

## UNE ASSOCIATION TRIPLITE — MONTEBRASITE — GRIPHITE DANS LA PEGMATITE DE BURANGA, RWANDA<sup>1</sup>

par

A.-M. FRANSOLET<sup>2</sup> & K. ABRAHAM<sup>3</sup>

(1 figure, 4 tableaux et 1 planche)

**RESUME.**— La griphite, en relation intime avec la triplite et la montebrasite, a été décrite dans un échantillon provenant de la pegmatite de Buranga, Rwanda. Afin de compléter les propriétés optiques et cristallographiques, déjà établies pour cette nouvelle occurrence, une analyse chimique à la microsonde électronique a donné : 41,93 %  $P_2O_5$  ; 9,67 %  $Al_2O_3$  ; 13,12 %  $FeO$  ; 21,45 %  $MnO$  ; 5,86 %  $CaO$  ; 3,40 %  $Na_2O$  et 3,77 % F. Les propriétés cristallographiques et l'analyse chimique, également effectuée à la microsonde électronique, sont fournies pour la triplite et la montebrasite. Les relations structurales entre ces trois minéraux sont décrites.

Dans le cas de la pegmatite de Buranga, la griphite se serait mise en place par remplacement de la triplite, à la fin de la phase d'albitisation, sous l'action de solutions hydrothermales riches en Na et Al, mais également en Ca et P. Cette altération aurait simultanément affecté la montebrasite en contact avec la triplite et envahie par une phase (Na, Li)  $AlPO_4$  (F,OH) restée indéterminée.

Moyennant les données actuellement disponibles sur les conditions de gisement de la griphite, l'attention est attirée sur la présence éventuelle de ce minéral dans d'autres pegmatites lithiques albitisées.

**ABSTRACT.**— Griphite has been described in close association with triplite and montebrasite in a sample from the Buranga pegmatite, Rwanda. In order to complete the optical and crystallographic properties already established for this new occurrence, an electron microprobe chemical analysis has been performed : 41.93 %  $P_2O_5$  ; 9.67 %  $Al_2O_3$  ; 13.12 %  $FeO$  ; 21.45 %  $MnO$  ; 5.86 %  $CaO$  ; 3.40 %  $Na_2O$  and 3.77 % F. The crystallographic data and the microprobe chemical analyses are also yielded for associated triplite and montebrasite. The structural relationships between these three minerals are described.

In the Buranga pegmatite griphite replaces triplite and would have grown at the end of the albitisation phase, in contact with hydrothermal solutions rich in Na and Al, but also in Ca and P. Montebrasite, which is partly replaced by an undetermined (Na, Li)  $AlPO_4$  (F,OH) phase, would have been simultaneously affected by this alteration process.

Using the presently available data on the mineralogical environment for griphite, possible occurrences of this mineral in other lithium-rich albitized pegmatites are emphasized.

### INTRODUCTION

Au cours de l'investigation d'assemblages de phosphates provenant de la pegmatite de Buranga, Fransolet (1975) (1) a identifié la griphite dans un échantillon de la collection du Musée royal d'Afrique centrale de Tervuren, Belgique (RGM 10.303). Il en a également établi les propriétés optiques et cristallographiques (indice de réfraction  $n = 1,687$ , diagramme de poudre et valeur du paramètre de la maille cubique  $a = 12,151\text{Å}$ ). Toutefois, comme cette griphite se présente en mélange avec la triplite, sa purification et son analyse chimique par voie humide n'ont pas abouti.

Trois raisons ont présidé à l'élaboration de cette note. La présence de griphite dans les associations complexes de phosphates de Buranga constitue une

1 Communication présentée le 3 mai 1983, manuscrit reçu le 6 mai 1983.

2 Chercheur qualifié F.N.R.S., Institut de Minéralogie, Université de Liège, 9, place du Vingt-Août, B 4000 Liège, Belgique.

3 Institut für Mineralogie, Ruhr-Universität Bochum, Postfach 102148, D 6430 - Bochum 1, Westdeutschland.

(1) FRANSOLET, A.-M., 1975. Etude minéralogique et pétrologique des phosphates de pegmatites granitiques. Thèse de doctorat. Inst. de Minéralogie, Univ. Liège (inédit).

**nouvelle occurrence** venant s'ajouter à la longue liste de ces minéraux déjà identifiés dans le gisement (Bertossa, 1967-68 ; Fransolet, 1975 (1) ; von Knorring & Fransolet, 1977 et von Knorring *et al.*, 1977). Puisque plusieurs données minéralogiques sur cette graphite ont déjà été publiées par Fransolet (1975) (1) et Fontan *et al.* (1978), il a été jugé utile de les compléter en fournissant les résultats d'une **nouvelle analyse chimique** à la microsonde électronique. Enfin, il est certainement important de donner la composition chimique des **minéraux associés**, de préciser leurs relations structurales, et de comparer l'association triplite-graphite-montebbrasite de Buranga avec une association semblable, provenant d'une pegmatite du bassin de la rivière Karachin, Chaîne du Turkestan (Ginzburg, 1952).

### METHODES ANALYTIQUES

Les nouvelles analyses chimiques ont été réalisées à la microsonde électronique Cambridge Microscan MKV (20 kV-30 nA). Une analyse qualitative préalable a révélé la présence de P, Fe, Mn, Ca et F dans la graphite et la triplite ; la première contient en plus Al et Na, et la seconde, un peu de Mg. Dans la montebbrasite, en plus de Al et P, on a reconnu de faibles teneurs en Fe, Mn, Ca, ainsi qu'un contenu variable en Na et F. Aucun autre élément de nombre atomique supérieur à 9 n'a été décelé. Les composés synthétiques  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Mn, MgO, ainsi que la jadéite (Na) et la wollastonite (Ca) ont servi de standards. Le processus de correction proposé par Sweatmann & Long (1969) a été employé.

