmentation de volume par le fait du Na et cette dernière devrait être supérieure.

Suivant DANA (1951), la densité varie de 3.11 à 2.98 du terme amblygonite vers montebrazite alors que pour la frémonsitite, elle varie de 3.04 à 3.1.

Pour les termes extrêmes, LiAlPO_4OH et NaAlPO_4OH , le poids moléculaire est respectivement de 144.898 et 161.955 soit un accroissement de 11.08 %.

Or, la densité n'augmente que de 2 à 4 %. Étant donné la proportionnalité entre la densité et la rapport poids moléculaire/volume, il faut donc que le volume varie de 11 à 7.3 % de manière à ramener l'augmentation de 11 % entre 2 et 4 %.

TABLEAU 5
Données roentgenographiques

	7838		16445		7850		9271		Specimen E patt. A		Specimen N patt. AB	
<i>hkl</i>	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0
					8.74	3						
					8.42	2						
010	6.20	3	6.19	4	6.19	4	6.16	2	6.19	w	6.19	vw
					5.68	3						
					5.385	3						
100	4.798	17	4.791	17	4.803	16	4.788	14	4.816	w	4.816	vw
110	4.671	38	4.668	42	4.678	50	4.666	66				
001									4.659	vs	4.652	vs
0 $\bar{1}\bar{1}$	4.599	33	4.634	30	4.623	43b	4.654	57				
1 $\bar{1}\bar{1}$	3.952	9b	3.955	10b	3.960	9b	3.960	10b	3.850	mw	3.850	w
					3.511	4						
101	3.433	1	3.430	5	3.433	8	3.427	4b				
					3.367	6	3.368	6				
10 $\bar{1}$	3.337	27	3.330	32	3.331	30	3.320	34	3.329	ms	3.327	ms
1 $\bar{1}$ 0	3.274	24	3.260	24	3.271	26	3.247	26	3.273	m	3.261	mw
12 $\bar{1}$	3.215	51	3.220	30	3.224	56	3.227	40			3.218	m
011			3.200	34	3.203	34	3.208	38	3.211	vs	3.181 ?	m
120	3.162	80	3.160	90	3.166	80	3.163	100				
0 $\bar{2}$ 1									3.159	vvs	3.148	s
1 $\bar{1}$ 1	2.966	100	2.959	100	2.958	100	2.946	100	2.967	vs	2.960	vs
111	2.938	8	2.936	6	2.937	6	2.931	10				
					2.903							
	2.801	3	2.804	3	2.810	2	2.808	2				
	2.720	2	2.700	3	2.697	3						

TABLEAU 5 (suite)

	7838		16445		7850		9271		Specimen E patt. A		Specimen N patt. AB	
<i>hkl</i>	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0
210	2.570	14	2.567	16	2.567	22	2.564	16	2.565	m	2.560	w
0 $\bar{1}$ 2	2.498	17	2.496	20	2.497	20	2.501	25	2.496	ms	2.500	mw
1 $\bar{1}$ $\bar{1}$	2.462	7	2.457	7	2.455	3	2.453	9	2.462	vw	2.457	vw
200	2.397	35	2.395	32	2.399	35	2.395	36				
2 $\bar{1}$ $\bar{1}$									2.397	s	2.393	m
13 $\bar{1}$	2.371	5	2.371	5	2.370	5	2.376	5	2.365	vvw	2.368	vvw
22 $\bar{1}$												
11 $\bar{2}$	2.345	7	2.344	6	2.342	8	2.339	5				
220 002	2.305	10	2.307	9	2.308	7	2.311	7	2.341	vw	2.338	vw
122 0 $\bar{2}$ 2									2.297	mw	2.304	vvw
1 $\bar{2}$ 1	2.290	10	2.287	10	2.289	10	2.289	8	2.297	mw	2.286	w
1 $\bar{2}$ 0 121	2.263	2	2.260	5	2.263	2	2.257	2	2.259	vw	2.253	vvw
021							2.245	2				
0 $\bar{3}$ 1	2.217	2										
130	2.202	10	2.201	10	2.202	6	2.201	10	2.201	w	2.189	w
					2.172	2	2.163	8				
20 $\bar{1}$	2.127	19	2.129	14	2.129	2	2.134	4	2.129	m	2.123	mw
211					2.126	10	2.122	4				
10 $\bar{2}$ 1 $\bar{1}$? } 102 030 }	2.111	8	2.108	6			2.099	2	2.101	w		
											2.098	w
23 $\bar{1}$	2.053	2	2.057	2	2.057	3	2.059	3	2.057	vw	2.051	vvw
13 $\bar{2}$	2.033	2	2.038	2	2.039	2	2.040	2				
2 $\bar{1}$ 0	2.008	2b	2.00	2b	2.009	2b					2.024?	vvw
230 012	1.958	18	1.950	19	1.955	17	1.949	21	1.960	m	1.956	mw
2 $\bar{1}$ $\bar{1}$ 0 $\bar{3}$ 2	1.934	19	1.931	12	1.930	17	1.930	10	1.930	w	1.928	w

