

# **LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD-EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGERIE)**

**Samia NEDJARI\*, Mokrane KESRAOUI\*, Christian MARIGNAC\*\* et Djamel Eddine AISSA\*.**

## **Résumé**

Le massif d'Ebelekan est situé à l'extrémité sud-est du Hoggar central (Algérie) dans le terrane d'Issalane, bloc déplacé le long de mega cisaillements formés au cours de l'orogénèse panafricaine (750Ma-550Ma). Il forme une petite coupole encaissée dans un granite porphyroïde à biotite d'extension régionale. Au nord de celle ciaffleure un microgranite porphyrique à albite, topaze et protolithionite. La coupole elle même est composée d'un granite à albite, topaze et zinnwaldite à grain fin de type réticulé et à quartz à texture «snow ball», surmonté d'une aplite pegmatite rubanée à niveaux blancs aplitiques à quartz, micas et topaze et à niveaux roses pegmatitiques à quartz, micas, topaze et microcline. Le mica est de composition variable: plus riche en lithium et manganèse dans l'aplite, plus riche en fer, dans la pegmatite. Zircon, monazite, columbo-tantalites, wodginite, cassitérite et rutile riches en tantale, forment l'ensemble des accessoires.

Le granite à albite, topaze et zinnwaldite est peralumineux, caractérisé par des teneurs élevées en F, Li, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O (avec Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O), Ga, Rb, Nb, Ta, Sn et très faible en TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, V, Cr, Co, Ni, Ba et W. Il présente de nombreux traits communs avec les granites à topaze et à métaux rares décrits dans le monde et appartiendrait au sous-type de granites «pauvres en phosphore». Il s'en distingue toutefois par son caractère peralumineux plus prononcé, sa pauvreté en Terres Rares et des spectres plus fractionnés. Les principaux minéraux porteurs de Nb-Ta forment une suite à Mn représentée par manganocolumbite-manganotantalite-wodginite-titanowodginite-cassitérite, produit d'un magma riche en fluor. Ce granite par sa composition minéralogique a une affinité pegmatitique. C'est un granite à tantale d'importance sub-économique.

**Mots clés :** Granite à topaze - Tantale - Columbo-tantalite - Wodginite - Cassitérite - Massif d'Ebelekan - Hoggar - Algérie.

---

\* Université des sciences et Technologie Houari Boumedienne-Institut des Sciences de la Terre. Laboratoire de Géologie Minière, BP32, El-Alia16111 Bab Ezzouar -Algérie.

\*\*Laboratoire de Géologie. Ecole des Mines Parc de Saurupt 54 042 Nancy Cedex. France.  
- Manuscrit déposé le 04 Décembre 1999, accepté après révision le 13 Mai 2000.

## THE EBELEKAN MASSIF : A TA BEARING GRANITE IN THE SOUTH-EASTERN OF THE CENTRAL HOGGAR (ALGERIA).

### Abstract

The Ebelekan mount is situated in the farthest south-eastern part of central Hoggar (Algeria) in the Issalane terrane, displaced along megashear zones during the Pan-African orogeny (750Ma-550 Ma). It is a small cupola hosted within a regional megacrystic biotite granite. A porphyritic albite-topaz-protolithionite microgranite, with accessory minerals of zircon, monazite, uranothorite and ferrocolumbite, crops out to the north of the cupola. The latter is capped with a thin greisen lens and is composed of albite-topaz-zinnwaldite granite with fine-grained reticulated texture and "snow ball" quartz (and an overlying banded alpite-pegmatite formed by layers of quartz-micas-topaze with colored alpite and of quartz-micas-topazemicrocline pink colored pegmatite). The mica composition is varying: enriched in Li and Mn in the aplite, and in Fe in the pegmatite. Accessories include zircon, monazite, columbite tantalite, wodginite, Ta-rich cassiterite and rutile. The albite-topaz-zinnwaldite granite is peraluminous, characterized by high F, Li,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  (with  $Na_2O > K_2O$ ), Ga, Rb, Nb, Ta, Sn contents and very low  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $P_2O_5$ , V, Cr, Co, Ni, Sr, Ba and W. It has many features in common with topaz-bearing and rare metal granites described in the world and would belong to "low-P" subtype of topaz granites or "phosphorus-poor" type of Ta-bearing granites. Nevertheless, it is distinct from them in its more peraluminous character, its very depleted REE with fractionated pattern and a weak negative Eu anomaly.

The main Nb-Ta carriers follow a Mn-suite: manganocolumbite-manganotantalite-wodginite-titanowodginite-cassiterite, product of aF-rich melt. The mineralogical composition of the granite reveals a strong pegmatitic affinity. The Ebelekan granite is a Ta-granite and a potential economic ore for this element.

**Key words :** Topaz granite - Tantalum - Columbite-tantalite - Wodginite - Cassiterite - Ebelekan mount - Hoggar - Algeria.

### INTRODUCTION

Les granites peralumineux à topaze ont suscité, ces dernières années, un intérêt croissant, tant par leur composition chimique et minéralogique inhabituelle que par leur association spatiale et temporelle avec des minéralisations à métaux rares de Nb, Ta, Li, Be, Sn, W. Bien que les pegmatites restent encore la source principale de ces métaux dans le monde, les granites pourraient, dans un proche avenir, offrir de plus grandes opportunités (Pollard, 1995).

Ces granites sont riches en F, Si, Na, K, en éléments incompatibles (Li, Rb, W, Sn, Nb, Ta) et pauvres en Ti, Ca, Fe, Mg, Ba, Sr. Ils sont

appelés granites à métaux rares (Raimbault, 1987) ou bien granites à tantale quand leur teneur en Ta est supérieure à celle de Nb (Raimbault *et al.*, 1991). Deux classes peuvent être distinguées (Raimbault, *et al.*, 1991; Taylor, 1992) :

- les granites à amblygonite avec des teneurs élevées en P ( $P_2O_5 > 0,4\%$ ) et en Li, mais pauvres en Si. Ils sont représentés par les massifs de Saint Austell, Angleterre (Weidner et Martin, 1987), Beauvoir; France (Raimbault *et al.*, 1995); Yichun, Chine (Yin *et al.*, 1995).

- les granites pauvres en P ( $P_2O_5 < 0,1\%$ ) qui peuvent être subdivisés en deux sous-classes

## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

en se basant sur leurs courbes de T.R., leurs teneurs en Th et leur association ou pas avec des gisements à W. Les représentants de cette classe sont les massifs d'Eurajoki, Finlande (Haapala, 1977); Pleasant Ridge, Canada (Taylor, 1992); Altenberg et Zinnwald, Allemagne (Tishendorf *and al.*, 1991); Dajishan, Chine (Raimbault *et al.*, 1991). A cette sous classe pourraient se rapporter les granites évolués très pauvres en P et liés aux minéralisations à Sn-W du Hoggar Central en Algérie (Bouabsa, 1987; Moulahoum, 1988; Chalal, 1989; Benazouz-Fezoui, 1989; Kesraoui, 1990; Cheilletz *et al.*, 1992; Djadoun, 1993; Chalal et Marignac, 1997).

Le massif d'Ebelekan, dans l'extrémité S.E. du Hoggar Central, est une coupole granitique dont le caractère tantalifère a été mis en évidence, par analyses spectrales quantitatives, dès le début de la prospection dans cette région par l'entreprise de recherche minière (E.R.E.M.) (Nomokonov, 1990). Le but de cet article est de caractériser du point de vue pétrographique et géochimique ce granite et d'y déterminer les minéraux porteurs de tantale.

## CADRE GÉOLOGIQUE

Le massif d'Ebelekan situé à 400 Km au S.E de Tamanrasset (Hoggar, Algérie) dans le domaine (ou môle) d'Issalane à l'extrémité orientale du Hoggar Central. Ce môle est bordé par deux accidents de direction méridienne (megashear zones), la faille de l'Honag ou du 7°30, à l'Ouest et l'accident du 8°30, à l'Est. Ces deux failles se rejoignent en une seule plus au Nord. Ce domaine est interprété comme un vaste terrane déplacé au cours de l'orogénèse panafricaine (entre 750Ma et 550 Ma) et forme l'extension Nord du terrane d'Assodé (fig.1) défini dans l'Air (Liégeois *et al.*, 1994; Blacket *et al.*, 1994). Il est d'âge éburnéen probable et se compose :

- D'un socle, très déformé, composé de gneiss à biotite rubanés et de gneiss migmatitiques veinés.

- D'un puissant complexe métasédimentaire, métamorphisé dans l'amphibolite-faciès. Il comprend des gneiss, des amphibolites, des marbres et des quartzites chromifères en horizons très continus et associés à des niveaux de leptynites rubanées de nature alcaline à riebeckite et arfvedsonite (Bertrand *et al.*, 1978).

Ces formations ont été partout intrudées par des granitoïdes de composition, morphologie, de type et d'âge variés, marquant toutes les étapes de fermeture océanique, subduction, collision et épaissement crustal qui caractérisent l'épisode panafricain. Ils s'intègrent parfaitement dans les modèles pétrogénétiques et géodynamiques actuels proposés pour l'ensemble du Hoggar (Air et Adrar des Iforas compris) par les différents auteurs (Bertrand et Caby, 1978; Liégeois, 1987; Boullier, 1991, Bonin *et al.*, 1998).

Ces granitoïdes ont été étudiés et décrits pour l'essentiel dans l'Assodé en Air (Liégeois, 1998). Il s'agit :

-D'un granite d'anatexie (type Renatt), syntectonique, daté à 666 Ma +/- 11 Ma.

-De larges batholites composés de granitoïdes non foliés mais de forme très allongée et souvent concordante avec la foliation des roches encaissantes, ou étirés dans la direction N-S, semblant être guidés par les mouvements des «megashear zones». Ils seraient donc tardi-tectoniques. Les âges obtenus se situent dans la fourchette de 645Ma à 580 M.a.

-De petits plutons circulaires de granites leucocrates, post tectoniques et datés à 580Ma.

Au Hoggar, en plus de ces granites, il a été reconnu dans la région d'Issalane (Nord d'Assodé) (fig.1) et dans la région limitrophe d'Asséo à l'ouest, un granite intrusif tardif (post 580 Ma) dessinant des coupoles +/- élevées et à +/- forte dénivelée. Il s'agit du type «Tissalatine», du nom du massif le plus important dans la région (Baziz *et al.*, 1996) et auquel les mêmes auteurs

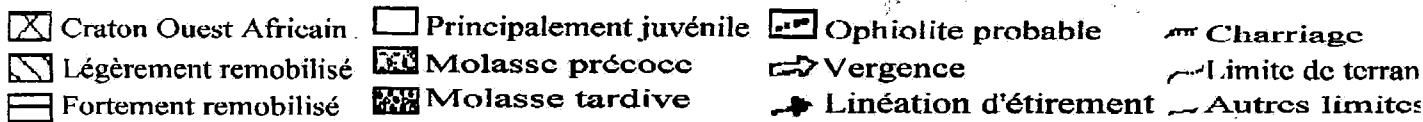
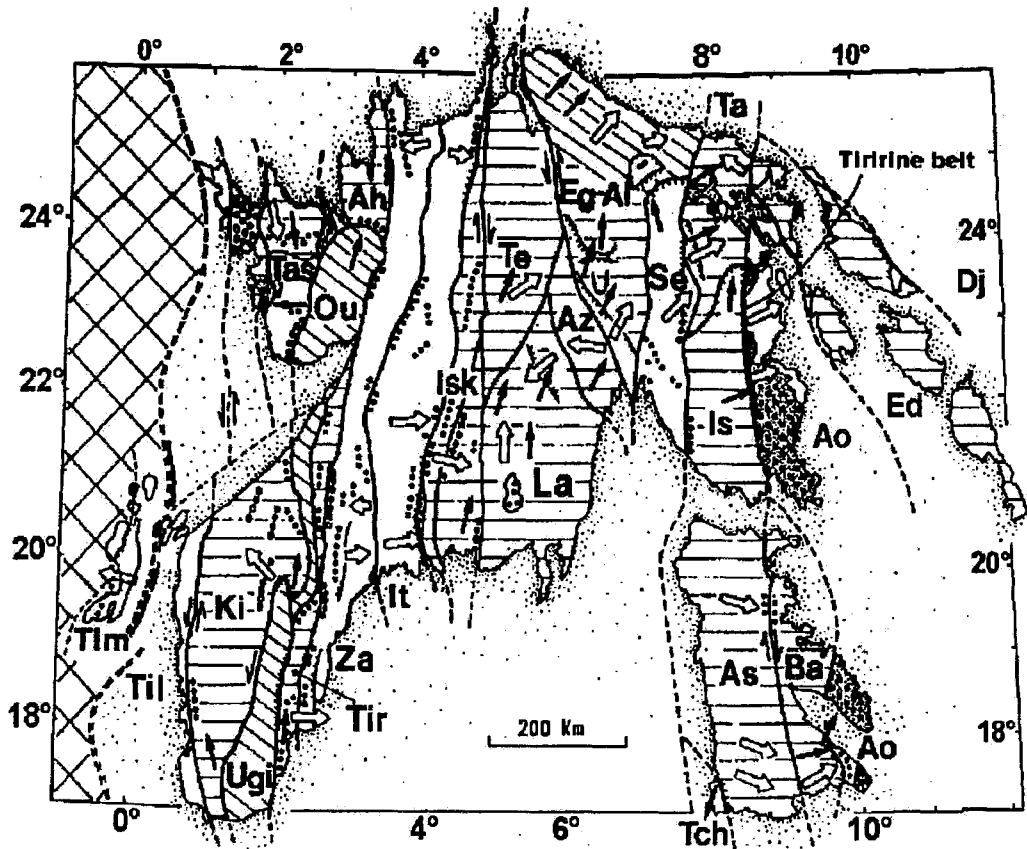


Fig. 1 - Carte des terranes du Bouclier Touareg (d'après Black and al., 1994).  
Les terranes cités dans le texte sont issalane (IS) et Assodé (AS).

