

# **PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET CONDITIONS DE CRISTALLISATION DE LA SÉRIE TTG DU BATHOLITE COMPOSITE PANAFRICAIN DE L'AMSEL (HOGGAR CENTRAL, ALGÉRIE), TÉMOIN D'UN MÉLANGE DE MAGMAS.**

**Sabiha BOUZEGUELLA-TALMAT\*<sup>et\*\*\*</sup>, Bernard BONIN\*\*, Aziouz OUABADI\*\*\*  
et Jean Paul LIÉGEOIS\*\*\*\***

## **RÉSUMÉ**

Localisé dans le terrane de Laouni (métacraton de LATEA), le batholite de l'Amsel recoupe un socle paléoproterozoïque (2150-2060 Ma) de fort degré métamorphique, le long d'une faille ductile, décrochante, dextre. Deux séries bien distinctes forment ce batholite, une série Tonalite-Trondhénite-Granodiorite au nord et une série granitique au sud.

La série T.T.G. est formée de granodiorites à biotite et amphibole et tonalites à amphibole, contenant des enclaves microgrenues sombres et recoupées par des filons d'aplite. La texture grenue de la granodiorite montre l'association : plagioclase – biotite – quartz ± amphibole – feldspath alcalin – zircon – titanite – ilménite – magnétite – minéraux opaques. Les enclaves à texture généralement doléritique fluidale présentent l'association : plagioclase ± amphibole – biotite ± quartz ± feldspath alcalin – zircon – apatite – allanite – ilménite – minéraux opaques.

La température de cristallisation de l'amphibole est estimée à  $778 \pm 25^\circ\text{C}$  pour la granodiorite à biotite et amphibole de l'Oued Tamanrasset et,  $820-773 \pm 25^\circ\text{C}$  pour les enclaves et une pression de cristallisation comprise entre 437 et 386 MPa pour la granodiorite contre 745-255 MPa pour les enclaves.

Hormis une enclave dioritique à composition originelle préservée, les enclaves correspondent à différents degrés de mélange. La granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer hyperalumineuse, est le produit de la cristallisation fractionnée de la granodiorite à amphibole. Les pressions similaires obtenues pour les enclaves et la granodiorite-hôte suggèrent que le mélange des deux magmas s'est produit à une pression de 405-411 MPa, sous faible  $f_{\text{O}_2}$  et à une température de  $778 \pm 25^\circ\text{C}$ , soit une profondeur d'environ 15 km.

**Mots-clés** - Granodiorites - MME - Panafricain - TTG - Mélange - Température - Pression.

\*ENS (École Normale Supérieure), Vieux Kouba, Algiers, Algeria. E-mail: sabihatalmat@yahoo.fr

\*\*UPS-CNRS-UMR 8148 "IDES", Département des Sciences de la Terre, Université de Paris-Sud, F-91405 Orsay Cedex, France.

\*\*\*LGGIP/FSTGAT, USTHB BP. 32, 16111- El-Alia, Bab-Ezzouar, Algiers, Algeria.

\*\*\*\*Royal Museum for Central Africa, B-3080 Tervuren, Belgium.

- *Manuscrit déposé le 29 Décembre 2013, accepté après révision le 29 Avril 2014.*

## PETROGRAPHY, MINERALOGY AND CRISTALLIZATION CONDITIONS OF THE AMSEL PAN-AFRICAN BATHOLIT OF THE T.T.G. SERIES (WESTERN HOGGAR, ALGERIA) WITNESS OF A MAGMA MIXING.

### ABSTRACT

Located in the Laouni Terrane (LATEA Metacraton), the Pan-African Amsel composite batholith crosscuts a high-grade metamorphic Palaeoproterozoic basement (2150-2060 Ma) and was emplaced along a dextral strike-slip shear-fault.

Two granitoid suites were identified, a Tonalite-Trondhjenite-Granodiorite (TTG) suite in the North and a granitic suite in the South.

The TTG suite is made up of amphibole biotite granodiorite mingled with amphibole tonalite, engulfing MMEs and crosscut by aplitic dykes. The granodiorite displays a granular texture and the following paragenesis: plagioclase – quartz ± amphibole – biotite – K feldspar– zircon– titanite – ilmenite – magnetite – opaque phases. The Mafic Magmatic Enclaves (MMEs) display a doleritic foliated texture and the following paragenesis: plagioclase ± amphibole ± quartz – biotite ± K feldspar– zircon – apatite – allanite – ilmenite – opaque phases.

The granodiorite crystallized at  $778 \pm 25^\circ\text{C}$ , while MMEs crystallized at  $820-773 \pm 25^\circ\text{C}$ . Amphibole crystallized in granodiorite at a pressure of 437-386 MPa and in MME at 745-255 MPa. Except a pristine dioritic enclave, the Mafic Magmatic Enclaves correspond to different stages and/or various degrees of the mixing process. The ultimate stage is represented by the Ezerzer Wadi peraluminous biotite granodiorite which is the product of the fractional crystallization of the amphibole granodiorite. Similar pressures obtained for both MMEs and their host -rock suggest that mixing occurred at 405-411 MPa, under low  $f\text{O}_2$  conditions and at a temperature of crystallization of  $778 \pm 25^\circ\text{C}$ , corresponding to the emplacement at 15 km depth.

**Keywords** - Granodiorite - MME - Pan-African - T.T.G. - Mixing - Temperature - Pressure

### I- INTRODUCTION

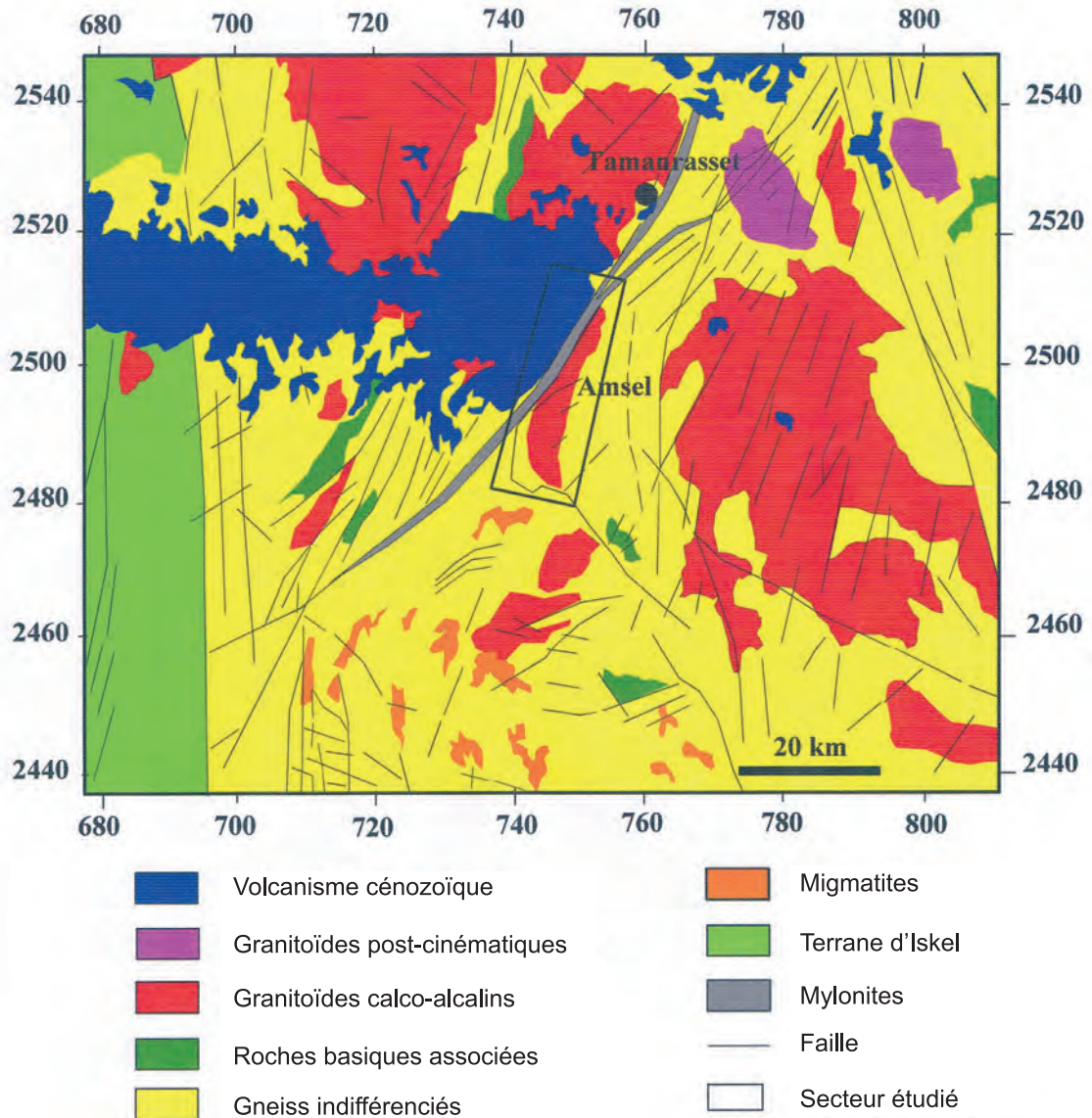
Le Hoggar, socle cristallin du Sahara algérien, étend ses reliefs sur environ 550.000 km<sup>2</sup> dans l'extrême sud du pays. Il se prolonge au Mali et au Niger pour former respectivement l'Adrar des Iforas et l'Air. Sa structure est caractérisée par de grands cisaillements globalement N-S d'échelle continentale. Plusieurs événements se rattachant à l'Archéen, l'Eburnéen et au Panafricain ont été reconnus. Le Hoggar est composé de l'amalgame de 23 terranes (Black *et al.*, 1994; Liégeois *et al.*, 1994) et a été structuré durant deux phases de l'orogénèse panafricaine (750-660 Ma et 650-550 Ma). Le métacraton de LATEA est formé de terrains archéens, paléoproterozoïques et néopro-

terozoïques dont les granitoïdes sont observés essentiellement au sud et à l'ouest de LATEA (Liégeois *et al.*, 2003; 2013). Le socle métamorphique de fort degré daté, à  $2151 \pm 8$  Ma et  $2062 \pm 39$  Ma; U-Pb sur zircon (Bendaoud *et al.*, 2008) est composé de deux unités : (i) gneiss migmatitiques, métapélites et quartzites, (ii) gneiss à biotite-grenat et métapélites à sillimanite avec intercalations de marbre à olivine et spinelle. Il est recoupé par des batholites essentiellement calco-alcalins (fig. 1) durant l'orogénèse panafricaine entre 640 et 580 Ma (Liégeois *et al.*, 2003) et, dont certains ont été datés: Anfeg ( $608 \pm 7$ Ma; U-Pb sur zircon; Bertrand *et al.*, 1986 recalculé suivant Ludwig, 1999 par Acef *et al.*, 2003), Ounane ( $624 \pm 15$  Ma;  $87\text{Sr}/86\text{Sr} = 0.70839 \pm 0.00016$ ; 6WR, MSWD=

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET CONDITIONS DE CRISTALLISATION DE LA SÉRIE TTG DU BATHOLITE COMPOSITE PAN-AFRICAIN DE L'AMSEL (HOGGAR CENTRAL, ALGÉRIE), TÉMOIN D'UN MÉLANGE DE MAGMAS.

0.87; Liégeois et *al.*, 2003), Tin Amzi ( $612 \pm 5$ Ma, U-Pb sur zircon; Bertrand et *al.*, 1986), Tinef ( $604 + 11/ - 8$ Ma; U-Pb sur zircon; Bertrand et *al.*, 1986, recalculé suivant Ludwig, 1999 par Liégeois et *al.*, 2003). Cette note se propose d'étudier

les minéraux majeurs de la série TTG, qui forme la partie nord du batholite calco-alcalin d'Amsel, la carte géologique étant déjà publiée (ORGM, 2002), et d'expliquer les conditions de formation des granitoïdes de cette série.



**Fig.1** - Situation et cadre géologique du batholite de l'Amsel (carte au 1/200.000, feuille Tamanrasset, ORGM, 2002)

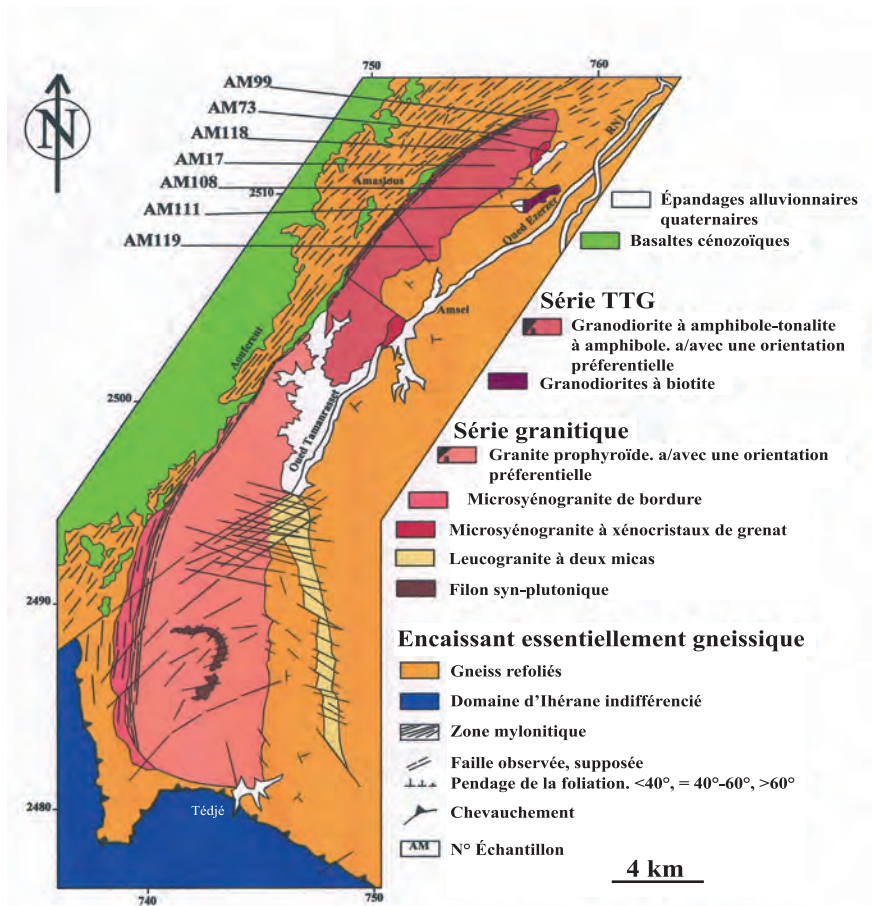
**Location and geological setting of the Amsel batholith (Map on 1/200.000, scale Tamanrasset sheet, ORGM, 2002)**

## II- CADRE GÉOLOGIQUE DU BATHOLITE DE L'AMSEL

Le batholite de l'Amsel est situé au NW du terrane de Laouni (métacraton de LATEA) à 30 km au sud de la ville de Tamanrasset. Le terrane de Laouni est formé de deux unités (Bertrand *et al.*, 1986), une unité supérieure formée de gneiss à foliation intense Sp1 à pendage NE du Panafricain précoce, avec une linéation d'étirement soulignée par de la sillimanite ou de la biotite du faciès amphibolite profond; une unité inférieure formée dans les conditions du faciès des schistes verts, à faciès épидote-amphibolite avec une foliation Sp2 dont l'angle est faible ( $<30^\circ$ ) par rapport à Sp1. Le batholite d'Amsel recoupe Sp1 mais il a été déformé

après sa mise en place. L'ensemble chevauche les gneiss et migmatites d'Ihérane et est recoupé par le complexe plutonique de Tin Amzi. Dans la région nord Tamanrasset, l'encaissant éburnéen ( $\sim 2$ Ga; Bertrand *et al.*, 1986; Ouzegane *et al.*, 2001) montre des paragenèses à 800 °C et 10 kbar qui régressent à 700 °C et 6 kbar (Ouzegane *et al.*, 2001). Dans la région sud de Tamanrasset (Tidjenouine), des paragenèses montrent un métamorphisme de haut grade avec deux phases éburnéennes à 860°C et 7-8 kbar (2150 Ma) puis, à 650°C et 3-4 kbar (2060 Ma) et une phase au Panafricain à 650°C et 3-4 kbar (615 Ma) (Bendaoud *et al.*, 2008).