TABLEAU 5 (suite)

	7838		16445		7850		9271		Specimen E patt. A		Specimen N patt. AB	
<i>hkl</i>	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	I_0	
222 221	1.896	28	1.894		1.896	19	1.895	12			1.896	m
122												
121 212					1.860	2	1.879	2				
232	1.822	3	1.823	5	1.823	6	1.825	5	1.818	vw	1.817	vw
141	1.792	11	1.791	12	1.791	10	1.791	18) 1.791	mw	1.791	w
211	1.775	2	1.774	2			1.769	4)			
131	1.768	6	1.766	6	1.765	3b	1.764	4) 1.770	vw	1.766	vw
241 112 310	1.699	2	1.699	3	1.699	2	1.699	4				
131	1.7501	15	1.7476	17	1.7449	7	1.7419	14	1.749	m	1.746	mw
142 321	1.678	6	1.676	3	1.674	6	1.676	2				
202	1.666	7	1.664	7	1.663	8	1.659	11				
013 140	1.649	4	1.647	5	1.647	5	1.645	6b				
220	1.637	2	1.635	2	1.634	2	1.636	3				
132	1.617	17	1.616	17	1.615	7	1.611	13				
311 331	1.610	13	1.610	14	1.611	7	1.614	9				
242	1.606	15	1.606	14	1.607	5	1.605	8				
133	1.599	35	1.598	38	1.598	14	1.595	20				
300 240	1.578	12	1.579	12	1.580	8	1.580	17				
330	1.560	2b	1.559	2b	1.559	1	1.558	2				
					1.547	1						
003	1.535	8	1.536	8	1.537	4	1.539	7				
221	1.523	7	1.523	5	1.523	4	1.523	6				
301	1.511	2	1.511	2	1.508	2	1.504	2				
321 223	1.499	1					1.489	2				
222 033	1.482	10	1.482	10	1.483	6	1.481	10				

TABLEAU 5 (suite)

<i>hkl</i>	7838		16445		7850		9271		Specimen E patt. A		Specimen N patt. AB	
	<i>d</i> ₀	I ₀	<i>d</i> ₀	I ₀								
321												
222	1.469	5	1.467	5	1.465	2b	1.462	6				
131̄ 311	1.455	2	1.453	2	1.453	2	1.449	2				
312̄	1.439	5	1.438	5	1.437	2	1.435	8				
3̄13 310	1.420	4	1.420	4	1.420	5	1.420	1				
342̄	1.402	10	1.403	10	1.403	8	1.402	13				
013̄	1.391	1	1.390	1	1.391	1						
043̄	1.384	5	1.383	5	1.382	2	1.382	5				
340	1.373	1	1.372	1	1.372	1	1.372	2b				
133̄	1.361	2	1.360	1	1.359	1	1.355	1				
					1.345	1b	1.337	2b				
140̄					1.332	1	1.330	1b				
333̄	1.310	1	1.308	1	1.308	1	1.308	3				
302̄ 150	1.306	2	1.307	2	1.307	2						
203̄	1.295	1b	1.297	1	1.298	1	1.296	1				
					1.294	2						
420	1.284	12	1.282	14	1.282	16	1.280	4				
421̄	1.273	4	1.275	4	1.275	3	1.277	9				
410	1.2574	3	1.2570	3	1.2563	1	1.2536	3				
024̄	1.2504	6	1.2500	7	1.2494	9	1.2508	12				
222̄ 014̄	1.2262	2	1.2271	1	1.2281	1	1.2323	1				
034̄	1.2203	3	1.2210	3	1.2212	2	1.2228	2				
023̄	1.2158	3	1.2150	5	1.2148	3	1.2130	3				
400	1.2027	1	1.2020	1	1.2017	1	1.2017	1				
132̄ 234̄							1.1964	1				

TABLEAU V (suite)

	7838		16445		7850		9271		Specimen E patt. A		Specimen N patt. AB	
<i>hkl</i>	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0	d_0	I_0
$26\bar{2}$							1.1869	1				
322	1.1751	3	1.1753	3	1.1758	2	1.1763	3				
224	1.1716	8	1.1716	3	1.1717	3	1.1709	3				
440	1.1653	5	1.1657	5	1.1657	2	1.1644	3				
303 $2\bar{4}2$	1.1456	4	1.1457	5	1.1459	4	1.1437	4				
242	1.1311	1	1.1300	1	1.1291	1	1.1267	1				
	1.1229	1										
303	1.1117	2	1.1117	1	1.1118	1	1.1119	1				
330 $0\bar{6}2$	1.1093	1	1.1098	1	1.1102	1	1.0980	1				
			1.0872	1	1.0864	1	1.0834	2b				
$\bar{3}31$	1.0814	2	1.0814	3	1.0815	2						
363 014	1.0722	1	1.0718	1	1.0712	1	1.0702	1				
$40\bar{2}$	1.0600	2	1.0610	2	1.0618	1						
224 204	1.0514	2	1.0515	2	1.0519	2	1.0525	2				
342	1.0451	3	1.0458	3	1.0462	2	1.0471	2				
342					1.0409	2	1.0420	1				
	1.0353	1	1.0350	2								
$46\bar{2}$	1.0266	2	1.0268	1	1.0270	2	1.0273	2				
					1.0197	1	1.0195	1				
$\bar{1}42$	1.0141	2	1.0137	1	1.0133	4	1.0121	3				
					1.0088	2	1.0089	2				
$4\bar{2}1$	1.0070	2b	1.0068	2b	1.0062	3	1.0026	2b				
$4\bar{2}0$					1.0041	3						
	0.99451	5	0.99470	6	0.99508	2	0.99594	2				
	0.99190	6	0.99200	7	0.99210	3	0.99240	2				
333	0.98815		0.98820	8	0.98821	6	0.98828	3				