*Terrane map of Tuareg shield (after Black and al., 1994).  
The terranes cited in the text are Issalane (IS) and Assode (AS).*

assimilent le granite voisin d'Ebelekan, objet de la présente étude.

Dans le secteur, les principales formations magmatiques affleurantes (Nomokonov, 1990), encaissées dans les terrains métamorphiques du Proterozoïque (Gneiss, amphibolites, quartzites et schistes) sont représentées par :

- Un granite rose, qui affleure très largement. Il est à grain moyen à grossier, porphyroïde, à biotite chloritisée et mégacristaux de microcline.

- Des corps intrusifs qui apparaissent en surface sous la forme de petits pointements épars et de nature variée. Il s'agit successivement de diorites, tonalites, granodiorites accompagnées de micro-

diorites en dykes d'extension et puissance faibles, et de granites gris clair, à texture équare à grain moyen, à biotite rare et minéraux opaques abondants, accompagnés de dykes de microgranites de plus grande importance.

- Un microgranite porphyrique blanc en dykes d'extension réduite. Il se rencontre immédiatement au nord de la coupole granitique objet de cet article. Il a été suivi sur 300m en affleurements discontinus dans une direction N300°. Son étude est abordée ici.

La coupole granitique d'Ebelekan (fig.2) est de petite dimension (500m sur 570m), ovoïde, allongée dans la direction N-E avec 75m de dénivelée. Ses bords sont raides avec un pendage de 60° à 86° N-E. Elle est limitée au N-NE par une lentille de pegmatite à microcline rose de 250m sur 60m. Le contact avec ce granite est marqué par une zone de 5 à 15m de large, riche en quartz et micas. Cette coupole se compose de deux faciès pétrographiques distincts :

- Un faciès dominant représenté par un leucogranite de couleur blanc à blanc rosâtre. Il s'agit du granite à albite, topaze et zinnwaldite. Une bordure fine plus ou moins figée de texture aplitique le limite de son encaissant.

- Un faciès apical à structure rubanée avec des niveaux roses à microcline alternant avec des niveaux blanchâtres très finement grenus.

Le tout est surmonté d'une épaisse lentille de 20m de large de greisen, faiblement inclinée vers le NE.

## PÉTROGRAPHIE

### Le microgranite porphyrique

C'est une roche montrant des quartz globuleux millimétriques de 1 à 2 mm se détachant sur un fond blanchâtre. Au microscope, elle présente

une texture microgrenue porphyrique (pl.I,a). Les phénocristaux sont formés, dans l'ordre d'apparition, par l'albite en grands prismes rectangulaires automorphes, l'orthose souvent perthitique, en sections rectangulaires trapues, les micas en amas de couleur verte très riches en inclusions entourées d'un halo pléochroïque. Ces micas renferment les principaux minéraux accessoires contenus dans la roche. Ils se projettent près du pôle zinnwaldite (fig. 3) mais se rapprocheraient des protolithionites par leur richesse en fer (15.55 à 19.79% FeO) et en fluor (3.86-4.79% F) (tableau I). Le lithium a été estimé selon la relation de Monier, 1987. Le quartz automorphe, souvent corrodé, cristallise en dernier. Il renferme des inclusions fréquentes de topaze (20.35% F).

Les minéraux accessoires sont de petites columbo-tantalites, des zircons en petits cristaux aciculaires ou en grains irréguliers, de la monazite en sections automorphes hexagonales de couleur rouge-brique et de l'uranothorite difficilement reconnaissable au microscope polarisant et identifiée au M.E.B. par ses teneurs en T.R. lourdes associées à Th et U.

La mésostase est de même composition minéralogique. Elle est riche en topaze formant des cristaux aciculaires automorphes ou en groupements radiés, parfois associés à du quartz polycristallin ou encore disposés le long de fractures.

### Le granite à albite et topaze

C'est un granite leucocrate de couleur blanc à blanc-rosâtre à grain fin, d'aspect saccharoïde et renferme des quartz globuleux millimétriques seuls visibles à l'œil nu. Sa texture est cloisonnée ou réticulée (selon Aubert, 1969) et montre une trame constituée de lattes d'albite entrecroisées, de taille et habitus variés, associées à des micas lithinifères mouvant des minéraux de quartz en plages mono à polycristallines globuleuses ou

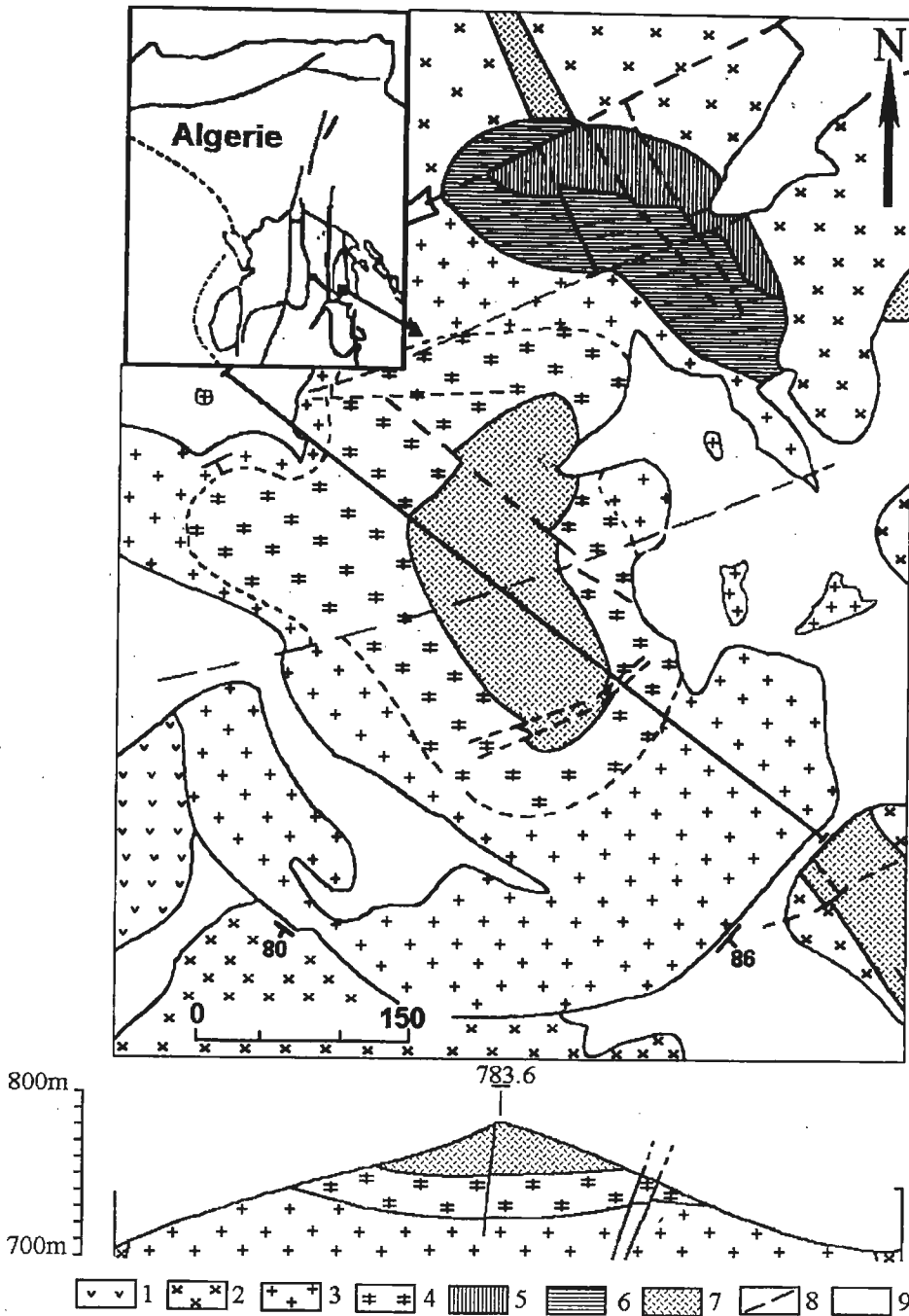


Fig. 2 - Carte géologique et coupe d'Ebelekan (d'après Nomokonov, 1990; modifiées)

*Ebelekan geological map and cross-section (after Nomokonov, 1990; modified)*

1- Diorite et granodiorite (*Diorite and granodiorite*); 2- Granite à Biotite (*Biotite granite*); 3- Granite à Albite-topaze et zinnwaldite (*Albite - topaze and zinnwaldite granite*); 4- Aplite-pegmatite rubanée (*Banded aplite-pegmatite*); 5- Pegmatite, zone feldspathique (*Pegmatite, feldspathitic zone*); 6- Pegmatite, zone micacée (*Pegmatite, mica zone*); 7- Greisen (*Greisen*); 8- Failles (*Fault*); 9- Alluvions (*Stream sediments*).

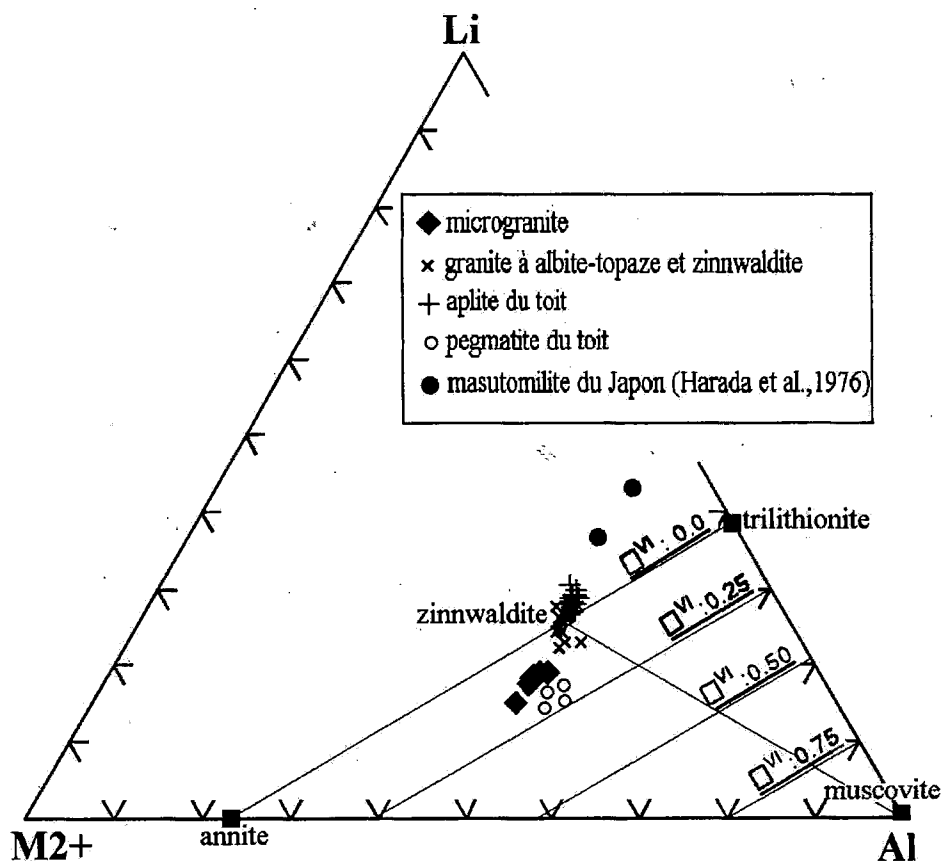


Fig. 3 - Projection des micas du massif d'Ebelekan dans le diagramme  $M^{2+}$ - Li- Al (Monier, 1987).

( $M^{2+} = Fe+Mg+Mn$  a./f.u.)

*Plot of the micas from the Ebelekan mount in the  $M^{2+}$ - Li- Al diagram (Monier, 1987).*

( $M^{2+} = Fe+Mg+Mn$  a./f.u.)

en cristaux sub-automorphes. Les interstices sont comblés par des grains ou des petites plages xénomorphes de quartz, feldspaths potassiques, rares micas en reliques et topaze de forme variée.

L'albite est le premier minéral à cristalliser. Elle se présente soit en lattes ou baguettes, soit en petits cristallites inclus dans le quartz ou les feldspaths potassiques. Il s'agit d'une albite pure, à teneur très basse en anorthite ( $An_{0.2}$ ). Sa cristallisation à un stade magmatique est attestée par la texture en "snow ball" si souvent décrite dans les granites à tantale et caractérisée par un alignement parfait des cristallites

le long des zones de croissances du quartz et du feldspath potassique (pl.I, b).

Les micas sont peu abondants et forment deux générations principales. L'une, précoce, en cristaux prismatiques allongés, sub-automorphes de taille millimétrique. Ils sont faiblement pléochroïques, incolores à brun très pâle. L'autre en petits flocons très corrodés associés au quartz et au feldspath potassique interstitiels. Tous sont riches en fluor et manganèse (tab. I). Ce sont des micas lithiques, le lithium étant calculé à partir de la relation de Monier, 1987. Ils se projettent dans le pôle zinnwaldite (fig. 3).





Le feldspath potassique est une orthose automorphe maclée carlsbad et légèrement perthitique. Il peut aussi se présenter en petites plages dont certaines montrent le moirage du microcline.

La topaze forme de petits cristaux aciculaires en inclusion dans le quartz, mais est plus abondante en assemblage de cristaux sub-automorphes à xénomorphes interstitiels. Sa composition reste constante et particulièrement enrichie en fluor. Il s'agit d'une fuor-topaze avec des teneurs en fluor (~20.2% F) très proches de la valeur théorique maximale de 20.7% (Deer *et al.*, 1966).

Le quartz cristallise en dernier et se présente en plages globuleuses de taille moyenne (2 à 3mm) et parfois en cristaux sub-automorphes ou en grains xénomorphes, de petite taille, comblant les interstices.