Le massif d'Amsel forme une étroite bande elliptique d'orientation NNE-SSO d'environ 30 km



**Fig. 2 -** Carte géologique du batholite composite de l'Amsel (modifiée d'après Bouzeguella-Talmat et Ouabadi, 2002)  
**Geological map of the Amsel composite batholiths (modified from Bouzeguella-Talmat and Ouabadi, 2002)**

de grand axe et environ 8 km de petit axe (fig. 2), limité à l'ouest par une zone mylonitique, matérialisée par une zone décrochante dextre représentée par une bande mylonitique linéaire de plus de 4 km de large et s'étendant sur une centaine de kilomètres (Vitel, 1979). Elle représente la limite entre les terranes de Tefedest à l'ouest et Laouni à l'est. La foliation de la bande mylonitique a une direction N030 à N010, un pendage subvertical (85° vers le nord-ouest) et porte une linéation d'étirement sub-horizontale marquée par des rubans quartzo-feldspathiques, souvent tronçonnés perpendiculairement par des accidents orientés N135.

À l'échelle régionale, l'apparition de la schistosité dans l'encaissant apparaît contrôlée par le batholite d'Amsel. Les trajectoires de la schistosité moulent ce dernier et se prolongent parfois dans les formations granitiques montrant une obliquité au contact du pluton. À l'est, des plis synchistoux (S1: N010 70) isoclinaux semblables, montrent des plans axiaux plongeant vers l'extérieur du batholite suivant en cela, le pendage de l'interface granite-encaissant.

Des granites sans structures internes marquées, passent en continuité vers l'ouest à des granites avec des structures planaires magmatiques (foliation magmatique) soulignées par l'agencement des phénocristaux de feldspath alcalin parfois fracturés dans le granite porphyroïde, de la biotite et amphibole dans les granodiorites/tonalites à amphibole. Ces structures planaires sont accentuées par la disposition parallèle à la foliation de filons de microgranite et aplites orientés N010. Dans le granite porphyroïde, les phénocristaux de feldspath alcalin orientés subissent une rotation (formes sigmoïdes) et la roche prend l'aspect d'un gneiss ocellé. Le filon de microgranite syn-plutonique est déformé dans une zone de cisaillement développant des structures en pull-apart dans les feldspaths alcalins avec une composante extensive orientée N025.

Dans la région du barrage (village d'Amsel), la déformation est particulièrement prononcée dans

des couloirs d'accidents métriques à plurimétriques orientés N010, délimitant des lentilles de microsénogranites à xénocristaux de grenat peu ou pas déformés.

Dans la granodiorite/tonalite à amphibole, le filon d'aplite d'étendue kilométrique orienté nord-sud, montre une rotation en cisaillement simple, dextre vers le sud.

Des gradients de déformation interne sont également observables depuis le cœur des intrusions faiblement déformées, vers la zone mylonitique. Le granite sans orientation visible, montre des textures isotropes équigranulaires, les éléments quartzeux de grande taille ont une extinction onduleuse. Les feldspaths alcalins sont parcourus de fractures. Les paillettes de biotite ont une orientation aléatoire. À un stade plus avancé, les cristaux de quartz sont parcourus de bandes de déformation. Des sous-grains se développent à la limite des grands éléments feldspathiques ou quartzeux. Les feldspaths alcalins montrent une orientation préférentielle de forme définissant la foliation magmatique. Dans un premier temps, une orientation fruste apparaît dans le granite. La foliation soulignée par les éléments phylliteux moule les feldspaths. Les cristaux feldspathiques sont souvent découpés par des microfractures accompagnés ou non de déplacement (fig. 4 d). Le déplacement faible est matérialisé par le décalage des lignes de macles des plagioclases. Les microfractures sont enduites d'une mince pellicule de calcite et d'épidote. La déformation intracristalline est représentée par des bandes de pliage observées notamment dans les plagioclases (fig. 4 c).

La biotite se transforme en chlorite et muscovite. De très petites baguettes de biotite secondaires se développent sur les extrémités des biotites primaires.

Les enclaves microgrenues sombres (EMS) passent de la forme ovoïde dans les faciès peu déformés (fig. 3a) à des formes allongées et orientées dans la direction de la foliation magmatique

dans les faciès les plus déformés (figs. 3d et f). La rotation des enclaves est compatible avec un mouvement dextre. La direction d'étirement déduite de l'étude des enclaves est orientée N030. Des accidents N120 dextres tardifs jalonnent l'ensemble et sont à leur tour décalés par des décrochements senestres orientés N055. Sur la carte géologique (fig. 2) sont reportés les différents faciès analysés. Il ressort de l'examen de cette carte cinq groupes principaux répartis de façon hétérogène sur l'ensemble du massif. Toutefois deux zones principales apparaissent :

- une zone nord où prédominent des granodiorites/tonalites à amphibole;

- une zone sud, où l'on retrouve un granite porphyroïde à biotite.

Des petits massifs de granodiorites à biotite, microsénogranites à xénocristaux de grenat et un leucogranite à deux micas se répartissent indifféremment entre les deux zones.

Au total, sur l'ensemble du massif, les granodiorites/tonalites et les granites porphyroïdes sont

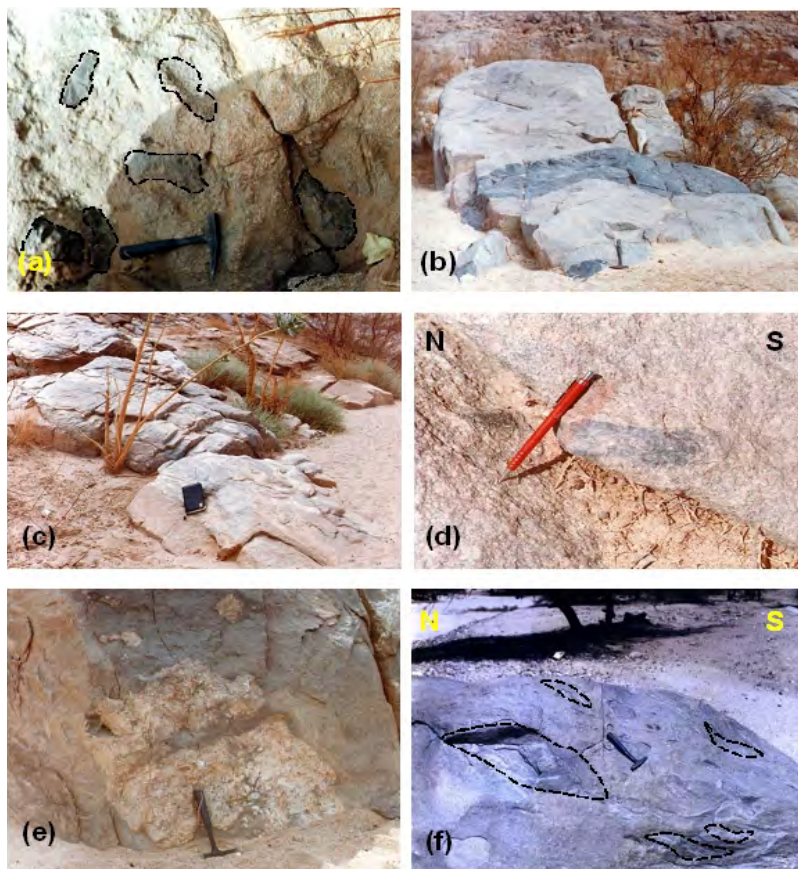


Fig. 3 - Aspects des principaux faciès de la série TTG du batholite de l'Amsel.

**Features of the main facies in the TTG suite of the Amsel batholith.**

a. Essaim d'enclaves anguleuses dans la granodiorite de l'Oued Tamanrasset (**swarm of angular enclaves within the Tamanrasset Wadi granodiorite**); b. Filon dioritique très altéré dans la région d'Ameslous (**dyke of heavily weathered diorite in the Ameslous area**); c. Zone de mélange magmatique de type mingling dans l'Oued Tamanrasset (**zone of magma mingling in the Tamanrasset Wadi**); d. Enclave déformée dans la région d'Ameslous (**strained enclave in the Ameslous area**); e. Xénolite dans une tonalite/granodiorite (**xenolith within tonalite/granodiorite**); f. Essaim d'enclaves déformées dans la granodiorite de l'Oued Tamanrasset (**swarm of strained enclaves within the Tamanrasset Wadi granodiorite**).

à peu près équivalents en surface. On peut rajouter un quatrième groupe hétérogène, formé par les enclaves de nature variée et les filons. Dans la granodiorite/tonalite à amphibole, les enclaves (diorite, monzodiorite, granodiorite à amphibole et granodiorite à biotite) sont facilement repérables par leur couleur sombre et l'aspect très homogène contrastant avec l'hétérogénéité de la granodiorite à amphibole et/ou biotite hôte.

Les enclaves sont observées uniquement dans l'extrême nord du massif (fig. 2) et sont de forme

ellipsoïdale, de taille centimétrique à décimétrique, isolées ou regroupées en essaim. La patine et la cassure sont sombres. La diorite AM73, située plus à l'ouest du massif et proche de la zone mylonitique, montre à l'œil nu une texture massive, compacte et très sombre. La diorite AM118 montre une cassure plus claire. Le contact de ces enclaves est net et rectiligne.

Les enclaves microgrenues de type granodiorite à amphibole sont observées relativement plus au sud. Les granodiorites/tonalites hôtes à am-

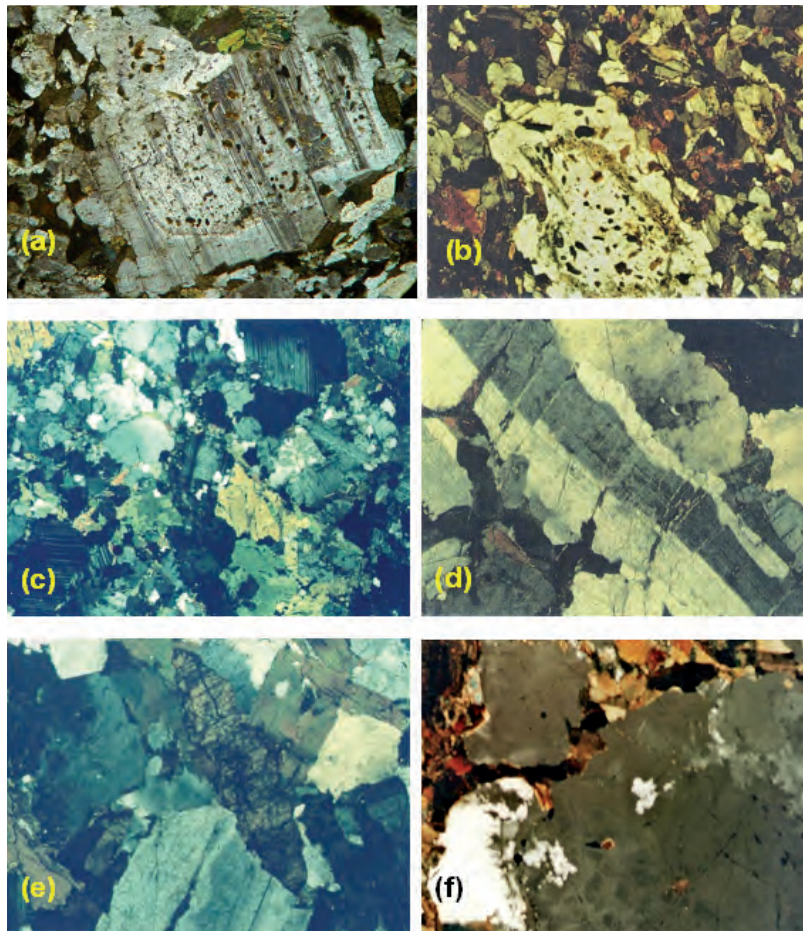


Fig. 4 - Aspect au microscope polarisant de certains minéraux caractéristiques.

*Thin sections photographs of typical crystals.*

- a. Plagioclase corrodé dans une EMS (*plagioclase skeletal crystal within a mafic microgranular enclave (MME)*); b. Plagioclase criblé à contour résorbé dans une EMS (*sieve texture and resorbed plagioclase within MME*); c et d. Plagioclase à différents degrés de déformation (*plagioclase crystal at various stages of strain*). e. Titanite typique de la granodiorite de l'Oued Ezerzer (*titanite crystal typical of the Ezerzer Wadi granodiorite*). f. Ocelles de quartz entouré d'un liseré de biotite et amphibole dans les EMS (*quartz ocelli rimmed by biotite and amphibole within MME*).

phibole montrent la même disposition, l'échantillon AM17 (le moins différencié) est situé plus au nord, alors que l'échantillon le plus évolué AM119 est plus au sud. Schématiquement, une certaine différenciation basique-acide est observée du nord vers le sud tant pour les enclaves que pour les granodiorites hôtes.

### III- PÉTROGRAPHIE

Le batholite calco-alcalin de l'Amsel comprend deux séries bien distinctes. Au sud, un ensemble granitique formé par un granite porphyroïde et son faciès de bordure, un microsyténo-granite riche en cristaux de grenat et un leucogranite à deux micas. Les roches associées sont représentées par des enclaves microgrenues sombres, des enclaves acides et des filons de microgranite synplutoniques.

Au nord, la série TTG (fig.2) est formée de granodiorite/ tonalite à amphibole (granodiorite de l'Oued Tamanrasset) et, de granodiorite à biotite (granodiorite de l'Oued Ezerzer) contenant des enclaves microgrenues sombres et des filons d'aplite synplutoniques.

#### III-1- Granodiorites à amphibole de l'Oued Tamanrasset

L'association minéralogique comprend: plagioclase (30 – 40 %) – quartz (20 – 25 %) – biotite (10 – 15 %) – feldspath alcalin (10 – 15 %) – amphibole (2 – 10 %) – apatite – zircon – allanite – magnétite. La texture est pseudo-doléritique.

Le plagioclase type oligoclase forme des lattes automorphes maclées polysynthétiques, fracturées et déformées. La séricitisation, plus forte au centre, envahit progressivement le minéral. Le quartz subautomorphe à franchement xénomorphe montre une extinction onduleuse et se présente parfois en sous-grains colmatant les cristaux de plagioclase et de feldspath potassique. Le feldspath potassique est représenté par l'orthose perthitique et

le microcline sous forme de petites sections automorphes à subautomorphes. La biotite très pléochroïque est fortement déformée avec notamment des kink-bands. L'amphibole subautomorphe forme parfois des amas polycristallins avec la biotite. Les minéraux accessoires sont représentés par l'apatite sous forme de cristaux trapus, le zircon, l'allanite constamment zonée, magnétite et de nombreux minéraux opaques.

#### III-2- Granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer

Ce faciès diffère de la granodiorite/tonalite à amphibole par l'absence d'amphibole et l'abondance des minéraux accessoires.

L'association minéralogique comprend: plagioclase (35 – 40 %) – quartz (18 – 22 %) – biotite (15 – 20 %) – feldspath alcalin (10 – 15 %) – titanite – apatite – allanite – zircon – magnétite – pyrite – minéraux opaques. La texture est grenue.