La densité dépend donc de la teneur en F et Na et non seulement de F.

Ces considérations justifient la courbe tracée figure 3 pour des teneurs de 1 à 2 % de Na.

Les diffractogrammes types donnés par MOSS et FEJER (1969) ainsi que les nôtres sont repris au tableau 5.

La figure 4 présente les variations de $d_{(120)}$, $d_{(0\bar{2}1)}$, $d_{(011)}$, $d_{(12\bar{1})}$, $d_{(1\bar{1}0)}$ et $d_{(10\bar{1})}$ en fonction de F en superposant les valeurs calculées à partir des paramètres extrapolés des valeurs de MOSS et FEJER pour 0 %, 6.5 % et 12 % de F.

Dans le domaine de nos échantillons, la concordance est satisfaisante et permet une estimation de la situation entre $d = 3.14 \text{ \AA}$ et 3.38 \AA .

Cependant, la raie la plus intéressante du point de vue déplacement en fonction de F est la raie (131) signalée par MOSS et FEJER.

La figure 5 et le tableau 6 donnent la variation $d_{(131)}$ en fonction de F; la relation $d_{(131)} = 1.7532 - 0.00197 (\% \text{ F})$ en découle.

Le couple $(0\bar{2}2) - (1\bar{2}1)$ a également été suivi car il aurait pu supprimer l'emploi d'un étalon interne vu que $d_{(0\bar{2}2)}$ croît légèrement avec F alors que $d_{(1\bar{2}1)}$ décroît. Les résultats obtenus ont été assez décevants du point de vue dispersion.

Quelques raies (8.74, 8.42 et 5.68 \AA) n'ont pu être attribuées; elles sont caractéristiques d'échantillons présentant des pics endothermiques à basse température.

TABLEAU 6

Mise en relation de la variation de F et de $d_{(131)}$

n°	F _{AN}	F _{EF}	Moy.	$d_{(131)}$
1380	3.8	4.3	4.05	1.74.5
4545	4.4	4.4	4.4	1.74.39
5439	3.4	3.9	3.65	1.74.62
5461	2.7	2.0	2.35	1.74.96
6272	2.9	2.7	2.8	1.74.78
7836	5.5	6.0	5.75	1.73.80
7837	3.3	3.2	3.25	1.74.82
7838	2.5	2.0	2.25	1.75.01
7850	3.6	3.3	3.45	1.74.72
7973	4.2	4.4	4.3	1.74.51
8920	3.3	3.8	3.55	1.74.58
9264	4.4	5.0	4.7	1.74.39
9271	5.4	5.7	5.55	1.74.19
9505	4.3	4.8	4.55	1.74.46
10675	4.3	4.6	4.45	1.74.48
16111	2.9	2.9	2.9	1.74.74
16445	3.0	3.0	3.0	1.74.76
16446	4.2	4.0	4.1	1.74.48
16447	3.0	2.3	2.65	1.74.90
16448	4.8	5.1	4.95	1.74.30
138192	3.3	3.3	3.3	1.74.60

Analyse thermopondérale

L'étude thermopondérale fournit des courbes présentant une perte de poids unique située aux environs de 700°.

Parfois, des pertes de poids faibles se marquent en plus vers 170° et 200°.