Plus récemment, nous avons repris le dosage du fluor dans les trois minéraux en utilisant la microsonde électronique entièrement automatique CAMEBAX et moyennant la triplite  $(\text{Mn,Fe})\text{PO}_4(\text{F,OH})$  de Marivilinatra (Fransolet, 1975)(1) comme standard de fluor.

Le calcul des paramètres cristallographiques des mailles de la triplite et de la montebbrasite a été effectué grâce au programme FORTRAN d'affinement par moindres carrés d'Evans *et al.*, (1963), à partir du dépouillement des diffractogrammes de poudre, enregistrés sur un diffractomètre équipé d'un monochromateur (radiation  $\text{FeK}\alpha$ ) et corrigés avec un standard interne de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

### DESCRIPTION MINERALOGIQUE

L'échantillon RGM 10.303 montre essentiellement de la montebbrasite qui entoure partiellement une

masse brun rosé, de 3 à 4 centimètres de diamètre, constituée d'un mélange intime de graphite et de triplite.

Nous nous limiterons à la description minéralogique des trois espèces essentielles qui constituent une association remarquable dans l'étude génétique des phosphates des pegmatites granitiques. Mise à part la présence de variscite mauve pâle et de phosphosidérite, directement associées à des dépôts mamelonnés d'oxyde de Mn (cryptomélame ?) qui tendent à colmater les fissures, deux autres phosphates, très peu fréquents et uniquement décelés lors de l'examen au microscope polarisant sont restés indéterminés : le premier forme quelques rosettes fibroradiées dans la graphite et la triplite, l'autre, de couleur verte et dispersé dans la montebbrasite, lui donne localement des teintes verdâtres.

### GRIPHITE

La graphite de Buranga, comme celle de la pegmatite du Mas Claret, Massif des Albères, Pyrénées Orientales, France (Fontan *et al.*, 1978), n'est pas métamicté. Le diagramme de poudre, à partir duquel le paramètre  $a$  de la maille cubique = 12,151 Å a été calculé (Fransolet, 1975) (1), figure dans la publication de Fontan *et al.* (1978).

Le résultat de l'analyse chimique à la microsonde électronique est donné dans le tableau I, ainsi que le nombre de cations calculés sur la base de  $24 [\text{PO}_4]^{3-}$  dans la maille. Ce calcul fournit 8,061 atomes F alors que la formule structurale en compte 8 au maximum (Rinaldi, 1978). Ce résultat laisse donc à penser que, dans la graphite de Buranga, la teneur en eau qu'on ne peut pas déterminer chimiquement est négligeable. La somme des cations n'atteint que 36,109 au lieu de 39 comme le prévoit l'analyse structurale (Rinaldi, 1978). Ce déficit pourrait être raisonnablement comblé par 2,891  $\text{Li}^+$  ce qui correspond à 1,06 %  $\text{Li}_2\text{O}$  en poids. Une telle valeur est absolument possible dans le cas de la graphite. A titre d'exemple, Ginzburg (1952) a trouvé 1,15 %  $\text{Li}_2\text{O}$  dans celle de la pegmatite de la rivière Karachin. De plus, si on admet, en se rapportant à l'analyse chimique du mélange graphite-triplite donnée par Fransolet (1975) (1) (tab. I), que les teneurs 5,06 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et 0,64 %  $\text{Li}_2\text{O}$  ne proviennent exclusivement que de la graphite, on déduit simplement une teneur de 1,22 %  $\text{Li}_2\text{O}$ , peu éloignée de celle calculée à partir de l'analyse chimique à la microsonde. Enfin, en ce qui concerne l'éventuelle teneur en fer ferrique, le résultat obtenu sur le mélange, soit 0,91 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , n'est pas de nature à nous éclairer vraiment. Sans tenir compte des impuretés mineures présentes dans la triplite ou la

graphite, Fe<sup>3+</sup> peut intervenir en faible quantité, à la fois dans le réseau de ces deux minéraux.

Actuellement, avec les données de Fontan *et al.* (1978) et la nouvelle analyse effectuée dans ce travail,

Tableau 1.- Analyses chimiques.

|  | 1                    | 2      | 3                   | 4                   | 5                   | 6                   |
|--|----------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>              | 41,93                | 31,28  | 36,85               | 48,53               | 48,09               | 45,80               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>             | 9,67                 | -      | 5,06                | 34,29               | 32,13               | 33,83               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>             | -                    | -      | 0,91                | -                   | -                   | -                   |
| FeO  | 13,12                | 27,63  | 19,95               | 0,08                | 0,65                | 0,13                |
| MnO  | 21,45                | 33,74  | 27,81               | -                   | 1,42                | tr.                 |
| MgO  | -                    | 0,55   | 0,41                | -                   | -                   | -                   |
| CaO  | 5,86                 | 0,77   | 3,49                | -                   | 0,42                | tr.                 |
| Na <sub>2</sub> O                          | 3,40                 | -      | 2,13                | -                   | 1,76                | 6,75                |
| Li <sub>2</sub> O                          | {1,06*}              | -      | 0,64                | {10,15*}            | {9,47*}             | {6,78*}             |
| H <sub>2</sub> O                           | -                    | -      | 0,24                | {4,49*}             | {4,28*}             | {2,97*}             |
| F  | 3,77                 | 8,55   | 5,44                | 3,45                | 4,10                | 6,50                |
| insol.                                     | -                    | -      | 0,16                | -                   | -                   | -                   |
| total                                      | 100,26               | 102,52 | 103,09              | 100,99              | 102,32              | 102,89              |
| O = F                                      | - 1,58               | - 3,59 | - 2,28              | - 1,45              | - 1,72              | - 2,73              |
|  | 98,68                | 98,93  | 100,81              | 99,54               | 100,60              | 100,16              |
| Nombres de cations calculés sur la base de |                      |        |                     |                     |                     |                     |
|  | 24(PO <sub>4</sub> ) | 5(O,F) | 1(PO <sub>4</sub> ) | 1(PO <sub>4</sub> ) | 1(PO <sub>4</sub> ) | 1(PO <sub>4</sub> ) |
| P  | 24,000               | 0,995  | 1,000               | 1,000               | 1,000               | 1,000               |
| Al   | 7,705                | -      | 0,984               | 0,930               | 1,028               | 1,028               |
| Fe   | 7,418                | 0,868  | 0,002               | 0,013               | 0,003               | 0,003               |
| Mn   | 12,284               | 1,074  | -                   | 0,030               | -                   | -                   |
| Mg   | -                    | 0,031  | -                   | -                   | -                   | -                   |
| Ca   | 4,245                | 0,031  | -                   | 0,011               | -                   | -                   |
| Na   | 4,457                | -      | -                   | 0,084               | 0,339               | -                   |
| Li   | (2,891)              | -      | 0,994               | 0,936               | 0,703               | -                   |
| OH   | -                    | -      | 0,729               | 0,701               | 0,511               | -                   |
| F  | 8,061                | 1,016  | 0,266               | 0,318               | 0,530               | -                   |