Le plagioclase type andésine forme des lattes automorphes avec des macles polysynthétiques, extrêmement fracturées ou alors zonées avec accollement de plusieurs individus en synneusis. Les nombreuses inclusions dans le plagioclase sont représentées par la biotite, la titanite, le zircon et les minéraux opaques. Le quartz, peu abondant, est subautomorphe à xénomorphe avec une extinction onduleuse. Le feldspath alcalin, peu abondant, est représenté par le microcline en plages subautomorphes reconnaissables à l'aspect trouble. La biotite subautomorphe, très pléochroïque du rouge brun au jaune clair, montre des figures sigmoïdes. Les inclusions nombreuses dans la biotite sont représentées par l'apatite, le zircon, la titanite et les minéraux opaques. La biotite est altérée par endroits en chlorite. La titanite abondante, apparaît sous forme de grands cristaux losangiques de 2 à 3 mm de long (fig. 4e) à fort relief, craquelés, renfermant des inclusions d'apatite et des minéraux opaques.



PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET CONDITIONS DE CRISTALLISATION DE LA SÉRIE TTG DU BATHOLITE COMPOSITE PAN-AFRICAÏN DE L'AMSEL (HOGGAR CENTRAL, ALGÉRIE), TÉMOIN D'UN MÉLANGE DE MAGMAS.

**Tableau I** - Analyses et formules structurales calculées sur 8 oxygènes des feldspaths des granodiorites hôtes et enclaves.  
**Plagioclase analyses and structural formulae on the basis of 8 oxygens in granodiorites and MME.**

Roche	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM117	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173	AM173
N° Analyse	2	3	4	5	6	24	67	68	72	73	74	76	29	30	34	35	36	88	89	97	98	113	114	116	117												
SiO <sub>2</sub>	57,17	59,76	59,24	58,16	60,87	57,11	61,10	60,80	59,80	59,50	65,00	61,70	60,64	60,83	60,97	59,94	59,58	60,09	59,99	60,10	59,36	59,76	59,14	60,75	59,95												
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,04	0,01	0,09	0,03	0,06	0,00												
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,64	25,37	25,56	25,58	24,41	27,07	25,20	25,00	25,70	25,60	18,70	25,20	25,32	24,51	24,57	24,95	25,46	25,91	25,33	24,53	25,31	25,62	25,97	24,96	25,34												
FeO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02												
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,08	0,12	0,24	0,13	0,15	0,16	0,13	0,13	0,11	0,07	0,15	0,01	0,07	0,12	0,07	0,17	0,18	0,12	0,13	0,11	0,23	0,18	0,12	0,12												
MnO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00												
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,01	0,00												
CaO	8,56	6,81	7,35	7,64	6,08	8,65	6,46	6,17	7,26	7,20	0,00	6,20	6,90	6,24	6,33	6,58	6,99	6,76	6,83	6,94	6,61	6,97	7,88	6,51	6,88												
N <sub>2</sub> O	6,85	7,83	7,37	7,38	7,91	6,94	7,22	7,49	6,79	6,84	0,63	7,47	7,72	7,88	8,01	8,04	7,51	7,50	7,33	7,67	7,80	7,62	7,46	8,04	7,60												
K <sub>2</sub> O	0,20	0,22	0,42	0,14	0,22	0,17	0,14	0,12	0,14	0,15	14,10	0,31	0,19	0,22	0,23	0,33	0,33	0,19	0,09	0,24	0,22	0,16	0,16	0,20	0,07												
TOTAL	99,46	100,10	100,07	99,16	99,71	100,13	100,00	99,90	99,90	99,90	99,90	100,00	100,02	99,78	100,25	100,00	100,12	100,77	99,98	100,15	99,71	100,67	100,94	101,00	100,15												
Si	2,58	2,66	2,65	2,63	2,71	2,56	2,70	2,70	2,66	2,66	3,01	2,71	2,68	2,71	2,71	2,68	2,66	2,66	2,67	2,69	2,66	2,65	2,63	2,69	2,67												
Al	1,42	1,33	1,35	1,36	1,28	1,43	1,31	1,31	1,35	1,35	1,02	1,30	1,32	1,29	1,29	1,31	1,34	1,35	1,33	1,29	1,34	1,34	1,36	1,30	1,33												
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
Fe*	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00												
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
Ca	0,41	0,33	0,35	0,37	0,29	0,42	0,31	0,29	0,35	0,35	0,00	0,29	0,33	0,30	0,30	0,31	0,33	0,32	0,33	0,33	0,32	0,33	0,37	0,31	0,33												
Na	0,60	0,68	0,64	0,65	0,68	0,60	0,62	0,65	0,59	0,59	0,06	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70	0,65	0,64	0,63	0,66	0,68	0,66	0,64	0,69	0,66												
K	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,83	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01												
Σ cations	5,02	5,01	5,01	5,02	4,99	5,03	4,95	4,97	4,96	4,96	4,92	4,97	5,00	4,99	5,00	5,02	5,01	4,99	4,98	5,00	5,01	5,01	5,02	5,01	4,99												
An	40,38	32,07	34,70	36,13	29,42	40,42	32,81	31,06	36,83	36,44	0,00	30,87	32,73	30,04	29,99	30,56	33,31	32,88	33,80	32,91	31,49	33,25	36,51	30,56	33,22												
Ab	58,48	66,70	62,96	63,09	69,29	58,64	66,35	68,22	62,33	62,65	6,36	67,30	66,19	68,70	68,71	67,62	64,80	66,03	65,66	65,77	67,26	65,83	62,60	68,35	66,40												
Or	1,14	1,23	2,34	0,78	1,29	0,95	0,85	0,72	0,85	0,90	93,64	1,84	1,08	1,26	1,29	1,82	1,88	1,09	0,54	1,33	1,25	0,92	0,89	1,09	0,38												

**Tableau I - Analyses et formules structurales calculées sur 8 oxygènes des feldspaths des granodiorites hôtes et enclaves.**

**Plagioclase compositions and structural formulae on the basis of 8 oxygens in granodiorites and MME.**

Roche N° Analyse	AM73 118	AM73 120	AM 111 144	AM 111 146	AM99 155	AM99 156	AM99 169	AM99 187	AM99 198	AM99 200	AM99 202	AM118 94B	AM118 95C	AM118 96	AM118 97	AM118 98	AM118 99	AM118 100
SiO <sub>2</sub>	60,28	61,33	64,38	68,91	61,97	60,68	59,93	60,27	60,30	59,74	59,62	61,40	61,30	60,00	59,70	60,60	58,90	61,00
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,00	0,03	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,26	25,52	18,59	19,74	24,49	24,20	25,89	24,30	24,63	24,88	25,02	24,40	24,70	25,70	25,70	25,10	25,40	25,20
FeO	0,03	0,06	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,07	0,00	0,10	0,25	0,20	0,06	0,14	0,10	0,08	0,01	0,20	0,17	0,14	0,07	0,22	0,19	0,14
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	6,86	6,77	0,00	0,04	5,52	5,82	7,57	6,46	6,16	7,08	6,65	5,60	5,48	6,75	6,43	5,96	6,48	5,91
N <sub>2</sub> O	7,45	7,86	0,60	0,47	7,96	7,98	7,01	7,68	8,00	7,56	7,46	7,58	7,59	6,71	7,11	7,13	7,06	6,99
K <sub>2</sub> O	0,08	0,23	15,45	15,16	0,13	0,32	0,21	0,26	0,15	0,10	0,14	0,30	0,27	0,16	0,15	0,21	0,19	0,35
<b>TOTAL</b>	<b>100,23</b>	<b>101,91</b>	<b>99,17</b>	<b>104,53</b>	<b>100,47</b>	<b>99,28</b>	<b>100,75</b>	<b>99,21</b>	<b>99,38</b>	<b>99,61</b>	<b>99,02</b>	<b>99,90</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>99,90</b>	<b>100,00</b>	<b>99,90</b>	<b>100,00</b>
Si	2,68	2,68	2,99	3,01	2,73	2,72	2,65	2,71	2,70	2,68	2,68	2,73	2,73	2,68	2,67	2,70	2,66	2,71
Al	1,32	1,32	1,02	1,02	1,27	1,28	1,35	1,29	1,30	1,31	1,33	1,28	1,30	1,35	1,36	1,32	1,35	1,32
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,33	0,32	0,00	0,00	0,26	0,28	0,36	0,31	0,30	0,34	0,32	0,27	0,26	0,32	0,31	0,29	0,31	0,28
Na	0,64	0,67	0,05	0,04	0,68	0,69	0,60	0,67	0,69	0,66	0,65	0,65	0,65	0,58	0,62	0,62	0,62	0,60
K	0,00	0,01	0,92	0,84	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Σcations	4,98	5,00	4,98	4,92	4,97	5,00	4,98	4,99	5,00	5,00	4,99	4,96	4,96	4,94	4,96	4,95	4,97	4,94
An	33,57	31,85	0,00	0,22	27,47	28,19	36,90	31,27	29,59	33,91	32,73	28,46	28,05	35,37	33,02	31,18	33,26	31,15
Ab	65,98	66,87	5,54	4,45	71,74	69,95	61,87	67,20	69,58	65,52	66,46	69,72	70,30	63,63	66,07	67,51	65,58	66,66
Or	0,45	1,28	94,46	95,33	0,79	1,86	1,23	1,52	0,83	0,57	0,80	1,82	1,65	1,00	0,92	1,31	1,16	2,20

Le zircon est constant dans la roche et se rencontre sous forme de cristaux parfaitement automorphes. L'apatite cristallise en petits cristaux globuleux à fort relief. Dans la biotite, l'apatite se présente plutôt en forme allongée suivant l'allongement du minéral. L'allanite forme des cristaux hexagonaux à fort relief, zonés et faiblement pléochroïques. Les minéraux opaques abondants sont observés en inclusions dans tous les autres minéraux. Parfaitement automorphes à franchement xénomorphes et de taille variable, il s'agit

entre autres, de la magnétite altérée en hématite sous forme de fibres enchevêtrées et de la pyrite.

### III-3- Enclaves dans la granodiorite à amphibole de l'Oued Tamanrasset

L'une des caractéristiques des enclaves du massif est leur très grande diversité de composition. De forme anguleuse, sphérique ou ellipsoïdale, elles sont éparses ou regroupées en essaims (figs. 3a, d et f). La taille varie du centimètre au mètre.

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET CONDITIONS DE CRISTALLISATION DE LA SÉRIE TTG DU BATHOLITE COMPOSITE PAN-AFRICAIN DE L'AMSEL (HOGGAR CENTRAL, ALGÉRIE), TÉMOIN D'UN MÉLANGE DE MAGMAS.

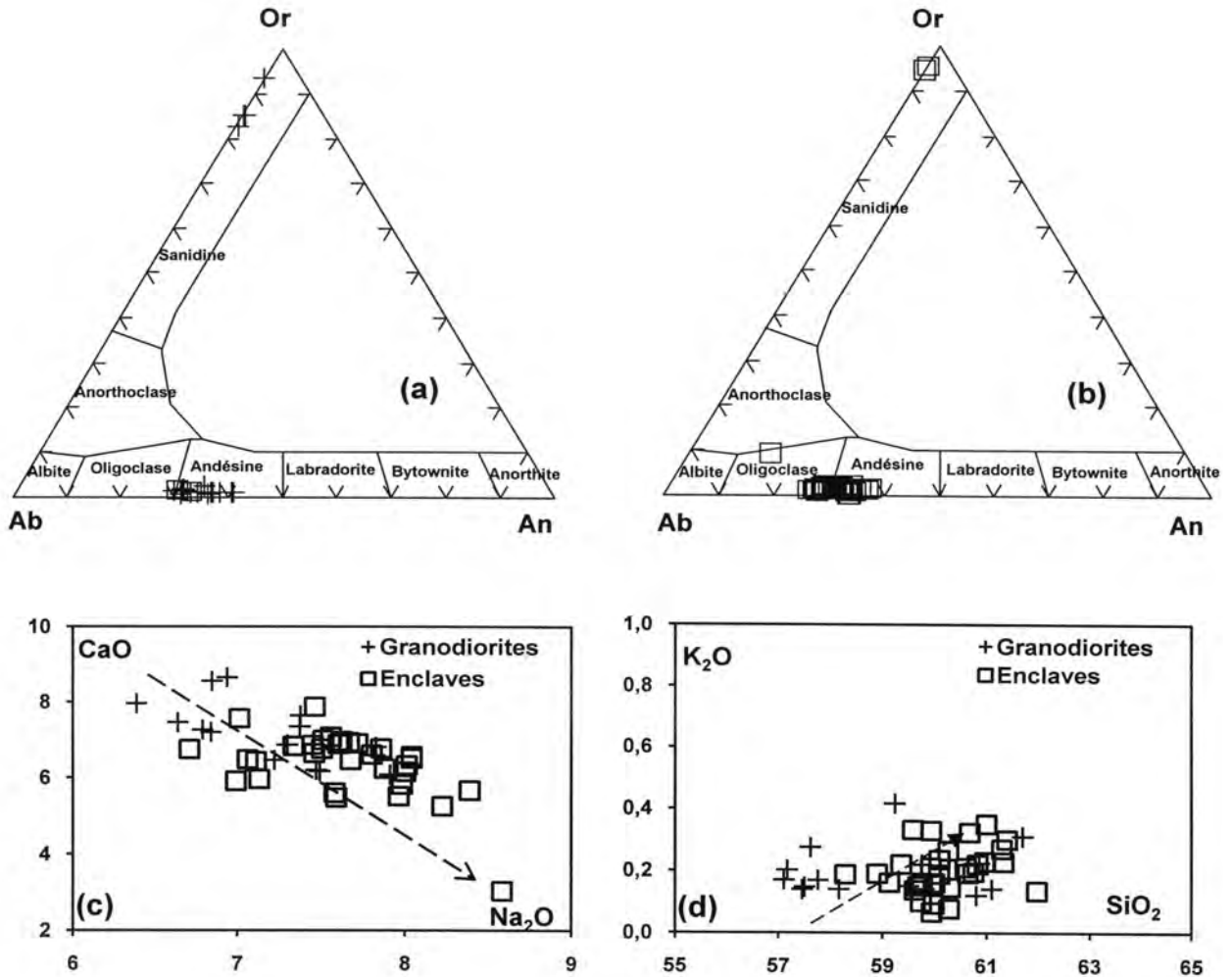


Fig. 5 - Nomenclature des feldspaths dans les granodiorites (a) et les enclaves (b). Diagrammes de composition des plagioclases (c, d)

*Feldspar nomenclature in granodiorite (a) and MME (b). Plagioclase compositions in granodiorite and MME (c, d)*

Leurs bordures sont nettes. Mises à part les enclaves de roches encaissantes (fig. 3 e), trois types d'enclaves ont pu être distingués : diorite-monzoiorite - granodiorite.

### III-3-1- La diorite sombre à amphibole (AM73)

Elle a une forme ellipsoïdale, de taille centimétrique à décimétrique, à patine et cassure sombres.

L'association minéralogique comprend : plagioclase (45 – 50 %) – amphibole (25 – 30 %) – biotite (15 – 20 %) – feldspath alcalin – zircon – apatite – allanite – minéraux opaques. La texture est grenue hétérogranulaire.