Les minéraux accessoires sont le plus souvent inclus dans les micas, où ils s'entourent d'un halo pléochroïque caractéristique, parfois dans la topaze et plus rarement dans l'albite. Le zircon est en grains arrondis ou en petits prismes automorphes, limpides, incolores à jaunâtres. Il est hafnifère, une analyse partielle d'un cristal donne 9.62% HfO<sub>2</sub>. Les oxydes métalliques, abondants, sont des niobo-tantalates de forme variée, et qui feront l'objet d'une description détaillée par la suite. La cassitérite forme des sections isolées bipyramidées, trapues et colorées en brun-rougeâtre. La monazite, en sections automorphes de couleur rouge brique est en quantité négligeable. La fluorine est tardive, en grains épars ou remplissant des cavités et fractures.

Un phénomène d'albitisation est observé par endroit. Il se traduit par la formation de plages microgrenues d'albite saccharoïde corrodant les autres minéraux du granite ou par des figures caractéristiques de remplacement du feldspath potassique (Pl. I, c).

Le faciès de bordure est de couleur rose pâle. Sa texture, très finement grenue à tendance

aplitique est formée par de l'orthose perthitique, quartz, albite et micas colorés en brun-vert, de fines aiguilles de topaze très abondantes et de fluorine. La présence d'oxydes a été révélée à la microsonde. Il s'agit de cassitérite et de rutile.

### L'aplite - pegmatite du toit

Le faciès du toit, situé immédiatement sous le greisen (fig. 2), se distingue par sa structure hétérogène rubanée, composée d'une alternance de niveaux roses tachetés de vert et de passées centimétriques blanches.

Les niveaux roses présentent une texture pegmatitique à gros cristaux de feldspaths, de micas verts en amas, de topaze, de quartz et de muscovite tardive. Le feldspath potassique est un microcline perthitique, parfois en association graphique avec le quartz. Les micas sont abondants, de couleur verte et forment de grandes gerbes comblant les interstices ou sont englobées dans les grandes plages de quartz. Ils présentent des teneurs assez élevées en fluor (3.75% à 4.12% F), en fer (13.55% à 14.84% FeO) et en manganèse (2.8% à 3.11% MnO). Projetés dans le diagramme de Monier, 1987 (fig.3), ils se placent près du pôle zinnwaldite. Ces micas sont soulignés par un liseré d'altération plus clair à composition de muscovite. Une autre génération de muscovite peut être observée en association avec le quartz ou dans des fractures. Elle montre des structures en rosettes ou en sphérolites typiques. La topaze est très abondante en grandes gerbes à structure rayonnante et englobée dans le quartz. Ce dernier forme des grandes plages polycristallines ou des grains xénomorphes interstitiels.

Les passées blanches qui forment le rubanement ont une texture grenue aplitique. Elles sont constituées d'une matrice de microcline, quartz et topaze engrenés, moulant de gros quartz globuleux et des micas prismatiques de couleur beige. L'albite n'apparaît que très rarement sous

forme de petites inclusions dans le quartz, avec le microcline en cristaux sub-hexagonaux ou sub-losangiques. Comparativement aux autres faciès étudiés les micas ont les teneurs les plus fortes en fluor (6.64%-7.46% F) et en manganèse (3.57% à 5.65% MnO) qui les rapprochent des zinnwaldites manganésifères ou masutomilites du Japon (Harada *et al.*, 1976) (fig.3). La topaze montre de belles sections losangiques (pl.I, d) moulées par le quartz. Sa teneur en fluor avoisine les 20 %.

Les minéraux accessoires, aussi bien dans la pegmatite que dans l'aplite, sont surtout des oxydes à Nb et Ta qui se distinguent par leur fréquence, leur grande taille et leur association intime avec la cassitérite en surcroissance à leur pourtour. Le zircon et la monazite y sont rares.

## GÉOCHIMIE

Un nombre de 07 échantillons représentatifs des faciès d'Ebelekan ont été sélectionnés pour des analyses au Service d'Analyses de Roches et de Minéraux du C.R.P.G. de Nancy. Les éléments ont été déterminés par spectrométrie d'émission atomique en ICP-AES pour les majeurs et ICP-MS pour les traces et Terres Rares. Les résultats sont donnés dans le tableau II pour les éléments majeurs et traces et dans le tableau III pour les Terres Rares.

### Les éléments majeurs

Les faciès étudiés montrent des teneurs élevées en silice ( $\text{SiO}_2$  compris entre 73 et 75%), en alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  compris entre 15% et 17%) et en alcalins ( $8.45\% < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 9.74\%$ ). Le granite à albite, topaze et zinnwaldite montre un caractère sodique plus prononcé que le microgranite et l'aplite-pegmatite du toit. Les teneurs en fluor sont assez élevées dans l'ensemble. Les variations de cet élément, observées dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite

( $0.27\% < \text{F} < 0.99\%$ ) semblent indiquer un départ de cet élément au profit du greisen du toit au cours de stades tardi à post-magmatiques. Les teneurs en MnO peuvent être aussi considérées comme assez élevées ( $0.02\% < \text{MnO} < 0.08\%$ ). Les écarts seraient dûs à l'abondance ou non, dans les différents faciès, des micas et oxydes dont la richesse en Mn est révélée à la microsonde électronique. Les roches du massif d'Ebelekan sont appauvries en MgO ( $< 0.05\%$ ), en CaO ( $< 0.16\%$ ), en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $< 0.48\%$ ) et en  $\text{TiO}_2$  (non détecté). Reflétant le caractère lithique de leurs micas (proches du terme zinnwaldite) et la nature albitique de leur plagioclase. L'absence des minéraux phosphatés comme l'apatite ou l'amblygonite expliquent l'extrême pauvreté en phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5 < 0.02\%$ ). Leur caractère peralumineux est indiqué par les paramètres A/CNK (1.13-1.29) et ASI ( $\sim 1.23$ ). Dans le diagramme de classification A-B de Debon et Le Fort, 1988 (fig.4), tous les faciès étudiés se situent dans le domaine des leucogranites issus de magmas sodolithiques. Ils se distinguent des autres granites de la littérature par un paramètre B plus faible. Projetés dans le diagramme normatif Q-Ab-Or (fig.5), le microgranite et l'aplite du toit, du fait de leur caractère plus potassique, se placent entre le minimum sans ajout de fluor et le minimum à 1% de fluor. Le granite à albite, topaze et zinnwaldite, par contre, montre une belle évolution vers le pôle albite et vers le côté Q-Ab du triangle. Ce déplacement correspond, dans un système d'haplogranite saturé en eau à 1 Kb, à une addition de fluor et de lithium (Manning, 1981; London, 1987; Weidner and Martin, 1987).

### Les éléments en traces

Contrairement aux éléments majeurs qui restent assez uniformes dans leur ensemble. Les éléments en traces montrent une plus grande variabilité suivant les faciès reflétant ainsi leur composition minérale particulière. Le microgra-

## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

Tableau II - Données géochimiques en roches totales du massif d'Ebelekan

*Whole rock geochemical data on the Ebelekan mount*

1 - microgranite (*microgranite*); 2 - bordure du granite à albite, topaze et zinnwaldite (*marginal part of the albite, topaze and zinnwaldite granite*); 3,4,5,6 - granite à albite, topaze et zinnwaldite (*albite, topaze and zinnwaldite granite*); 7 - aplite du toit (*aplite of the apical part*).

N° ordre N° Ech	1	2	3	4	5	6	7
	<b>270-6</b>	<b>235-11</b>	<b>1192</b>	<b>C3-1</b>	<b>1210</b>	<b>1212</b>	<b>1213</b>
SiO <sub>2</sub>	74.18	74.77	73.06	73.82	72.94	74.07	73.57
TiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.25	15.47	16.77	15.91	16.38	15.59	15.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63	0.18	0.12	0.48	0.59	0.21	0.29
MnO	0.04	0	0.02	0.07	0.08	0.02	0.02
MgO	0	0.05	0.02	0.03	0.05	0	0.03
CaO	0.09	0.16	0.16	0.09	0.04	0.13	0.04
Na <sub>2</sub> O	4.62	6.06	7.22	5.3	6.41	5.06	4.52
K <sub>2</sub> O	4.29	2.6	2.52	3.15	2.47	3.84	4.87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.03	0.02	0	0.03	0.03	0
F	0.51	0.63	0.27	0.99	0.55	0.46	0.51
LOI	0.65	0.42	0.48	0.92	0.79	0.81	0.7
O_F	0.21	0.27	0.11	0.42	0.23	0.19	0.21
<b>Total</b>	<b>100.07</b>	<b>100.1</b>	<b>100.55</b>	<b>100.34</b>	<b>100.1</b>	<b>100.03</b>	<b>100.05</b>
<b>A/CNK</b>	<b>1.23</b>	<b>1.18</b>	<b>1.13</b>	<b>1.29</b>	<b>1.23</b>	<b>1.23</b>	<b>1.23</b>
<b>Ba</b>	<b>24.9</b>	<b>34.1</b>	<b>25</b>	<b>32.2</b>	<b>38.5</b>	<b>79.5</b>	<b>43.3</b>
<b>Rb</b>	<b>1086</b>	<b>561</b>	<b>1123</b>	<b>1497</b>	<b>1067</b>	<b>1436</b>	<b>1698</b>
<b>Sr</b>	<b>4.8</b>	<b>12.5</b>	<b>7.8</b>	<b>4.6</b>	<b>15.7</b>	<b>13.3</b>	<b>5.3</b>
<b>Ga</b>	<b>48.7</b>	<b>66.7</b>	<b>67.2</b>	<b>74.3</b>	<b>66.7</b>	<b>63.3</b>	<b>58.8</b>
<b>Li</b>	<b>224</b>	<b>38</b>	<b>59</b>	<b>395</b>	<b>383</b>	<b>221</b>	<b>259</b>
<b>Be</b>	<b>3.39</b>	<b>3.49</b>	<b>3.62</b>	<b>2.75</b>	<b>3.07</b>	<b>2.21</b>	<b>2.32</b>
<b>Nb</b>	<b>77.4</b>	<b>53.1</b>	<b>27</b>	<b>53.1</b>	<b>54.6</b>	<b>57.7</b>	<b>40.4</b>
<b>Ta</b>	<b>23.2</b>	<b>73.7</b>	<b>306</b>	<b>191</b>	<b>187</b>	<b>240</b>	<b>133</b>
<b>W</b>	<b>1.52</b>	<b>1.23</b>	<b>1.21</b>	<b>1.59</b>	<b>1.63</b>	<b>1.98</b>	<b>1.08</b>
<b>Sn</b>	<b>13.7</b>	<b>335</b>	<b>51.2</b>	<b>79.1</b>	<b>168</b>	<b>71.7</b>	<b>65.2</b>
<b>Y</b>	<b>12.2</b>	<b>3.83</b>	<b>0.55</b>	<b>0.59</b>	<b>0.99</b>	<b>1.81</b>	<b>0.5</b>
<b>Zn</b>	<b>69.2</b>	<b>20.4</b>	<b>154</b>	<b>316</b>	<b>238</b>	<b>97.2</b>	<b>113</b>
<b>Cu</b>	<b>7.4</b>	<b>4.4</b>	<b>12.3</b>	<b>42</b>	<b>6</b>	<b>23.7</b>	<b>6.4</b>
<b>Hf</b>	<b>5.88</b>	<b>3.33</b>	<b>20.2</b>	<b>4.86</b>	<b>5.63</b>	<b>2.51</b>	<b>2.74</b>
<b>Zr</b>	<b>52.1</b>	<b>16.8</b>	<b>52.6</b>	<b>17.8</b>	<b>22.1</b>	<b>9.31</b>	<b>11</b>
<b>U</b>	<b>4.49</b>	<b>5.91</b>	<b>6.08</b>	<b>4.09</b>	<b>3.26</b>	<b>6.44</b>	<b>2.6</b>
<b>Th</b>	<b>27.3</b>	<b>7.3</b>	<b>1.51</b>	<b>2.8</b>	<b>8.28</b>	<b>12.2</b>	<b>6.63</b>
<b>U/Th</b>	<b>0.16</b>	<b>0.81</b>	<b>4.03</b>	<b>1.46</b>	<b>0.39</b>	<b>0.53</b>	<b>0.39</b>

Tableau III - Teneurs en Terres Rares des roches du massif d'Ebelekan

*Rare Earth Element concentrations for the Ebelekan mount rocks*

1- microgranite (*microgranite*); 2- bordure du granite à albite, topaze et zinnwaldite (*marginal part of the albite, topaze and zinnwaldite granite*); 3,4,5,6 - granite à albite, topaze et zinnwaldite (*albite, topaze and zinnwaldite granite*); 7 - aplite du toit (*aplite of the apical part*).