\* Valeurs calculées.

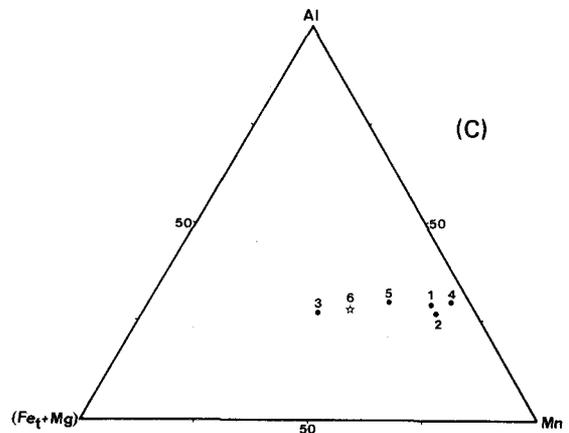
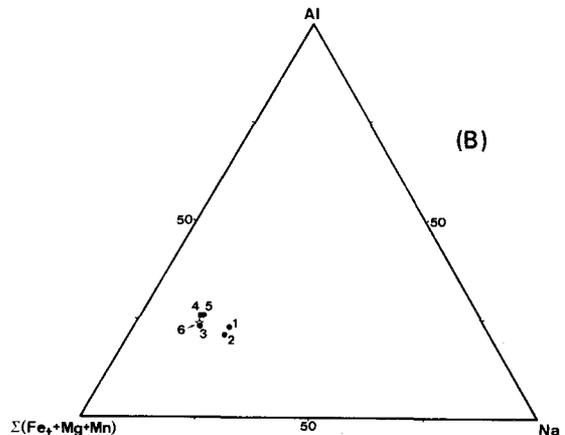
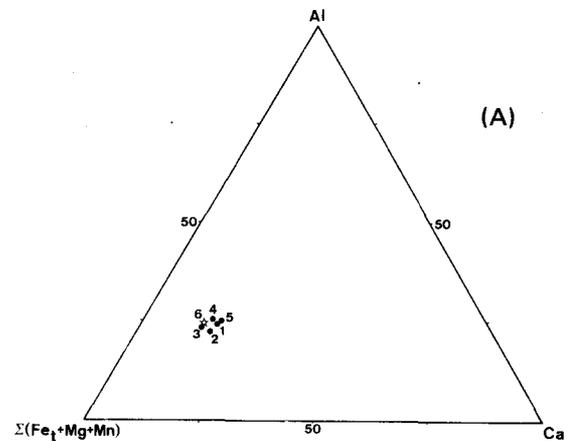
1. Graphite de Buranga (microsonde électronique ; analyste : K. Abraham).
2. Triplite (*idem*).
3. Mélange triplite - graphite (analyse par voie humide ; analyste : J.-M. Speetjens, in Fransolet, 1975) (1).
- 4, 5 et 6. Montebbrasite "II", analyses représentatives à la microsonde électronique (analyste : K. Abraham).

Figure 1

Diagrammes triangulaires Al - Ca - Σ(Fe<sub>t</sub> + Mg + Mn) (A), Al - Na - Σ(Fe<sub>t</sub> + Mg + Mn) (B) et Al - Mn - Σ(Fe<sub>t</sub> + Mg) (C) illustrant la composition chimique des graphites analysés jusqu'à présent.

1 : Riverton Lode, Harney City, South Dakota ; 2 : Rapid City, South Dakota ; 3 : Mount Ida, Northern Territory, Australie ; 4 : Bassin de la Rivière Karachin, Chaîne du Turkestan ; 5 : Mas Claret, Massif des Albères, Pyrénées Orientales (De 1 à 5, in Fontan *et al.*, 1978) ; 6 (étoile) : Buranga, Secteur de Gatumba, Rwanda (*ce travail*).

on dispose de la composition chimique de six graphites. Dans le but de rechercher des comparaisons entre ces données, nous les avons représentées dans différents diagrammes triangulaires et, puisque, dans le cas de Buranga, on ne pouvait pas distinguer chimiquement Fe<sup>2+</sup> et Fe<sup>3+</sup>, nous avons pris le fer total en considération. Parmi les plus significatifs, les diagrammes Al-Ca-(Fe<sub>t</sub> + Mg + Mn) (fig. 1A), Al-Na-(Fe<sub>t</sub> + Mg + Mn)



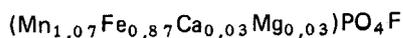
(fig. 1B) et Al-Mn-(Fe<sub>t</sub> + Mg) (fig. 1C) ont été retenus. Alors que le premier indique une constance nette entre les proportions atomiques Al, Ca et (Fe<sub>t</sub> + Mg + Mn) et que le second traduit une certaine richesse en Na de deux griphites des pegmatites des Black Hills, le troisième diagramme, mieux approprié, illustre parfaitement une remarque de Moore & Molin-Case (1974) sur les analyses chimiques de griphite dans lesquelles la variation du contenu Fe/(Fe + Mn) est nette et celle en Al<sup>3+</sup>, peu importante. Ce diagramme renforce également la conclusion de Fransolet (1975) (1) qui, en se basant sur la seule analyse chimique du mélange et les propriétés optiques et cristallographiques, prévoyait la richesse en Fe de la griphite de Buranga, dont le rapport Fe/(Fe + Mn) est fixé à 0,377.