Le plagioclase type andésine forme avec l'amphibole presque la totalité des minéraux de la roche et il domine en grandes lattes automorphes peu altérées et toujours maclés albite. Les rares cristaux de feldspath alcalin sont repré-

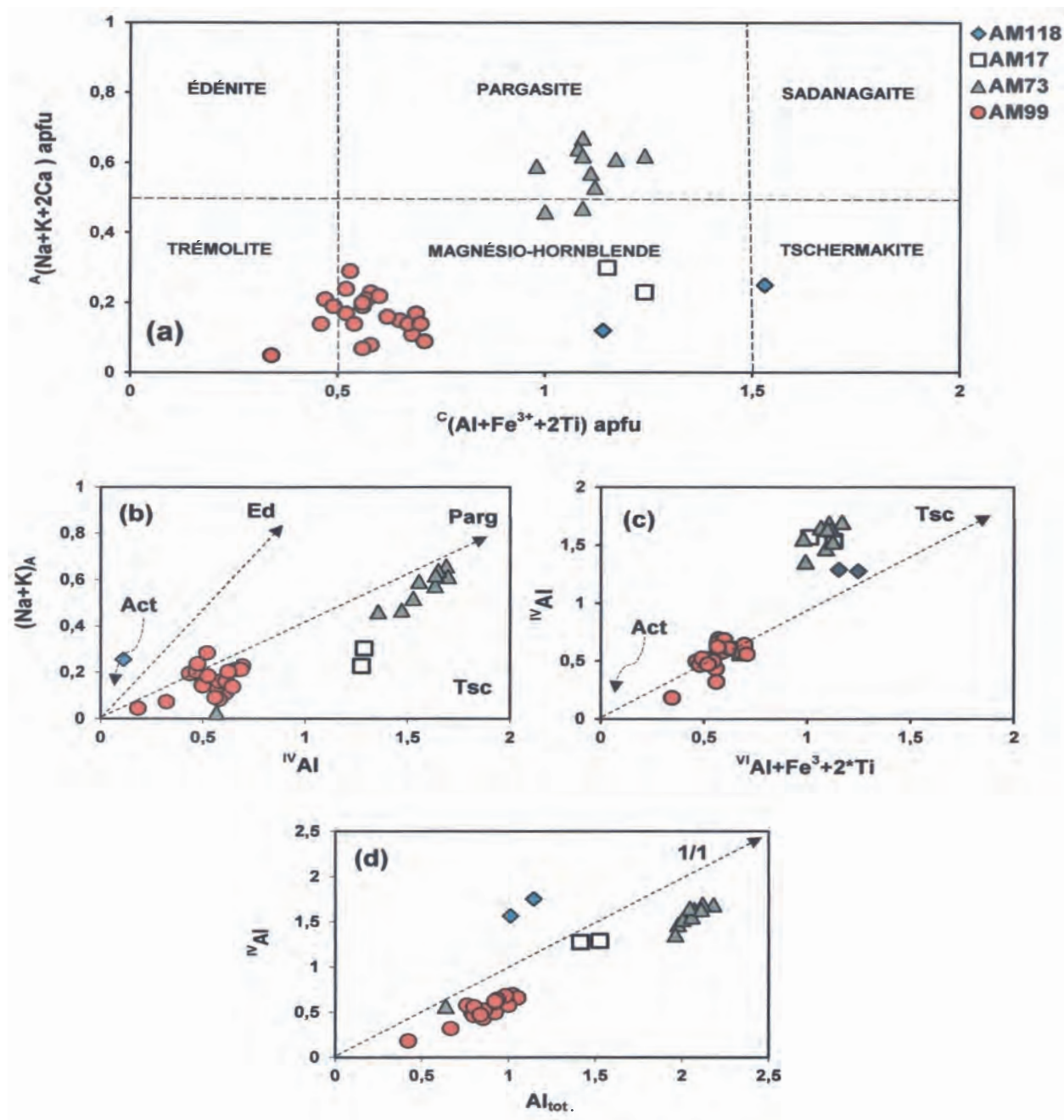


Fig. 6 - Nomenclature des amphiboles dans le diagramme de Hawthorne et al. (2012)

*Amphibole compositions plotted in Hawthorne and al. (2012) diagram*

(a)  $^B\text{Ca}/^B(\text{Ca}+\text{Na}) \geq 0.75$  et  $^B(\text{Ca}+\sum\text{M}^{2+})/\sum\text{B} \geq 0.75$ .  $^B\text{Ca}/\sum\text{B} \geq \text{B}\sum\text{M}^{2+}/\sum\text{B}$ . (b) Substitution pargasite – actinolite (*pargasite – actinolite substitution*). (c) Substitution Ti- tschermakite (*Ti- tschermakite substitution*). (d) Diagramme  $\text{Al}_{\text{total}} - ^{\text{IV}}\text{Al}$  ( *$\text{Al}_{\text{total}}$  vs.  $^{\text{IV}}\text{Al}$  diagram*).

sentés par l'orthose toujours xénomorphe. L'amphibole est très pléochroïque de vert-olive à jaune clair. Elle inclut des cristaux de plagioclase à macles polysynthétiques légèrement altérés, la biotite automorphe et des minéraux opaques. La biotite, relativement abondante, forme des lamelles peu ou pas altérées, très pléochroïques de brun foncé à brun clair. Elle inclut le zircon et des minéraux opaques présentant des formes amiboïdes. L'apatite aciculaire est abondante dans l'amphibole. Le zircon forme des cristaux à section losangique, bordés d'un halo pléochroïque caractéristique. L'allanite, sous forme de cristaux losangiques à très fort relief, est constamment zonée. Les minéraux opaques sont abondants, surtout dans l'amphibole où ils forment des cristaux xénomorphes.

### **III-3-2- La diorite claire à amphibole (AM118)**

L'association minéralogique comprend: plagioclase (40 – 45 %) – amphibole (20 - 25 %) – biotite (30%) – feldspath alcalin (3 %) – quartz (2%) – zircon – apatite – allanite – minéraux opaques. La texture est pseudo-doléritique orientée. Le plagioclase type andésine cristallise sous forme de grandes lattes. Le quartz est franchement xénomorphe. L'amphibole automorphe inclut des cristaux de plagioclase légèrement altéré et de biotite automorphe, du quartz globuleux et des minéraux opaques. Des figures de cataclase intramagmatiques sont représentées par des cristaux d'amphibole éclatés en plusieurs individus à bordures jointives. Le feldspath alcalin, étant la dernière phase à cristalliser, colmate les cristaux d'amphibole démantelés. L'apatite est abondante dans l'amphibole, sous forme d'inclusions aciculaires disposées perpendiculairement à l'allongement du cristal d'amphibole. Les minéraux accessoires sont représentés par le zircon parfaitement automorphe, l'allanite automorphe très pléochroïque et des minéraux opaques xénomorphes.

### **III-3-3- Monzodiorite à amphibole (AM99)**

L'association minéralogique comprend: plagioclase (35 – 40 %) – amphibole (20 – 25 %) – biotite (15 – 20 %) – quartz (7 – 10 %) – feldspath alcalin (2 %) – apatite – titanite – zircon – minéraux opaques. La texture est pseudo-doléritique. Le plagioclase type andésine automorphe est maclé albite et albite – Carlsbad. Quelques phénocristaux, de tailles inégales, sont corrodés, isolés ou regroupés en synneusis (fig. 4a). Ils montrent souvent un zonage complexe (fig. 4b) en taches (patchy-zoning) avec de nombreuses inclusions d'amphibole automorphe, d'apatite aciculaire, de quartz globuleux et des minéraux opaques xénomorphes.

Le quartz peu abondant est franchement xénomorphe, ou sous forme d'ocelles de grande taille de 1 à 3 individus et entourées d'un liseré de biotite et amphibole (fig. 4f). L'amphibole, automorphe à subautomorphe, est parfois associée à la biotite pour former des amas polycristallins.

La biotite, relativement abondante, cristallise sous forme de lamelles peu ou pas altérées, très pléochroïques de brun foncé à brun clair. Elle inclut le zircon et des minéraux opaques de forme amiboïde. Une deuxième génération de biotite, provenant manifestement de la pseudomorphose de l'amphibole, montre un pléochroïsme et des teintes moins intenses. Les accessoires sont représentés par l'apatite aciculaire, le zircon en cristaux losangiques (fig. 4e), l'allanite automorphe constamment zonée et les minéraux opaques xénomorphes, abondants surtout dans l'amphibole.

### **III-4- Enclaves dans la granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer**

Elles sont représentées uniquement par des granodiorites à biotite. L'association minéralogique montre: plagioclase (40 – 45 %) – biotite (25 – 30 %) – quartz (15 – 20 %) – feldspath alcalin (10%) – titanite – zircon – apatite – minéraux opaques. La

**Tableau II** - Analyses et formules structurales calculées sur 23 oxygènes et 13 cations des amphiboles des granodiorites hôtes et enclaves.***Amphibole analyses and structural formulae on the basis of 23 oxygens and 13 cations in granodiorites and MME.***

Échant.	AM118	AM118	AM17	AM17	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73
Analyse	92	93	63	66	86b	87b	91	92	93	94	95	96	112	115
SiO <sub>2</sub>	46.44	42.74	44.78	44.04	41.82	42.07	41.79	43.22	43.07	42.34	41.67	41.70	43.76	42.32
TiO <sub>2</sub>	0.77	1.16	1.00	0.98	1.53	1.53	1.64	1.44	1.34	1.12	1.55	1.53	1.09	1.51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.47	9.90	8.00	8.50	12.28	11.62	11.93	11.12	11.33	11.47	11.68	11.41	10.98	11.92
FeO	17.56	19.62	19.03	18.70	16.58	16.56	16.78	15.51	16.43	16.71	16.67	16.93	16.30	16.95
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03	0.02	0.09	0.05	0.00	0.09	0.00	0.00
MnO	0.50	0.45	0.44	0.45	0.31	0.22	0.20	0.27	0.17	0.20	0.37	0.14	0.35	0.20
MgO	11.16	9.60	10.28	9.72	9.78	10.01	10.00	10.37	10.16	9.76	10.25	9.90	9.52	9.81
CaO	10.99	11.02	11.20	11.22	11.91	11.93	11.85	11.79	11.65	12.13	11.53	11.87	11.70	11.92
Na <sub>2</sub> O	0.80	1.01	0.91	1.01	1.77	1.53	1.69	1.29	1.61	1.43	1.82	1.65	1.28	1.69
K <sub>2</sub> O	0.55	0.96	0.84	0.89	1.12	0.99	1.06	0.95	0.92	0.99	1.14	1.12	0.94	1.09
Total	95.24	96.46	96.48	95.51	97.32	96.89	97.16	95.94	96.67	96.21	96.89	96.24	95.92	97.40
TSi	6.99	6.43	6.73	6.71	6.31	6.37	6.30	6.53	6.47	6.44	6.29	6.35	6.64	6.36
TAI	1.01	1.57	1.28	1.29	1.69	1.63	1.70	1.47	1.53	1.56	1.71	1.65	1.36	1.64
Sum_T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
CAI	0.14	0.19	0.14	0.24	0.49	0.44	0.42	0.51	0.48	0.50	0.37	0.40	0.61	0.47
CCr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
CFe <sub>3</sub>	0.82	1.08	0.88	0.69	0.26	0.33	0.37	0.26	0.34	0.22	0.51	0.32	0.13	0.28
CTi	0.09	0.13	0.11	0.11	0.17	0.17	0.19	0.16	0.15	0.13	0.18	0.18	0.13	0.17
CMg	2.50	2.15	2.30	2.21	2.20	2.26	2.25	2.34	2.28	2.22	2.31	2.25	2.15	2.20
CFe <sub>2</sub>	1.39	1.39	1.51	1.69	1.83	1.76	1.74	1.70	1.72	1.90	1.60	1.84	1.94	1.85
CMn	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.05	0.03
Sum_C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
BCa	1.77	1.78	1.80	1.83	1.93	1.93	1.92	1.91	1.88	1.98	1.87	1.94	1.90	1.92
BNa	0.23	0.22	0.20	0.17	0.07	0.07	0.09	0.09	0.13	0.02	0.14	0.06	0.10	0.08
Sum_B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ACa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ANa	0.01	0.07	0.07	0.13	0.45	0.38	0.41	0.29	0.35	0.40	0.40	0.42	0.28	0.41
AK	0.11	0.18	0.16	0.17	0.22	0.19	0.20	0.18	0.18	0.19	0.22	0.22	0.18	0.21
Sum_A	0.11	0.26	0.23	0.30	0.66	0.57	0.61	0.47	0.52	0.59	0.62	0.64	0.46	0.62
Σcations	15.11	15.26	15.23	15.30	15.66	15.57	15.61	15.47	15.52	15.59	15.62	15.64	15.46	15.62
Sum_oxym	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
X <sub>Mg</sub>	0,55	0,56	0,56	0,58	0,57	0,54	0,59	0,55	0,53	0,54	0,80	0,60	0,64	0,61

texture est grenue à tendance porphyrique. Le plagioclase type andésine représente la phase minérale la plus abondante (fig. 4d). Toujours automorphes, les cristaux montrent la macle polysynthétique albite et sont parfois zonés. Les cristaux de plagioclase de grande taille sont souvent corrodés et associés en deux à trois porphyrocristaux. Le quartz est franchement xénomorphe à extinction onduleuse. Le feldspath alcalin est l'orthose

automorphe à subautomorphe avec des inclusions de biotite et de quartz. La biotite automorphe à subautomorphe est très pléochroïque de brun foncé à brun clair et riche en inclusions d'apatite en cristaux trapus, de zircon automorphe et de minéraux opaques. Elle est souvent altérée en chlorite de type pennine. La titanite assez abondante montre des formes amiboïdes. Les minéraux opaques sont peu abondants et très xénomorphes.

**Tableau II** - Analyses et formules structurales calculées sur 23 oxygènes et 13 cations des amphiboles des granodiorites hôtes et enclaves.

***Amphibole compositions and structural formulae on the basis of 23 oxygens and 13 cations in granodiorites and MME.***

Échant.	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99
Analyse	141	162	163	194	195	164	165	166	167	196	175	176
SiO <sub>2</sub>	50.09	50.34	49.51	48.23	49.33	49.00	49.73	50.57	49.12	49.24	48.98	49.18
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.69	0.73	0.57	0.55	0.76	0.45	0.46	0.77	0.60	0.67	0.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.81	4.89	5.38	5.24	4.41	5.83	5.38	4.40	5.99	4.72	4.95	5.63
FeO	0.08	15.35	15.37	15.07	14.50	16.15	15.54	15.38	15.70	13.53	15.23	15.02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.16	0.03	0.00	0.05	0.22	0.01	0.10	0.64	0.15	0.00	0.06
MnO	0.09	0.21	0.31	0.26	0.22	0.29	0.46	0.47	0.28	0.24	0.35	0.32
MgO	0.03	11.75	11.79	11.52	12.20	11.27	11.52	12.84	10.99	11.89	11.25	11.34
CaO	12.38	11.95	11.36	11.15	11.55	11.68	11.05	12.06	11.64	11.57	11.93	10.69
Na <sub>2</sub> O	3.88	0.58	0.76	0.63	0.55	0.88	0.76	0.41	0.78	0.67	0.79	0.95
K <sub>2</sub> O	0.09	0.45	0.57	0.47	0.52	0.56	0.73	0.38	0.65	0.47	0.51	0.81
Total	96.48	96.19	95.77	93.14	93.83	96.43	95.61	96.96	95.91	92.93	94.66	94.69
TSi	7.62	7.50	7.39	7.39	7.50	7.31	7.43	7.42	7.34	7.57	7.48	7.42
TAI	0.38	0.50	0.61	0.61	0.50	0.69	0.57	0.58	0.66	0.44	0.52	0.58
Sum_T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
CAI	4.97	0.36	0.34	0.34	0.29	0.33	0.38	0.18	0.39	0.42	0.37	0.42
CCr	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.08	0.02	0.00	0.01
CFe <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.15	0.20	0.05	0.07	0.19	0.30	0.00	0.00	0.00	0.09
CTi	0.00	0.08	0.08	0.07	0.06	0.09	0.05	0.05	0.09	0.07	0.08	0.09
CMg	0.01	2.61	2.62	2.63	2.77	2.51	2.57	2.81	2.45	2.72	2.56	2.55
CFe <sub>2</sub>	0.01	1.91	1.77	1.73	1.80	1.94	1.76	1.58	1.96	1.74	1.94	1.80
CMn	0.01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.04	0.03	0.05	0.04
Sum_C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
BCa	2.00	1.91	1.82	1.83	1.88	1.87	1.77	1.90	1.86	1.91	1.95	1.73
BNa	0.00	0.09	0.18	0.17	0.12	0.13	0.22	0.10	0.14	0.10	0.05	0.27
Sum_B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ACa	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ANa	1.15	0.08	0.04	0.02	0.04	0.12	0.00	0.01	0.09	0.10	0.19	0.01
AK	0.02	0.09	0.11	0.09	0.10	0.11	0.14	0.07	0.12	0.09	0.10	0.16
Sum_A	1.18	0.16	0.14	0.11	0.15	0.23	0.14	0.08	0.21	0.20	0.29	0.16
Σcations	16.18	15.16	15.14	15.11	15.15	15.23	15.13	15.08	15.21	15.20	15.29	15.16
Sum_ox	25.90	23.05	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.03	23.12	23.12	23.00
X <sub>Mg</sub>	0,60	0,61	0,58	0,57	0,59	0,61	0,59	0,63	0,62	0,63	0,56	0,56