	1	2	3	4	5	6	7
Ech	270-6	235-11	1192	C3-1	1210	1212	1213
La	25.6	4.1	0.495	0.947	3.02	2.89	1.26
Ce	88.4	16.3	3.61	5.71	12.2	9.95	5.3
Pr	8.23	1.9	0.484	0.701	1.32	1.29	0.564
Nd	24.08	4.29	0.792	0.863	2.92	3.86	1.06
Sm	5.83	1.05	0.181	0.327	0.583	0.626	0.169
Eu	0.05	0.054	0.022	0.015	0.034	0.088	0.028
Gd	3.19	0.555	0.076	0.122	0.253	0.424	0.204
Tb	0.697	0.124	0.016	0.037	0.054	0.058	0.014
Dy	4.72	0.896	0.136	0.244	0.219	0.363	0.124
Ho	0.977	0.18	0.013	0.039	0.041	0.06	0.023
Er	3.42	0.582	0.093	0.086	0.13	0.175	0.071
Tm	0.758	0.158	0.031	0.061	0.042	0.036	0.01
Yb	6.8	1.55	0.224	0.56	0.338	0.382	0.199
Lu	1.06	0.291	0.035	0.093	0.056	0.055	0.024
Total	174.53	32.03	6.21	9.81	21.21	20.26	9.05
Eu/Eu*	0.035	0.216	0.573	0.23	0.271	0.522	0.461
La/YbN	2.7	1.897	1.585	1.213	6.409	5.427	4.542
La/SmN	2.835	2.521	1.766	1.87	3.344	2.98	4.813
Gd/YbN	0.388	0.296	0.281	0.18	0.619	0.918	0.848

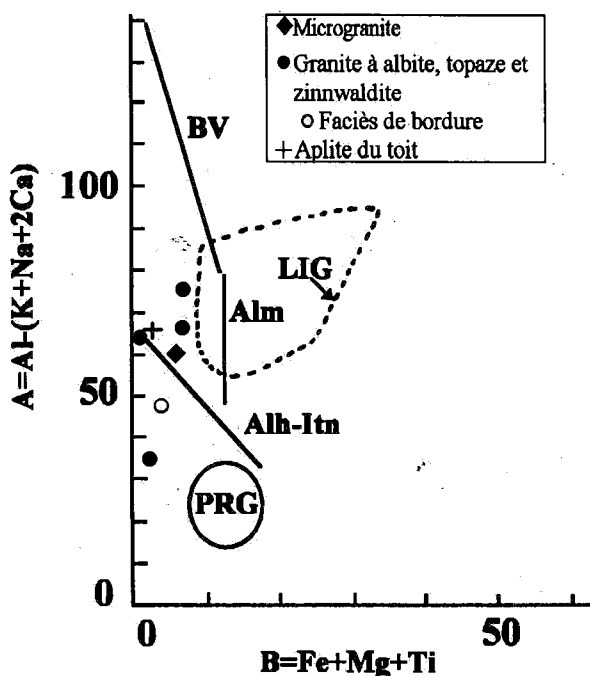


Fig. 4 - Position des roches du massif d'Ebelekan dans le diagramme A-B de Debon et Lefort (1988)

*Location of the Ebelekan mount rocks in the diagram A-B of Debon and Lefort (1988)*

Les domaines de certains autres granites à topaze sont donnés pour comparaison (*Fields of some other topaz granites are given for comparison*).

BV - Beauvoir (Cuney *et al.*, 1992) (*Beauvoir* (Cuney and *al.*, 1992)); Alm - Alameda, Hoggar (Chalal et Marignac, 1997) (*Alameda, Hoggar* (Chalal and Marignac, 1997)); PRG - Pleasant Ridge (Taylor, 1992) (*Pleasant Ridge* (Taylor, 1992)); LIG - Erzebirdge (Cuney and *al.*, 1994) (*Erzebirdge* (Cuney and *al.*, 1994)).

## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

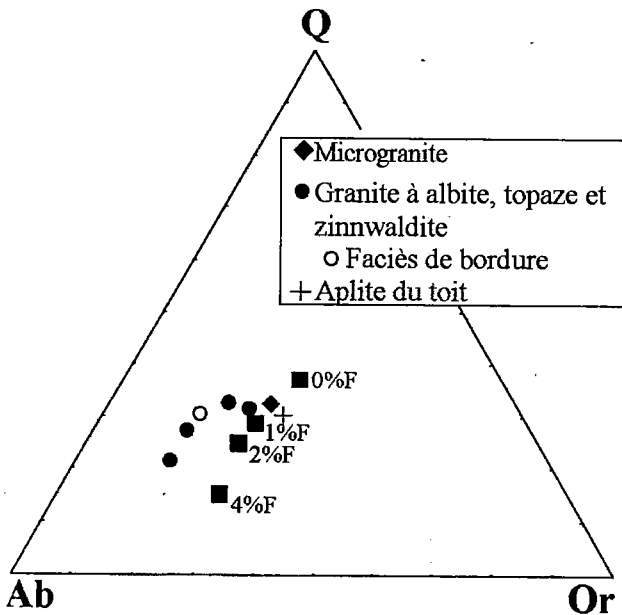


Fig. 5 - Projection des roches du massif d'Ebelekan dans le diagramme Q-Ab-Or. Les carrés pleins montrent les minimums dans le système avec ajout fluor à 1%, 2% et 4% (Manning, 1981).

**Q-Ab-Or plot of the Ebelekan mount rocks. Solid squares show the minima for the system with 1%, 2% and 4% added fluorine (Manning, 1981).**

Le granite à albite, topaze et zinnwaldite est caractérisé par des teneurs plus élevées en Zr, Y, Th, de par sa richesse en minéraux accessoires comme le zircon, la monazite et l'uranothorite connus pour concentrer ces éléments. Il présente la valeur en niobium la plus forte et le rapport Nb/Ta=3.34 le plus élevé, le minéral porteur étant en l'occurrence une ferrocolumbite précoce. Le granite à albite, topaze et zinnwaldite, malgré des variations locales plus ou moins significatives, montrent des teneurs relativement élevées en «alcalins rares» Li, Rb, Ga et incompatibles tels Nb, Ta et Sn dont les valeurs peuvent atteindre pour le Li: 395ppm, Rb: 1497ppm, Ga: 74ppm, Nb: 58ppm, Ta: 306ppm et Sn: 335ppm. Ces éléments sont ceux contenus dans les minéraux présents principalement la zinnwaldite (Li et Rb) et les oxydes métalliques (Nb, Ta et Sn). La teneur élevée en Ga témoigne de la nature albitique du plagioclase et d'une prédominance de l'albite où Ga se substitue à

Al. Le faciès fin de bordure apparaît nettement plus appauvri en Rb, Li et Ta, mais enrichi en étain, la cassitérite y étant plus abondante. Les éléments dont les teneurs très faibles constituent un trait constant sont représentés par les éléments de transition V, Co, Ni, Cr, Mo, les incompatibles tels que Zr, Hf, U, Th, Y ainsi que les alcalino-terreux Sr et Ba piégés dès les premiers stades de la cristallisation fractionnée (cristallisation des plagioclases). Aussi les roches les plus évoluées en sont-elles les plus dépourvues. L'aplite pegmatite du toit (ech. 1213), plus riche en feldspath potassique et micas se distingue par sa teneur élevée en Rb (1698 ppm).

Les teneurs extrêmement faibles en W (<2ppm) individualisent les roches du massif d'Ebelekan par rapport aux granites à métaux rares connus actuellement dans le Hoggar.

### Les Terres Rares

Elles sont caractérisées par des valeurs relativement faibles et une prédominance des Terres Rares légères sur les Terres Rares lourdes (tableau IV). Le fractionnement des TR est principalement contrôlé par les minéraux accessoires. La monazite et l'uraninite sont connues pour concentrer, l'une les Terres Rares légères (ainsi que Th et Y), l'autre les Terres Rares lourdes spécialement Yb et Lu et sont donc des hôtes possibles pour ces éléments (de même que zircon, xénotime, thorite). Les spectres de TR normalisés à la chondrite C1 (fig.6) permettent d'observer une nette distinction entre :

- Le microgranite qui montre les valeurs les plus élevées ( $\Sigma 14 \text{ TR} = 174.53 \text{ ppm}$ ), un spectre régulier en «mouette» et l'anomalie en Eu la plus prononcée ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.035$ ).

- Le faciès fin de bordure (bordure figée du granite à albite, topaze et zinnwaldite) qui, malgré ses faibles teneurs en TR ( $\Sigma \text{TR} < 32 \text{ ppm}$ ) et son anomalie en Eu peu prononcée ( $\text{Eu}/$

Tableau IV - Analyses sélectionnées de columbo-tantalites

*Selected analyses of columbite-tantalites*

1 - microgranite (*microgranite*); 2,3,4,5,6,7 - granite à albite topaze et zinnwaldite (*albite topaze and zinnwaldite granite*); 8 - aplite-pegmatite du toit (*aplite-pegmatite of the apical part*).

	1	2	3	4	5	6	7	8
	<b>270-6</b>	<b>C3-1</b>	<b>C3-1</b>	<b>C3-1</b>	<b>1209</b>	<b>1209</b>	<b>1209</b>	<b>1206</b>
N°	11/1	1/3/01	11/1/01	12/1/03	7/2a	9/1	8/2	10/1/03
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	73.15	56.57	41.15	23.01	44.76	42.01	22.73	25.48
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.03	24.53	39.13	57.82	30.1	40.01	56.55	52.28
SnO <sub>2</sub>	0.29	0.09	0.53	0.48	1.44	0	0.98	1.19
WO <sub>3</sub>	0.68	0	0.18	0.16	0.71	0	0	0.29
TiO <sub>2</sub>	0.4	0.46	1.39	1.5	2.5	0.77	1.78	3.23
FeO	11.24	4.39	2.29	1.25	2.92	1.72	1.75	1.76
MnO	8.43	14.12	14.6	14.54	14.36	15.36	13.69	13.69
CaO	0.14	0	0.03	0	0.25	0	0	0
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.05	0.18	0.27	0.11	0.18	0.26	0.29
UO <sub>2</sub>	0.39	0	0.6	0	0.88	0	0.15	0.76
<b>Total</b>	<b>98.78</b>	<b>100.21</b>	<b>100.08</b>	<b>99.03</b>	<b>98.03</b>	<b>100.05</b>	<b>97.89</b>	<b>98.97</b>
<b>Formules structurales sur la base de 6 Oxygènes.</b>								
Nb	1.91	1.58	1.23	0.76	1.32	1.26	0.76	0.82
Ta	0.06	0.41	0.7	1.15	0.53	0.72	1.14	1.01
Sn	0.01	0	0.01	0.01	0.04	0	0.03	0.03
W	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0.01
Ti	0.017	0.021	0.069	0.083	0.123	0.038	0.099	0.173
Fe <sub>2</sub>	0.544	0.227	0.127	0.077	0.159	0.095	0.108	0.105
Mn	0.413	0.739	0.819	0.903	0.794	0.862	0.858	0.827
Ca	0.009	0	0.002	0	0.017	0	0	0
Sc	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
U	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0	0.01
<b>Total</b>	<b>2.983</b>	<b>2.977</b>	<b>2.977</b>	<b>3.003</b>	<b>3.013</b>	<b>2.985</b>	<b>3.015</b>	<b>3.005</b>
<b>Mn/Mn+Fe</b>	<b>0.432</b>	<b>0.765</b>	<b>0.866</b>	<b>0.921</b>	<b>0.833</b>	<b>0.901</b>	<b>0.888</b>	<b>0.887</b>
<b>Ta/Ta+Nb</b>	<b>0.030</b>	<b>0.206</b>	<b>0.363</b>	<b>0.602</b>	<b>0.286</b>	<b>0.364</b>	<b>0.600</b>	<b>0.552</b>

Eu\*=0.22), présente un spectre qui se rapproche, par l'allure, de celui du microgranite.

- le granite à albite, topaze et zinnwaldite lui-même, qui montre les teneurs les plus faibles (6ppm < ΣTR < 21ppm), des spectres très perturbés avec une anomalie en Eu à peine marquée (0.23 < Eu/Eu\* < 0.57) supérieure à la valeur de 0.10, suggérant la possibilité d'une cristallisation fractionnée (Cocherie *et al.*, 1991). Cependant son allure montre une

tendance vers un modèle en quatre parties incurvées convexes. Ce phénomène signalé dès les années 60 par les chimistes et appelé "Tetrad effect" (Peppard *et al.*, 1969) est souvent observé dans les leucogranites (Masuda and Akagi, 1989; Irber *et al.*, 1999). Il serait lié à un processus d'interaction avec des fluides magmatiques. Ce caractère est accentué dans l'aplite-pegmatite dont le spectre montre une large inflexion au niveau des Terres Rares intermédiaires.

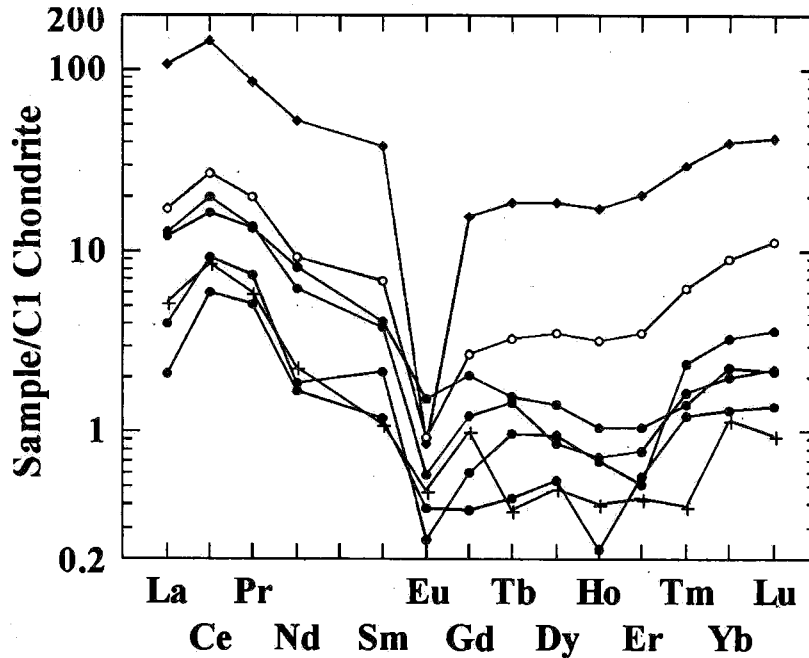


Fig. 6 - Diagrammes des Terres Rares normalisées à la chondrite C1. Losanges pleins : microgranite ; cercles pleins : granites à albite-topaze et zinnwaldite; cercles vides : bordure du granite à albite, topaze et zinnwaldite; croix : aplite du toit.

*C1 chondrite normalized Rare Earth Element patterns. Solid diamonds : microgranite; solid dots : albite-topaze and zinnwaldite granites ; empty dots : marginal part of the albite, topaze and zinnwaldite granite; crosses : aplite of the apical part.*

### Minéralogie des oxydes à Nb et Ta

Les minéraux accessoires (oxydes à Sn, Nb, Ta...) ont été étudiés au "Service Commun de Microanalyses" de l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Ils ont été observés au M.E.B., en mode d'électrons rétrodiffusés, afin de déceler des zonations dans les cristaux. Les compositions chimiques ont été obtenues à la microsonde électronique "Cameca SX 50" avec une tension d'accélération de 20 KV et un courant de 10 nA. Les standards utilisés sont  $\text{CaWO}_3$  pour le calcium et le tungstène,  $\text{LiTaO}_3$  pour le tantale,  $\text{LiNbO}_3$  pour le niobium,  $\text{MnTiO}_3$  pour le manganèse et le titane,  $\text{SnO}_2$  pour l'étain,  $\text{UO}_2$  pour l'uranium,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pour le fer et Sc métal pour le scandium. Les minéraux identifiés sont la columbo-tantalite, la wodginite, la cassitérite et le rutile. Ils sont tous porteurs de Nb et Ta. Dans le diagramme ternaire, Nb+Ta- Sn+W+Ti-

Fe+Mn (fig. 7), ils s'alignent parfaitement sur le joint columbo-tantalite - cassitérite.