#### TRIPLITE

L'examen au microscope polarisant et l'enregistrement d'un diffractogramme de poudre d'un fragment de la masse brun rose de l'échantillon RGM 10.303 a révélé, en plus de la griphite, la présence de triplite, espèce minérale déjà reprise dans la liste des phosphates de Buranga dressée par Bertossa (1967 - 1968).

Le dépouillement du diffractogramme de poudre de ce mélange (tab. II) permet de calculer les dimensions de la maille de la triplite :  $a = 12,070(4)$ ,  $b = 6,495(1)$ ,  $c = 10,019(2)$  Å,  $\beta = 106^{\circ}49'(1')$  et  $V = 751,8(2)$  Å<sup>3</sup>.

D'après l'analyse chimique à la microsonde électronique, reproduite au tableau I, le calcul des nombres de cations sur la base de 8 [PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup> dans la maille a notamment fourni un nombre d'atomes F = 8,169 au lieu de 8. Malgré un léger excès en fluor, imputable à la méthode analytique, cela montre que dans la triplite également, le nombre d'OH<sup>-</sup> est pratiquement négligeable. Compte tenu des réserves émises précédemment pour le fer ferrique la teneur en H<sub>2</sub>O de 0,24 o/o établie à partir du mélange confirme indirectement les teneurs en fluor très élevées, dosées à la microsonde électronique. Dès lors, le calcul de la composition chimique de la triplite sur la base de 5(O,F) (tab. I) permet de déduire la formule suivante :



avec un rapport Fe/(Fe + Mn) = 0,447.

#### MONTEBRASITE

Deux types de montebrasite peuvent être distingués dans le cas présent : la montebrasite I en masse blanche clivable, constituant la majeure partie de l'échantillon RGM 10.303, et la montebrasite II en petites inclusions finement grenues dans la triplite.

Tableau II  
Dépouillement du diffractogramme de poudre de la triplite, mélangée à la griphite.

| I/I <sub>0</sub> | d <sub>obs.</sub> (Å) | hkl         | d <sub>calc.</sub> (Å) |
|------------------|-----------------------|-------------|------------------------|
| 10               | 4,300                 | $\bar{2}11$ | 4,299                  |
| 5                | 3,946                 | $\bar{1}12$ | 3,945                  |
| 35               | 3,651                 | 211         | 3,652                  |
| 20               | 3,427                 | 112         | 3,427                  |
| 25               | 3,372                 | Griphite    |                        |
| 55               | 3,256                 | 202         | 3,256                  |
| 100              | 3,042 <sup>*</sup>    | $\bar{1}21$ | 3,043                  |
| 30               | 2,950                 | Griphite    |                        |
| 100              | 2,868                 | $\bar{4}02$ | 2,868                  |
| 15               | 2,831                 | 220         | 2,831                  |
| 100              | 2,720                 | Griphite    |                        |
| 10               | 2,691                 | 022         | 2,689                  |
| 5                | 2,655                 | Griphite    |                        |
| 20               | 2,603                 | $\bar{2}22$ | 2,605                  |
| 20               | 2,520                 | $\bar{3}21$ | 2,520                  |
| 50               | 2,482 <sup>*</sup>    | $\bar{2}04$ | 2,483                  |
| 5                | 2,384                 | 411         | 2,388                  |
| 10               | 2,340 <sup>*</sup>    | 213         | 2,339                  |
| 5                | 2,298                 | 222         | 2,299                  |
| 15               | 2,259                 | Griphite    |                        |
| 15               | 2,221                 | $\bar{3}14$ | 2,223                  |
|                  |                       | 512         | 2,224                  |
| 15               | 2,152                 | 123         | 2,152                  |
| 30               | 2,111                 | 501         | 2,112                  |
|                  |                       | 031         | 2,112                  |
| 10               | 2,026 <sup>*</sup>    | $\bar{2}31$ | 2,025                  |
| 30               | 1,990 <sup>*</sup>    | $\bar{1}05$ | 1,987                  |
| 15               | 1,911                 | $\bar{6}11$ | 1,914                  |
| 10               | 1,839                 | 015         | 1,840                  |
| 10               | 1,811 <sup>*</sup>    | $\bar{4}24$ | 1,810                  |
| 10               | 1,792                 | 033         | 1,793                  |
|                  |                       | $\bar{4}15$ | 1,793                  |
| 15               | 1,755                 | Griphite    |                        |
| 15               | 1,745                 | $\bar{5}05$ | 1,745                  |
| 10               | 1,686                 | Griphite    |                        |
| 10               | 1,670                 | $\bar{2}06$ | 1,670                  |
| 15               | 1,639                 | 233         | 1,638                  |

I/I<sub>0</sub> : Intensités mesurées sur le diffractogramme de poudre.

\* : raies de diffraction également caractéristique de la griphite.

(radiation FeK $\alpha$ , correction avec Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Les données, non encore publiées, sur la composition chimique des amblygonites-montebbrasites de Buranga, nous montrent que les substitutions, autres que celles concernant le couple OH-F, sont peu importantes. Les teneurs en Na et Ca, exprimées en oxydes, ne dépassent pas 0,15 - 0,20 % en poids. Cela nous a amené à ne pas entreprendre l'analyse chimique complète de la montebbrasite I et à la caractériser en mesurant indirectement son contenu en fluor par les méthodes diffractométriques.