#### IV- MINÉRALOGIE

Les compositions chimiques des minéraux majeurs ont été déterminées à la microsonde électronique (SX50) de Jussieu (Camparis, Universités de Paris 6 - 7) sous les conditions analytiques suivantes: tension d'accélération 15 kV, intensité du courant 12 nA, temps de comptage 10 s, faisceau électronique focalisé à 2 μm, avec pour standards des minéraux naturels. Les résultats des analyses et les formules structurales sont donnés sous forme de ta-

bleaux. Au total, trois minéraux (plagioclase, biotite et amphibole) dans sept (07) roches ont été analysés :

- granodiorite à amphibole de l'Oued Tamanrasset (AM17, AM119);

- enclaves de l'Oued Tamanrasset: diorite sombre à amphibole (AM73), diorite claire à amphibole (AM118), monzodiorite à amphibole (AM99);

**Tableau II** - Analyses et formules structurales calculées sur 23 oxygènes et 13 cations des amphiboles des granodiorites hôtes et enclaves.***Amphibole compositions and structural formulae on the basis of 23 oxygens and 13 cations in granodiorites and MME.***

Échant.	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99
Analyse	177	178	142	179	143	144	145	147	148	149	161
SiO <sub>2</sub>	48.55	49.95	49.77	49.34	47.96	48.49	48.04	50.33	52.42	51.64	49.72
TiO <sub>2</sub>	0.70	0.65	0.54	0.56	0.59	0.52	0.72	0.54	0.30	0.48	0.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.54	4.50	5.19	4.81	5.09	5.23	5.10	4.60	2.40	3.80	4.70
FeO	15.38	14.95	15.00	14.99	15.48	15.44	15.06	15.57	14.33	13.99	14.67
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.03	0.06	0.05	0.08	0.23	0.00	0.10	0.06
MnO	0.24	0.22	0.10	0.21	0.28	0.41	0.13	0.48	0.22	0.38	0.16
MgO	11.82	11.93	11.63	11.83	11.26	11.64	11.61	12.20	13.09	12.64	11.85
CaO	11.60	11.82	11.47	11.36	11.06	11.09	11.20	11.08	11.45	11.06	11.85
Na <sub>2</sub> O	0.79	0.71	0.68	0.86	0.78	0.80	0.87	0.78	0.45	0.52	0.75
K <sub>2</sub> O	0.56	0.47	0.48	0.47	0.53	0.53	0.52	0.49	0.24	0.39	0.49
Total	95.17	95.19	94.84	94.42	93.02	94.14	93.26	96.07	94.91	94.90	94.88
TSi	7.32	7.53	7.50	7.48	7.39	7.36	7.38	7.44	7.82	7.68	7.53
TAl	0.68	0.47	0.50	0.52	0.61	0.64	0.62	0.56	0.18	0.32	0.47
Sum_T	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
CAI	0.30	0.33	0.42	0.34	0.31	0.29	0.30	0.24	0.24	0.35	0.36
CCr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01
CFe <sub>3</sub>	0.14	0.00	0.00	0.03	0.17	0.29	0.10	0.35	0.04	0.11	0.00
CTi	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.08	0.06	0.03	0.05	0.08
CMg	2.66	2.68	2.61	2.67	2.59	2.63	2.66	2.69	2.91	2.80	2.67
CF <sub>2</sub>	1.80	1.89	1.89	1.87	1.82	1.67	1.83	1.58	1.75	1.63	1.86
CMn	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05	0.02	0.06	0.03	0.05	0.02
Sum_C	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
BCa	1.87	1.91	1.85	1.84	1.83	1.80	1.84	1.76	1.83	1.76	1.92
BNa	0.13	0.09	0.15	0.16	0.18	0.20	0.16	0.22	0.13	0.15	0.08
Sum_B	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.98	1.96	1.91	2.00
ACa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ANa	0.11	0.12	0.05	0.10	0.06	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	0.14
AK	0.11	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.05	0.07	0.10
Sum_A	0.21	0.21	0.14	0.19	0.16	0.14	0.20	0.09	0.05	0.07	0.24
Σcations	15.21	15.21	15.14	15.19	15.16	15.14	15.20	15.07	15.01	14.99	15.24
Sum_oxy	23.00	23.06	23.02	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.11
X <sub>Mg</sub>	0,60	0,56	0,59	0,64	0,55	0,54	0,63	0,62	0,63	0,56	0,56

- granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer (AM108);
- enclave granodioritique à biotite de l'Oued Ezerzer (AM111).

**IV-1- Feldspaths**

C'est la phase minérale la plus abondante. Le plagioclase se présente souvent en plages sub-

automorphes à automorphes maclées albite de grande taille (1 à 5 mm) et parfois zonées avec des inclusions de biotite, apatite, zircon et minéraux opaques. Sa composition varie de façon relativement restreinte (oligoclase – andésine) : de An<sub>38</sub> à An<sub>28</sub> dans la granodiorite hôte de l'Oued Tamarrasset et l'Oued Ezerzer (figs. 5a et b) et de An<sub>42</sub> à An<sub>28</sub> dans les enclaves des granodiorites hôtes respectives (tabl. I). La similitude de com-



**Tableau III** - Analyses et formules structurales calculées sur 22 oxygènes des biotites des granodiorites hôtes et enclaves.***Biotite analyses and structural formulae on the basis of 22 oxygens in granodiorites and MME.***

Roche	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108	AM108
N°Analyse	61	65	66	68	72	73	75	76	77	78	79	81	85	11	12	13	14
SiO <sub>2</sub>	33,69	32,88	33,69	34,93	34,91	35,75	33,26	34,17	34,05	34,34	35,98	34,11	34,45	36,35	36,75	36,48	36,17
TiO <sub>2</sub>	2,76	2,82	2,54	2,67	2,80	2,21	2,35	2,51	2,77	2,58	2,56	2,84	2,77	3,73	3,54	3,66	3,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,45	16,70	16,40	17,32	16,36	17,86	17,47	17,26	16,38	17,18	17,18	17,21	17,67	14,78	14,80	14,71	14,81
FeO	0,08	0,04	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,03	0,05	0,03	0,00	0,06	0,02	0,02	0,04	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,15	24,81	24,30	23,23	23,38	21,81	23,14	24,41	22,84	23,57	23,92	22,62	22,42	19,11	19,20	19,50	18,99
MnO	0,09	0,00	0,14	0,04	0,24	0,30	0,13	0,06	0,20	0,16	0,26	0,22	0,12	0,21	0,17	0,23	0,22
MgO	6,71	6,38	6,26	6,42	7,04	6,32	6,65	6,75	7,36	6,42	6,44	6,90	6,26	10,88	10,54	10,79	10,73
CaO	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,12	0,18	0,00	0,08	0,25	0,08	0,02	0,02	0,04	0,03	0,00	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,19	0,08	0,10	0,00	0,13	0,28	0,07	0,18	0,18	0,15	0,13	0,14	0,10	0,07	0,08	0,15
K <sub>2</sub> O	9,06	9,06	9,28	9,02	9,30	7,96	8,51	8,94	8,81	8,79	9,30	9,20	8,71	9,52	9,94	9,71	9,72
Total	93,05	92,87	92,67	93,77	94,12	92,48	91,96	94,17	92,70	93,52	95,90	93,25	92,62	94,75	95,06	95,21	94,55
Si	5,42	5,33	5,45	5,51	5,52	5,63	5,37	5,41	5,45	5,46	5,57	5,42	5,48	5,59	5,64	5,60	5,58
Al <sup>IV</sup>	2,58	2,67	2,55	2,49	2,48	2,37	2,63	2,59	2,55	2,54	2,43	2,58	2,52	2,41	2,36	2,40	2,42
Z	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al <sup>VI</sup>	0,53	0,52	0,58	0,73	0,56	0,95	0,70	0,63	0,54	0,67	0,70	0,65	0,80	0,27	0,32	0,26	0,28
Ti	0,33	0,34	0,31	0,32	0,33	0,26	0,29	0,30	0,33	0,31	0,30	0,34	0,33	0,43	0,41	0,42	0,42
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	3,25	3,36	3,29	3,07	3,09	2,87	3,13	3,23	3,06	3,13	3,09	3,01	2,98	2,46	2,46	2,50	2,45
Cr	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Mn	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
Mg	1,61	1,54	1,51	1,51	1,66	1,48	1,60	1,59	1,76	1,52	1,48	1,63	1,48	2,49	2,41	2,47	2,47
Y	5,75	5,77	5,71	5,63	5,68	5,61	5,73	5,77	5,72	5,66	5,61	5,66	5,62	5,68	5,62	5,68	5,65
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Na	0,02	0,06	0,03	0,03	0,00	0,04	0,09	0,02	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04
K	1,86	1,87	1,92	1,82	1,87	1,60	1,75	1,81	1,80	1,78	1,84	1,87	1,77	1,87	1,94	1,90	1,91
X	1,88	1,93	1,94	1,85	1,88	1,66	1,87	1,83	1,87	1,88	1,89	1,91	1,81	1,90	1,97	1,93	1,97
Σ cations	15,63	15,70	15,65	15,48	15,56	15,27	15,60	15,59	15,59	15,54	15,51	15,58	15,43	15,59	15,60	15,61	15,62
X <sub>Mg</sub>	0,33	0,31	0,31	0,33	0,35	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,32	0,35	0,33	0,50	0,49	0,50	0,50
X <sub>Fe</sub>	0,67	0,69	0,69	0,67	0,65	0,66	0,66	0,67	0,64	0,67	0,68	0,65	0,67	0,50	0,51	0,50	0,50

position entre les cristaux des enclaves et de la granodiorite hôte montre que ces roches ont fini de cristalliser à l'équilibre.

L'évolution positive de K<sub>2</sub>O en fonction de SiO<sub>2</sub> (bien qu'elle ne soit pas trop prononcée) montre que le potassium est incorporé de façon préférentielle dans les compositions les plus sodiques. Ces évolutions sont cohérentes avec l'augmentation du degré de différenciation du liquide à partir duquel les cristaux de plagioclase cristal-

lisent (zonage). L'augmentation des teneurs en K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O et SiO<sub>2</sub>, ainsi que la diminution des teneurs en CaO (figs. 5c et d), s'expliquent comme la signature chimique de l'augmentation du degré de différenciation du liquide.

#### IV-2- Amphibole

Il s'agit toujours de l'hornblende en cristaux verts, isolés, automorphes à subautomorphes, très pléochroïques avec des inclusions de zircon, apa-

**Tableau III** - Analyses et formules structurales calculées sur 22 oxygènes des biotites des granodiorites hôtes et enclaves.

***Biotite analyses and structural formulae on the basis of 22 oxygens in granodiorites and MME.***

Roche	AM119	AM119	AM119	AM119	AM119	AM17	AM17	AM17	AM17	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73
N°Analys	16	17	18	19	20	71	64	65	69	31	32	33	37	38	39	40	42	43
SiO <sub>2</sub>	36,29	36,37	36,52	36,27	35,84	36,70	36,20	36,30	37,20	37,40	36,89	36,74	36,54	36,64	35,11	36,48	36,85	37,08
TiO <sub>2</sub>	3,64	3,48	3,93	3,76	3,74	2,59	2,41	2,32	2,44	3,51	2,78	3,03	3,31	3,42	2,78	2,92	3,36	3,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,31	15,02	14,68	14,52	14,77	15,50	14,50	15,10	15,50	15,27	15,20	14,95	14,76	14,85	14,91	14,53	14,90	14,71
FeO	0,11	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,67	18,35	19,83	18,87	18,91	18,80	19,80	20,70	18,30	17,09	18,38	17,96	19,42	17,95	16,95	18,06	18,84	18,71
MnO	0,19	0,18	0,18	0,22	0,22	0,32	0,33	0,36	0,29	0,25	0,28	0,26	0,26	0,23	0,20	0,24	0,35	0,31
MgO	10,69	10,81	10,47	10,83	10,76	11,00	10,60	10,50	11,50	10,19	11,49	11,59	11,17	10,95	10,92	11,11	11,18	11,25
CaO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,00	0,07	0,08	0,18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,16	0,08	0,19	0,16	0,10	0,11	0,09	0,13	0,24	0,17	0,18	0,32	0,11	3,45	0,22	0,09	0,11
K <sub>2</sub> O	9,94	9,39	9,72	9,63	9,43	8,37	8,56	8,78	8,58	8,73	9,50	9,55	9,31	9,05	9,45	9,38	9,69	9,50
Total	93,94	93,79	95,43	94,35	93,91	93,38	92,58	94,23	94,12	92,68	94,76	94,27	95,14	93,19	93,80	92,94	95,26	94,79
Si	5,60	5,62	5,60	5,60	5,56	5,67	5,69	5,63	5,69	5,77	5,64	5,64	5,60	5,67	5,49	5,69	5,63	5,68
Al <sup>IV</sup>	2,40	2,38	2,40	2,40	2,44	2,33	2,31	2,37	2,31	2,23	2,36	2,36	2,40	2,33	2,51	2,31	2,37	2,32
Z	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al <sup>VI</sup>	0,39	0,36	0,25	0,25	0,27	0,48	0,38	0,39	0,48	0,55	0,38	0,35	0,26	0,38	0,23	0,36	0,31	0,33
Ti	0,42	0,41	0,45	0,44	0,44	0,30	0,28	0,27	0,28	0,41	0,32	0,35	0,38	0,40	0,33	0,34	0,39	0,36
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	2,28	2,37	2,54	2,44	2,46	2,43	2,60	2,69	2,34	2,21	2,35	2,31	2,49	2,32	2,22	2,36	2,41	2,40
Cr	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04
Mg	2,46	2,49	2,39	2,49	2,49	2,53	2,48	2,43	2,62	2,34	2,62	2,65	2,55	2,53	2,54	2,58	2,54	2,57
Y	5,58	5,65	5,66	5,65	5,68	5,79	5,79	5,82	5,75	5,54	5,71	5,69	5,73	5,66	5,34	5,67	5,69	5,69
Ca	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,05	0,02	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,05	0,05	0,09	0,03	1,05	0,07	0,03	0,03
K	1,96	1,85	1,90	1,90	1,87	1,65	1,72	1,74	1,67	1,72	1,85	1,87	1,82	1,79	1,88	1,87	1,89	1,85
X	1,98	1,90	1,93	1,96	1,92	1,68	1,76	1,78	1,74	1,79	1,90	1,92	1,92	1,82	2,94	1,93	1,91	1,89
Σ cations	15,57	15,55	15,59	15,61	15,60	15,46	15,56	15,60	15,49	15,33	15,62	15,62	15,64	15,48	16,28	15,60	15,60	15,58
X <sub>Mg</sub>	0,52	0,51	0,48	0,51	0,50	0,51	0,49	0,47	0,53	0,52	0,53	0,53	0,51	0,52	0,53	0,52	0,51	0,52
X <sub>Fe</sub>	0,48	0,49	0,52	0,49	0,50	0,49	0,51	0,53	0,47	0,48	0,47	0,47	0,49	0,48	0,47	0,48	0,49	0,48

tite, quartz globuleux et minéraux opaques. Les bords nets sans trace de résorption indiquent que les cristaux se sont formés en équilibre avec le liquide. La présence d'amphibole est un argument pour une teneur en eau relativement importante dans le magma. Dans certaines enclaves, l'amphibole montre un habitus différent sous forme de petits cristaux d'actinote enchevêtrés en amas polycristallins, associés parfois à un peu de biotite, qui proviendraient de la déstabilisation de

pyroxène (AM99). La formule structurale est calculée sur la base de 23 oxygènes et 13 cations (tabl. II). Les amphiboles présentent globalement de faibles teneurs en TiO<sub>2</sub> (1,9 - 3,5 %), 0,80 > X<sub>Mg</sub> > 0,53 et 6,29 < Si < 7,82. Dans la classification de Hawthorne et *al.* (2012), les amphiboles sont calciques, il s'agit de magnésiohornblende dans la granodiorite et les enclaves de monzodiorite et diorite claire, et de pargasite dans l'enclave de diorite sombre (fig. 6a).