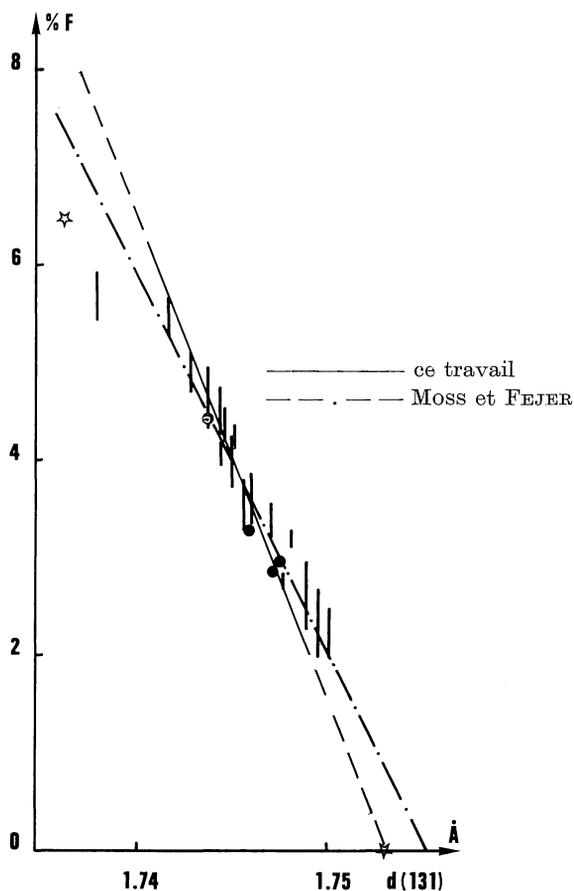
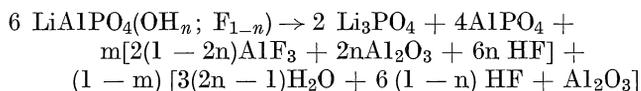


Fig. 5. — Relation entre la valeur de $d_{(131)}$ et la teneur en F.

Les valeurs enregistrées sont les suivantes :

N° échantillon	Perte de poids entre 600 et 800° C en %	N° échantillon	Perte de poids entre 600 et 800° C en %
4.545	5.80	9.271	5.90
5.439	5.80	10.247	5.50
5.461	5.80	10.675	5.70
6.272	6.3	138.192	5.20
7.973	5.70	154.195	6.2
9.264	6.10		

Ces pertes de poids peuvent être attribuées au départ des éléments volatils. L'identification des produits de décomposition (voir plus loin) permet d'écrire la décomposition comme suit (compte non tenu de l'intervention de Na) :



où $m = 1$ si $n \leq 0.5$ (amblygonite)

et $m = 0$ si $n \geq 0.5$ (montebrasite)

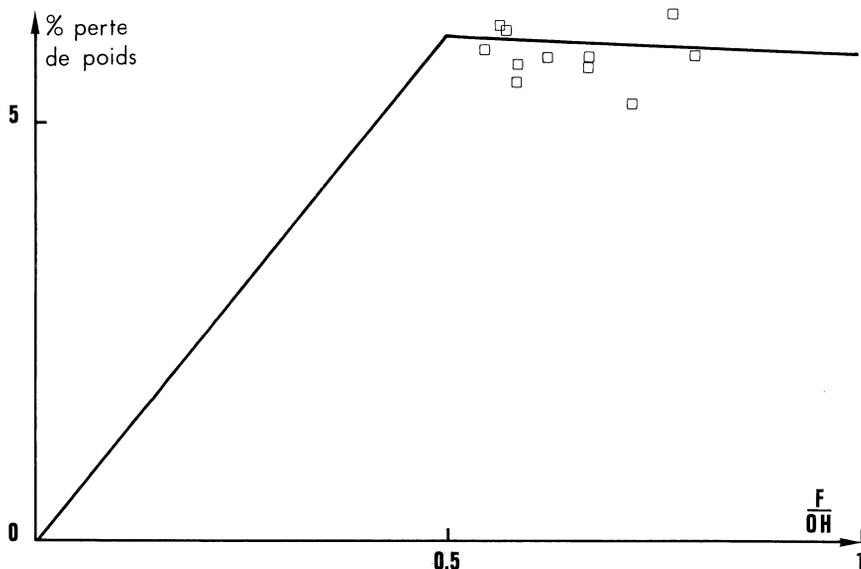


Fig. 6. — Perte de poids théorique en fonction du rapport F/OH. Les carrés indiquent les pertes de poids expérimentales.

La perte de poids théorique en fonction du rapport F/OH (fig. 6) varie de 0 à 6 % avec la diminution de F dans le domaine de l'amblygonite tandis que dans le domaine de la montebrasite la perte de poids est quasi constante (très légère diminution avec F).

Ces relations fournissent un moyen rapide de déterminer si un minéral est une montebrasite ou une amblygonite, en mesurant la différence de poids entre un échantillon chauffé successivement à 600 et 800°C. Le minéral est une amblygonite, si la différence de poids est inférieure à 5 %, une montebrasite si elle est supérieure à 5 %.

Analyse thermique différentielle

Les courbes thermodifférentielles (tableau 7, fig. 7) sont caractérisées essentiellement par la présence de deux pics endothermiques à $\pm 770^\circ$ et 820° . Ce dernier pic est généralement le plus intense et le plus net, l'autre est plus large ou asymétrique. Certains échantillons du Rwanda et du Kivu montrent, en outre, des réactions à basse température avec pics aux environs de 170° et 250° . On pourrait croire qu'il s'agit d'un phénomène régional car ces spécimens montrent également un grand nombre d'inclusions fluides.

La signification des pics est interprétée comme suit :

BHASKARA (1964) pense que le pic à 770° correspond au départ de l'eau et à la destruction de la structure tandis que le second (820°C) est dû au départ du fluor. GINZBURG suggère le départ de F à 740°, celui de l'eau à 775°-780° et la fusion à 820°.