L'examen par diffraction des rayons X de la montebbrasite I permet de préciser ses propriétés cristallographiques :  $a = 5,177(1)$ ,  $b = 7,171(2)$ ,  $c = 5,045(1)$  Å,  $\alpha = 112^{\circ}42'(1')$ ,  $\beta = 98^{\circ}02'(1')$ ,  $\gamma = 67^{\circ}42'(1')$ ,  $V = 159,8$  Å<sup>3</sup> et  $d_{131} = 1,746$  Å (dont l'angle correspondant, recalculé pour  $\text{CuK}\alpha_1 = 52,35^{\circ}2\theta$ ). En utilisant les relations entre la variation des propriétés cristallographiques de la série  $\text{LiAlPO}_4(\text{F,OH})$  en fonction de la teneur en fluor, établies par Cerná *et al.* (1973), le calcul conduit à une teneur de  $3,8(\pm 0,6)$  % F en poids, moyennant la mesure des sept paramètres de la maille ; d'après la valeur angulaire de  $d_{131}$ , cette teneur vaut 3,3 % F en poids. Si on se base sur la méthode plus rapide dite "méthode des quatre réflexions", récemment publiée par Kallio (1978), la moyenne des quatre teneurs en fluor calculées est de 3,15 % en poids.

L'analyse chimique de la montebbrasite II à la microsonde électronique révèle une très grande hétérogénéité. Celle-ci se traduit déjà par une carte de distribution du sodium réalisée en bordure d'une inclusion de montebbrasite, juste au contact de la griphite (Pl. 1). Il est à remarquer que là où la concentration en sodium est négligeable, la très grande majorité des analyses peut se résoudre de manière représentative par le résultat reproduit en colonne 4 (tab. I) qui indique notamment une teneur en fluor de 3,45 %, pratiquement identique à celle obtenue par méthode semi-quantitative pour la montebbrasite I. Dans les plages où la microsonde a détecté près de 2 %  $\text{Na}_2\text{O}$  en poids, on constate une augmentation du contenu en F, s'accompagnant de teneurs non négligeables en FeO, MnO et CaO, anormalement élevées pour un minéral de la série  $\text{LiAlPO}_4(\text{F,OH})$ . Là où le sodium atteint les teneurs les plus élevées (6,75 %  $\text{Na}_2\text{O}$ ), l'augmentation en fluor se substituant aux groupes  $(\text{OH})^-$  se poursuit nettement et le rôle des éléments mineurs s'atténue. Deux analyses chimiques représentatives de ces phénomènes sont exposées dans le tableau I.

L'identification de cette phase riche en sodium et fluor, mélangée à la montebbrasite I, n'est pas résolue.

Des essais par diffraction des rayons X n'ont fourni que des spectres identiques à celui de la montebbrasite I. Comme le phénomène d'enrichissement en sodium est localisé en bordure des inclusions millimétriques de montebbrasite dans la triplite, il est possible que la méthode de diffraction des rayons X ne permette pas de déceler le mélange de phases. On serait tenté d'envisager la présence de natromontebbrasite mais des recherches actuellement en cours nous amènent à être très prudents à cet égard. De plus, vu la teneur en sodium, les mesures semi-quantitatives préconisées par Cerná *et al.* (1971) ne sont plus applicables.

## DESCRIPTION DE L'ASSOCIATION

En lame mince, la griphite transparente et isotrope montre, par rapport à quelques petites plages de quartz xénomorphe, une légère coloration brun jaunâtre, également caractéristique de la triplite. Dans la zone de contact entre la montebbrasite I et la masse brun rosé, la griphite s'insinue profondément dans la triplite, à la faveur des joints intergranulaires ou en corrodant ses grandes plages monocristallines de 0,5 à 1 cm. Bien que les grains de griphite soient fréquemment crénelés et sans disposition particulière, on observe parfois un contact très net entre les deux minéraux, apparemment en relation avec les traces de clivage assez grossier de la triplite. Localement, une frange irrégulière de griphite se développe en bordure du quartz ou de petits noyaux de montebbrasite à structure très finement polygranulaire. Il faut cependant souligner que l'auréole de griphite, autour de ces noyaux de montebbrasite au milieu des plages de triplite, n'est guère systématique. La griphite en grains isolés dans la montebbrasite est rare.

## DISCUSSION

Les relations structurales qui viennent d'être décrites rappellent curieusement la description que donne Ginzburg (1952) de l'association triplite-griphite-amblygonite *s.l.* de la pegmatite de la rivière Karachin. D'après ses observations, cet auteur suggère que la griphite peut se former par réaction de la triplite en contact avec des solutions riches en Na et Al qui ont donné naissance à l'albite.

L'analyse détaillée de l'association triplite-griphite-montebbrasite de Buranga et la conclusion de Ginzburg (1952) nous amènent à conduire la discussion sur trois volets.

## 1.- LES RELATIONS TRIPLITE-MONTEBRASITE

Sur la seule base de l'échantillon en notre possession, aucun argument pétrographique ne permet de préciser les relations structurales entre la triplite et la montebrasite. La connaissance de leur composition chimique ne fournit pas non plus d'indications pour proposer un ordre d'apparition. Il faut se garder de généraliser par simple comparaison et d'admettre qu'à Buranga, la triplite s'est formée avant la montebrasite, par analogie avec la situation décrite par Ginzburg (1952). En effet, d'après von Knorring (1970), dans les pegmatites du champ de Gatumba, l'amblygonite est fréquemment remplacée par la triplite. Dans l'état actuel de nos connaissances, rien ne s'oppose vraiment à ce qu'on imagine même une syncrystallisation des deux minéraux.

Le manque d'informations précises sur l'ordre d'apparition de ces deux phosphates n'empêche toutefois pas d'envisager le processus de formation de la graphite.