### Les columbo-tantalites

Ce sont les minéraux les plus fréquents. Ils sont rencontrés dans le microgranite et le granite à albite, topaze et zinnwaldite.

Leur formule structurale a été calculée sur la base de 6 oxygènes suivant le modèle  $\text{AB}_2\text{O}_6$  où A=Fe et Mn et B= Nb et Ta. Leur structure plus ou moins ordonnée peut tolérer de petites quantités de  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Sc}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Sn}^{4+}$ . Le tableau IV présente quelques unes des compositions de columbo-tantalites, projetées dans le diagramme binaire Ta/Ta+Nb - Mn/Mn+Fe (fig.8).

Dans les microgranites, elles forment de petites baguettes en inclusion dans les micas et

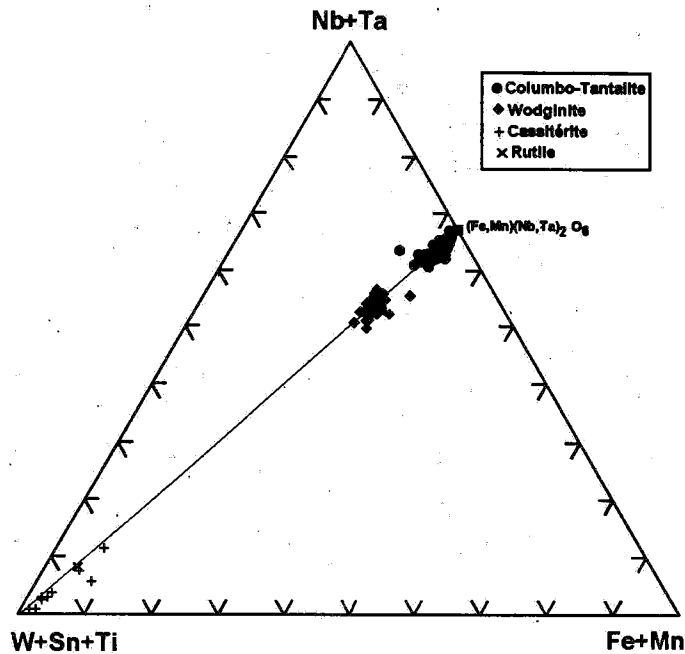


Fig. 7 - Projection des minéraux à Nb et Ta dans le diagramme triangulaire (Nb+Ta) - (W+Ti+Sn) - (Fe+Mn) de Cerny et Ercit (1985)

*Plot of the Nb and Ta bearing minerals in the triangular diagram (Nb+Ta) - (W+Ti+Sn) - (Fe+Mn) from Cerny and Ercit (1985)*

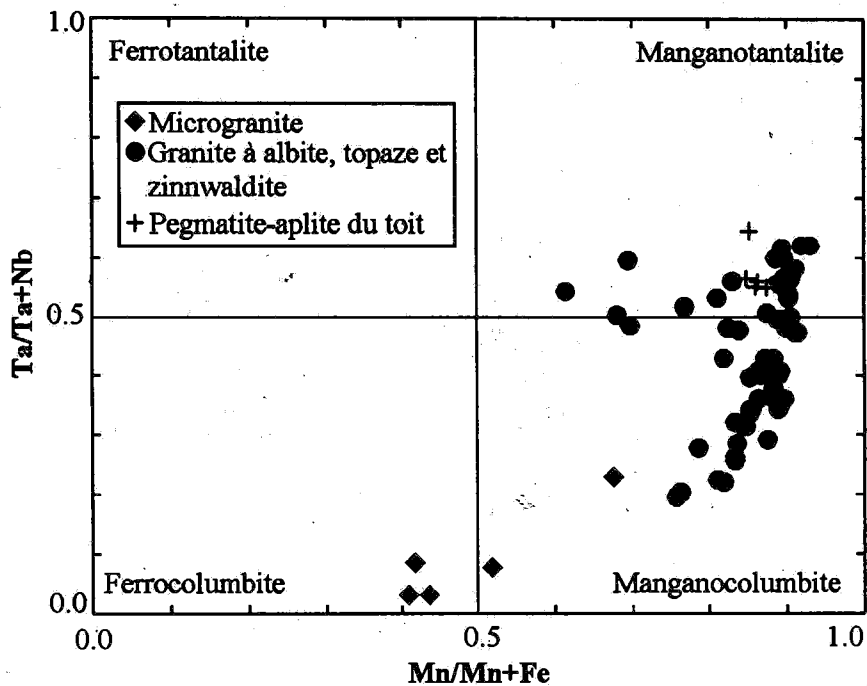


Fig. 8 - Domaine de composition des columbo-tantalites d'Ebelekan dans le diagramme  $[FeNb_2O_6 - MnNb_2O_6 - FeTa_2O_6 - MnTa_2O_6]$

*Compositional field for columbite-tantalite from Ebelekan in the  $[FeNb_2O_6 - MnNb_2O_6 - FeTa_2O_6 - MnTa_2O_6]$  diagram*



le quartz ou des cristaux squelettiques en dissémination dans la matrice microgrenue. Dans tous les cas leur taille ne dépasse pas les 40 $\mu$ . Au M.E.B., elles apparaissent bordées d'un liseré fin plus clair. Ce sont des ferrocolumbite (fig. 8) qui évoluent vers des compositions de manganocolumbite en bordure de cristal avec une augmentation du rapport Mn/Mn+Fe, de 0.4 au cœur des cristaux à 0.7 en bordure.

Dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite, elles se présentent toujours au cœur de la wodginite en baguettes allongées de 100 à 150 $\mu$  (pl.II, a) ou bien en cristaux zonés à contours corrodés (pl.II, b). Reportées dans le diagramme binaire : Ta /Ta+Nb vs Mn/Mn+Fe (fig.8) les compositions se concentrent dans leur grande majorité dans les secteurs correspondant aux manganocolumbites et manganotantalites.

Deux tendances se dégagent :

- L'une, générale, vers un enrichissement croissant et simultané en tantale et manganèse. Elle correspond au zonage normal des individus cristallins impliquant Ta-Nb, Mn-Fe, caractérisé par une augmentation progressive des rapports Ta/Ta+Nb et Mn/Mn+Fe du cœur vers la bordure. Ce trend est interprété comme un fractionnement normal au cours de la cristallisation (Cerny and Ercit, 1989).

- L'autre, plus limitée, inverse, vers un enrichissement en fer et la diminution du rapport Mn/Mn+Fe

### La wodginite

Dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite, la wodginite se développe souvent autour de la columbo-tantalite, en cristaux sub automorphes à automorphes, tabulaires ou en prismatiques aplatis montrant des zones de croissance (pl.II,b). Dans l'aplite-pegmatite du toit, elle est toujours associée à la cassitérite qui forme des surcroissances ou des figures d'interpénétration mutuelle.

Bien que rencontrée dès 1909 à Wodgina (Australie), elle ne fut décrite pour la première fois qu'en 1963 à Bernic Lake, au Manitoba, Canada (Nickel *et al*, 1963) comme une nouvelle espèce minérale, distincte de la tantalite par les paramètres de la maille élémentaire et le système de cristallisation monoclinique. La formule idéale et qui s'écrit Mn Sn Ta<sub>2</sub>O<sub>8</sub> n'a été définie que beaucoup plus tard (Ferguson *et al*, 1976). Les nombreuses substitutions reconnues par la suite impliquant principalement les sites A et C (Cerny et Ercit, 1985 et 1989) feront de la wodginite non plus une espèce unique mais un groupe d'espèces minérales.

Ainsi, d'autres éléments peuvent entrer dans sa composition :

- En quantité importante : Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Ti, Nb, Li
- En quantité moindre : Zr, Sc, Ca, W.

La formule générale peut donc s'écrire de la façon suivante : A<sub>4</sub> B<sub>4</sub> C<sub>8</sub> O<sub>32</sub> avec dans le site A : Mn, Fe<sup>2+</sup>, Li (Sn<sup>2+</sup>, Ca), le site B : Ta, Nb (W) et le site C : Sn, Ti, Fe<sup>3+</sup>, Ta (Sc, Zr).

Une classification fondée sur la nature du cation occupant les sites A et B a été proposée (Ercit *et al*, 1992b) et comprend outre la wodginite sensu stricto de formule Mn Sn Ta<sub>2</sub> O<sub>8</sub>, trois nouvelles espèces reconnues, la ferrowodginite Fe<sup>2+</sup> Sn Ta<sub>2</sub> O<sub>8</sub>, la titanowodginite Mn Ti Ta<sub>2</sub> O<sub>8</sub> et la lithiowodginite Li Ta Ta<sub>2</sub> O<sub>8</sub>. La ferrotitanowodginite Fe Ti Ta<sub>2</sub> O<sub>8</sub> insuffisamment caractérisée reste hypothétique.

La wodginite s.l a été décrite dans de nombreuses localités (Black Hills, South Dakota; Bernic Lake, Manitoba; Separation Rapids, Ontario; Ankole, Ouganda et Karibib, Namibie) comme un minéral à étain-tantale associé exclusivement aux pegmatites riches en lithium.

La formule structurale des wodginites d'Ebelekane (tableau V) a été calculée sur la base de 32 oxygènes selon les recommandations d'Ercit

**Tableau V - Analyses sélectionnées de wodginite**  
**Selected analyses of wodginite**

1-7- granite à albite, topaze et zinnwaldite (*albite, topaze and zinnwaldite granite*); 8-10 - aplite du toit (*aplite of the apical part*).

Ech.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No	C3-1 13/5	C3-1 6/1/04	1209 8/1	1209 9/5	1193 5/1	1193 3/3	1193 4/3	294 3/4	294 2/1	294 12/3
Nb2O5	12.55	8.65	10.73	13.28	3.25	11.45	10.64	8.81	10.47	11.76
Ta2O5	56.55	62.12	59.57	58.30	69.89	59.67	58.86	61.08	59.74	57.13
SnO2	12.19	11.12	14.21	10.21	8.25	13.62	11.53	10.98	8.28	7.90
TiO2	3.66	3.59	2.62	1.35	3.88	1.76	3.17	3.05	5.06	8.13
Sc2O3	0.25	0.24	0.33	0.32	0.28	0.34	0.29	0.35	0.35	0.36
WO3	0.65	0.00	0.31	0.01	1.52	0.98	0.88	1.61	1.55	1.48
UO2	0.24	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.17	0.04	0.44	0.00
FeO	1.70	1.74	1.76	8.38	1.62	3.70	3.75	1.26	1.49	2.34
MnO	11.09	11.10	10.23	6.22	10.81	9.06	7.97	11.16	11.04	9.97
CaO	0.00	0.07	0.06	0.06	0.02	0.09	0.08	0.09	0.00	0.00
Total	98.87	98.63	99.81	98.14	99.85	100.68	97.33	98.43	98.43	99.08
Oxydes recalculés.										
Li2O	0	0	0.047	0	0.016	0.019	0.086	0.021	0.03	0.034
FeO	0.804	0.67	1.205	6.173	0.38	2.608	3.068	0.182	0.555	2.109
MnO	11.086	11.099	10.233	6.224	10.814	9.063	7.975	11.158	11.045	9.974
CaO	0	0.067	0.061	0.056	0.017	0.091	0.077	0.092	0.001	0
Fe2O3	0.99	1.191	0.614	2.455	1.373	1.216	0.761	1.196	1.036	0.256
TiO2	3.659	3.592	2.62	1.348	3.879	1.76	3.166	3.054	5.064	8.131
SnO2	12.192	11.121	14.207	10.209	8.245	13.617	11.528	10.978	8.276	7.896
Sc2O3	0.253	0.238	0.328	0.319	0.283	0.342	0.291	0.349	0.348	0.363
UO2	0.235	0	0	0	0.338	0	0.166	0.043	0.443	0
Nb2O5	12.551	8.648	10.725	13.282	3.254	11.453	10.639	8.807	10.473	11.762
Ta2O5	56.552	62.121	59.57	58.302	69.886	59.67	58.86	61.08	59.737	57.13
WO3	0.648	0	0.307	0.015	1.52	0.982	0.879	1.612	1.555	1.48
Total	98.97	98.75	99.92	98.38	100.01	100.82	97.5	98.57	98.56	99.14
Formule structurale sur la base de 32 oxygènes.										
Li	0	0	0.076	0	0.027	0.031	0.143	0.035	0.049	0.053
Fe2	0.269	0.23	0.408	2.104	0.133	0.877	1.058	0.063	0.187	0.681
MnA	3.731	3.741	3.49	1.872	3.832	3.053	2.765	3.861	3.764	3.266
Ca	0	0.029	0.026	0.024	0.008	0.039	0.034	0.041	0	0
Total A	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
MnB	0.026	0.117	0.017	0.276	0.005	0.033	0.021	0.033	0	0
Fe3	0.298	0.367	0.187	0.752	0.432	0.367	0.236	0.37	0.313	0.074
Ti	1.101	1.109	0.797	0.413	1.222	0.532	0.982	0.947	1.532	2.362
Sn	1.945	1.82	2.292	1.659	1.377	2.183	1.896	1.804	1.327	1.216
Sc	0.088	0.085	0.116	0.113	0.103	0.12	0.104	0.125	0.122	0.122
U	0.021	0	0	0	0.032	0	0.015	0.004	0.04	0
Tab	0.491	0.538	0.549	0.912	0.744	0.708	0.682	0.659	0.599	0.202
Total B	3.97	4.036	3.958	4.125	3.915	3.943	3.936	3.942	3.933	3.976
Nb	2.27	1.604	1.962	2.447	0.616	2.081	1.984	1.641	1.904	2.053
Tac	5.663	6.396	6.006	5.551	7.219	5.817	5.922	6.187	5.934	5.799
W	0.067	0	0.032	0.002	0.165	0.102	0.094	0.172	0.162	0.148
Total C	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Cations	15.97	16.036	15.958	16.125	15.915	15.943	15.936	15.942	15.931	15.972
MnA/A	0.933	0.935	0.873	0.468	0.958	0.763	0.691	0.965	0.941	0.817
Ti/B	0.277	0.275	0.201	0.1	0.312	0.135	0.249	0.24	0.39	0.595

## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

*et al.*, 1992a, tenant compte des contraintes liées essentiellement aux valeurs inconnues du Li (souvent non dosé) et du rapport  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  (à partir du Fer total). Leur détermination peut se faire par déduction sachant que dans les formes les plus ordonnées :

- Le site C ne comporte que Ta et Nb, concentre tout le Nb et W et est comblé par Ta .