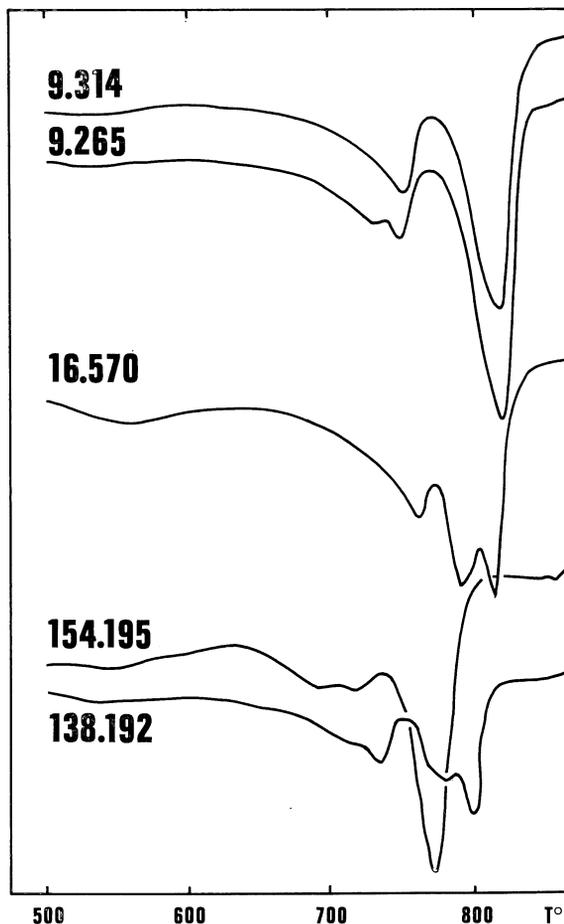


Fig. 7. — Courbes thermodifférentielles.

Nos essais ont infirmé cette conception; le pic à 760° reflète le départ simultané des deux constituants.

En effet, par la méthode de DEICHA, les phénomènes suivants apparaissent :

- à 600° : très léger jaunissement de la solution
- 630° : léger jaunissement
- 650° : décoloration jaune-orange, changement de solution
- 750° : bonne décoloration, apparition de vapeur d'eau sur tubulure extérieure
- 750° : jaune franc, décoloration totale après 25'
- 800° : orange très faible (10')
- 850° : variation absente ou très faible, renouvellement de la solution : plus de décoloration.

TABLEAU 7
Relevé des pics A.T.D.

N°	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1380	150	210		690		810
4545				750		830
5439	170	230		740	780	820
5461	160	—		740	750	800
6272	150	—		730	755	810
7836			660	730		800
7837				750		820
7838				750		800
7850	170	250	590	690	740	820
7973	180	260			775	820
8920				740	760	810
9269				740	760	830
10247				730		800
10675				730	770	830
16111				740		800
16445	170	240			760	810
16446				740		820
16447				720		790
16448				740		820
16570			500	700		820
17168	170	230	560	610	785	830
128227					770	830
138192				760	800	830
154195				710	740 faible	800

Ainsi, l'amblygonite se « dégage » en perdant du fluor et de l'eau et ce dégagement est plus ou moins simultané.

Ce phénomène est également visible au microscope à platine chauffante : l'observation est possible en lumière transmise jusqu'à 680° et en lumière incidente latérale au-delà vu l'obscurcissement :

- à 400° : réaction nulle
- 680° : début de l'obscurcissement
- 720° : apparition de petites bulles
- 780° : début de la fusion
- 870° : fusion et bouillonnement

D'autre part, la courbe ATD enregistrée lors du refroidissement suivi d'un second échauffement permet d'affirmer que seul le premier pic endothermique correspond au départ des matières volatiles (fig. 8).

La montée en température est arrêtée à 900° et on enregistre la courbe au refroidissement jusqu'à 600°; ensuite le chauffage est repris. Au refroidissement, on note un pic exothermique à 780-760° et au réchauffage, seul le pic à 820° apparaît.

La disparition du pic endothermique à 780° montre bien que l'amblygonite s'est dégazée lors du premier chauffage vers 770°.

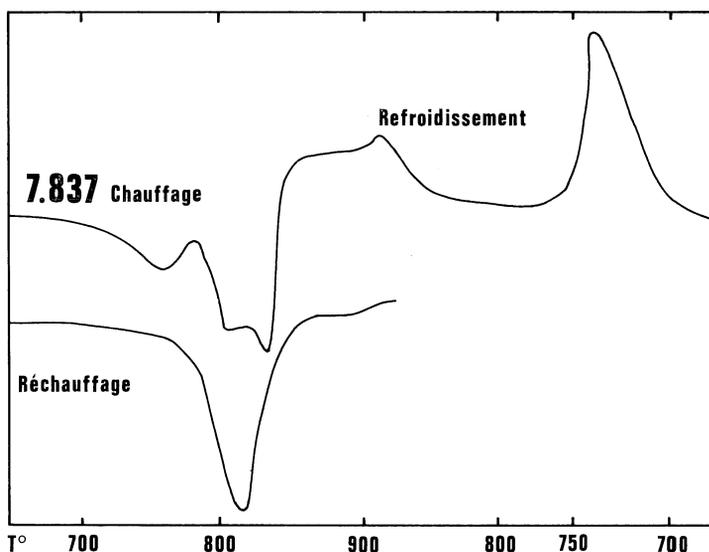


Fig. 8. — A.T.D. comportant chauffage, refroidissement, réchauffage.