## 2.- LA FORMATION DE LA GRIPHITE

D'après les observations en lames minces, la graphite se forme effectivement par remplacement de la triplite. De plus, l'existence d'inclusions polygranulaires de montebrasite II dans les plages de triplite sans bordure systématique de graphite montre que la triplite et la montebrasite n'ont pas réagi entre elles. Il semble que triplite et montebrasite aient été simultanément affectées par un phénomène hydrothermal. En effet, la structure très finement grenue et la répartition hétérogène de Na associé au F, caractéristiques de la montebrasite II, témoigneraient d'un réajustement hydrothermal subi par la montebrasite I, alors que la graphite serait le résultat de ce même réajustement subi par la triplite. On constate que la majorité des éléments chimiques, apportés ou remobilisés lors de l'action de ces solutions hydrothermales, ont essentiellement retrouvé un site favorable dans le réseau de la graphite. Li et Al n'entrent pas dans la structure de la triplite ; Fe, Mn et Ca sont mal acceptés par la montebrasite. Toutefois, Na et F, présents dans la graphite, ont également engendré l'apparition d'une phase  $(\text{Na,Li})\text{AlPO}_4(\text{F,OH})$  dispersée dans la montebrasite.

Afin de mieux apprécier le mécanisme d'apport ou de remobilisation des éléments chimiques, on peut dresser un bilan du remplacement de la triplite par la graphite en admettant, dans un premier temps, que ce phénomène s'est effectué à volume constant. Le tableau III reproduit le bilan avec les apports (valeurs positives) et les départs (valeurs négatives) indiqués en

nombre d'atomes calculés pour un volume constant de  $1794 \text{ \AA}^3$ , celui de la maille cubique de la graphite. Cette opération montre évidemment l'apport de Na, Al, Ca et Li pour constituer la graphite, mais elle fait apparaître le départ de quantités notables de Fe, Mn et F, ainsi que de Mg non détecté à la microsonde dans la graphite. Ces déplacements d'éléments chimiques, nous permettent d'expliquer la présence de Fe et Mn en faibles teneurs et les concentrations en F, parfois très élevées, associées à la phase riche en Na, dispersée dans la montebrasite au contact de la graphite ou de la triplite. La quantité de Li dans la graphite pourrait même simplement provenir de l'altération de cette montebrasite. Ainsi, la redistribution des cations justifie l'hypothèse d'un réajustement hydrothermal simultané de la triplite et de la montebrasite.

On pourrait établir le même bilan en supposant que le nombre d'atomes P reste constant ; cela modifie évidemment les quantités d'apports et de départs, sans affecter le sens des déplacements. Nous pensons cependant que l'apport de phosphore, résultant du bilan

Tableau III

Bilan chimique du remplacement de la triplite par la graphite.

|    | Triplite | Graphite | $\Delta$ |
|----|----------|----------|----------|
| P  | 19,00    | 24,00    | + 5,00   |
| Al | -        | 7,71     | + 7,71   |
| Fe | 16,57    | 7,42     | - 9,15   |
| Mn | 20,50    | 12,28    | - 8,22   |
| Mg | 0,59     | -        | - 0,59   |
| Ca | 0,59     | 4,25     | + 3,66   |
| Na | -        | 4,46     | + 4,46   |
| Li | -        | 2,89     | + 2,89   |
| F  | 19,40    | 8,06     | -11,34   |
| R  | 0,447    | 0,377    |          |

$\Delta$  est la différence entre les colonnes 2 et 1 (nombres d'atomes calculés sur la base d'un remplacement à volume constant de  $1794,06 \text{ \AA}^3$ ), indiquant les apports (+) et les départs (-).

R : rapport atomique  $\text{Fe}_T/(\text{Fe}_T + \text{Mn})$ .

présenté dans le tableau III, est significatif. Outre la richesse en Na et Al des solutions hydrothermales, telle que la conçoit Ginzburg (1952), le bilan montre qu'il faut tenir compte du Ca et du P, dont les quantités calculées sont loin d'être négligeables par rapport à celles de Na et Al. L'activité chimique en Ca et P des solutions hydrothermales constitue un argument supplémentaire pour renforcer l'hypothèse de Fontan *et al.* (1978) qui envisagent la cristallisation de griphite à la fin de la phase d'albitisation, plutôt que de conclure un peu rapidement que la richesse en Na et Al des solutions hydrothermales implique une relation directe avec celles qui ont déposé l'albite comme le pense Ginzburg (1952). De plus, la concentration en phosphore à la fin de la phase d'albitisation est de nature à justifier également l'apparition de griphite "primaire" dans certaines pegmatites (Gaufroy *et al.*, 1972 ; Fontan *et al.*, 1978) sans nécessairement rechercher la source de cet élément dans le remplacement d'un phosphate initialement formé.

### 3.- LES CONDITIONS DE GISEMENT

Parmi les huit gisements de griphite actuellement connus, tous d'origine pegmatitique, nous ne pouvons en considérer que six. D'une part, le gisement des environs de Rapid City, South Dakota, mentionné par Eakins en 1890 (*in* Palache *et al.*, 1951) est sujet à caution par l'imprécision de localisation dans le vaste

champ pegmatitique des Black Hills et, d'autre part, on ne dispose d'aucune information sur le contexte géologique et minéralogique de la griphite d'une pegmatite du Mont Ida, Northern Territory, Australie (Jaffe, 1946). Bien que Peacor & Simmons (1972) ne donnent également aucune précision sur l'association minéralogique de la griphite de la pegmatite Sitting Bull, Custer, South Dakota, on dispose d'une description de cette pegmatite qui, d'après W.C. Stoll (*in* Page *et al.*, 1953) présente deux zones albitisées très développées, l'une à quartz-béryl-albite et l'autre à quartz-albite-muscovite. Vis-à-vis de la griphite de Buranga, nous nous trouvons un peu dans une situation semblable : l'échantillon étudié ne montre malheureusement aucune relation avec les silicates, mais d'après Varlamoff (1961) et les observations sur le terrain par l'un de nous (A.M.F.), la pegmatite de Buranga montre des phénomènes très nets d'une albitisation développée.