- Le site B comporte Sn et Ti et tout le Ta en excès dans le site C (Tab) ainsi que Sc et Zr.

- Le site A comporte Mn et Li ainsi que  $Fe^{2+}$ . Trois conditions doivent être réunies :

- La somme siteB+siteA est égale à 12.

- Tout le fer est ferreux dans le site A. Tout le fer est ferrique dans le site B.

- L'excès de charge positive dû à l'introduction de Ta dans le site B est équilibré par l'introduction de  $Fe^{3+}$  dans ce même site et de Li dans le site A. Li peut ainsi être déterminé par la différence (sachant que le nombre de charge positive par unité est égal à 64).

Reportées sur un diagramme binaire MnA/Total A Site-Ti/Total B site (fig.9), les compositions d'Ebelekan correspondent essentiellement à des wodginites. Des variations sont toutefois observées, liées à la fois à une évolution du cœur vers la périphérie du cristal lui-même et à la nature du faciès-hôte. Ces variations concernent principalement le rapport Fe/Mn qui diminue tandis que le rapport Ti/Sn augmente formant une solution continue du cœur vers la bordure. La wodginite tend à évoluer vers une titanowodginite dans l'aplite pegmatite du toit.

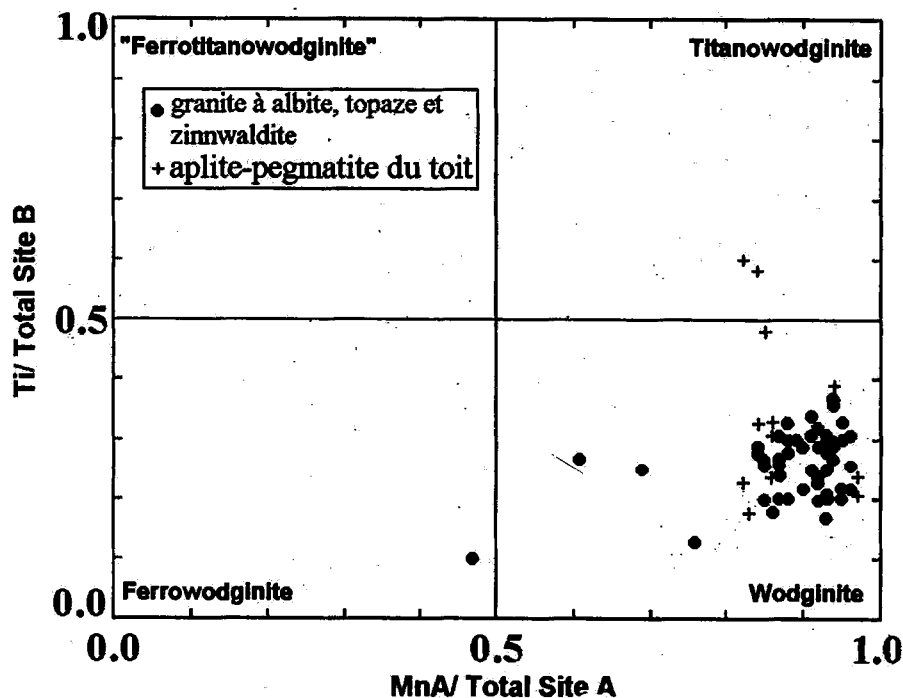


Fig. 9 - Diagramme Mn/Total A site sur Ti/Total B site (d'après Tindle and Breaks, 1998) pour les minéraux du groupe de la wodginite d'Ebelekan. Le site A comprend MnA,  $Fe^{2+}$  et Li, le site B comprend MnB,  $Fe^{3+}$ , Ti, Sn, Sc, U et TaB.

**MnA/Total A site versus Ti/Total B site diagram (after Tindle and Breaks, 1998) for wodginite - group minerals from Ebelekan. The A site element include MnA,  $Fe^{2+}$  et LI, and B site element include MnB,  $Fe^{3+}$ , Ti, Sn, Sc, U et TaB.**

### La cassitérite

Elle se présente sous deux formes différentes :

- Disséminée dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite en rares sections isolées automorphes à sub-automorphes carrées ou octogonales, de couleur brun-rouge à brun-orangé de petite taille (30-50  $\mu$ ). Sa composition chimique (tableau VI) varie de la bordure figée vers le cœur du granite, s'appauvrissant en Nb, Fe, Ti(Ta) devenant plus "pure" mais aussi plus rare. Cette diminution des teneurs est vraisemblablement due à la baisse de température de cristallisation.

- Intimement liée à la wodginite, constituant des surcroissances autour des cristaux dont elles représentent la dernière phase de cristallisation. Cette forme est rencontrée exclusivement dans l'aplite-pegmatite du toit.

La cassitérite est un minéral accessoire caractéristique des granites à topaze. Son mode d'occurrence, sa composition chimique (Ta + Nb élevé) indiquent une origine primaire, tardi-magmatique (Haapala, 1997). Les travaux expérimentaux ont montré que la solubilité de la cassitérite dans des magmas granitiques diminuait à la fois avec la température, le rapport Na+K/Al et le rapport Na/K et avec l'augmentation de la fugacité de l'oxygène. Ainsi, durant le stade principal de cristallisation, l'étain (sous forme de Sn<sup>2+</sup>) se retrouve dans le magma résiduel. Une augmentation de la fugacité de l'oxygène dans les stades plus tardifs de l'évolution magmatique entraîne sa cristallisation (sous forme de Sn<sup>4+</sup>) (Linnen *et al.*, 1996).

### Le rutile

De taille microscopique (<50  $\mu$ ), le rutile n'a été identifié qu'à la microsonde dans le faciès fin de bordure du granite à albite, topaze et zinnwaldite. Il se caractérise par sa richesse en Nb et Ta (tableau VI).

### DISCUSSION ET CONCLUSION

Le microgranite, affleurant au nord de la coupole d'Ebelekan se rapprocherait du type "Tissalatine" défini dans la même région (Baziz *et al.*, 1996). Il présente un caractère moins évolué que le granite de la coupole. Il est à protolithionite, plus riche en zircon et en ferrocolumbite. Le rapport Nb/Ta est plus élevé et ses teneurs en Rb, Li et Sn sont les plus basses. Les Terres Rares sont plus abondantes et montrent un spectre typique en «mouette».

Le granite d'Ebelekan présente des caractères pétrographiques, minéralogiques et géochimiques qui soulignent sa nature très spécialisée et très évoluée. Il représente une phase magmatique plus tardive différente de celle du microgranite. Il ressemble aux autres granites à topaze et à métaux rares connus dans le monde (cf. Introduction), avec lesquels il partage de nombreux traits communs.

- Il est composé de quartz, feldspaths potassiques, albite, micas lithiques (zinnwaldite) et topaze (fluortopaze). Les minéraux accessoires sont le zircon, la monazite, le rutile, la cassitérite et les niobo-tantalates (columbotantalites et wodginite).

- Il est caractérisé par des teneurs très basses en TiO<sub>2</sub>, MgO, FeO, CaO, V, Cr, Co, Ni, Ba, Cu, Mo et Sr et des teneurs très élevées en Na<sub>2</sub>O, F, Li, Rb, Ga, Nb, Ta et Sn. Les seules divergences concernent les valeurs anormalement basses de Cs (<1.90 ppm) et de W (<1.98 ppm).

- Il se classe dans le groupe des granites riches en silice et pauvres en phosphore ou "low-P Type" dont le plus représentatif est le granite de Pleasant Ridge (Taylor, 1992). Il est, en effet peralumineux (A/CNK= 1.13-1.23), riche en silice (Si O<sub>2</sub>>73%), sans phosphates et très pauvre en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><0.03 %). Il se distingue toutefois de ce groupe par son caractère peralumineux plus prononcé, des teneurs plus

Tableau VI - Analyses sélectionnées de cassitérites et de rutiles

*Selected analyses of cassiterite and rutile*

1 -Cassitérites du granite à albite, topaze et zinnwaldite (*Cassiterite of the albite, topaze and zinnwaldite granite*), 2 - de la bordure (*of the marginal part*), 3,4 - de l'aplite-pegmatite du toit (*of the aplite-pegmatite in the apical part*), 5 - Rutile de la bordure du granite à albite, topaze et zinnwaldite (*Rutile of the marginal part in the albite, topaze and zinnwaldite granite*).

N°	1	2	3	4	5
Ech.	C3-1	235-11	1206	1206	235-11
N°analyse	13/2/03	3/1	1/1/01	10/1/02	1/1
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.228	0.18	0.74	8.051
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.06	5.405	3.82	10.02	6.662
SnO <sub>2</sub>	92.98	92.299	94.42	84.96	0.236
WO <sub>3</sub>	0.1	0	0.04	0.47	0.56
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.149	0.81	1.22	78.864
FeO	0.9	1.186	0.56	1.92	4.275
MnO	0.2	0.006	0.18	0.4	0.055
CaO	0.37	0.407	0.27	0.3	0.926
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0.09	0.055
UO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0.017
Total	99.07	99.68	100.28	100.12	99.7
<b>Formules structurales sur la base de 2 Oxygènes.</b>					
Nb	0	0	0	0.01	0.05
Ta	0.03	0.04	0.03	0.07	0.03
Sn	0.94	0.93	0.94	0.85	0
W	0	0	0	0	0
Ti	0.005	0.003	0.015	0.023	0.862
Fe <sub>2</sub>	0.019	0.025	0.012	0.04	0.052
Mn	0.004	0	0.004	0.008	0.001
Ca	0.01	0.011	0.007	0.008	0.014
Sc	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0
Total	1.008	1.009	1.008	1.009	1.009

élevées en alumine ( $Al_2O_3=16\%$ ) et très faibles en T.R. ( $6ppm < \sum T.R. < 32 ppm$ ). Ses spectres assez bien fractionnés avec une anomalie négative peu marquée en Eu ( $0.2 < Eu/Eu^* < 0.6$ ) et un enrichissement en Terres Rares légères plus important (La /YbN jusqu'à 6.4) sont différents des spectres en "mouette" non fractionnés des granites pauvres en phosphore. Ces derniers caractères sont à relier à la teneur élevée en alumine (Raimbault, 1998) et donc comparables à ceux du granite de Beauvoir (Raimbault *et al.*, 1995).

Le granite d'Ebelekan est un granite à tantale au sens de Raimbault *et al.*, (1991). Comparé à d'autres granites cités dans la littérature (tableau VII), il se caractérise par une teneur moyenne

en tantale plus élevée et une concentration moyenne en tungstène négligeable.

L'origine des granites à topaze ou à tantale a longtemps été sujet à controverses. Deux modèles principaux ont été évoqués pour expliquer leur genèse :

- Le modèle métasomatique ou modèle d'apogranite, développé à la fin des années 50 (Beus *et al.*, 1962) qui envisage une transformation subsolidus d'un granite à biotite en granite à Li-F par une altération hydrothermale postmagmatique dominante. Les granites à albite les plus évolués et porteurs principaux d'une minéralisation à métaux rares seraient les produits

**Tableau VII** - Caractéristiques géochimiques du granite à tantale d'Ebelekan et comparaison avec les données de la littérature

*Geochemical characteristics of the Ebelekan Ta-bearing granite and comparison with the literature data.*

1, 2 et 3 - Raimbault *et al.*, 1991 (Raimbault and al., 1991); 4 - Helba *et al.*, 1997 (Helba and al., 1997).

N° ordre	1	2	3	4	5
	Beauvoir	Yichun	Dajishan	Egypte	Ebelekan
Ech.	B1	Ych	Djs	East.	Ebk
	n=20	n=4	n=11	n=51	n=5
Ta (ppm)	160	186	169	155	199
Nb/Ta	0.51	0.23	0.31	0.39	0.25
SiO <sub>2</sub> %	67.7	69.6	75.3	72.64	73.73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	1.45	0.58	0.03	0.02	0.02
LiO <sub>2</sub> %	1.25	1.31	0.02	0.01	0.05
Na/K	2.22	3.86	1.96	2.5	3.13
ASI	1.51	1.38	1.29	1.07	1.23
Fe/Mn	3.6	0.8	2.6	2.75	7.39
Mn (ppm)	262	864	1922	774.46	294
Ga "	53	39	37	76	68
Zr "	26	26	26	47	24
Ag "	0.6	—	3.62	—	—
Sn "	1330	90	55	20	141
Sb "	0.54	0.06	0.21	—	—
W "	45	17	498	—	2
Th "	0.72	3.62	1.19	—	6.42

d'une albitisation intense de granites préexistants par des solutions post-magmatiques qui lessivent les métaux des zones les plus profondes pour les concentrer au toit.