En outre, un essai de détection du fluor dans un échantillon chauffé en dessous et au-dessus de 770° a donné les résultats suivants (méthode de BERTHELAY) :

	T° < 770°	T° > 770°
pH de D	± 3	± 5
essai au $Zr(NO_3)_2$	positif	négatif
solution R	précipité de SiO_2 visible	pas de précipité
essai au $Zr(NO_3)_2$	positif	négatif

Enfin, le radiogramme du produit chauffé à 770° montre la présence de $AlPO_4$, forme berlinite et de Li_3PO_4 , forme haute température (TARTE, 1967).

Donc, le premier pic endothermique de l'amblygonite correspond au départ des éléments volatils et à la décomposition en $AlPO_4$ et Li_3PO_4 .

Le pic à 820° est endothermique au chauffage et exothermique au refroidissement et aucune perte de poids n'est engendrée à cette température.

Une réaction polymorphique ou une fusion peut rendre compte de ce comportement.

En fait, il s'agit d'une fusion après laquelle la matière recristallise au refroidissement avec formation de Li_3PO_4 et de $AlPO_4$ mieux cristallisé qu'à basse température. Les produits de fusion sont déterminables par voie optique et roentgenographique.

En lame mince, on observe en effet :

- a) des prismes à deux clivages et extinction droite, allongement +, $2V(+) = 70^\circ$, $n = 1.532$.

MATIAS (1966) donne les caractéristiques suivantes pour Li_3PO_4 : allongement +, $2V(+) = 69^\circ$, $N_g = 1.567$; $N_m = 1.557$; $N_p = 1.550$. Ces prismes sont solubilisés par HCl (1 jour) : il s'agit de Li_3PO_4 .

- b) une masse de petits cristaux, parfois dendritiques, que nous supposons être AlPO_4 .

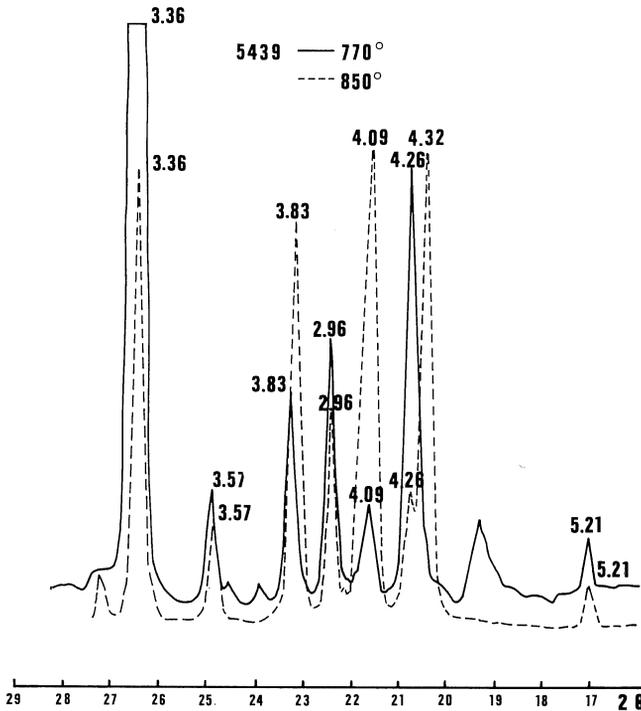


Fig. 9. — Diffractogrammes à 770° et 850° C.

AlPO_4 est isostructural avec le quartz et présente également des inversions polymorphiques (BECK 1949). L'analogie est très forte : indices de réfraction, dureté, diffractogramme X (GALLAGHER, 1963). La berlinite est la forme de basse température. Par analogie avec le quartz, les formes de haute température s'appellent : phosphotridymite et phosphocristobalite. BECK (1949) fixe la température d'inversion berlinite-phosphotridymite à $815^\circ \pm 4^\circ$.

La comparaison des diffractogrammes d'amblygonite (figure 9) chauffée à 770° et à 850° (maintien de 4 h) montre dès 770° l'apparition d'une raie faible de phosphotridymite ($d = 4.092 \text{ \AA}$) en plus de celles de Li_3PO_4 et de la berlinite.

A 850° , on constate l'augmentation d'intensité de la raie à 4.092 \AA , l'apparition d'une raie à 4.32 \AA , la diminution d'intensité et parfois la disparition des raies de la berlinite et le renforcement de la raie 3.83 \AA de Li_3PO_4 par superposition d'une raie de l'orthophosphate d'Al.