L'ensemble de ces informations, bien que peu nombreuses et encore trop fragmentaires, est regroupé dans le tableau IV. Il montre à l'évidence que la griphite, minéral accessoire et peu fréquent, en relation ou non avec la montebrasite et, parfois, avec la triplite, a été observée dans des pegmatites affectées par une phase d'albitisation, mis à part le gisement des Rehamna dans lequel la nature minéralogique du feldspath associé n'est pas définie (Gaufroy *et al.*, 1972). Compte non

Tableau IV.- Contexte minéralogique de quelques gisements de griphite.

|              | Rivertone<br>Lode, Harney<br>City, South<br>Dakota.<br>(McConnell,<br>1942) | Bassin de<br>la Rivière<br>Karachin,<br>Turkestan.<br>(Ginzburg,<br>1952) | Massif des<br>Rehamna,<br>Maroc.<br>(Gaufroy<br>et al. 1972) | Sitting Bull<br>Custer,<br>South Dakota.<br>(Peacor et<br>Simmons, 1972) | Mas Claret,<br>Massif des<br>Albères, Pyr.<br>Orientales.<br>(Fontan et al.<br>1978) | Buranga,<br>Secteur de<br>Gatumba,<br>Rwanda.<br>(ce travail) |
|--------------|---|---|--|--|--|---|
| GRIPHITE     | ●   | ●   | ●  | ●  | ●  | ●   |
| TRIPLITE     |   | ●   |  |  |  | ●   |
| MONTEBRASITE | ●   | ●   | ●  |  |  | ●   |
| ALBITE       | ●   | ●   | (feldspath)  | ■  | ●  | ■   |
| QUARTZ       | ●   |   | ●  | ■  | ●  | ■   |
| MUSCOVITE    | ●   | ●   | ●  | ■  | ●  | ■   |

● : directement observé en association avec la griphite.

■ : observé dans le gisement.

Les symboles n'ont aucune signification quant à l'abondance des minéraux.

tenu des gisements où la graphite se présente comme un phosphate "primaire", lié à la fin de la phase d'albitisation (voir plus haut) et sachant que la confusion triplite-graphite est possible en l'absence d'investigations minéralogiques appropriées, on serait tenté de spéculer et d'inciter à des études plus détaillées, particulièrement dans le cas d'assemblages à triplite rencontrés dans des pegmatites lithiques et albitisées. Ces circonstances pourraient être favorables à la découverte de nouveaux gisements de graphite.

### CONCLUSIONS

En fournissant une analyse chimique à la microsonde électronique, nous complétons les données minéralogiques sur la graphite de la pegmatite de Buranga, établies par Fransolet (1975) (1) et reprises par Fontan *et al.*, (1978). Avec un rapport  $Fe/(Fe + Mn) = 0,377$  et grâce à la représentation de sa composition chimique dans le diagramme triangulaire Al-Mn-(Fe + Mg), la graphite de Buranga est, avec celle du Mont Ida (Jaffe, 1946), une des plus riches en fer actuellement connues.

Bien qu'une investigation détaillée de la composition chimique de la triplite et de la montebrasite, associées à la graphite, ainsi que l'examen des relations structurales en lames minces ne nous permettent pas de préciser l'ordre d'apparition des deux premiers phosphates, ces données nous amènent à proposer un mode de formation de la graphite dans cette association, en accord avec les remarques d'ordre génétique de Fontan *et al.*, (1978). Plutôt que de conclure à une simple réaction entre la triplite et une solution hydrothermale, riche en Na et Al, pour provoquer l'apparition de graphite, en même temps que cette solution dépose de l'albite, nous envisageons, à la fin de la phase d'albitisation, un réajustement hydrothermal au contact de solutions contenant Na et Al, mais également enrichies en Ca et P, entraînant la corrosion de la triplite avec formation de graphite et, simultanément, l'altération de la montebrasite notamment par une phase  $(Na, Li)AlPO_4(F, OH)$ , répartie de façon hétérogène.

Enfin, une comparaison entre les occurrences de graphite pour lesquelles on connaît, avec plus ou moins de précision, l'environnement minéralogique, nous porte à croire que ce phosphate accessoire apparaît, suivant le processus de formation suggéré, dans des pegmatites affectées par une phase d'albitisation relativement bien développée. On pourrait donc certainement s'attendre à observer à nouveau ce minéral dans d'autres assemblages riches en triplite, rencontrés dans des pegmatites lithiques albitisées du type de celle de Buranga.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements à Dr. M. Deliens et M.G. Comblain, Musée royal d'Afrique centrale, Tervuren, pour l'aimable prêt d'échantillons de phosphates de Buranga, dont celui qui a servi à la réalisation de la présente note. Le premier auteur exprime également sa reconnaissance au Fonds National de la Recherche Scientifique de Belgique qui a financé le voyage au Rwanda, et aux sociétés Géomines et Somirwa qui ont grandement facilité le travail de terrain dans la région de Gatumba. Le manuscrit a été relu et critiqué par Prof. P. Bourguignon (Liège) et Dr. F. Fontan (Toulouse).