**Tableau III** - Analyses et formules structurales calculées sur 22 oxygènes des biotites des granodiorites hôtes et enclaves.**Biotite compositions and structural formulae on the basis of 22 oxygens in granodiorites and MME.**

Roche	AM73	AM118	AM118	AM118	AM118	AM 111	AM 111	AM 111	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99
N°Analyse	44	77	90	91	101	114	115	149	127	151	152	153	157
SiO <sub>2</sub>	36,51	37,09	36,50	36,63	36,71	36,35	36,45	35,28	36,95	36,95	37,26	36,07	36,56
TiO <sub>2</sub>	2,89	2,22	2,80	3,10	2,27	3,23	3,30	3,16	3,65	2,32	3,97	3,78	3,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,93	15,22	14,50	14,80	14,98	14,61	14,52	15,11	13,65	14,31	13,92	14,10	14,09
FeO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,16	0,03	0,24	0,04	0,11	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,93	19,97	20,00	20,27	19,51	20,42	20,79	20,37	18,12	18,74	18,31	18,40	18,35
MnO	0,33	0,26	0,28	0,26	0,30	0,13	0,30	0,09	0,13	0,19	0,20	0,13	0,04
MgO	11,38	11,24	11,40	11,02	11,39	9,20	9,64	9,09	10,58	10,53	10,47	10,03	10,29
CaO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,09	0,06	0,07	0,10	0,04	0,03	0,00	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,14	0,11	0,08	0,06	0,06	0,02	0,05	0,02	0,16	0,14	0,04	0,25	0,09
K <sub>2</sub> O	9,35	8,67	8,03	8,45	8,23	9,08	8,69	9,10	8,97	9,41	9,47	9,34	9,15
Total	93,49	94,78	93,61	94,60	93,45	93,18	93,89	92,44	92,32	92,85	93,72	92,20	92,08
Si	5,65	5,68	5,65	5,63	5,68	5,70	5,67	5,59	5,78	5,78	5,76	5,69	5,75
Al <sup>IV</sup>	2,35	2,32	2,35	2,37	2,32	2,30	2,33	2,41	2,22	2,22	2,24	2,31	2,25
Z	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al <sup>VI</sup>	0,38	0,42	0,30	0,31	0,41	0,40	0,34	0,42	0,30	0,42	0,29	0,31	0,36
Ti	0,34	0,26	0,33	0,36	0,26	0,38	0,39	0,38	0,43	0,27	0,46	0,45	0,40
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	2,32	2,56	2,59	2,61	2,52	2,68	2,71	2,70	2,37	2,45	2,37	2,43	2,41
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01
Mn	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
Mg	2,63	2,56	2,63	2,52	2,63	2,15	2,24	2,15	2,47	2,45	2,41	2,36	2,41
Y	5,70	5,83	5,89	5,83	5,87	5,64	5,72	5,67	5,59	5,65	5,56	5,57	5,60
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
Na	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,01	0,08	0,03
K	1,85	1,69	1,59	1,66	1,62	1,82	1,73	1,84	1,79	1,88	1,87	1,88	1,83
X	1,89	1,73	1,61	1,68	1,64	1,84	1,75	1,86	1,86	1,93	1,88	1,95	1,87
Σ cations	15,59	15,56	15,50	15,51	15,51	15,48	15,47	15,53	15,45	15,57	15,45	15,52	15,47
X <sub>Mg</sub>	0,53	0,50	0,50	0,49	0,51	0,45	0,45	0,44	0,51	0,50	0,50	0,49	0,50
X <sub>Fe</sub>	0,47	0,50	0,50	0,51	0,49	0,55	0,55	0,56	0,49	0,50	0,50	0,51	0,50

Dans la nouvelle classification utilisant les recommandations IMA 2012 (Locock, 2013), l'amphibole de la granodiorite de l'Oued Tamanrasset est une magnésio-ferri-hornblende, l'amphibole de la diorite claire est une ferri-tschermakite et magnésio-ferri-hornblende. Dans la diorite sombre, il s'agit de la pargasite et dans la monzodiorite, de la magnésio-hornblende et actinolite. Les variations chimiques sont régies par des substitutions de type Ti-pargasite et Ti-tschermakite (figs. 6b et c). En comparaison avec l'amphibole de la

granodiorite, l'amphibole des enclaves montre généralement plus de Al, Ti, Fe<sup>2+</sup>, Ca, Na et K et moins de Si, Fe<sup>3+</sup> et Mg. La teneur de Fe<sup>3+</sup> a.p.f.u. varie de 0.69 à 1.08 (AM17 et AM118), de 0.13 à 0.51 (AM73) et de zéro à 0.35 (AM99), ce qui implique une cristallisation à basse *f*O<sub>2</sub> (Anderson et Smith, 1995). Mise à part l'enclave AM99, les valeurs de <sup>IV</sup>Al (fig. 6d), relativement élevées, indiqueraient selon de nombreux auteurs (Helz, 1973; Fabriès et al., 1984; Hammarström et Zen, 1986) de fortes températures.

### IV-3- Biotite

C'est le minéral mafique le plus abondant. La biotite cristallise après l'hornblende et le plagioclase et inclut davantage de minéraux accessoires: zircon – apatite – titanite. Associée au plagioclase, elle souligne la texture fluidale des roches. Les caractères optiques sont relativement constants dans toutes les enclaves et semblables à ceux des roches hôtes. Il s'agit toujours, de biotite brune très pléochroïque et cristallisant sous forme de cristaux automorphes à subautomorphes de taille variable. Elle joue un rôle important dans le processus de déformation en rendant les hétérogénéités mafiques plus ductiles et capables de concentrer la déformation avec notamment des figures sigmoïdes. Dans le diagramme ternaire (FeO + MnO – MgO – 10\*TiO<sub>2</sub>) de Nachit *et al.* (1985), les compositions de biotite montrent un caractère magmatique primaire net (fig. 7a). La formule structurale est calculée sur la base de 22 oxygènes. Les compositions chimiques de la biotite de la granodiorite hôte et des enclaves respectives sont consignées dans le tableau III.

Le rapport FeO<sub>t</sub>/MgO dans la biotite de la granodiorite à amphibole est compris entre 1.59 et 1.97 avec une moyenne de 1.76 alors que celui de l'enclave varie de 1.55 et 1.84 avec une moyenne de 1.70 (tabl. IV).

Dans la granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer, le rapport est beaucoup plus élevé et oscille entre 3.10 et 3.89 contre 2.16 et 2.24 pour l'enclave.

Dans le diagramme de Deer *et al.* (1980) (fig. 7b), les biotites se projettent dans le champ des biotites. Quelques biotites appartenant à la granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer se rapprochent du pôle annite. Les variations détectées dans la composition chimique de la biotite au sein de chaque ensemble, reflètent les conditions physico-chimiques qui ont régi sa formation. Les perturbations enregistrées sont alors équilibrées par les substitutions. La substitution Ti-Tschermack est la plus importante (fig. 7c). Globalement, les variations en teneurs Al sont corrélées négativement à la silice et positivement à FeO<sub>t</sub> (figs. 7d et e), ce qui suggère la présence de la substitution sidérophylite  $Al + Fe^{3+} = 2*Si$ .

Dans le diagramme Altot vs Mg de Nachit *et al.* (1985), toutes les compositions occupent le domaine calco-alcalin (fig. 7f). Dans le diagramme ternaire MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - FeO de Abdel Rahman (1994), les biotites des enclaves occupent également le domaine calco-alcalin à l'exception des biotites de la granodiorite de l'Oued Ezerzer qui se situent dans le domaine hyperalumineux (fig. 7g)

### IV-4- Conditions de cristallisation

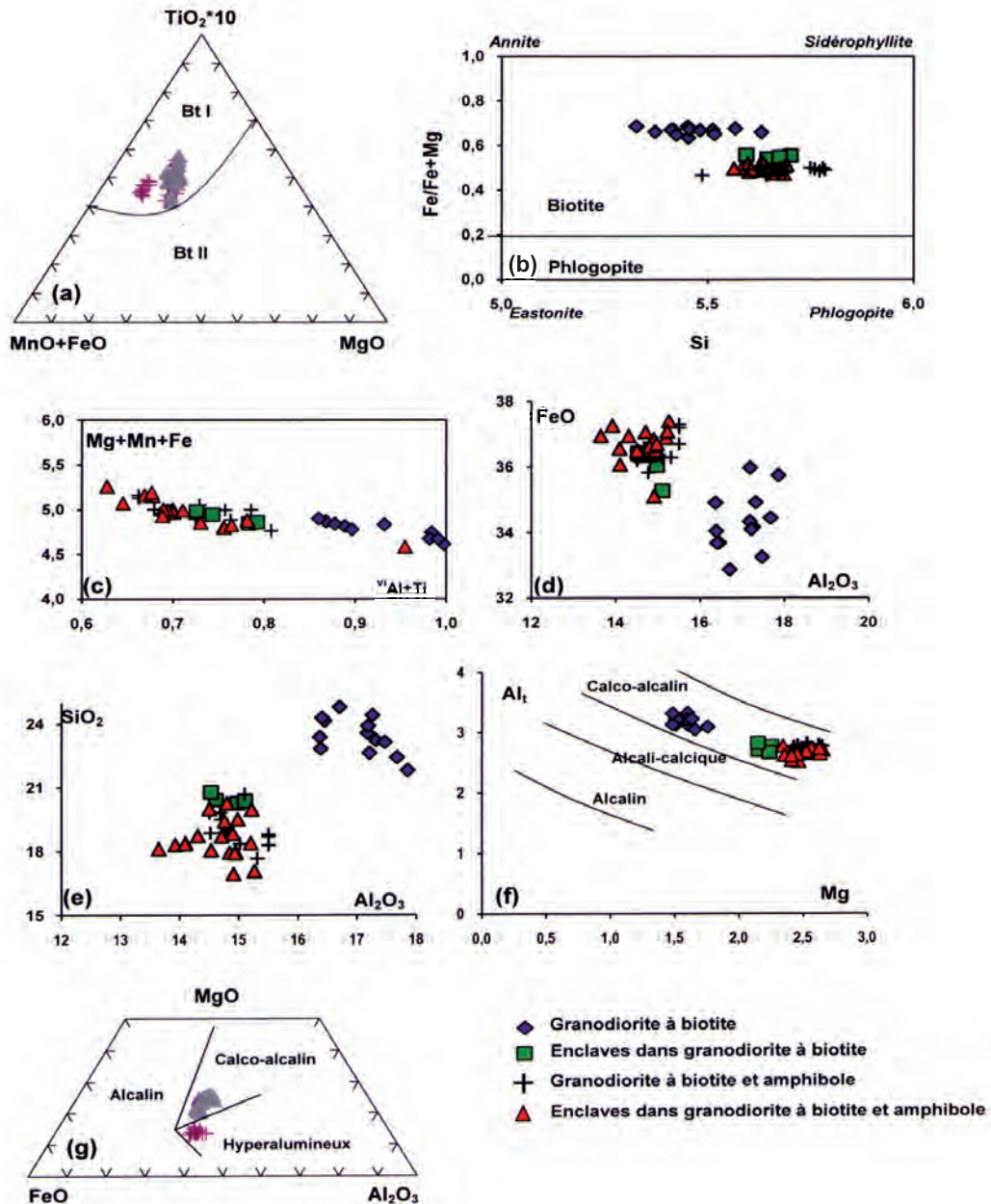
Toutes les calibrations du baromètre Al-in-hornblende (Hammarström et Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987; Johnson et Rutherford, 1989; Schmidt, 1992) sont fondées sur l'assemblage : biotite + plagioclase + feldspath potassique + quartz + titanite + oxydes Fe-Ti, à des températures voisines de 750°C. Le baromètre Al-in-hornblende a été

**Tableau IV** - Récapitulatif des principales compositions chimiques des biotites.

#### *Summary of the main chemical compositions of biotite*

	MgO	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>t</sub>
<b>granodiorite à amphibole Oued Tamanrasset</b>	10,47-11,70	2,32-3,93	14,52-14,80	17,67-20,70
<b>enclaves Oued Tamanrasset</b>	10,03-11,59	2,22-3,51	13,31-15,27	16,95-20,27
<b>granodiorite à biotite Oued Ezerzer</b>	6,26-7,36	2,21-2,84	16,38-17,67	21,81-24,81
<b>enclaves Oued Ezerzer</b>	9,09-9,66	2,84-3,30	14,52-15,11	20,27-20,70

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET CONDITIONS DE CRISTALLISATION DE LA SÉRIE TTG DU BATHOLITE COMPOSITE PAN-AFRICAIN DE L'AMSEL (HOGGAR CENTRAL, ALGÉRIE), TÉMOIN D'UN MÉLANGE DE MAGMAS.



**Fig. 7 - (a)** Biotite des granodiorites hôtes (croix) et des enclaves (losange) dans le diagramme de Nachit et *al.* (1985) (*Biotite in granodiorite (cross) and their enclaves (lozenge) plotted in the Nachit and al. (1985) diagram*). **(b)** Composition des biotites des granodiorites et des enclaves dans le diagramme de Deer et *al.* (1980) (*Biotite in granodiorite and their enclaves plotted in the Deer et al. (1980) diagram*). **(c)** Substitution dans le site octaédrique des biotites (*Substitution in biotite octahedral site*). **(d,e)** Diagrammes  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  des biotites (*Bivariate plots of the oxides  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ , vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$* ). **(f)** Compositions des biotites dans le diagramme de Nachit et *al.* (1985) (*Biotite compositions in the Nachit and al. (1985) diagram*). **(g)** Compositions des biotites dans le diagramme ternaire  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{FeO}$ - $\text{MgO}$  de Abdel-Rahman (1994) (*Biotite compositions in the Abdel-Rahman (1994)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{FeO}$ - $\text{MgO}$  ternary diagram*).