L'ensemble de ces raies appartient à la phosphotridymite. Le phénomène s'amplifie à 1.000°C et les diffractogrammes d'échantillons recuits ou trempés sont semblables.

En conclusion, le second pic ATD traduit uniquement la fusion du minéral et l'évolution thermique se présente comme suit :

770°	820°	
OH, F ↗	fusion Berlinite → (Phosphotridymite) → Li ₃ PO ₃ → (Al ₂ O ₃)	(Berlinite) Phosphotridymite Li ₃ PO ₄ (Al ₂ O ₃) ?

L'aspect chimique de cette évolution peut se représenter de la façon suivante en faisant abstraction des ions Na :



Nos essais n'ont cependant pas permis l'identification de Al₂O₃ par R.X. Mais il se peut que les raies de la forme coïncident avec celles de Li₃PO₄ ou que Al₂O₃ se présente sous un état non cristallin. Un mélange artificiel reproduisant la composition de l'amblygonite après élimination des éléments volatils (AlPO₄ : 60 %; Li₃PO₄ : 30 %; Al₂O₃ : 10 %) présente un point de fusion d'environ 930°.

Or, la température de fusion de Li₃PO₄ est de plus de 950° et celle de AlPO₄ se situe vers 1.450°C. Mais l'abaissement du point de fusion dans le système Li₃PO₄-AlPO₄ ne serait pas étonnant vu l'effet eutectical bien connu du Li et du Na.

CONCLUSIONS

Parmi les échantillons dont nous disposons, nous n'avons relevé aucun minéral répondant à la définition de l'amblygonite ni de la fréumontite. La montebrasite est donc le minéral de loin le plus répandu de la série amblygonite-montebrasite.

Un moyen simple d'identification est proposé : l'analyse thermopondérale doit révéler une perte de poids de 5 à 6 % entre 600° et 800° pour caractériser une montebrasite. En deçà de 5 %, le minéral sera catalogué comme amblygonite.

Cette distinction a été possible grâce aux études par A.T.D. et diffraction des rayons X. Les pics endothermiques entre 600 et 800°C correspondent au dégazage (H₂O, F) du minéral et à la décomposition en AlPO₄, Li₃PO₄ et Al₂O₃.

La température de fusion de la montebrasite se situe entre 800° et 830°C mais aucune relation n'a été trouvée entre cette variation de la température de fusion et la composition chimique. D'autre part, divers pics existent vers 180°, 250° et 550° mais non systématiquement; leur présence est relative à des échantillons qui, en diffraction de rayons X, présentent des raies à 8.51, 8.34 et 5.6 Å.

La diffraction des rayons X a permis l'identification des produits après chauffage et aussi le dosage à ± 5 % du fluor dans l'amblygonite par le déplacement de la raie (1 3 1); corrélativement, on peut dire que pour la montebrasite $d_{(131)}$ doit être

supérieur à 1.736 Å et pour l'amblygonite inférieur à 1.736 Å. Ceci est valable pour des minéraux ne présentant pas une trop grande quantité de Na qui a pour effet de dilater la maille unitaire et qui fausse ainsi le résultat.

Les données optiques permettent de corriger le diagramme de WINCHELL.

BIBLIOGRAPHIE

- BACKLUND, H., 1918. — Amblygonite von Utö. *Geol. Fören. i Stockholm for Handling*, bd 40, 327, 757.
- BAUR, W. H., 1959. — Die Kristallstruktur des Edelamblygonits $\text{LiAlPO}_4(\text{OH},\text{F})$. *Acta Cryst.*, 12, 988.
- BECK, W., 1949. — Crystallographic inversion of the aluminium orthophosphate polymorph and relation to those of silica. *Am. Ceramic Soc.*, 1, 147.
- BERTHELAY, J., 1964. — Dosage spectrophotométrique du fluor dans les roches et minéraux. *Thèse de la Faculté des Sciences de l'Université de Clermont-Ferrand*.
- BHASKARA, R., 1964. — Thermal analysis of some brasilian phosphates. *Ann. Acad. Brazil.*, 36, 3, 295.
- DANA, S., 1951 — System of mineralogy, vol. 11, 825.
- DEICHA G., 1955. — Les lacunes des cristaux et leurs inclusions fluides, Masson, Paris.
- DUBOIS, J.J., 1966. — Dosage par spectro-fluorescence X sur couches minces. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 90, 5, 489.
- FISCHER, D., 1958. — Pegmatites phosphates and their problems. *Amer. Min.*, 43, 190.
- GALLAGHER, M., 1963. — Berlinite from Rwanda. *Min. Mag.*, 33, 613.
- GALLAGHER, M., 1967. — Phosphates and other minerals in pegmatites of Rhodesia and Uganda. *Amer. Min.*, 50, 277.
- GINZBURG, A., 1950. — Montebrazite i potsny ego izmeneiya — Trudy mineralogiceskojyo Minzema. *Ann. S.S.S.R.*, 2, 72.
- GUILLAUME et WEBER, 1969. — Fast and precise determination of fluorine in geological samples by neutron activation. *Journ. of Radioanal. Chem.*, 5, 379-386.
- GUTH, J. L. et WEY, R., 1969. — Sur un dosage rapide du fluorure dans les minéraux et roches. *Bull. Soc. franç. Min. et Crist.*, 92, 105.
- HAAPALA, I., 1966. — On the granitic pegmatites in the Peräseinäjoki-Alavus area, Finland. *Bull. Comm. Géol. Finlande*, 224, 1.
- HEINRICH, E., 1948. — Pegmatites of eight Mile park Fremont County, Colorado. *Am. Min.*, 33, 40.
- HEINRICH, E., 1955. — Montebrazite from eight Mile park, Fremont county, Colorado. *Am. Min.*, 40, 1141.
- HEYSTEK, H., SCHMIDT, E., 1954. — The technique of differential thermal analysis and its application to South Africa Minerals. *Trans. Geol. Soc. South Africa*, 53, 149.
- MANLY, R., 1950. — The differential thermal analysis of certain phosphates. *Am. Min.*, 35, 108.
- MATIAS, V., BONDAREVA, A., 1966. — Lithiophosphate, a new mineral, Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits. *Ac. of Sci. of the U.S.S.R. State Geological Committee of the U.S.S.R.*
- MOSS et al., 1969. — On the X-ray identification of amblygonite and montebrazite. *Min. Mag.*, 37, 414.
- MURDOCH, J., 1955. — Phosphate minerals of the Borkorema. *Am. Min.*, 40, 50.
- NEL, H., 1946. — Petalite and amblygonite from Karibib, South West Africa. *Am. Min.*, 31, 51.