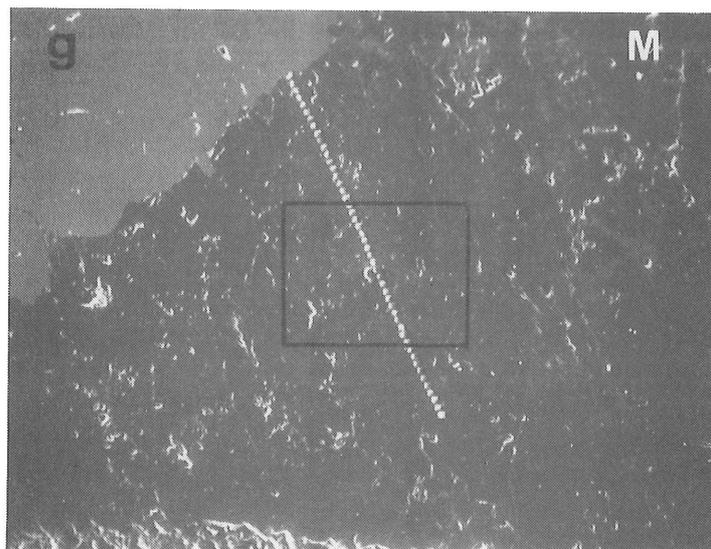
### BIBLIOGRAPHIE

- BERTOSSA, A., 1967-1968. Inventaire des minéraux du Rwanda. Bull. Serv. géol. République Rwandaise, 4 : 25-45.
- CERNÁ, I., CERNÝ, P. & FERGUSON, R.B., 1973. The fluorine content and some physical properties of the amblygonite-montebrasite minerals. Amer. Mineral., 58 : 291-301.
- EVANS, H.T. Jr., APPLEMAN, D.E. & HANDWERKER, S.S., 1963. The least-squares refinement of crystal unit cells with powder diffraction data by an automatic computer indexing method. (abstr.) Amer. Crystallogr. Ass. Meeting, 3.
- FONTAN, F., ORLIAC, M. & PERMINGEAT, F., 1978. Nouvelles données sur la graphite, d'après un échantillon non métamictite des pegmatites du Massif des Albères (Pyrénées-Orientales). Bull. Minéral., 101 : 536-543.
- GAUDEFROY, C., FONTAN, F. & PERMINGEAT, F., 1972. Graphite et montebrasite : nouvel indice de lithium dans les Rehamna (Maroc). Notes Serv. géol. Maroc, 32 (241) : 15-18.
- GINZBURG, A.I., 1952. Graphite dans les pegmatites de la chaîne du Turkestan. (en russe). Dokl. Akad. Nauk., S.S.S.R., 84 (5) : 1045-1048.
- JAFFE, H.W., 1946. A new occurrence of graphite. Amer. Mineral., 31 : 404-406.
- KALLIO, P., 1978. A new X-ray method for the estimation of fluorine content in montebrasites. Amer. Mineral., 63 : 1249-1251.
- KNORRING, O. von, 1970. Mineralogical and geochemical aspects of pegmatites from orogenic belts of equatorial and southern Africa. In African Magmatism and Tectonics. Ed. T.N. Clifford and I.G. Gass, Oliver and Boyd, Edinburgh, 450 pp.
- KNORRING, O. von & FRANSOLET, A.-M., 1977. Gatumbaite,  $CaAl_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot H_2O$  : a new species from Buranga pegmatite, Rwanda. N. Jb. Mineral. Mh., 1977 : 561-568.

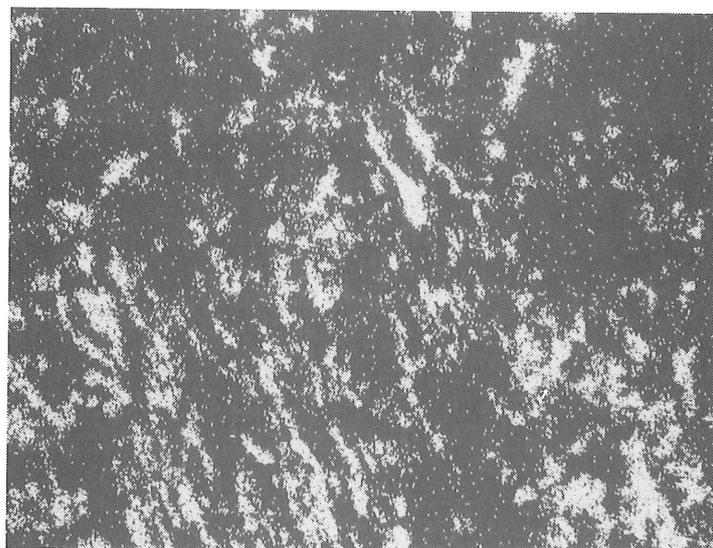
- KNORRING, O. von, LEHTINEN, M. & SAHAMA, Th. G., 1977. Burangaite, a new phosphate mineral from Rwanda. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 49 : 33-36.
- McCONNELL, D., 1942. Graphite, a hydrophosphate garnetoid. *Amer. Mineral.*, 27 : 452-461.
- MOORE, P.B. & MOLIN-CASE, J.A., 1974. Contribution to pegmatite phosphate giant crystal paragenesis : II. The crystal chemistry of wyllieite  $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}(\text{PO}_4)_3$ , a primary phase. *Amer. Mineral.*, 59 : 280-290.
- PAGE, L.R., NORTON, J.J., STOLL, W.C., HANLEY, J.B., ADAMS, J.W., PRAY, L.C., STEVEN, T.A., ERICKSON, M.P., JORALEMON, P., STOPPER, R.F. & HALL, W.E., 1953. Pegmatite investigations, 1942-1945, Black Hills, South Dakota. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 247, 228 pp.
- PALACHE, C., BERMAN, H. & FRONDEL, C., 1951. *Dana's System of Mineralogy*. Vol. II. 7e édit. John Wiley and Sons, New York, 1124 pp.
- PEACOR, D.R. & SIMMONS, W.B. Jr., 1972. New data on graphite. *Amer. Mineral.*, 57 : 269-272.
- RINALDI, R., 1978. The crystal structure of graphite, a complex phosphate, not a garnetoid. *Bull. Mineral.*, 101 : 543-547.
- SWEATMANN, T.R. & LONG, J.V.P., 1969. Quantitative electron-probe microanalysis of rock-forming minerals. *J. Petrol.*, 10 : 332-379.
- VARLAMOFF, N., 1961. Matériaux pour l'étude des pegmatites du Congo et du Rwanda. 4 : Pegmatites à amblygonite et à spodumène et pegmatites fortement albitisées à spodumène et à cassitérite de la région de Katumba (Rwanda). *Ann. Soc. géol. Belg.*, 84 : 257-278.

**PLANCHE 1**

- A : Image (électrons rétrodiffusés) du contact graphite (g) — montebrasite (m). On voit nettement, dans la montebrasite, l'impact provoqué par le faisceau électronique lors des dosages systématiques (100 X).
- B : Carte de distribution du sodium dans la montebrasite "II" (400 X).



A



B