- Le modèle magmatique, développé dans les années 70, à partir d'arguments géochimiques, minéralogiques et structuraux (la texture en snowball, par exemple) est largement admis aujourd'hui (Pollard, 1989; Cuney *et al.*, 1992; Lin Yin *et al.*, 1995; Raimbault *et al.*, 1995), suite à la découverte de roches volcaniques et sub-volcaniques équivalentes des granites à topaze telles les ongonites (obsidiennes à topaze) de Mongolie (Kovalenko and Kovalenko, 1976), les rhyolites à topaze de Finlande (Haapala, 1977) ou d'Amérique (Christiansen *et al.*, 1986; Congdon and Nash, 1991) ou les macusanites (quartz-kératophyres) du Pérou (Pichavant *and al.*, 1987). Cette hypothèse est aussi confirmée par les progrès réalisés en laboratoire et les travaux expérimentaux sur les effets de l'addition du fluor ou du lithium dans un système haplogranitique expliquant la présence de l'albite (Manning, 1981; Pichavant *et al.*, 1987; London, 1987). Enfin, l'étude des inclusions fluides a prouvé l'existence de tels magmas dans la nature (Pichavant *et al.*, 1987). Les granites à tantale (Nb, Li, Sn) seraient ainsi les produits d'une différenciation magmatique et d'un fractionnement extrême de magmas granitiques et d'une cristallisation subsolvus à partir d'un magma résiduel riche en éléments volatiles (F, B, Li, P...).

Les travaux expérimentaux (Manning, 1981) montrent que la présence de fluor diminue la température du solidus (entre 450°C et 500°C) tout en diminuant la viscosité du magma, permettant ainsi d'allonger la durée de la cristallisation et d'atteindre des fractionnements élevés et des niveaux de mise en place plus élevés dans la croûte terrestre (d'où les textures particulières de ces granites).

Cependant, la cristallisation fractionnée s'accompagne, particulièrement dans les stades tardifs, d'une phase fluide aqueuse active et qui joue un rôle important dans l'évolution des roches. Ainsi, l'enrichissement en Ta et en éléments incompatibles associés (Li, Rb, Sn et U) et leur corrélation positive avec le fluor, caractéristiques de beaucoup de granites à Li-F issus de magmas peralumineux très évolués, seraient probablement le résultat d'un fractionnement par les fluides (Dostal et Chatterjee, 1995).

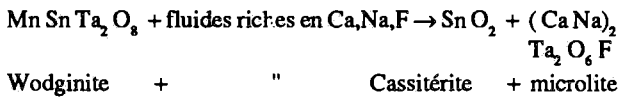
Les minéraux porteurs de Tantale-Niobium, à Ebelekan, décrivent la séquence générale suivante :

manganocolumbite → manganotantalite → wodginite + titanowodginite → cassitérite.

Cette suite logique qui représente un trend de cristallisation primaire, est souvent décrite dans les pegmatites riches en lithium (Cerny and Ercit, 1989; Spilde and Shearer, 1992) et comprend aussi le microlite absent à Ebelekan. Elle résulte de substitutions progressives Fe → Mn et Nb → Ta durant le fractionnement magmatique aboutissant à la formation finale d'une manganotantalite ou, plus rarement, d'une wodginite.

A Ebelekan, les oxydes à métaux rares forment une suite à Mn comparable à la lignée évolutive à Mn définie à Separation Rapids, Ontario (Tindle and Breaks, 1998; Tindle *et al.*, 1998). Cette suite à Mn qui comprend manganocolumbite + wodginite → manganotantalite + wodginite → microlite dériverait d'un magma enrichi en fluor, l'enrichissement extrême en Mn étant nettement accru par l'augmentation de l'activité du fluor dans les derniers stades de l'évolution magmatique. Bien que le microlite soit manquant à Ebelekan, sa présence n'est toutefois pas à écarter, comme le suggère une

analyse partielle obtenue à la microsonde (microlite uranifère?). Le microlite peut remplacer partiellement ou totalement la wodginite sous l'action de fluides riches en Ca, Na et F selon la réaction suivante :



Le fluor est considéré comme un élément complexant important tant pour le Mn que pour Sn et permet d'expliquer la cristallisation de la cassitérite dans un stade ultime.

La wodginite décrite dans le monde apparaît toujours liée à des pegmatites, une forte corrélation entre ce minéral et la présence d'albite qu'elle soit d'origine magmatique ou bien liée à une activité post-magmatique, étant souvent constatée. Or à Ebelekan, elle se rencontre aussi bien dans l'aplite-pegmatite que dans le granite à albite-topaze, ces deux faciès ne montrant pas de limite franche entre eux. Ceci permet d'affirmer l'affinité pegmatitique de ce granite, attestée, par ailleurs, par la présence de zircon hafnifère et de cassitérite tantalifère comme à Beauvoir (Wang *et al.*, 1992).

- Dans le granite, elle forme des cristaux zonés typiques à cœur de columbotantalite corrodée (Pl : II, b). Cette corrosion est liée au fluor dont l'effet augmente la solubilité de Nb et Ta dans le magma résiduel (Keppler, 1993) provoquant ainsi la dissolution des minéraux précoces .

- Dans l'aplite-pegmatite, elle évolue vers une titanowodginite et est associée à la cassitérite. Elle montre parfois des figures d'interpénétration pouvant indiquer soit une cristallisation simultanée des deux minéraux soit un remplacement (Pl : II, c). La titanowodginite n'a été signalée qu'en deux endroits situés au Canada :

- Bernic Lake, Manitoba (Ercit *et al.*, 1992b) dans la pegmatite de Tanco.

- Separation Rapids, Ontario (Tindle *et al.*, 1998) dans la pegmatite de Marco's.

La présence de titane ne pouvant être expliquée par un processus normal de fractionnement, son origine est à rechercher soit dans une interaction de fluides aqueux avec des roches encaissantes riches en Fe et Ti, à l'exemple des granodiorites et diorites (Tindle *et al.*, 1998), soit dans un granite parental moins évolué contenant, comme minéraux accessoires, ilménite ou rutile (Uher *et al.*, 1998).

**Remerciements:** Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'accord programme 96 MDU 360 entre l'INPL de Nancy et l'USTHB intitulé : «Métallogénèse des socles anciens de l'Algérie», sous la direction de M. Ch. Marignac. Les auteurs remercient vivement l'ORGM et particulièrement l'équipe de Tamanrasset pour l'accueil et les moyens mis à leur disposition, Melle K. Ouzegane et M. J.R. Kienast pour leur lecture critique du manuscrit.

### Bibliographie

- AUBERT, G., 1969. Les coupoles granitiques de Montrebras et d'Echassières ( Massif Central Français ) et la genèse de leurs minéralisations en étain, lithium, tungstène et béryllium. *Mémoire BRGM*, 46, 349 p.
- BAZIZ, K., LIÉGEOIS, J.P., AZZOUNI, A., LAYACHI, L. ET ZAHRI A., 1996. La phase granitique ultime (post 580 Ma) de la région d'Asseo-Issalane (sud-est Hoggar). Pegmatite à columbite associée. In : *Séminaire de Géologie et Exploration des Ressources Minières*, O.R.G.M., Boumerdès. Recueil des résumés, 12-13.
- BENAZOUZ-FEZOU, A., 1989. Pétrologie des granites Taourirts et pegmatites associées de la région de Laouni (Hoggar Central méridional). Contribution à l'explication de certains processus tardi et post-magmatiques originaux. *Thèse de Magister*, IST/USTHB, Alger, 195p.
- BERTRAND, J.M.L. AND CABY, R., 1978. Geodynamic evolution of the panafrikan orogenic belt : a new interpretation of the Hoggar shield. *Geol. Rundsh.*, 67, 2, 357-388.



- BERTRAND, J.M.L., CABY, R., DUCROT, J., LANCELOT, J., MOUSSINE-POUCHKINE, A. AND SAADALLAH, A., 1978.** The late pan-african intracontinental linear fold belt of the eastern Hoggar Central Sahara, (Algeria) : geology, structural development, U/Pb geochronology, tectonic implications for the Hoggar shield. *Precamb. Res.*, 7, 349-376.
- BEUS, A.A., SEVEROV, E.A. ET SITNIN, A. A., 1962.** Granites albitisés et greisenisés (apogranites). *Izd. Acad. Nank.*, USSR, Moscou, vol.1, 196 p.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEOIS, J-P., CABY, R. AND BERTRAND, J-M., 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*, 22, 641-644.
- BONIN, B., AZZOUNI-SEKKAL, A., BUSSY, F. AND FERRAG, S., 1998.** Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism : petrologic constraints and geodynamic settings. *Lithos*, 45, 45-70.
- BOULLIER, A.M., 1991.** The Pan-African Trans-Saharan belt in the Hoggar shield (Algeria, Mali, Niger) : A review, *in* Dallmeyer, R.D., and Lécorché, J.P., eds. *The West African orogens and Circum-Atlantic correlatives* : Berlin, Springer-Verlag, 85-105.
- BOUABSA, L., 1987.** Intrusions granitiques à albite - topaze : minéralisations stannio-wolframifères et altérations hydrothermales associées. L'exemple du Hoggar central, Algérie. *Thèse 3<sup>o</sup> cycle Univ. Nancy I*, 193 p.
- CHALAL, Y., 1989.** Contribution à l'étude de la greisenisation et des minéralisations wolframifères associées aux granites de Tamazaror et de Sedis, Laouni, Hoggar Central. Caractérisation pétrologique, géochimique et implications métallogéniques. *Thèse de Magister, IST / USTHB. Alger.*, 252 p.
- CHALAL, Y. ET MARIGNAC, CH., 1997.** Découverte de wolframoixiolite dans les microgranites à albite -topaze d'Aleméda (Hoggar central, Algérie) : implications métallogéniques. *Bull. Serv. Géol. Algérie*, 8, n°1, 71-79.
- CERNY, P., AND ERCIT, T.S., 1985.** Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites. *Bulletin de Minéralogie*, 108, p.499-532.
- CERNY, P. AND ERCIT, T.S., 1989.** Mineralogy of niobium and tantalum crystal chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications : *in* Möller, P., Cerny, P. and Saupé, F., eds. *Lanthanides, tantalum and niobium* : Berlin, Springer-Verlag, 27-79.
- CHRISTIANSEN, E.H., SHERIDAN, M.F. AND BURT, D.M., 1986.** The geology and geochemistry of Cenozoic topaz rhyolites from the Western United States. *Geological Society of America, Spécial Paper*, 205, 1-82.
- CONGDON, R.D. AND NASH, W.P., 1991.** Eruptive pegmatite magma : rhyolite of the Honeycomb Hills, Utah. *American Mineralogist*, 76, 1261-1278.
- CHEILLETZ, A, BERTRAND, J.M., CHAROY, B., MOULAHOU, O., BOUABSA, L., FARRAR, E., ZIMMERMANN, J.L., DAUTEL, D., ARCHIBALD, D.A. ET BOULLIER, A.M., 1992.** Géochimie et géochronologie Rb-Sr, K-Ar et  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  des complexes granitiques pan-africains de la région de Tamanrasset (Algérie) : relations avec les minéralisations Sn - W associées et l'évolution tectonique du Hoggar central. *Bull. Soc. Géol. France*, 163, n° 6, 733-750.
- COCHERIE, A., JOHAN, V., ROSSI, P. AND STEMPROK, M., 1991.** Trace element variations and lanthanide tetrad effect studied in a Variscan lithium albite granite : case of the Cinovec granite (Czechoslovakia). *In* : Pagel, M. & Leroy, J.L., eds., *Source, Transport and Deposition of Metals*, Balkema, Rotterdam, 745-749.
- CUNNEY, M., MARIGNAC, C. AND WEISBROD, A., 1992.** The Beauvoir topaz-lepidolite-albite granite (Massif Central, France) : the disseminated magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Bé mineralization. *Economic Geology*, 87, 1766-1794.

- CUNEY, M., STUSSI, J.M. AND MARIGNAC, C., 1994. A geochemical comparison between West and Central-European granites : implication for the origin of rare metal mineralization. In *Metallogeny of collisional orogens*. Seltmann, Kämpf and Möller (eds). Czech. Geological Survey, Prague, 96-102.
- DEBON F., LEFORT P., 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations : principle , méthode, applications. *Bull. Mineral.*, 111, 493-510.
- DEER, W.A., HOWIE , R.A. AND ZUSSMAN , J., 1966. An introduction to the rock-forming minerals. Longmans (eds.) , London.
- DJADOUN, A., 1993. Contribution à l'étude des granites alumineux (Hoggar Central) à l'exemple des massifs d'Abous Ouan Rechla, Tit-En-Enir, Tamazaror. Aspect minéralogique, géochimique et considérations pétrogénétiques. *Thèse de Magister*. IST/USTHB, Alger. 233p.
- DOSTAL, J. AND CHATTERJEE, A.K., 1995. Origin of topaz-bearing and related peraluminous granites of the Late Devonian Davis Lake pluton, Nova Scotia, Canada : crystal versus fluid fractionation. *Chemical Geology*, 123, 67-88.
- ERCIT, T.S., CERNY, P., HAWTHORNE, F.C. AND McCAMMON, C.A., 1992a. The wodginite group. II. Crystal chemistry. *Canadian Mineralogist*, 30, 613-631.
- ERCIT, T.S., CERNY, P. AND HAWTHORNE, F.C., 1992b. The wodginite group. III. Classification and new species. *Canadian Mineralogist*, 30, 633-638.
- FERGUSON, R.B., HAWTHORNE, F.C. AND GRICE, J.D., 1976. The crystal structures of tantalite, ixiolite and wodginite from Bernic Lake, Manitoba. II. Wodginite. *Canadian. Mineralogist*, 14, 550-560.
- HAAPALA, I., 1977. Petrography and geochemistry of the Eurajoki stock; a rapakivi-granite complex with greisen-type mineralization in southwestern Finland. *Geological Survey of Finland.*, 286, 1-128.
- HAAPALA, I., 1997. Magmatic and Postmagmatic Processes in Tin-mineralized Granites : Topaz-bearing Leucogranite in the Eurajoki Rapakivi Granite Stock, Finland. *Journal of Petrology*, 38, 1645-1659.
- HARADA, K., HONDA, M., NAGASHIMA, K. & KANISAWA, S., 1976. Masutomilite, manganese analogue of zinnwaldite, with special reference to masutomilite-lepidolite-zinnwaldite series. *Mineral. J.* (Japan), 8, .95-109.
- HELBA, H., TRUMBULL, R.B., MORTEANI, G., KHALIL, S.O. AND ARSLAN, A., 1997. Geochemical and petrographic studies of Ta mineralization in the Nuweibi albite granite complex, Eastern Desert, Egypt. *Mineralium Deposita*, 32, 164-179.
- IRBER, W., 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu /Eu\*, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 3/4 ,489-508.
- KESRAOUI, M., 1990. Greisenisation et minéralisations W-Sn à Tin-Amzi (Hoggar central). Typomorphisme des minéraux et aspects géochimiques. *Thèse de Magister* , I.S.T./U.S.T.H.B., 180 p.
- KOVALENKO, V.I. AND KOVALENKO, N.I., 1976. Ongonites (topaz-bearing quartz keratophyre)-subvolcanic analogues of rare-metal Li-F granites. *Naouka*. Moscow. (in russian), 124 p.
- KOVALENKO, V.I. AND KOVALENKO, N.I., 1984. Problems of the origin , ore bearing and evolution of rare metal granitoids. *Physics of the Earth and Planetary interior*, 35, 51-62.
- LIÉGEOIS, J.P, BLACK, R. , NAVEZ, J. AND LATOUCHE, L., 1994. Early and late Pan-african orogenies in the Aïr assembly of terranes (Tuareg shield, Niger). *Precamb. Res.*, 67, 59-88.
- LIÉGEOIS, J.P., NAVEZ, J., HERTOGEN, J. AND BLACK, R., 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos.*, 45, 1-28.