- NEVES, C. et NUNES, L., 1968. — Pegmatitic phosphates of Alto-Ligonha region. *Rev. Cienc. Geologicas*, Laurenço Marquês, 1, A, 1.
- PALACHE, C., RICHMOND, W., WOLF, C., 1943. — On amblygonite. *Am. Min.*, **28**, 39.
- POLINARD, E., 1953. — Montebbrasite de Buranga. 3^e *Congrès Nat. des Sciences*, Bruxelles, **8**, 18.
- QUENSEL, P., 1937. — Minerals of the Varuträsk Pegmatite. *Geol. fören I Stockholm förhandl.*, **84**, 318.
- ROBERTS, R., 1948. — Amblygonite and associated mineral from Mbalemine Uganda. *Bull. Imp. Inst. London*, **46**, 342.
- SCHROEDER, A., 1954. — Der Brasilianische Edelamblygonite. *Neues Jahr. Miner., Monatshefte* 1954, 257.
- SHALLER, W., 1911. — Natroamblygonite, a new mineral. *Am. Journ. Sci.*, **31**, 48.
- SIMONOV, V., BELOV, N., 1958. — Kristallicheskaya struktura amblygoniia. *Dan U.S.S.R.*, **119**, 354.
- STÁNEK, J., 1960. — Montebbrasite, Angelite and Hezalite from Otov. *Acta Acad. Sci. Cechoslov. Basis. Brunensis*, **32**, 400, 17.
- STRUNZ, H., 1939. — Pulverdiagramme von Amblygonite, Fremontite, Groftanit. *Zbl. Mineral. Geol. und Paläont.*, A, n° 8, 248.
- TARTE, P., 1967. — Isomorphism and polymorphism of the Li_3PO_4 and LiVO_4 . *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **29**, 915.
- TYNDALE, R., BRISCOE, R. 1952. — The geology of the Bikita tin field. *Trans. Geol. Soc. South Africa*, **54**, 11.
- WEIBEL, M., 1956. — Amblygonite, cassiterite and associated minerals from Caceres (Western Spain). *Am. Min.*, **41**, 41.
- WINCHELL, A., 1926. — Relations between properties and composition in the amblygonite montebbrasite series. *Am. Min.*, **11**, 246.
- WINCHELL, A., 1946. — Elements of optical Mineralogy. New York.

LISTE DES ÉCHANTILLONS

Museum de Paris

- 128227 Australie (Ibini)
 138192 Suède (Varuträsk)
 154195 Madagascar (Soalana)
 154220 Brésil (Pavelhas)

Institut de Géologie appliquée, Université de Liège

- 1380 Rwanda (Buranga)

R. Mulligan (Canada)

- Yellow Knife Beaulieu
 Winnipeg River

Institut de Minéralogie, Université de Liège

- 7836 Montebbras
 7837 Manitoba
 7838 Californie
 7850 Rwanda
 16111 Keystone
 16445 Congo, Kobokobo
 16446 Congo, Kobokobo

16447 Kivu
16448 Rwanda
16570 Rwanda (Buranga)
17168 Rwanda

Institut Royal d'Afrique Centrale, Tervuren

4545 Rwanda
5439 Rwanda
5461 Kivu
6272 Kobokobo
8920 Rongi
9271 Rongi
9898 Maniema
7973 Buranga Rwanda
9505 Buranga
10247 Rwanda
10675 Rwanda
9264 Rwanda