**Tableau V** - Estimation des pressions et températures dans les granodiorites hôtes et les enclaves.*Estimate of pressures and temperatures in the host granodiorites and enclaves*

Roche	AM17	AM17	AM118	AM118	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM73	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99
Analyse	63	66	92	93	86	87	91	92	93	94	95	96	112	115	142	143	144	145	147
Pression (Mpa)																			
Ham et Zen, 86 ( $\pm 0,06$ GPa)	334	388	196	513	713	657	683	609	625	648	665	645	599	677					
Holli et al., 87 ( $\pm 0,3$ Gpa)	338	398	183	538	763	701	730	647	664	690	709	687	635	722					
John et Ruth 89 ( $\pm 0,01$ Gpa)	265	310	148	415	583	537	558	496	509	528	543	526	487	553					
Schmidt et al., 92 ( $\pm 0,05$ GPa)	386	437	255	555	745	692	717	647	661	683	699	680	637	710					
Température °C																			
Féménias et al., 2006 ( $\pm 25$ )	779	779	748	799											708	720	704	742	706
Otten, 1984	681	680	650	703	755	755	769	741	727	699	757	756	696	750	622	627	525	645	617
Colombi, 1988	711	710	685	729	770	771	782	760	748	725	772	771	722	767	660	667	658	682	659
Profondeur (km)	14	16	9	20	27	25	26	23	24	25	25	24	23	26					
Roche	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99	AM99			
Analyse	149	161	162	163	164	165	166	167	175	176	177	178	179	194	195	196			
Pression (Mpa)																			
Ham&Zen, 86 ( $\pm 0,06$ GPa)														86	6	35			
Holli et al., 87 ( $\pm 0,3$ Gpa)														60	-30	3			
John et Ruth, 89 ( $\pm 0,01$ Gpa)														56	-11	14			
Schmidt, 92 ( $\pm 0,05$ GPa)														151	76	104			
Température °C																			
Féménias et al., 2006 ( $\pm 25$ )	694	735	733	741	745	689	688	747	734	744	737	728	712	715	712	721			
Otten, 1984	609	639	638	644	647	606	605	650	638	647	640	634	622	703	703	703			
Colombi, 1988	652	677	675	680	684	650	649	685	676	683	678	672	662	664	662	668			
Profondeur (km)														5	3	4			

calibré empiriquement puis expérimentalement. La condition restrictive  $Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Fe^{2+}) > 0.2$  est respectée dans toutes les amphiboles, sauf pour la majorité des analyses de la monzodiorite AM99.

Les plus fortes pressions 745-647 Méga Pascal (MPa), correspondant à 27 km et 23 km de profon-

deur (tabl. V) pour une densité crustale moyenne de 2.75, sont enregistrées dans la composition des cristaux de l'enclave de diorite sombre AM73. Les deux valeurs pourraient correspondre au début et à la fin de cristallisation de l'amphibole dans l'enclave.

**Tableau VI** - Estimation des températures d'après le géothermomètre de Henry et *al.* (2005).**Estimation of temperatures after Henry and al. (2005) geothermometer.**

	T° min	T° max	T° moy
granodiorite à amphibole	643	724	698
enclaves dans granodiorite à amphibole	639	730	693
granodiorite à biotite	616	663	648
enclaves dans granodiorite à biotite	675	696	689

La diorite claire AM118 affiche des pressions qui s'échelonnent de 555 MPa à 255 MPa, soit de 20 km à 9 km de profondeur. La première valeur correspondrait à la pression au début de la cristallisation de l'amphibole dans le magma mafique. Les pressions calculées dans les amphiboles de la granodiorite à amphibole AM17 sont homogènes de 386 à 437 MPa, soit une profondeur de 16 km à 14 km, et indiqueraient la pression de mise en place du pluton granodioritique.

Les plus fortes températures sur les amphiboles sont obtenues par le géothermomètre de Féménias et *al.* (2006) (tabl. V) avec une température de  $779 \pm 25^\circ\text{C}$  pour la granodiorite à amphibole AM17 et  $773 \pm 25^\circ\text{C}$  pour la diorite claire AM118. La monzodiorite AM99 affiche les plus basses températures ( $718 \pm 25^\circ\text{C}$ ) en relation avec un rééquilibrage tardif. Le géothermomètre de Féménias et *al.* (2006) ne peut être utilisé pour la diorite sombre AM73, car il n'est applicable que pour des pressions variant de 4 à 6 kbar. Par ailleurs, l'incertitude de ce géothermomètre ( $2\sigma$ ) est de  $\pm 25^\circ\text{C}$  pour des températures comprises entre 600 et  $900^\circ\text{C}$  pour le tampon QFM. La température de cristallisation de la diorite sombre AM73 estimée à partir des teneurs en Ti dans l'amphibole est estimée, selon les calibrations, de  $740^\circ\text{C}$  (Otten, 1984) à  $759^\circ\text{C}$  (Colombi, 1988).

Dans le diagramme P-T (fig. 8a), les valeurs de la pression et de la température montrent une tendance évolutive dans un domaine de température compris entre 700 et  $800^\circ\text{C}$ . L'enclave dioritique AM73 montre les pressions les plus élevées avec cependant des températures plus basses,

entre 700 et  $750^\circ\text{C}$ , ce qui est probablement dû à l'utilisation d'un géothermomètre différent.

Dans le diagramme semi-quantitatif (fig. 8b) de Schreurs (1985) qui oppose Ti à  $^{VI}\text{Al}$  dans les biotites, les températures sont supérieures à  $750^\circ\text{C}$  pour la granodiorite à amphibole de l'Oued Tamanrasset et toutes les enclaves et, elles sont comprises entre  $650^\circ\text{C}$  et  $750^\circ\text{C}$  pour la granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer. Dans le géothermomètre quantitatif de Henry et *al.* (2005), fondé sur les teneurs en Ti dans la biotite, les valeurs maximales et minimales de la température enregistrées par les biotites sont reportées dans le tableau VI. Les températures enregistrées sont comparables et varient entre  $689^\circ\text{C}$  et  $698^\circ\text{C}$  pour la granodiorite à amphibole de l'Oued Tamanrasset et les enclaves associées ainsi que les enclaves de la granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer. Les plus basses températures ( $648^\circ\text{C}$ ) sont enregistrées dans la granodiorite à biotite de l'oued Ezerzer.

Les valeurs  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  mesurées dans la biotite sont reportées sur le tampon FMQ (fig. 9). La lecture directe de T et  $\log f(\text{O}_2)$ , indique des températures plus élevées que celles calculées sur les amphiboles par le géothermomètre de Féménias et *al.* (2006), ce dernier étant calculé pour le tampon FMQ. La fugacité d'oxygène varie de 10-12 à 10-15 bar dans les granodiorites hôtes et de 10-12.5 à 10-14 bar dans les enclaves, pour des températures respectives variant de 780 à  $880^\circ\text{C}$  et 820 à  $870^\circ\text{C}$ . Cela pourrait être dû aux valeurs de  $\text{XFe}_i$  qui seraient trop fortes ( $\text{Fe}^{3+}$  n'étant pas dosé) ou au choix du tampon FMQ. En effet, ce dernier est trop réducteur pour les roches d'Am-

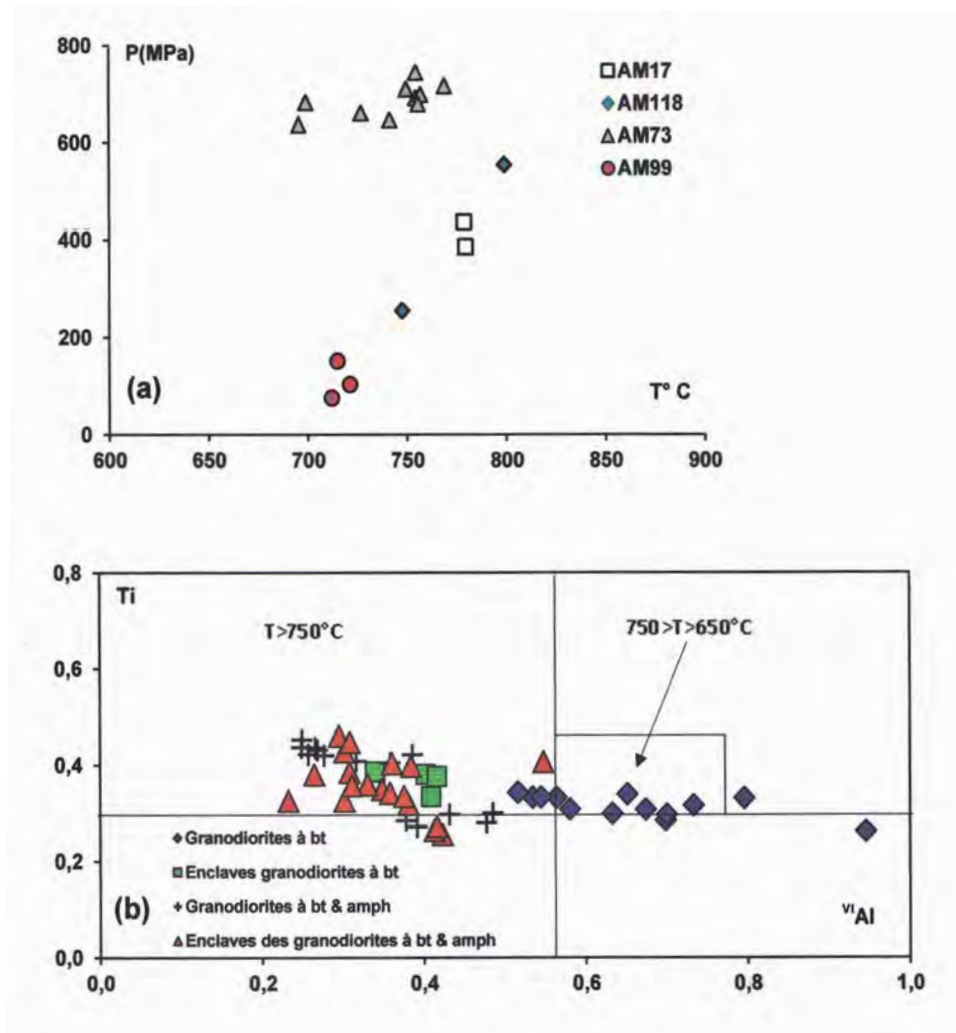


Fig. 8 - (a) Diagramme P-T dans les amphiboles (*P-T diagram in amphibole*).

(b) Diagramme de Schreurs (1985) (*Schreurs diagram (1985)*).

sel qui contiennent l'association titanite + magnétite + quartz. La courbe du tampon TMQ correspond à une fugacité d'oxygène située entre celle du tampon FMQ et celle du tampon HM (Wones, 1989). Les points représentatifs des biotites étudiées, reportés sur la courbe de TMQ avec une activité moyenne en Fe (Wones, 1989), donnent des valeurs de la fugacité d'oxygène variant de 10-11 à 10-15 bar dans les granodiorites hôtes et de 10-11.5 à 10-12.5 bar dans les enclaves pour des températures respectives variant de 680 à 770 °C et 710 à 765 °C.

## V- DISCUSSION

L'assemblage minéralogique restreint et constant dans les granodiorites hôtes comprend : plagioclase – quartz – biotite ± amphibole – feldspath alcalin – zircon – titanite – oxydes ? – épidote secondaire – magnétite – rutile – pyrite.

Les intrusions granodioritiques renferment une grande variété d'enclaves. Leur diversité chimique et minéralogique, ainsi que leur forme, suggèrent l'existence de plusieurs stades de mélange



et renseignent sur la distance entre le lieu effectif du mélange et le lieu d'observation. Plus les enclaves sont éloignées de la zone d'alimentation située à l'extrémité nord du massif, plus elles sont évoluées et moins elles sont fréquentes, ce qui voudrait dire que le mélange chimique a été plus important.

Ces enclaves sont constituées par des populations de granodiorite à biotite, granodiorite à biotite et amphibole, monzodiorite et diorite. Elles montrent les mêmes phases minérales que la granodiorite hôte mais en proportions différentes.

Les textures des enclaves sont plus diversifiées, en relation avec les variations de la forme, la taille et le mode d'arrangement des minéraux (texture grenue, microgrenue porphyrique, pseudo-doléritique, poecilitique). Ces textures ne permettent pas d'établir des coupures nettes entre les encla-

ves. Tous les termes intermédiaires sont possibles. Les compositions minéralogiques des enclaves (EMS – Enclaves Magmatiques Sombres) sont comparables à celles des granodiorites hôtes. Le grain fin et l'absence de textures cumulatives interdisent de considérer ces EMS comme des cumulats (Barbarin et Didier, 1992). L'absence de sillimanite, andalousite, cordiérite, grenat ou tout autre minéral produit par déstabilisation des micas dans un contexte de mélange, montre qu'elles ne peuvent être considérées comme des restites. Parallèlement, la forme ellipsoïdale, arrondie (pillowed), parfois lobée, sans bordure figée mais à contact progressif, bien que la transition soit rapide, ainsi que la texture ignée montrée par l'apatite aciculaire, suggère nettement un remaniement des composants mafiques, incorporés à un magma felsique (Didier et Barbarin, 1991; Bonin, 2004; Barbarin, 2005). La coexistence de deux magmas contrastés est mise en évidence par le refroidissement des mas-

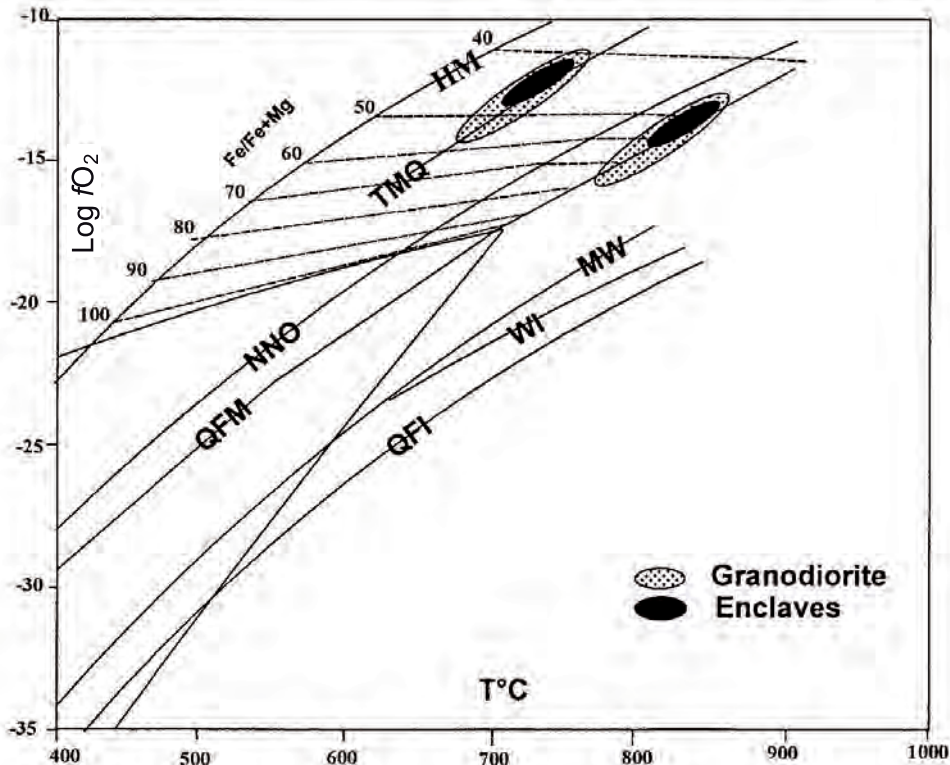


Fig. 9 - Diagramme fugacité d'oxygène - température.

*fO<sub>2</sub> vs temperature diagram*

ses basiques éventuellement par fragmentation de filons synplutoniques (Didier, 1973; Vernon, 1984; Didier et Barbarin, 1991; Wiebe, 1996). Lors d'un refroidissement lent, les textures en déséquilibre sont colmatées par des recristallisations (Wall *et al.*, 1987).

Les premières étapes de la cristallisation dans les roches hybrides sont démontrées par l'apatite aciculaire, les amas de biotite, les phénocristaux de plagioclase (fig. 4b) à inclusions de biotite et d'amphibole (Vernon, 1990, 1991; Hibbard, 1991, 1995).

Courbes des tampons: HM, hématite – magnétite; NNO, nickel – oxyde de nickel; FMQ, fayalite – magnétite – quartz; MW, magnétite – wüstite; WI, wüstite – fer métal; FIQ, fayalite – fer métal – quartz (d'après Eugster et Wones, 1962).