- LINNEN, R.L., PICHAVANT, M. AND HOLTZ, F., 1996. The combined effect of  $f(\text{O}_2)$  and melt composition on Sn  $\text{O}_2$  solubility and tin diffusivity in haplogranitic melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 4965-4976.
- LONDON, D., 1987. Internal differentiation of rare-element pegmatites : effects of boron, phosphorus and fluorine. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 51, 403-420.
- MANNING, D.A.C., 1981. The effect of fluorine on liquidus phase relationships in the system Qz-Ab-Or with excess water at 1 Kb. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76, 206-215.
- MASUDA, A. AND AGAKI, T. 1989. Lanthanide tetrad effect observed in leucogranites from China. *Geochemical Journal*, 23, 245-253.
- MONIER, G. 1987. Cristallochimie des micas des leucogranites. Nouvelles données expérimentales et applications pétrologiques. Géologie et Géochimie de l'Uranium. Nancy, *Mémoire* 14, 347p.
- MOULAHOU, O., 1988. Dualité du magmatisme d'âge panafricain : aspects structuraux et pétrographiques des granites subalcalins et alumineux de la région de Tamanrasset (Hoggar Central. Algérie). *Thèse Doc. Ing. Univ. Nancy I*, 145 p.
- NICKEL, E.H., ROWLAND, J.F. AND M.C. ADAM, R.C., 1963. Wodginitite a new tin-manganese tantalite from Wodgina, Australia and Bernic Lake, Manitoba. *Canadian Mineralogist*, 7, 390-402.
- NOMOKONOV, V., 1990. Rapport sur les travaux de recherche et d'estimation de métaux rares effectués par le groupe " Métaux rares " sur le territoire du Hoggar en 1987-1990. ORGM, Rapport inédit. 2 volumes Alger.
- PEPPARD, D.F., MASON, G.W. AND LEWEY, S., 1969. A tetrad effect in liquid-liquid extraction ordering of lanthanides (III). *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 31, 2271-2272.
- PICHAVANT, M., BOHER, M., STENGER, J.F., AÏSSA, M. ET CHAROY, B., 1987. Relations de phases des granites de Beauvoir à 1 et 3 kbar, en condition de saturation en  $\text{H}_2\text{O}$ . *Géologie de la France*, 2 (3), 77-86.
- PICHAVANT, M., HERRERA, J.V., BOULMIER, S., BRIQUEU, L., JORON, J.L., JUTEAU, M., MARIN, L., MICHARD, A., SHEPPARD, S.M.F., TREUIL, M. AND VERNET, M., 1987. The Macusani glasses, S.E. Peru : Evidence of geochemical fractionation in peraluminous magmas. *Geochemical Society (London) special publication*, 1, 359-374.
- POLLARD, P.J., 1989. Geochemistry of granites associated with tantalum and niobium mineralization. In : Möller, P., Cerny, P. and Saupé, F., eds. *Lanthanides, Tantalum and Niobium*. Berlin : Springer-Verlag, 145-168.
- POLLARD, P.J., 1995. A special issue devoted to the geology of rare metal deposits. Geology of rare metal deposits : An introduction and overview. *Economic Geology*, 90, 3, 489-494.
- RAIMBAULT, L., 1987. Genèse des granites à métaux rares : revue comparative des modèles géochimiques. *Géologie de la France*, 2-3, 101-110.
- RAIMBAULT, L., CHAROY, B., CUNEY, M. AND POLLARD, P.J., 1991. Comparative geochemistry of Ta-bearing granites. In : Pagel, M & Leroy, J.L. eds., *Source, Transport and Deposition of Metals*, Balkema, Rotterdam, 793-796.
- RAIMBAULT, L., M. CUNEY, C. AZENCOTT, J. L. DUTHOU AND J. L. JORON., 1995. Geochemical Evidence for a multistage Magmatic Genesis of Ta-Sn-Li Mineralization in the Granite at Beauvoir, French Massif Central. *Economic Geology*, 90, 548-576.
- RAIMBAULT, L., 1998. Composition of complex lepidolite-type granitic pegmatites and of constituent columbite-tantalite, Chèdeville, Massif central, France. *Canadian. Mineralogist.*, 36, 563-583.

- SPLDE, M.N. AND SHEARER, C.K., 1992.** A comparison of tantalum-niobium oxide assemblages in two mineralogically distinct rare-element granitic pegmatites, Black Hills, South Dakota. *Canadian Mineralogist*, 30, 719-737.
- TAYLOR R. P., 1992.** Petrological and geochemical characteristics of the Pleasant Ridge zinnwaldite-topaz granite, Southern New Brunswick, and comparison with other topaz-bearing felsic rocks. *Canadian Mineralogist*, 30, 895-921.
- TINDLE, A.G., BREAKS, F.W. AND WEBB, P.C., 1998.** Wodginite-group minerals from the Separation Rapids Rare-Element granitic pegmatite group, Northwestern Ontario. *Canadian Mineralogist*, 36, 637-658.
- TINDLE, A.G. AND BREAKS, F.W., 1998.** Oxide minerals of the Separation Rapids rare element granitic pegmatite group, Northwestern Ontario. *Canadian Mineralogist*, 36, 609-635.
- TISHENDORF, G., FÖRSTER, H.J., GOTTESMANN, B., 1991.** Hercynian specialized granites and related deposits in the Erzgebirge. In : Pagel, M. and Leroy, J. (eds). *Source, Transport and Deposition of Metals*. Rotterdam : Balkema, 825-828.
- UHER, P., CERNY, P., CHAPMAN, R., HATAR, J. AND MIKO, O., 1998.** Evolution of Nb-Ta oxide minerals in the Prasiva granitic pegmatites, Slovakia. I. primary Fe, Ti rich assemblage. *Canadian Mineralogist*, 36, 525-534.
- WANG RU CHENG, FONTAN, F. ET MONCHOUX, P., 1992.** Minéraux disséminés comme indicateurs du caractère pegmatitique du granite de Beauvoir, Massif d'Echassières, Allier, France. *Canadian Mineralogist*, 30, 763-770.
- WEIDNER, J.R. AND MARTIN, R.F., 1987.** Phase equilibria of a fluorine-rich leucogranite from the St Austell pluton, Cornwall. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 51, 1591-1597.
- YIN LIN, POLLARD, P.J., HU SHOUXI AND TAYLOR, R.G., 1995.** Geologic and Geochemical characteristics of the Yichun Ta-Nb-Li Deposit, Jiangxi Province, South China. *Economic Geology*, 90, 577-585.

## Planches

## Planche I

Microphotographies des roches du massif d'Ebelekan ; Ab- albite, Fk- feldspath potassique, Mi- micas, Mic- microcline, T- topaze.

***Microphotographs of rocks from the Ebelekan mount ; Ab- albite, Fk- feldspath potassique, Mi- micas, Mic- microcline, T- topaze.***

**a** - Microgranite (Ech. 270-6) avec phénocristaux de quartz, mica et albite (***Microgranite (Sample 270-6) with phenocrysts of quartz, mica and albite.***)

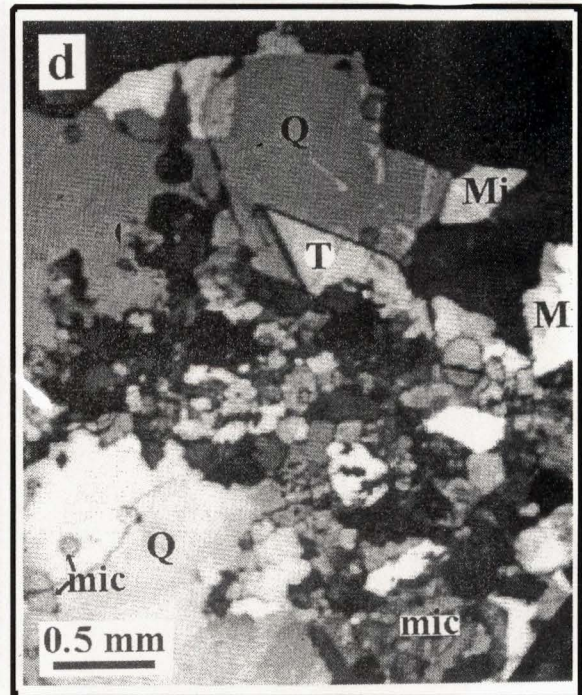
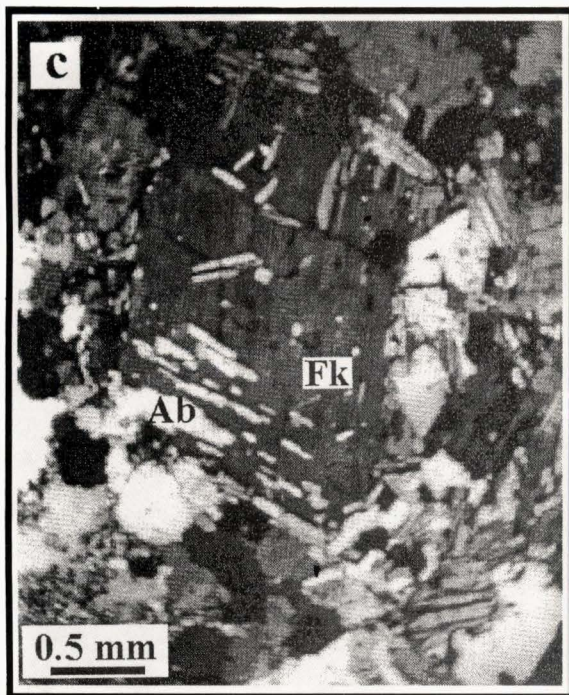
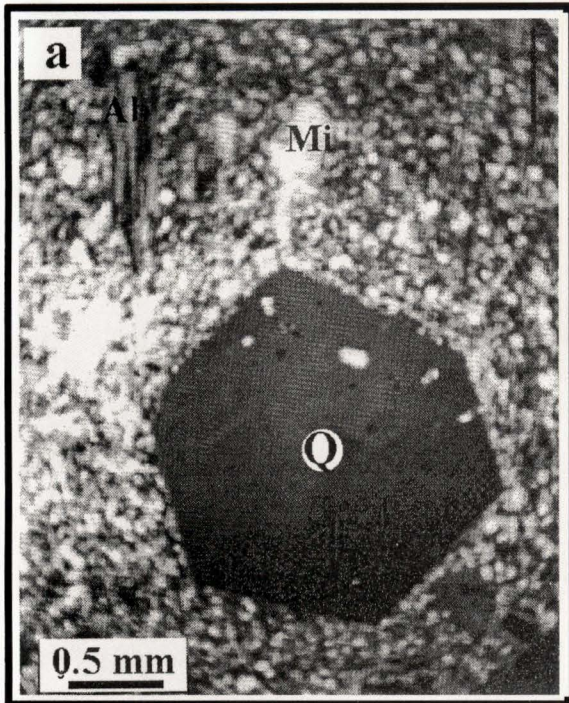
**b** -Granite à albite, topaze et zinnwaldite (Ech. C3-1), avec quartz à texture " snow ball" (***Albite, topaze and zinnwaldite granite (Sample C3-1), with snow ball quartz.***)

**c** - Granite à albite, topaze et zinnwaldite (Ech. 1209), albitisation du feldspath potassique (***Albite, topaze and zinnwaldite granite (Sample 1209), albitization of the alkali feldspar.***)

**d** -Topaze automorphe dans l'aplite-pegmatite du toit (Ech. 294) (***Euhedral topaz in the aplite-pegmatite of the apical part (Sample 294).***)



## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)



**Planche II**

Photos en mode d'électrons rétrodiffusés

**Back-Scattered Electron microphotographs**

**a** - Columbo-tantalite aciculaire (gris foncé) entourée de wodginite (blanc-gris) dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite (**Acicular columbite tantalite (dark grey) surrounded by wodginite (white-grey)**).

**b** - Wodginite (gris clair à blanc) subautomorphe avec zones de croissance et à cœur de columbo-tantalite dans le granite à albite, topaze et zinnwaldite (**Subeuhedral wodginite (pale grey to white) with growth zoning and with columbite-tantalite core (dark grey) in the albite, topaze and zinnwaldite granite**).

**c** - Association à wodginite (gris clair) et cassitérite (gris foncé) dans l'aplite-pegmatite (**Wodginite (white grey) and cassiterite (dark grey) association in the aplite-pegmatite**).



## LE MASSIF D'EBELEKAN : UN GRANITE À TANTALE DANS LE SUD - EST DU HOGGAR CENTRAL (ALGÉRIE)