Les ocelles de quartz de forme ovoïde, parfois sphérique (fig. 4f), interprétées comme ayant subi une dissolution partielle (Vernon, 1990), sont entourées par un liseré de biotite et amphibole au contact de l'ocelle. Les cristaux de plagioclase corrodés montrent des textures criblées. Les figures de dissolution seraient les témoins d'un épisode de mélange de magma (Kawamoto, 1992; Coombs *et al.*, 2003) qui peuvent être expliquées **(1)** par la mise en contact, au moment du mélange, de magmas de conditions physico-chimiques différentes (Wiebe, 1968; Pringle *et al.*, 1974; Tsuchiyama, 1985; Nelson et Montana, 1992) et, **(2)** par un lent ré-équilibre avec leur environnement. Ceci se traduit par des zonations discontinues ou complexes (patchy-zoning), des zones de résorption et des petites inclusions formées par cristallisation rapide dans un milieu magmatique en déséquilibre.

La rencontre de deux magmas de température et de composition différentes et la fragmentation conséquente du magma basique à l'intérieur du magma acide ont provoqué, par un retour à des températures égales, un choc thermique. Le refroidissement subi par le magma basique provo-

que une brusque nucléation et l'apparition de nombreux cristaux (apatite, hornblende, biotite). D'après Blundy et Sparks (1992), Waight *et al.* (2001), la diffusion des alcalins et de H<sub>2</sub>O est plus rapide que les autres composants, ce qui permet la cristallisation de la biotite aux dépens de l'amphibole. La dissolution des cristaux de plagioclase s'opère dans le nouvel environnement hybride avec réduction de la taille des cristaux.

Ces mélanges s'expliquent par la cristallisation et la différenciation dans la chambre magmatique conduisant à divers degrés de mélange et par conséquent à une grande variété d'enclaves. Dans la granodiorite à amphibole de l'Oued Tamanrasset, sont également observés des mélanges incomplets (mingling, mélange physique, par opposition au mixing, mélange chimique) où les échanges thermiques rapides ont provoqué le refroidissement et la cristallisation du magma basique, tandis que le magma granitique s'est réchauffé (fig. 3c), formant des rubanements contrastés et flexueux.

La densité des enclaves indique que la zone nord du massif, serait la zone par où le magma mafique s'est injecté dans la chambre magmatique, déjà remplie de magma intermédiaire en évolution continue par un processus de cristallisation fractionnée. Le magma dioritique chaud, en provenance vraisemblablement du manteau supérieur, s'injecte dans la croûte inférieure. Ce magma commence à cristalliser à 27 km de profondeur. Schématiquement, l'enclave AM73 représenterait des gouttes de ce magma originel. Ce magma basique, plus dense, s'est mélangé vers 15 km de profondeur à un liquide intermédiaire granodioritique, plus léger, menant aux enclaves qui évolueraient de la diorite claire (AM118) vers la monzodiorite (AM99), puis à la granodiorite dans l'écoulement biphasé; avec comme conséquence les ocelles de quartz, les cristaux de plagioclase corrodés et des mélanges incomplets (mingling). Les cristaux d'amphibole ont commencé à cristalliser avant le mélange vers 20 km de profondeur, au sein du

magma basique. Vers le haut de la chambre magmatique, le liquide granodioritique AM17 évoluerait par cristallisation fractionnée vers un liquide granodioritique AM119, qui, plus léger, se serait échappé le long d'une fissure différente de celle du batholite principal, formant l'étroit massif allongé de granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer (AM108) séparé du massif principal. Le mélange de liquides granodioritiques à des degrés différents entre AM17 et AM119 donnerait les enclaves claires (AM111) dans ce même massif.

## VI- CONCLUSION

La combinaison des observations de terrain, pétrographiques, minéralogiques et chimiques nous amène à confirmer que le processus de "mingling" (mélange mécanique), puis "mixing" (mélange chimique) entre un magma basique et un magma intermédiaire a joué un rôle important dans la genèse de la série TTG du batholite composite de l'Amsel. Ces observations se résument en la présence de phénocristaux de plagioclase corrodés à texture criblée et patchy-zoning associés parfois en synneusis, d'apatite aciculaire, d'ocelles de quartz et des amas de biotite et/ou amphibole. La diversité des enclaves est en relation avec des degrés de mélanges variés au sein de la chambre magmatique. La zone nourricière est située au nord du massif avec un étalement vers le sud. Hormis l'enclave de diorite AM73 préservée, les EMS correspondent à différents degrés de mélange. La granodiorite à biotite de l'Oued Ezerzer proviendrait de la différenciation par cristallisation fractionnée de la granodiorite à amphibole et biotite de l'Oued Tamanrasset. Ces enclaves proviendraient du mélange de deux sous-faciès et l'ensemble s'infiltrerait le long de fractures pour former le petit massif. Le mélange s'est produit sous une pression de  $405 \pm 17$  MPa et une température de  $779 \pm 25^\circ\text{C}$ . Ceci correspond à une profondeur de 15 km, c'est-à-dire à la limite entre croûte inférieure plastique et croûte supérieure fragile.

Notons que les enclaves possèdent des minéraux qui ont commencé à cristalliser plus bas, probablement vers le Moho. Les minéraux des enclaves et des roches hôtes ont cristallisé à l'équilibre, ce qui se traduit par des compositions semblables.

## VII- BIBLIOGRAPHIE

- ABDEL-RAHMAN, A.-M. 1994.** Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *J. Petrol.*, 35, pp. 525–541.
- ACEF, K., LIÉGEOIS, J.-P., OUABADI, A. AND LATOUCHE, L. 2003.** The Anfeg post-collisional Pan-African high-K calcalkaline batholith (Hoggar, Algeria), emplaced within the LATEA metacraton. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 37, pp. 295-311.
- ANDERSON, J.-L. AND SMITH, D.-R. 1995.** The effects of temperature and  $f\text{O}_2$  on the Al-in hornblende barometer. *Am. Mineral.*, 80, pp. 549–559.
- BARBARIN, B. 2005.** Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the Central Sierra Nevada batholith, California: nature, origin, and relations with the hosts. *Lithos*, 80, pp. 155–177.
- BARBARIN, B. AND DIDIER, J. 1992.** Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. *Trans. R. Soc. Edinb. Earth. Sci.*, 83, pp. 145–153.
- BENDAOU, A., OUZEGANE, K. AND KIENAST, J.-R. 2003.** Textures and phase relationships in ferrous granulites from Tidjenouine (Hoggar, Algeria): fayalite-ferrosillite-quartz secondary assemblage. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 241–255.
- BENDAOU, A., OUZEGANE, K., GUODARD, G., LIÉGEOIS, J.-P., KIENAST, J.-R., BRUGUIER, O. AND DRARENI, A. 2008.** Geochronology and metamorphic P-T-X evolution of the Eburnean granulite facies metapelites of Tidjenanine (Central Hoggar, Algeria) : witness of the latest metacratonic evolution. In: Ennich, N., Liégeois, J.-P. (Eds). The Boundaries of the West African Craton : *Geological Society of London*, special publication, 297p.

- BERTRAND, J.-M., MICHARD, A., BOULLIER, A.-M. AND DAUTEL, D. 1986.** Structure and U/Pb geochronology of Central Hoggar (Algeria): a reappraisal of its Pan-African evolution. *Tectonics*, 5, pp. 955-972.
- 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, pp. 641-644.
- BLUNDY, J.-D. AND SPARKS, R.-S.-J. 1992.** Petrogenesis of mafic inclusions in granitoids of the Adamello Massif, Italy. *J. Petrol.*, 33, pp. 1039-1104.
- BONIN, B. 2004.** Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, 78, pp. 1-24.
- BOUZEGUELLA -TALMAT, S. ET OUABADI, A. 2002.** Cartographie des faciès du massif granitique panafricain de l'Amsel (Hoggar central, Algérie). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 13, n° 2, pp. 117-129.
- COLOMBI, A. 1988.** Métamorphisme et géochimie des roches mafiques des Alpes ouest-centrales. *Thèse Doctorat ès Sciences, Univ. Lausanne*, 216p.
- COOMBS, M.-L., EICHELBERGER, J.-C. AND RUTHERFORD, M.-J. 2003.** Experimental and textural constraints on mafic enclave formation in volcanic rock. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119, pp. 125-144.
- DEER, W.-A., HOWIE R.-A. AND ZUSSMAN, J. 1980.** An introduction to the rock-forming minerals. *Longman Ed.*, 528 p.
- DIDIER, J. 1973.** Granites and their enclaves. *Elsevier, London*, 393 p.
- DIDIER, J. AND BARBARIN, B. 1991.** Enclaves and granite petrology. Developments in petrology. *Elsevier, Amsterdam*, 13, pp. 1-625.
- EUGSTER, H.-P. AND WONES, D.-R. 1962.** Stability relations of the ferruginous biotite, annite. *J. Petrol.*, 3, pp. 82-125.
- FABRIÈS, J., CONQUÉRÉ, F. AND ARNAUD, G. 1984.** The mafic silicates in the Saint Quay-Portrieux gabbro-diorite intrusion : crystallization conditions of calc-alkaline pluton. *Bull. Mineral.*, 107, pp. 715-736.
- FÉMÉNIAS, O., MERCIER, J.-C.-C., NKONO, C., DIOT, H., BERZA, T., TATU, M. AND DEMAÏFFE, D. 2006.** Calcic amphibole growth and compositions in calc-alkaline magmas: Evidence from the Motru Dike Swarm (Southern Carpathians, Romania). *American Mineralogist*, 91, pp 73-81.
- HAMMARSTRÖM, J.-M AND ZEN, E.-AN. 1986.** Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *Am. Mineral.*, 71, pp. 1297-1313.
- HAWTHORNE, F.-C., OBERTI, R., HARLOW, G.-E., MARESCH, W.-V., MARTIN, R.-F., SCHUMACHER, J.-C. AND WELCH, M.-D. 2012.** IMA Report Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97, pp. 2031-2048.
- HELZ, R.-T. 1973.** Phase relations of basalts in their melting ranges at  $\text{PH}_2\text{O} = 5$  kb as a function of oxygen fugacity. *J. Petrol.*, 1, pp. 249-302.
- HENRY, D.-J., GUIDOTTI, C.-V. AND THOMSON, J.-A. 2005.** The Ti-saturation surface for low-to medium pressure metapelitic biotite: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist*, 90, pp. 316-328.
- HIBBARD, M.-J. 1991.** Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems. In: Didier J. Barbarin B. (eds). Enclaves and granite petrology. *Elsevier, Amsterdam*, pp. 431-444.
- HIBBARD, M.-J. 1995.** Petrography to petrogenesis. *Prentice Hall, New Jersey*, 587p.
- HOLLISTER, L.-S., GRISSOME, G.-C., PETERS, E.-K., STOWELL, H.-H. AND SISSONS, V.-B. 1987.** Confirmation of empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline. *Amer. Mineral.*, 72, pp. 231-239.
- JOHNSON, M.-C. AND RUTHERFORD, M.-J. 1989.** Calibration of the aluminium in hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, pp. 837-841.

- KAWAMOTO, T. 1992.** Dusty and honeycomb plagioclase: indicator of processes in the Uchino stratified magma chamber, Izu peninsula, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 49, pp. 191- 280.
- LIÉGEAIS, 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). *Precambrian Research*, 67, pp. 59–88.
- LIÉGEAIS, J.-P., LATOUCHE, L., BOUHRARA, M., NAVEZ, J. AND GUIRAUD, M. 2003.** The LATEA metacraton (central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African Orogeny. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 161–190.
- LIÉGEAIS, J.-P., ABDELSALAM, M.-G., ENNIH, N. AND OUABADI, A. 2013.** Metacraton: Nature, genesis and behavior. *Gondwana Research*, 23, pp. 220-237.
- LOCOCK, J.-A. 2013.** An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers and Geosciences*, 62, pp. 1–11
- LUDWIG, K.-R. 1999.** Using Isoplot/Ex Version 2.01, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. In: *Berkeley Geochronology Center*, special publication, n° 1, 47 p.
- NACHIT, H., RAZAFIMAHEFA, N., STUSSI, J.-M. ET CARRON, J.-P. 1985.** Compositions chimiques des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 301, pp. 813-818.
- NELSON, S.-T. AND MONTANA, A. 1992.** Sieve-textured plagioclase in volcanic-rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77, pp. 1242-1249.
- O.R.G.M. 2002.** Carte géologique au 1/200.000 feuille Tamanrasset.
- OTTEN, 1984.** The origin of brown hornblende in the Artssjället gabbros and dolerites. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 86, pp. 185.199.
- OUZEGANE, K., BENDAOU, A., KIENAST, J.-R. AND TOURET, J.-L.-R. 2001.** Pressure-Temperature-Fluid evolution in Eburnean metabasites and metapelites from Tamanrasset (Hoggar, Algeria). *Journal of Geology*, vol. 109, pp. 247-263.
- OUZEGANE, K., KIENAST, J.-R., BENDAOU, A. AND DRARENI, A. 2003.** A review of Archaean and Paleoproterozoic evolution of the In Ouzzal granulite terrane (Western Hoggar, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 207-227.
- PEUCAT, J.-J., CAPDEVILA, R., DRARENI, A., CHOUKROUNE, P., FANNING, M., BERNARD-GRIFFITHS, J. AND FOURCADE, S. 1996.** Major and trace element geochemistry and isotope Sr, Nd, Pb, O systematics of an Archaean basement involved in a 2.0 Ga VHT 1000°C metamorphic event : in Ouzzal massif, Hoggar, Algeria. *Journal of Metamorphic Geology*, 14, pp. 677-692.
- PRINGLE, G.-J, TREMBATH, L.-T. AND PARJARI, G.-E.-JR. 1974.** Crystallization history of a zoned plagioclase. *Mineral Mag.*, 39, pp. 867–877.
- SCHMIDT, M.-W. 1992.** Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in- hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, pp. 304–310.
- SCHREURS, J. 1985.** Prograde metamorphism of metapelites, garnet-biotite thermometry and prograde changes of biotite chemistry in high-grade rocks of West Usimaa, Southwest Finland. *Lithos.*, 18, pp. 69-80.
- TSUCHIYAMA, A. 1985.** Dissolution kinetics of plagioclase in melt of the system diopside-albite-anorthite and the origin of dusty plagioclase in andesites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 89, pp. 1–16.
- VERNON, R.-H. 1984.** Microgranitoid enclaves: globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment. *Nature*, 304, pp. 438–439.
- VERNON, R.-H. 1990.** Crystallization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: microstructural evidence. *J. Geophys. Res.*, 95, pp. 17849-17859.

- VERNON, R.-H. 1991.** Interpretation of microstructures of microgranitoid enclaves. *In*: Didier J, Barbarin B. (Eds), *Enclaves and Granite Petrology. Developments in Petrology. Elsevier, Amsterdam*, vol. 13, pp. 277–291.
- VITEL, G. 1979.** La région Tefedest-Atakor du Hoggar central (Sahara): évolution d'un complexe granulitique précambrien. *Thèse d'Etat, Univ. Paris VII*, 324p.
- WRIGHT, T.-E., MAAS, R. AND NICHOLLS, I.-A. 2001.** Geochemical investigations of microgranitoid enclaves in the S-type Cowra Granodiorite, Lachlan Fold Belt, SE Australia. *Lithos*, 56, pp. 165–186.
- WALL, V.-J., CLEMENS, J.-D. AND CLARKE, D.-B. 1987.** Models for granitoid evolution and source compositions. *J. Geol.*, 95, pp. 731–749.
- WIEBE, R.-A. 1968.** Plagioclase stratigraphy: a record of magmatic conditions and events in a granite stock. *Am. J. Sci.*, 266, pp. 690–703.
- WIEBE, R.-A. 1996.** Mafic–silicic layered intrusions; the role of basaltic injections on magmatic processes and the evolution of silicic magma chambers. *In*: Brown M., Candela P.A., Peck D.L., Stephens W.E., Walker R.J., Zen E. (eds) *Third Hutton Symposium on the Origin of Granites and Related Rocks. Geol. Soc. Am.*, 315, pp. 233–242.
- WONES, D.-R. 1989.** Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74, pp. 744–749.
- WYLLIE, P.-J., COX K.-G AND BIGGAR, G.-M. 1962.** The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks. *J. Petrol.*, 3, pp. 238–243.